

A photograph of a rainy city street at night. In the foreground, two people are walking with umbrellas. A yellow taxi is visible in the background. The scene is wet and reflective, with city lights and building facades visible in the background.

15 nedslag i klimat- forskningen

DÅTID NUTID FRAMTID | LUNDS UNIVERSITET



15 nedslag i klimat- forskningen

DÅTID NUTID FRAMTID | LUNDS UNIVERSITET

REDAKTÖRER

MARIANNE HALL & INGELA BJÖRCK

15 NEDSLAG I KLIMATFORSKNINGEN DÅTID, NUTID, FRAMTID

Sammanställd av Klimatinitiativet vid Lunds universitet

Projektledare: Markku Rummukainen

Utgiven av: Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet

Beställ ifrån: www.cec.lu.se/kontakt

Formgivning och grafisk produktion: Bergström & Co AB, Lund (bco.se)

Foto omslag och inlaga (ej porträtt): Magnus Bergström

Tryck: Elanders, 2013

ISBN 978-91-637-2338-4

Detta är en klimatneutral produkt verifierad av Respect (www.respect.se) enligt standarden PAS 2050:2008.

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk.

All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden. Författarna på respektive text ansvarar själva för innehållet, som inte nödvändigtvis återspeglar Lunds universitets officiella ståndpunkt.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729).

Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Förord

Antologin *15 nedslag i klimatforskningen – Dåtid, nutid, framtid* sammanställdes hösten 2012 vid Centrum för miljö- och klimatforskning och är ett samverkansprojekt mellan universitetets Klimatinitiativ och de två strategiska forskningsområdena BECC och MERGE.

Boken bygger på ett antal ögonblicksbilder av den klimatrelaterade forskningen vid Lunds universitet. Vi hoppas att artiklarna kan ge nya insikter när det gäller den alltmer aktuella frågan om klimatförändringar och deras effekter. Antologin riktar sig till läsare med ett intresse för klimatfrågan och de många aspekter av vår natur och våra samhällen som berörs av det förändrade klimatet.

Stort tack till alla som har delat med sig av sig sina kunskaper och tankar – utan er skulle antologin inte blivit till. □

MARKKU RUMMUKAINEN, HENRIK G. SMITH

Centrum för miljö- och klimatforskning är en centrumbildning placerad vid naturvetenskapliga fakulteten med syftet att samla, förstärka och synliggöra utbildning och forskning inom miljö- och klimatområdet. Härifrån koordineras bland annat Klimatinitiativet, BECC och MERGE.

Klimatinitiativet är en fakultetsövergripande satsning vars mål är att lyfta fram och synliggöra den bredd och det djup som karaktäriserar klimatforskningen vid Lunds universitet. Klimatinitiativet driver bland annat hemsidan Klimatportalen, där man kan ta del av klimatforskningsrelaterade nyheter och evenemang från universitetet. Klimatportalen nås via adressen www.lu.se/klimat.

BECC uttyds "Biodiversity and Ecosystem Services in a Changing Climate". Det är ett samarbete mellan Lunds och Göteborgs universitet kring forskning om hållbar förvaltning av ekosystemtjänster och biologisk mångfald i en snabbt föränderlig värld.

MERGE uttyds "Modelling the Regional and Global Earth system" och är ett forskningssamarbete om klimatmodeller med särskilt fokus på vegetation och hur landbaserade ekosystem växelverkar med klimatet. Deltagare är Lunds universitet, Göteborgs universitet, Rossby Centre vid SMHI, Chalmers tekniska högskola, Kungliga tekniska högskolan och Linnéuniversitetet.

Inledning

DU SOM HAR ÖPPNAT DEN HÄR boken vet redan att jorden är inne i en snabb uppvärmning. Det kan mätas som en högre global medeltemperatur, som ett varmare hav och som stigande havsnivåer. Det märks också med stor tydlighet på flera andra sätt: glaciärer smälter, havsisen på Arktis krymper, livsvillkoren för djur och växter förändras. Allt talar för att klimatiförändringarna under resten av århundradet kommer att fortsätta att gå mycket långt och mycket snabbt.

Detta innebär inte att vi står utan möjlighet att påverka utvecklingen. Men för att lyckas måste vi förändra konsumtionsmönster, göra teknologiska landvinningar, och ändra inställningen till hur vi ser på miljön och naturen och dess värde. Det behöver inte innebära en försämring av vardagen, men en förändring. Oavsett hur vi väljer att agera kommer vi inte att känna igen den värld som utvecklingen för oss mot.

Klimatfrågan handlar därmed inte bara om naturvetenskap som komplicerade matematiska beräkningar eller olika sätt att mäta förändringar i atmosfären, havet eller isarna. Klimatfrågan handlar även om hur samhället fungerar, och om hur vi fördelar resurser både mellan olika länder och befolkningar idag, och mellan dagens generation och kommande generationer. Den handlar om hur vi ser på oss själva och människans plats i ekosystemet, om utrymmet som vi delar med alla andra arter på jorden, och om naturresurser och tjänster som vi kan-

ske tar för givna – rent vatten till exempel, eller bin som pollinerar blommande örter, träd och buskar.

Klimatfrågan finns invävd i de stora världspolitiska fördelningsfrågorna och i många frågor om energipolitik, miljövärd, biologisk mångfald, jordbruk och skogsbruk. Men den sträcker sig också hela vägen in i vardagslivet. Våra dagliga beslut om hur vi ska ta oss till arbetet och vilken mat vi ställer fram på bordet påverkar även de klimatet, eftersom summan av alla våra personliga små utsläpp ger ett stort bidrag till de globala klimatförändringarna.

Vi vet idag mycket om klimatförändringarnas mekanismer. Att ändå alla kurvor fortfarande pekar åt fel håll beror inte huvudsakligen på brist på kunskap. Det beror snarare på vår oförmåga att ta till oss kunskapen, att diskutera den utifrån gemensamma premisser, och att börja handla utifrån de scenarier som finns, även om de innehåller ett visst mått av ovisshet.

I antologin *15 nedslag i klimatforskningen* behandlas både denna typ av samhällsvetenskapliga frågor och andra frågor av en mer naturvetenskaplig karaktär. Antologin är inte tänkt att ge någon övergripande bild av alla aspekter på klimatfrågan, utan att göra ett antal nedslag och belysa olika frågeställningar som forskare vid Lunds universitet arbetar med.

Det första avsnittet, "Utmaningar för samhället", tar upp frågor om vad samhället gör eller kommer att behöva göra för

att möta klimatförändringarna. Hur ska man förhålla sig till risker som är mindre sannolika men, om de skulle inträffa, grundligt omvälvande? Hur beskriver vi klimatfrågan i politiska diskussioner, och vad betyder detta för de politiska besluten som fattas? Hur kan man anpassa stadsmiljön för att göra den mindre sårbar för väder- och klimatrelaterade störningar, och hur påverkar klimatförändringarna människors hälsa och arbetsförmåga?

Avsnittet "Global (o)rättvisa" diskuterar resursfördelningen i dagens globaliserade samhälle. En fråga här är hur den rika världens försök att minska sina klimatutsläpp påverkar den fattiga delen av världen. En annan fråga är hur bördan för klimatkostnaderna för produktionen av olika varor ska fördelas mellan den som köper varan och den som säljer den.

Avsnittet "De naturliga systemen" ger en inblick i forna klimatförändringar, på en geologisk tidsskala, men också en blick framåt. Vad kan hända med växthusgasen metan som bland annat lagrats i frusen mark och havsbottenar – kan ett varmare klimat utlösa en "metanbomb" med stora metanutsläpp som driver fram ytterligare klimatförändringar? Och vad händer med vårt eget innanhav Östersjön, världens största brackvattenområde, som redan drabbats hårt av övergödning, överfiskning och miljögifter? Två sektorer som hänger intimt ihop med klimatfrågan behandlas i avsnittet "Jordbruk och skogsbruk". Klimatförändringarna

innebär ändrade förutsättningar för matproduktionen, samtidigt som denna behöver öka för att föda jordens växande befolkning. När då matproduktion och klimatåtgärder prioriteras i ett kortsiktigt perspektiv är det lätt att den biologiska mångfalden får stryka på foten.

Skogarnas ekosystem kan ta upp kol ur atmosfären och därmed motverka uppvärmningen. Men skogen ska också leverera naturvärden och inte minst vara lönsam. Skogsägare som undrar hur de ska sköta sin skog med tanke på ett varmare klimat efterlyser konkreta svar som forskningen inte alltid kan ge. En annan fråga gäller begreppet ”hållbart skogsbruk” – hur mäter vi det, och ger dagens mätmetoder och frågeställningar verkligen de svar vi söker?

Sist i boken ligger kapitlet «Lösningar – eller nya problem?», inte för att vi tror att just dessa lösningar kommer att rädda oss, utan för att ge några exempel på dellösningar som förts fram. Biokol – en sorts variant av grillkol – har visat sig fungera utmärkt för jordförbättring om man myllar ner det i marken. Skulle det även fungera som en metod för att minska mängden koldioxid i atmosfären? En annan fråga gäller bi drivmedel. Kan vi klara delar av transportsektorn på biodiesel och etanol utan att det går ut över matproduktionen eller ger andra negativa effekter för miljön eller för lokalbefolkningen i fattiga länder? Och hur är det med luftens partikelhalt: bör vi

fortsätta att försöka minska den eftersom smutsig luft skadar hälsan, eller tvärtom – som somliga föreslagit – sprida ut ännu mer partiklar som en solskärm i atmosfären?

Bilden av den framtida klimatutvecklingen är inte ljus, men slaget är inte förlorat. Det finns inte en enda magisk lösning som klarar samtliga problem, men genom att kombinera många olika metoder, tekniska innovationer och förändringar i konsumtionsmönster och resursutnyttjande finns det fortfarande en möjlighet att bromsa klimatförändringarna. I det arbetet har universiteten och forskningen en viktig roll att spela. □

REDAKTÖRERNA

MARIANNE HALL, INGELA BJÖRCK

Innehåll

15 NEDSLAG I KLIMATFORSKNINGEN DÅTID, NUTID, FRAMTID

FÖRORD

/ Markku Rummukainen, Henrik G. Smith s 05

INLEDNING

/ Marianne Hall, Ingela Björck s 07

Utmaningar för samhället

01: Försäkra jorden?
/ Mark Brady s 17

02: Ursäkta, men hur löd klimatfrågan?
/ Sebastian Garczyna Johansson,
Roger Hildingsson s 29

03: Anpassning i städer
/ Christine Wamsler s 45

04: Klimat, arbetsförmåga och hälsa
/ Ingvar Holmér, Maria Albin s 59

Global (o)rättvisa

05: Förlorarna är de fattiga
/ Lennart Olsson s 73

06: Kossor, kaffe och soja
/ Marianne Hall s 85

De naturliga systemen

- 07: Berg- och dalbana och gungbräda
/ Svante Björck s 103
- 08: Metanbomb i Arktis?
/ Markku Rummukainen s 117
- 09: Östersjön i ett förändrat klimat
/ Johanna Stadmark, Hans Hanson s 127

Jord- och skogsbruk

- 10: Hoten mot den biologiska mångfalden
/ Henrik G. Smith s 143
- 11: Skogsägare behöver praktiska råd
/ Anna Maria Jönsson s 155
- 12: Hur ska skogens hållbarhet mätas?
/ Per Bodin, Anders Mårell s 169

Lösningar – eller nya problem?

- 13: Biokol ger dubbla fördelar
/ Håkan Wallander s 183
- 14: Hållbarhetskrav på biodrivmedel
/ Bodil Elmqvist, Sara Brogaard, Philip Peck..... s 195
- 15: Balansgång mellan klimat och hälsa
/ Erik Swietlicki, Birgitta Svenningsson,
Jakob Löndahl s 209



Utmaningar för samhället



01:

Försäkra jorden?

MARK BRADY

Det finns inget tvivel om att vi befinner oss i en global uppvärmning som kommer att ha svåra effekter för framför allt våra barn och barnbarn. Men hur stora blir effekterna – blir jorden bara lite mindre behaglig för dem, eller kommer den knappast att vara möjlig för människor att leva på? Vad är ett rationellt förhållningssätt inför en möjlig katastrof av en sort mänskligheten aldrig tidigare mött? Detta diskuteras av ekonomen Mark Brady, på grundval av tankar och teorier som förts fram av ledande miljöekonomer.

VÅR ÖNSKAN om högre inkomster och högre konsumtion gör att vi använder allt mer fossila bränslen. Detta driver på den globala uppvärmningen och ökar klimathotet, som vi blir allt mer oroad över.

Föreställ dig att du för ett samtal med ett framtida barnbarn. Hur skulle du förklara detta dilemma: att vi hela tiden ökar på ett problem som vi är väl medvetna om? Den förklaring du ger är kanske att det saknas en komplett bild av källorna till förhöjda växthusgaser och hur de samverkar, och hur de möjliga följderna ser ut. Därför har vi svårt att bedöma konsekvenserna av våra utsläpp och motivera åtgärder som ter sig kostsamma.

Barnet undrar (för att provocera) om problemet kanske bara är något som fantiserats ihop av galna domedagsprofeter? Men så är det ju knappast. Vi har faktiskt mycket information om vår planet Jorden. Vi känner till de atmosfäriska sammanhangen och hur olika ekosystem fungerar, och vi vet ganska väl hur mycket koldioxid som släpps ut genom förbränning av fossila bränslen och annan ekonomisk aktivitet. Vi vet också att koldioxidhalten i atmosfären idag är den högsta på 800.000 år.

För att sammanställa den information vi har om klimatsystemet bygger forskare modeller. Det är modeller som kan ge oss en inblick i problematiken, men de kan inte ge några exakta svar. Så enkelt är det inte. Modellerna bygger ju på en rad antaganden om t ex framtida befolkningstillväxt, energianvändning, teknikutveckling och ekonomisk tillväxt som kommer att påverka våra utsläpp av växthusgaser men är omöjliga att känna till idag. Vi måste också göra antaganden om ekosystem som vi inte fullständigt förstår, som världshaven och tundran, och hur de påverkas av temperaturhöjningar.

Det finns därför mycket osäkerhet kring modellernas resultat, dvs sannolikheten för att ett visst utfall verkligen inträffar i framtiden. Däremot råder det ingen osäkerhet om den stora

frågan: det är ställt utom tvekan att människor bidrar till en ökad mängd växthusgaser (i synnerhet koldioxid och metan) i atmosfären, och att detta leder till en global uppvärmning som går mycket fort.

Det är just snabbheten som bidrar till den stora osäkerheten kring uppvärmningens framtida följder. Det handlar om en fördubbling av koldioxidhalterna inom en kort tid – bara ett ögonblick, sett ur ett geologiskt tidsperspektiv. Problemet är alltså att förutse konsekvenserna av extrema förändringar i atmosfären som ligger långt utanför vår erfarenhet och därmed vår medvetenhet.

Vad vi vet och inte vet

Förhållandet utgör ett bra exempel på något som kallas en ”known-unknown”, dvs där vi vet att det finns saker vi inte vet. Vi vet att Jorden värms upp och att människor bidrar till dess uppvärmning. Vi vet också att en fortsatt ökning av växthusgaserna i atmosfären kommer att ge ännu högre temperaturer, och att dessa kommer att äventyra jordens klimat och ge en rad negativa effekter.

Det vi inte vet är exakt hur hög temperaturökning vi kommer att få. Detta är något som man, liksom med alla ”known-unknowns”, därför får analysera ur ett sannolikhetsperspektiv. Hur troligt är det att temperaturen kommer upp i en viss nivå i framtiden?

Detta är alltså den första osäkerheten i klimatsammanhang: kommer temperaturen att stiga med 1,5 grader, med 2-4,5 grader, eller med betydligt mer än 4,5 grader? Den lägsta siffran är möjlig men mindre sannolik. Mest sannolikt är 2-4,5 grader, men mer än 4,5 graders värmehöjning kan inte uteslutas eftersom det också är ett möjligt utfall.

Är det då det mest sannolika utfallet som är intressant, dvs en ökning på 2-4,5 grader? Inte nödvändigtvis. Den världsledan-

de miljöekonomen Martin Weizman har utifrån bara "known-unknowns" beräknat sannolikheten för att temperaturen stiger med mer än 6 grader. Han får risken till 6 procent, alltså 6/100.

Sex procents risk för kraschlandning

6/100 är en ganska låg sannolikhet, som ändå är långtifrån obetydlig. Skulle du själv vilja flyga med ett flygbolag som kraschar vid sex av hundra flygningar? Absolut inte! När livet står på spel är en sexprocentig risk så stor att man vill akta sig mycket noga – och då borde väl detsamma gälla när hela människosläktets fortlevnad berörs?

Här undrar barnet, något ironiskt, om vi inte bryr oss om människosläktets fortlevnad: eller tror vi att vi klarar oss även i ett varmare klimat? Frågan pekar på den andra osäkerheten: vad effekten blir av 6 graders temperaturhöjning om denna väl inträffar 100 år framåt i tiden.

Här stöter vi på "unknown-unknowns", dvs processer som vi känner till så lite att vi inte ens kan beräkna deras sannolikhet. Ett exempel är frigörandet av koldioxid och metan som idag är bundet i tundrans permafrost och i s k metanhydrater på havets botten (se kapitel 8, *Metanbomb i Arktis?*). Stora mängder växthusgaser kan komma loss när tundran tinar och havet blir varmare, och ge upphov till självförstärkande återkopplingar där den ökade uppvärmningen ger ökad frisättning av växthusgaser som ger ännu mer ökad uppvärmning, och så vidare.

Som en härdsmläta i ett kärnkraftverk

Sannolikheten för att detta ska hända kan betraktas som mycket låg (den finns inte ens med i nuvarande modeller). Möjligheten har ändå en bas i geofysikens lagar. Den potentiella effekten kan jämföras med en härdsmläta i ett svensk kärnkraftverk. Sannolikheten för en härdsmläta är mycket låg, men om

en sådan skulle inträffa blir följderna katastrofala. Denna låga sannolikhet har räckt för att omge kärnkraften med en mängd mycket dyra säkerhetsåtgärder.

Om vi bortser från dessa ”unknown-unknowns” kan vi, baserat på vetenskapliga resultat, säga att en temperaturhöjning med exempelvis 10 grader skulle representera ett extremt hot mot civilisationen och det globala ekosystemet. Merparten av jorden skulle hamna i ett klimat som människor helt enkelt inte klarar av. En något lägre temperaturhöjning, 6 grader, kan då beräknas leda till allt från ett mycket obehagligt klimat till ett obeboeligt jordklot. I allra bästa fall kommer våra efterkommande ”bara” att gå miste om många unika arter och ekosystem, och få lägga mycket pengar på klimatanpassning. Men de kan också mycket väl komma att tvingas kämpa för sin överlevnad på en mycket grundläggande nivå, likt exempelvis dagens flyktingar i Mellanöstern eller Somalia.

Ekonomer uttrycker ofta de potentiella kostnaderna för den globala uppvärmningen i termer av minskad produktion. En modell räknar t ex med att 6 graders temperaturhöjning skulle minska den årliga produktionen i framtiden med ca 8 procent, vilket är ungefär de kostnader som stormen Katrina i USA orsakade för staten Louisiana.

Bortser från katastrofrisker

Dessa beräkningar bortser dock från potentiella katastrofala följder. Det är lite som att utgå från att det värsta som kan hända dina barn på väg till skolan är att det regnar, inte att de kan bli påkörda. Om du tänker så, så ser du till att barnen har regnjacka men bryr dig inte om att lära dem trafikvett för att undgå de verkliga katastroferna. Ungefär så begränsade är dagens modeller – de räknar inte med ”farlig trafik” i betydelsen ökade katastrofer av olika slag. Hur skadefrekvensen ser ut för

mycket stora temperaturhöjningar – mer än 6 graders höjning – är det ingen som vet.

Detta är just kärnan i det budskap jag vill förmedla. Klimathotet är ett riskhanteringsproblem där det finns en risk för katastrofala följder för mänskligheten, och denna risk är så hög som 6/100. Vad har detta för betydelse för den ekonomiska analysen och i slutändan för klimatpolitiken? Det har faktiskt en avgörande betydelse, som gör att vi helt behöver tänka om i vårt sätt att analysera klimathotet.

Det vanliga sättet att analysera detta ekonomiskt är att göra det med en så kallad kostnads-nyttoanalys. Det är ett sätt att väga fördelar mot kostnader, där man försöker sätta en prislapp på alla vinster och förluster. Framtida kostnader skrivs ned genom diskontering, dvs att man beräknar nuvärdet av kommande utbetalningar. Den tredje osäkerheten uppstår då vid valet av diskonteringsränta, alltså hur vi ska värdera framtida kostnader jämfört med dem vi drabbas av idag om vi vill minska utsläppen av växthusgaser.

Räntan blir avgörande

Här blir barnet häpet: är det alltså så att era politikers agerande för att undvika att jag, ursäkta, mänskligheten utplånas vilar på något så obetydligt som valet av diskonteringsränta? Ja, detta är utan tvekan den mest banala och förminskande (både bokstavligt och metaforiskt) aspekten av hela klimatdebatten.

Vi kan lägga miljoner på att ta fram globala systemmodeller, borra oss kilometervis ner i den arktiska isen och satsa på utveckling av högteknologiska mätinstrument – och sedan kan alla resulterande fakta och kunskaper omintetgöras av en viftning med en ekonoms penna. För om ekonomerna väljer att räkna ner de framtida kostnaderna med 3 procent per år, så kommer kostnader som ligger 100 år framåt i tiden att te sig obetydliga, även

om de skulle vara väldigt höga i framtiden. Slutsatsen blir då att man kan vänta och se innan man gör något åt utsläppen.

Det krävs därför en omstart i vårt sätt att utvärdera klimatförändring. Klimathotet är inte en fråga om att utvärdera två alternativa användningar av pengar, som i frågan om en kommun ska bygga en ny väg eller en ny skola. I sådana fall passar kostnads-nyttoanalys bra, men här – med de stora osäkerheterna kring klimathotet – bör vi hellre tänka i försäkringstermer.

De allra flesta ansvarsfulla och logiskt tänkande människor tecknar ju en hemförsäkring. Sannolikheten för att ditt hem brinner ned är visserligen liten, men konsekvenserna om det gör det skulle vara katastrofala för din ekonomi om du inte har någon försäkring.

Som en framtida husbrand

Klimathotet kan likställas med en framtida husbrand. En temperaturhöjning med 6 grader kan likställas med att huset brinner ned. 4,5 grader motsvarar att huset får allvarliga skador genom översvämning eller rök, 2,5 grader motsvarar utvändiga stormskador och 1,5 graders temperaturhöjning motsvarar trasiga husållsmaskiner eller andra dyra men inte katastrofala skador.

Precis som vid en hemförsäkring, så är frågan naturligtvis inte *om* vi ska försäkra oss, utan *till vilken grad*. När det gäller klimathotet betalar vi försäkringspremien genom att minska utsläppen av växthusgaser. Den minsta tänkbara premien måste vara den som ger oss möjlighet att undvika en icke obetydlig risk för 4,5 graders värmehöjning. Idag är vi inte försäkrade alls.

Diskussionen antyder hur vi bör förhålla oss till de resultat som våra klimatmodeller genererar. Det finns inget rätt svar, bara mängder med resultat som påverkas av de olika antaganden som görs inför varje analys. Dessa resultat kan jämföras med att vinna på roulett. Alla siffror är potentiella vinnare,

även om bara en siffra kan vinna (vara sann). På samma sätt är alla utfall av en modell, även de mer osannolika utfallen, möjliga och bör därför beaktas. Det är därför fel att ta fasta på ett visst modellresultat och utgå endast från denna "sanning", även om den ter sig som den mest sannolika sanningen.

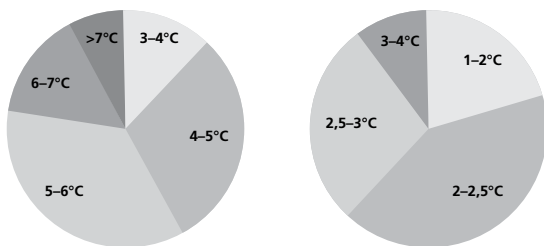
Slumpspel om klimatet

MIT i Boston har en av världens bästa klimatmodeller, som inkluderar både ekonomisk utveckling och växthusgasutsläpp. Forskarna där har börjat presentera sina resultat som ett spel – för klimathotet är ju, vad vi än tycker om saken, faktiskt en sorts slumpspel. För att vinna ett sådant spel måste man känna till reglerna och de möjliga utfallen.

För enkelhetens skull kan vi ställa upp två handlingsalternativ: a) vi bryr oss inte om någon jorden-försäkring utan fortsätter med dagens utsläpp och hoppas på det bästa eller b) vi tar ut en jorden-försäkring genom att omedelbart börja minska våra utsläpp av växthusgaser.

MIT-forskarna gör sedan flera modellsimuleringar med olika antaganden för de ingående värdena, som t ex befolkningstillväxten. Resultaten sammanställs och sannolikheten beräknas för en viss temperaturhöjning i framtiden. I figuren på nästa sida presenteras dessa resultat med hjälp av två diagram - "roulettehjul" - som visar sannolikheten för olika temperaturhöjningar vid de två alternativen.

Det är lätt att konstatera att sannolikheten för katastrofala följder av uppvärmningen inte är obetydlig. Det vänstra hjulet, som visar vad som händer om vi fortsätter med dagens utsläpp, innehåller idel höga värden. Där kan rouletten i värsta fall stanna på över 7 grader – dubbelt så mycket som i tidigare beräkningar från MIT.



Klimatroulett – sannolikheten för en viss förhöjning i temperaturen år 2100 under handlingsalternativen a) inga åtgärder att minska de globala utsläppen (vänstra hjulet) b) en global minskning genomförs (högra hjulet). Källa: MIT.

Med tanke på de potentiellt katastrofala följderna av 6 graders uppvärmning bör det primära målet vara att undanröja en alltför stor risk. Att detta är möjligt visas i det högra hjulet. Där är inget av värdena extremt högt och risken för en katastrof minimal, tack vare att utsläppen börjar minska redan idag. Vilket hjul vill du spela på?

En vanlig invändning mot klimatåtgärder är att det inte är klokt att satsa miljarder på att minska utsläppen av växthusgas när vi inte är säkra på effekterna av att inte göra någonting. Men denna analys leder oss på fel spår i ett spel där insatserna är extremt höga och utfallen kan bara beskrivas i sannolikheter. Det är ungefär som att ifrågasätta om man ska ta på sig bilbältet: vi tar inte på bilbältet för att vi väntar oss en trafikolycka, utan för att minska risken för allvarliga eller dödliga skador om det trots allt skulle bli en trafikolycka.

Blotta risken borde räcka

På samma sätt borde blotta risken för den mänskliga civilisationens undergång pga nuvarande utsläppsnivåer räcka för att vi ska vidta åtgärder för att dramatiskt minska utsläppen. Frågan

om klimathotet borde inte vara om vi ska ta på oss säkerhetsbältet, utan hur starkt säkerhetsbältet bör vara, dvs hur hög försäkring vi ska teckna för framtida generationer.

Här måste vi inrikta oss på att minska utsläppen till för-svarbara nivåer, dvs nivåer som är rättvisa mot framtida generationer i betydelsen att de undanröjer risken för en katastrof. Nationalekonomin erbjuder många sätt att hitta kostnadseffektiva lösningar och designa styrmedel som gör det möjligt att minska utsläppen till lägsta möjliga kostnad. Det går också att hitta styrmedel som uppmuntrar till en ständig strävan efter nya hållbara energikällor och bättre sätt att använda energin, odla maten etc (t ex en global koldioxidskatt).

Som den högra roulettebilden visar är en viss uppvärmning av jordklotet i princip oundviklig. Därför kan ekonomiska metoder användas också för att utvärdera olika anpassningsmöjligheter. En kostnads-nyttoanalys kan användas för att bedöma värdet av att minska utsläppen av växthusgaser bortom de nivåer som klarar oss undan de mest allvarliga riskerna. Men den ska inte ligga till grund för beslutet om vi alls ska agera – där är en ”jorden-försäkring” vårt klokaste alternativ. □

Foto: Charlotte Carlberg Bålg



Mark Brady har disputerat i naturresurs- och miljöekonomi vid SLU. Idag är han utredare hos AgriFood Economics Centre vid SLU samt gästforskare vid Lunds universitets Centrum för miljö- och klimatforskning. Hans forskning är inriktad på modellering av miljö- och klimatförändringars effekter på jordbruket, och hur jordbrukspolitiken kan utformas för att bättre möta framtidens utmaningar både för lantbrukarna och för samhället i stort.

02:

Ursäkta, men hur löd klimatfrågan?

SEBASTIAN GARCZYNA JOHANSSON
ROGER HILDINGSSON

Klimatomställning ses av många som en väg ut ur den hotande klimatkrisen. Problemet är bara att klimatomställning inte är ett entydigt begrepp, varför det i klimatdebatten förekommer olika uppfattningar om hur genomgripande samhällsförändringar som krävs för att begränsa den globala uppvärmningen. Somliga ser en radikal omställning av de ekonomiska och politiska systemen som en nödvändighet, medan andra ser stegvisa reformer inom ramarna för den befintliga ordningen som en möjlig väg framåt. Vad detta innebär för klimatpolitiken diskuteras av statsvetarna Sebastian Garczyna Johansson och Roger Hildingsson.

KLIMATUTMANINGEN beskrivs i debatten på olika sätt. Ofta gestaltas den som ett miljöpolitiskt problem som handlar om att drastiskt minska utsläppen av växthusgaser för att begränsa den globala uppvärmningen. Andra gånger beskrivs den som en samhällsutmaning vars mål är att ställa om till ett kolsnålt samhälle och att anpassa samhället till oundvikliga klimatförändringar.

I frågor om politisk strategi och konkreta åtgärder talas det ofta om *klimatomställning*, en term som reflekterar en väg ut ur de klimatrelaterade problem våra samhällen står inför. Frågan är dock vad som egentligen menas med klimatomställning? Begreppet omges många gånger av orden *långsiktighet* och *hållbara utsläppsnivåer* för att förklara dess innebörd. Men långsiktighet kan betyda olika saker, allt från en nära framtid (2020) till en generation (2050) eller till och med geologiska tidsåldrar. Vad som menas med hållbar nivå är också oklart: när är något hållbart och inte längre ohållbart?

I klimatpolitiska sammanhang förknippas hållbarhet ofta med Klimatkonventionens övergripande mål om att ”undvika farlig mänsklig inverkan på klimatsystemet”. Men även den formuleringen omges av tolkningsutrymme: hur definieras ”farlig mänsklig inverkan”? Ännu mer problematiskt blir det om vi betänker att det finns konsekvenser av mänskligt agerande vi ännu inte känner till, vilket betyder att vi aldrig kan vara säkra på vad som är utan ”farlig inverkan”.

Det så kallade tvågradersmålet har idag etablerats som en dominerande politisk uttolkning av var gränsen för ”farliga” eller icke-acceptabla klimatförändringar går. Men tvågradersmålet vilar inte på någon exakt vetenskap, utan är en politisk konstruktion för att ange ett långsiktigt inriktningsmål för klimatpolitiken. Detsamma gäller visionen om ett Sverige utan nettoutsläpp år 2050, vilket anges i den svenska klimatpropositionen. Även om sådana mål pekar i riktning mot vil-

ka utsläppsnivåer klimatomställningen bör bidra till lämna de utrymme för tolkningar och oklarheter, då ett och samma begrepp kan ha olika mening.

En nyckel till framgångsrikt klimatarbete kan i så fall vara att i möjligaste mån samla de inblandade aktörerna kring en gemensam tolkningsram och därmed ge ett visst begrepp samma innebörd. Politiken karaktäriseras dock inte alltid av konsensus utan av konflikter, inte bara på policymässig utan också på idémässig, begreppslig och språklig nivå. Detta försvårar förutsättningarna för politiskt beslutsfattande och genomförande av, i detta fall, klimatomställningen. I detta kapitel belyser vi betydelsen av att analysera olika idéstrukturer och uppfattningar (s k diskurser) i den klimatpolitiska policydebatten för att bättre förstå villkoren för politisk styrning och handling.

Klimatpolitikens inramning

En nyckel till att förstå klimatdebatten är att vara medveten om förekomsten av olika problemdefinitioner och begrepps- uppfattningar. Eftersom klimattermer, i likhet med andra politiska begrepp, sällan har fixerade betydelser kan samma ord ha olika mening för olika aktörer. Det finns exempelvis anledning att misstänka att den som ser en konflikt mellan ekonomisk tillväxt och miljöhänsyn uppfattar begreppet "klimatomställning" på ett annat sätt än den som inte gör det. Uttolkningar av begrepp som "hållbar utveckling" och "långsiktighet" kan förstås på samma sätt.

För att förstå de svårigheter som kan uppstå i debatter om klimatpolitikens utformning är det därför viktigt att beakta hur olika problemuppfattningar påverkar hur olika aktörer tolkar det språk och de begrepp som används. Så kan exempelvis "minskade utsläpp från transporter" ha innebörden att vi behöver utveckla mindre utsläppsgenererande transportsätt inom

ramen för det befintliga transportsystemet, men det kan även innebära att vi behöver minska de faktiska transporterna och anpassa oss till ett samhälle med lägre grad av transportarbete. I det första fallet är bränslesnålare fordon och alternativa drivmedel lösningen, i det senare fallet endast *en del* av lösningen då vi också behöver minska efterfrågan på transporter.

En metod för att undersöka grunden till och logiken bakom olika uppfattningar och argument är diskursanalys. Ordet diskurs kan enkelt förklaras som samtalsordning, tolkningsram eller en samling idéer enligt vilka vi kategoriserar världen. Det handlar då om de idé- och begreppsmässiga utgångspunkter som skapar mening åt en viss uppfattning.

Som ett exempel kan två olika diskursiva synsätt illustreras med den heliocentriska respektive geocentriska världsbilden (att solen resp jorden står i centrum för universum). En aktör med heliocentrisk världsbild har svårt att förstå den geocentriskt övertygade. Båda kan använda begreppet ”universums mitt”, men de menar vitt skilda saker. På samma vis kan en klimatskeptiker och en fanatisk miljökampe båda tala om ”hållbar utveckling”, utan att mena samma sak. Inte konstigt att de har svårt att komma överens – de förstår ju inte varandra.

Statsvetaren John Dryzek, professor i politisk teori och miljöpolitiskt tänkande, har utvecklat ett användbart ramverk för att kartlägga och förstå miljöpolitiska diskurser om samhällsförändring utifrån två huvuddimensioner. I den första dimensionen skiljer han mellan *vardagliga* uppfattningar, som tar dagens samhällssystem för givna, och *imaginära*, som ser bortom rådande samhällsstrukturer. Den andra dimensionen *reformism/radikalism* står för graden av förändring. Reformism innebär små, stegvisa förändringar, medan radikalism betyder omfattande och genomgripande samhällsförändringar.

Med utgångspunkt i dessa dimensioner placerar Dryzek in

olika typer av miljödiskurser i fyra huvudkategorier. De första två ser det som möjligt att lösa miljöproblem inom ramen för den rådande samhällsordningen. *Problemlösande* diskurser står för synen att detta bör ske genom reformer och stegvisa förändringar, medan *överlevnadsdiskurser* ser behov av mer radikala och långtgående förändringar. Diskurser för *hållbar utveckling* framhåller behovet av nya metoder och strategier för teknik- och beteendeförändringar för att reformera etablerade modeller för samhällsutveckling, medan *grönradikala* diskurser ser genomgripande strukturförändringar av dagens samhällssystem som helt avgörande för att komma till rätta med de underliggande orsakerna till miljöförstöring.

Dimensioner	Reformism	Radikalism
Vardaglig	Problemlösning	Överlevnad
Imaginär	Hållbar utveckling	Grönradikal

Figur 1. Dryzeks analysmall för miljöpolitiska diskurser.

Med hjälp av Dryzeks ramverk går det att kartlägga diskurser och analysera hur de förhåller sig till varandra. En sådan medvetenhet om skillnader mellan olika diskurser är värdefull för att förstå problemuppfattningar och positioner i samhällsdebatten och därmed förutsättningarna för politiskt agerande. Att analysera de tolkningsramar och logiker som ligger till grund för olika uppfattningar kan tydliggöra varför miljö- eller klimatpolitiken utvecklats i en viss riktning, eller hur miljöproblem som klimatförändringar kan hanteras, och vilka samhällsutmaningar som förknippas med olika strategier. Genom att kartlägga den idémässiga och begreppsliga inramningen av ett visst policyproblem kan diskursanalysen på så vis fördjupa förståelsen av villkoren för politisk samhällsstyrning.

En viktig insikt är att det politiska handlingsutrymmet begränsas inte bara av institutionella trögheter och spårbundenhet orsakade av tidigare policyutveckling, utan även av hur problem definieras och lösningar gestaltas i policykretsar och samhällsdebatt. Den diskursiva inramningen förklarar vad som anses som möjliga eller överhuvudtaget tänkbara handlingsvägar och strategier, och varför vissa lösningar tenderar att dominera över andra. Omvänt kan det hjälpa oss att förstå varför vissa policyförslag definieras bort och inte bedöms som politiskt genomförbara om de står i konflikt med dominerande diskurser och etablerade uppfattningar.

Vissa diskursanalytiska teorier fokuserar på hur samhällsliga konflikter återspeglas i policydebatten och kommer till uttryck i offentlig policy. Så har exempelvis den holländske statsvetaren Maarten Hajer framhållit hur policydiskurser och det sätt på vilket aktörer talar om specifika policyproblem både formar och formas av etablerade uppfattningar om samhällsutmaningar och synsätt på politikens och samhällstyrningens roll. I ett sådant perspektiv är policy meningsskapande och policy-

utveckling ett led i en ständigt pågående kamp om tolkningsföreträde. Policyprocesser kan därmed förstås som mer eller mindre medvetna försök att samla samhällsaktörer kring en viss uppfattning (diskurs) eller vissa begreppsdefinitioner och att etablera och institutionalisera denna diskurs i en policypraktik.

Svenska och skånska klimatkurser

I en aktuell studie med samma namn som detta kapitel analyseras Skåneregionens klimatarbete och de uppfattningar som bär upp regionala klimatsstrategier. Studien visar att det finns en någorlunda etablerad enighet om problembilden, nämligen att människans historiska och nuvarande utsläpp ger en ökande temperatur som kommer att förändra det framtida klimatet och leda till ekonomiska kostnader för samhället. För att begränsa de ekonomiska skadorna krävs att uppvärmningen begränsas genom kraftigt minskade utsläpp, vilket i sin tur förutsätter mer eller mindre genomgripande samhällsförändringar, det vill säga en klimatomställning.

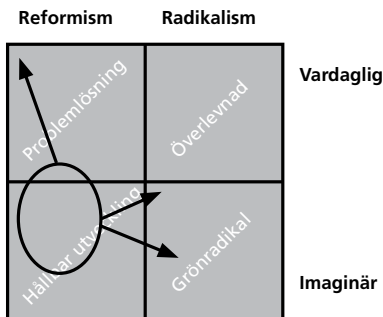
En nyligen genomförd intervjustudie av nationella policyaktörers och beslutsfattaresh uppfattningar om klimatpolitikens utveckling i Sverige ger en liknande bild av förutsättningarna för en svensk klimatomställning. I stora drag framkommer samma uppfattningar om klimatproblematiken och behovet av en långsiktig klimatomställning. Slutsatserna skiljer sig dock åt i sina motiveringar, och det finns olika syn på hur man lämpligast främjar och styr genomförandet av en sådan samhällsomställning. Dessa båda studier visar att klimatomställning har olika betydelser och hur det påverkar hur den klimatpolitiska styrningen utformas och utvecklas.

I Skåneregionen går det att identifiera tre olika klimatkurser. Den första av dessa kommer till uttryck i exempelvis offentliga policystrategier från Region Skåne och Länsstyrelsen i

Skåne. Policydiskurser som reflekteras av sådana offentliga aktörer är särskilt viktiga eftersom de har stor betydelse för hur klimatarbetet gestaltas och utformas.

I den etablerade skånska policydiskursen beskrivs hur progressivt klimatarbete ger såväl ekonomiska som sociala vinster. Det bedöms således råda ett positivt "win-win"-förhållande mellan miljö och ekonomisk tillväxt, ett förhållningssätt som brukar beskrivas i termer av ekologisk moderniseringsdiskurs. Enligt detta synsätt kan miljöinsatser "löna sig" genom att bidra till teknikutveckling och innovation; det som inte är lönsamt idag kan på så vis bli det i morgon. Marknadskrafterna kan utnyttjas i miljöomställningen, samtidigt som samhällsplaneringen kan underlätta ett miljöanpassat agerande. Inga större förändringar av dagens samhällsstrukturer är nödvändiga, och det är inte tal om någon egentlig omställning eftersom miljöanpassning kan vara ekonomiskt lönsamt och socialt hållbart och möjligt att åstadkomma inom ramen för den rådande samhällsordningen.

Om vi utgår från Dryzeks ramverk kan man illustrera hur olika klimatpolitiska diskurser i Skåne förhåller sig till varandra på följande sätt (se figur 2):



Figur 2. Klimatdiskurser i Skåne-regionen.

Den stora ringen visar den etablerade policydiskursen, medan pilarna illustrerar hur dominerande uppfattningar utmanas av alternativa diskursiva yttringar som drar mer mot det "vardagliga" respektive det "radikala" hållet, uppfattningar som förekommer bland såväl lokala och regionala politiker som inom näringslivet och miljörörelsen.

Den mer "vardagliga" diskursen karakteriseras av en "business-as-usual"-hållning. När det ekonomiskt lönsamma och det ekologiskt hållbara inte sammanfaller ges prioritet åt ekonomiska värden, eftersom ensidigt fokus på miljövärden anses kunna ge negativa ekonomiska följder som arbetslöshet eller stigande matpriser. Intresset för själva klimatfrågan är därmed tämligen svalt, men i de fall det ekologiskt hållbara är samhälls-ekonomiskt lönsamt bör det genomföras.

Den mer "radikala" diskursen ser en konflikt mellan ekonomisk tillväxt och miljö. Det betyder att det ekonomiska systemet måste förändras. I sin mest imaginära och systemkritiska version ses klimathotet som akut överhängande och kräver därför stora uppoffringar och förändringar redan idag. Det är inte endast en ökande temperatur som är bekymrande, utan även sinande energiresurser såsom olja. Det är därför viktigt att ställa om samhället och anpassa det till en värld mindre beroende av ändliga resurser. Dessutom ifrågasätts hur välstånd mäts i materiella och monetära termer, och det finns en grundläggande kritik av det tillväxtekonomiska paradigmet.

I en mer "vardaglig" form av den radikala diskursen accepteras dock det ekonomiska systemet och ses som ett verktyg genom vilket det går att locka fram miljöanpassade beteenden. Det handlar om att genom styrmedel och samhällsplanering göra ekologiskt hållbara åtgärder lättillgängliga, enkla och billiga. På så vis skapas en sorts artificiell "win-win"-situation, vilket karaktäriserar mycket av svensk hållbarhetsdiskurs i övrigt.

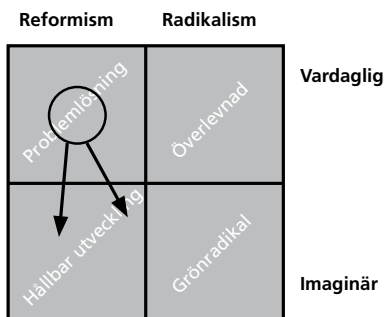
Ett liknande mönster av kontrasterande uppfattningar och policydiskurser återfinns även på nationell nivå. Den tidigare nämnda studien av klimatpolitiska beslutsfattare och andra policyaktörer på departement, myndigheter och organisationer i Sverige visar prov på skilda uppfattningar om klimatomställningen. Detta har återverkningar på vilka policystrategier som ses som centrala för att främja en klimatomställning. Ett tydligt exempel är den tilltagande betoningen av ekonomiska och marknadsbaserade styrmedel, som alltsedan koldioxidskattens införande i början av 1990-talet utgjort ett dominerande inslag i den svenska klimatpolitiken. Medan vissa ser generella ekonomiska styrmedel såsom skatter och utsläppshandel som den enskilt viktigaste strategin för att "sätta rätt pris" på koldioxidutsläpp, ifrågasätter andra om ett högt koldioxidpris ensamt är nog för att stimulera teknikutveckling, innovation, investeringar och beteendeförändringar i den utsträckning som behövs för att främja en långsiktig klimatomställning.

Även om den svenska klimatpolitiken vilar på en bred konsensus om en progressiv miljöpolitik som kan förena ekologiska och ekonomiska hänsyn, pekar dessa olika uppfattningar mot en mer grundläggande konflikt i synen på samhällsstyrningens roll i klimatomställningen. Trots att ordet klimatomställning etablerades redan i 2009 års Klimatproposition beklagar många aktörer bristen på långsiktighet och avsaknaden av ett "omställningstänk" i den förda klimatpolitiken. När det kommer till frågor om klimatpolitiken på längre sikt, bortom 2020, ser vi också snarare prov på konflikt än på konsensus mellan två versioner av ekologisk moderniseringsdiskurs. Dessa värdesätter visserligen båda en progressiv klimatpolitik, men skiljer sig åt i synen på hur den klimatpolitiska styrningen bör utformas.

Den idag dominerande uppfattningen avspeglar en vardaglig, reformistisk diskurs influerad av en syn på ekonomins

funktionssätt som värderar samhällsekonomisk (kostnads-) effektivitet i genomförandet av klimatpolitiken och som orosas över risken för snedvridningar i konkurrensen och välfärdsförluster i den befintliga ekonomin till följd av klimatpolitiska insatser. Enligt detta synsätt kan alltför ambitiösa klimatpolitiska styrmedel och åtgärder i förhållande till omvärlden äventyra ekonomins konkurrenskraft och tillväxt. Denna logik ligger bakom mycket av den förstärkta inriktningen på generella och teknikneutrala ekonomiska styrmedel och tveksamheten till riktade satsningar och tekniks specifika stöd, om de inte motiveras av marknadsmisslyckanden.

Denna diskurs utmanas av mer imaginära men reformistiska uppfattningar om behovet av en mer aktiv och ambitiös samhällsstyrning för att förändra och avkarbonisera den nuvarande ekonomin. Sådana alternativa policydiskurser betonar nödvändigheten av att utnyttja en bredare uppsättning styrmedel och åtgärdsstrategier för att komplettera mekanismerna för koldioxidprissättning, om vi ska främja de omställningsprocesser och få till stånd de systemförändringar som krävs för att nå långsiktiga klimatmål. Dessa policydiskurser vilar på delvis skilda uppfattningar om tilltron till teknik- respektive beteendeförändringar, men överlag framhålls behovet av en mer offensiv politik för teknikutveckling, infrastrukturinvesteringar och samhällsplanering.



Figur 3. Den svenska klimatpolitiska policydiskursen.

Lärdomar för omställningspolitiken

I detta kapitel har vi översiktligt visat hur olika diskurser vilar på skilda uppfattningar om klimatutmaningen och hur denna problematik ska bemötas. Klimatomställning är ett samlingsord för att beskriva hur samhället bör hantera klimatproblemet, men dess mening varierar beroende på diskursiv utgångspunkt. Termen klimatomställning är med andra ord en s k ”flytande signifikant”, vars begreppsliga innebörd inte fixerats. Trots att många använder samma språkbruk när de diskuterar lösningar på klimatproblematiken, så betyder klimatomställningen därför olika saker för olika samhällsaktörer. Detta får återverkningar på hur det politiska handlingsutrymmet uppfattas i form av vad som anses vara möjligt att åstadkomma och vad som är lämpliga medel för en effektiv klimatpolitisk styrning.

På regional nivå framkommer det hur radikala diskurser betonar vikten av politisk styrning och en aktiv samhällsplanering, medan den vardagliga diskursen ser en risk för att offentliga styrmedel kan göra enskilda initiativ, framförallt från företag,

olönsamma (t ex genom att subventionera vissa tekniker och på så vis snedvrider konkurrensen). Därmed präglas den vardagliga diskursen av en rädsla att ta nya initiativ.

Båda diskurserna är på så vis beroende av klimatpolitisk styrning. Vad som efterfrågas är tydliga och långsiktiga spelregler, ett begrepp som enar den radikala och vardagliga diskursen (som annars har väldigt lite gemensamt). Många anser att långsiktighet saknas i dagens klimatpolitik. Detta leder i värsta fall till att det politiska systemets kapacitet att hantera klimatfrågan ifrågasätts, vilket kan få konsekvenser för klimatpolitikens trovärdighet framöver.

En grundläggande skillnad mellan de identifierade diskurserna gäller förhållandet mellan miljö och ekonomi. Sammanfaller dessa intressen krävs inga större förändringar av de ekonomiska eller politiska strukturerna, utan klimatomställning kan ses som en möjlighet att minska utsläppen inom ramar för den befintliga samhällsordningen. Mer radikala diskurser delar dock inte detta perspektiv, utan ser strukturella förändringar av det ekonomiska systemet som en grundförutsättning för en klimatomställning.

Gemensamt för samtliga diskurser är att de av ekonomiska eller ekologiska skäl eftersträvar en minskad och icke kolberoende resurs- och energianvändning. Det är i synen på vägen till minskad resurs- och energianvändning som de skiljer sig åt, inte i själva definitionen av klimatproblemet. Att tala om klimatomställning blir ett sätt att beskriva den vägen. Begreppet klimatomställning kan därför betyda allt från radikala omställningar av både det ekonomiska och politiska systemet till vardagliga reformer för att upprätthålla status quo.

Problemet är att det finns en misstro mot det politiska systemets kapacitet att hantera och främja olika handlingsvägar, samtidigt som det saknas några egentliga alternativ – och detta

samtidigt som den dominerande policydiskursen inte behandlar sådana problem. Därtill finns det en splittring i synen på politisk samhällsstyrning och dess betydelse. Det innebär att graden och vikten av styrmedel varierar när begreppet klimatomställning används för att politiskt beskriva klimatarbetet. Det försvarar i sin tur arbetet med att införa långsiktiga spelregler. En följd av sådana skilda uppfattningar är att klimatbegrepp får olika betydelser. Dessa begrepp kan inte användas hur som helst, då riskerar de att bli betydelselösa. Som framgår av kapitlet handlar därför en central del av politiken om att definiera vad som menas med vissa ord eller begrepp, i detta fall klimatomställningen.

Idag är det svårt att föreställa sig hur ett land utan nettoutsläpp (eller med nollutsläpp) kan se ut, eller vad det egentligen kräver av medborgarna, och det saknas en bild av vägen till ett samhälle utan klimatutsläpp år 2050. Därmed blir tolkningsramarna väldigt vida vilket får till följd att ordet klimatomställning egentligen inte betyder något alls – alla skriker klimatomställning men springer åt olika håll.

För att etablera ett fungerande samarbete i klimatarbetet ligger alltså utmaningen i att få samhällets aktörer att tala samma språk och mena någorlunda samma sak. Konflikten handlar inte om målet – att minska utsläppen väsentligt genom minskad resursanvändning och en avkarboniserad samhällsekonomi – utan om vilka medel som står till buds. Det kan alltså vara hög tid att ägna mindre uppmärksamhet åt att definiera klimatmål eller klimatvisioner, och i stället fokusera på vägen: att definiera klimatomställningen och hamra ut dess mening i termer av politisk handling och strategi. □

Sebastian Garczyna Johansson är statsvetare med tvärvetenskaplig inriktning och med en masterexamen i tillämpad klimatstrategi från Lunds universitet. I sin masteruppsats fokuserade han på fragmenteringen i klimatdebatten ur ett diskursanalytiskt perspektiv. Han har även studerat hur Miljöpartiet har förändrats ideologiskt sedan dess intåg i riksdagen.

Roger Hildingsson är doktorand i statsvetenskap vid Lunds universitet med inriktning mot miljö- och klimatpolitik. Hans forskning handlar om styrningsproblem förknippade med strategier för klimatomställning och genomförandet av långsiktiga klimatmål. Han har även studerat EUs politik för förnybar energi och hur hållbarhetsdiskursen institutionaliserats i den svenska miljöpolitiken.



03:

Anpassning i städer

CHRISTINE WAMSLER

Städer har historiskt sett varit platser dit människor sökt sig för att få skydd undan faror och hot av olika slag, inklusive från extrema väderförhållanden. Men våra städer är inte planerade för klimatförändringen och den ökning i klimatvariationer och klimatrelaterade extrema händelser som den för med sig. Dessa innefattar bland annat värmeböljor och skyfall, översvämningar och tillfällen med höga havsvattenstånd, som i sin tur väntas utlösa ras, strömbomb, störningar i mat- och vattenförsörjningen och skador på infrastruktur. Sådana händelser kan få extra kännbara följder i städer. Christine Wamsler från Lunds universitets centrum för hållbarhetsforskning LUCSUS granskar hur städer bäst kan stödja och utnyttja myndigheternas och medborgarnas förmåga att möta riskerna.

KLIMATFÖRÄNDRINGAR och tillhörande naturolyckor utgör en allvarlig utmaning för hållbar stadsutveckling. Under de senaste trettio åren har antalet naturolyckor nästan fyrdubblats, och det finns en utbredd enighet om att deras förekomst i städer ökar exponentiellt.

Historiskt sett har städer uppfattats som tillflyktsorter undan katastrofer och miljöförändringar. Detta är fortfarande en vanlig uppfattning, trots att dagens städer snarare kan beskrivas som extra utsatta och sårbara för naturolyckor och klimatvariationer.

Kommuner och stadsförvaltningar står därför inför utmaningen att hitta sätt att inkludera anpassningsstrategier i sitt arbete. Regeringens Klimat- och sårbarhetsutredning konstaterar i sitt slutbetänkande "Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter" att Sverige i hög grad kommer att påverkas av klimatförändringarna. Några exempel är ökade risker för ras, skred och erosion, samt skador på bebyggelse och infrastruktur till följd av stigande havsnivåer, översvämmade avloppssystem och översvämningar i sjöar och vattendrag.

Rapporten slår även fast att det är nödvändigt att genast börja anpassningen till klimatförändringarna i Sverige, och att kommunerna har ett stort ansvar för att anpassa den fysiska planeringen så att risker för naturolyckor minskas både i dagens och i morgondagens klimat. Man föreslår också att länsstyrelserna får en drivande roll och uppgiften att koordinera klimatanpassningsarbetet i respektive län.

Men vad menar vi med anpassning? Och hur kan städer bättre anpassas till att bli mer motståndskraftiga mot naturolyckor?

Vad innebär naturolyckor och anpassning?

Enkelt uttryckt är naturolyckor en följd av samspelet mellan å ena sidan så kallade hot eller riskkällor, och å andra sidan utsatta förhållanden, ofta kallat sårbarhet. Det finns både klimat-

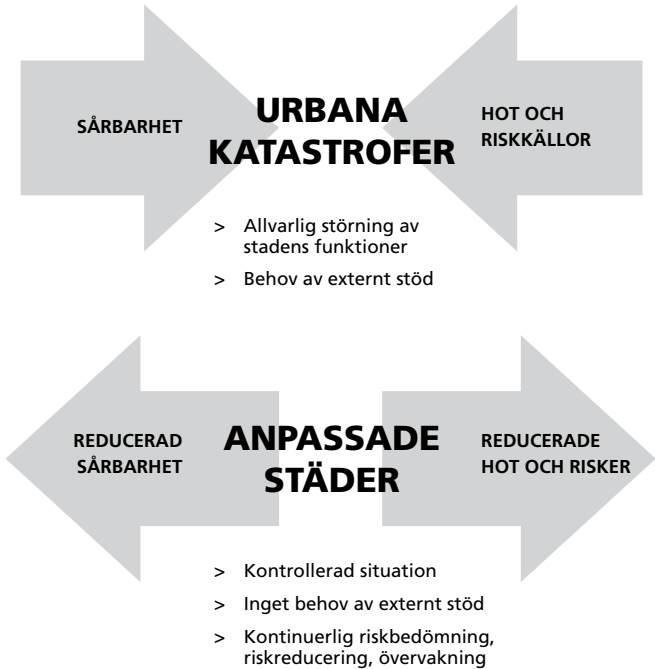
relaterade och icke-klimatrelaterade hot och riskkällor. Till dem som påverkas av klimatförändringarna räknas översvämningar, stormar, torka, bränder, värmeböljor, stigande havsnivåer, jordskred och ras. Icke-klimatrelaterade hot och riskkällor är till exempel jordbävningar och vulkanutbrott.

Hot och riskkällor orsakar dock inte naturolyckor på egen hand. Det är först när hot kombineras med sårbarhet som naturolyckor uppstår, det vill säga när de drabbar människor och områden som är känsliga för deras skadliga effekter. Ordet ”risk” i det här sammanhanget betyder sannolikheten för att något ska inträffa, till exempel ett ras eller skred, multiplicerat med effekten av det inträffade.

En ”motståndskraftig stad” är alltså en stad som kan hantera och återhämta sig från effekterna av en föränderlig och ibland farlig miljö, inklusive mindre och större, klimat- och icke-klimatrelaterade naturolyckor. Man strävar därmed efter att återfå stadens historiska funktion som platser där medborgarna kan finna säkerhet och skydd.

Mer konkret kan en motståndskraftig stad beskrivas som en stad som lyckats genomföra eller stödja anpassningsåtgärder för att stärka individers, hushålls, kommuners och institutioners förmåga att:

- > Minska eller undvika befintliga och framtida hot – till exempel genom att undvika att bygga i områden med högre risk, eller flytta viktiga samhällsfunktioner, som skolor, till områden med lägre risk.
- > Minska sårbarheten för befintliga och framtida hot – till exempel genom att minska antalet hårdgjorda ytor i staden, som asfalt och betong, och lämna plats för grönområden som kan svämmas över utan att orsaka större skador, för att därmed minska effekten av översvämningar.



Den övre bilden i figuren visar hur hot och riskkällor interagerar med sårbarhet i städer, och leder till allvarliga störningar och behov av externt stöd. Den nedre bilden visar klimatanpassade städer, där man kontinuerligt arbetar med att reducera både sårbarhet och hot. Man arbetar alltså både med att minska sannolikheten för att något skall inträffa, och begränsa effekterna av en eventuell naturolycka. Detta ger större motståndskraftighet och förmåga att hantera olyckor och katastrofer utan externt stöd.

- > Se till att det finns fungerande och flexibla mekanismer och strukturer för katastrofinsatser och beredskap – till exempel genom att ha en välfungerande räddningstjänst och procedurer för att nå ut med relevant krisinformation för att bistå människor under själva naturolyckan.
- > Se till att det finns fungerande och flexibla mekanismer och strukturer för återställning efter en naturolycka eller katastrof – till exempel genom försäkring av egendom, eller system för hur drabbade kommuner kan få olika sorters ersättning av staten.

Den första anpassningsåtgärden riktar sig direkt mot hot och riskkällor, medan följande tre syftar till att minska sårbarheten hos städerna och deras invånare. Alla anpassningsåtgärder måste baseras på kontinuerlig övervakning och riskbedömning, samt kunna utvecklas i takt med nya lärdomar och erfarenheter. Det bör även läggas lika stor vikt vid sårbarhetsfrågor som vid utvärdering av hotbilder och riskmönster.

En förutsättning för att kunna uppnå målet med en motståndskraftig stad och en trygg stadsmiljö är att myndigheter, kommuner, landsting och andra urbana aktörer lyckas integrera klimatanpassningen i stadplaneringen på alla nivåer på ett hållbart och långsiktigt sätt. Här är just begreppet ”integrering” en vanlig källa till missförstånd, vilket ofta innebär ett stort hinder på vägen. För att kunna genomföra en integrerad klimatanpassning måste myndigheter och urbana aktörer förändra sitt dagliga arbete, och se över sina organisationers ledning och funktion i syfte att:

- > Se till att deras verksamhet inte ökar riskerna, och om möjligt i stället minskar dessa – till exempel genom att använda en robustare byggteknik för den grundläggande infrastrukturen.

- > Göra klimatanpassning till standard i all offentlig verksamhet – till exempel genom att revidera planeringsverktyg och lagar så att offentliga byggprojekt endast godkänns om de innehåller element av riskreducering, och se över verktygen för miljöriskbedömning och konsekvensanalyser.
- > Se till att den egna organisationens verksamhet fungerar under katastrofer och i ett föränderligt klimat – till exempel genom att se över hur organisationens lokaler är utformade, utarbeta planer för evakuering, se till att det finns alternativa kommunikationsvägar och att viktiga dokument finns lagrade på alternativa platser.
- > Samarbeta med andra för att skapa ett fungerande system med samordning på alla nivåer för att hantera risker i städerna – till exempel genom att skapa nätverk och nätportaler för kunskapsutbyte mellan olika urbana aktörer, och samarbeten mellan myndigheter och universitet för att minska avståndet mellan forskning och politik.

Medborgare och andra aktörer bör bli mer delaktiga

Historiskt sett har människor alltid hanterat och anpassat sig till risker i sin omgivning, till exempel genom säsongsbunden migration eller genom att försöka förutsäga extrema väderhändelser utifrån färgen på moln och djurs beteende. Trots det finns det i dagens städer mycket få exempel på när medborgares och myndigheters olika insatser och anpassningsåtgärder helt stödjer och kompletterar varandra.

Myndigheternas löpande anpassningsarbete är oftast begränsat och fokuserar till större delen på tekniska aspekter, som till exempel dagvattenhantering. Även om sådana åtgärder är värdefulla, innebär det att tyngden läggs på fysiska aspekter med planering och åtgärder enligt direktiv uppifrån. Därmed görs inte invånarna direkt delaktiga, och det tas liten eller ingen hänsyn till

deras anpassningskapacitet. Det finns i själva verket idag inga väl-utvecklade metoder eller verktyg för att analysera den lokala anpassningskapaciteten eller för att involvera medborgarna direkt.

När det gäller medborgarnas eget anpassningsarbete kan man i utvecklade länder identifiera en rad olika strategier för riskhantering, se exempel i tabellen på nästa uppslag. Men i motsats till hur det ser ut i utvecklingsländernas städer är graden av engagemang hos medborgarna i de utvecklade länderna generellt sett låg. Detta är olyckligt, eftersom allt mer talar för att det kan vara de privata initiativen till anpassning som ger störst effekt när det gäller att minska skadornas omfattning vid en naturolycka. Medborgarnas låga engagemang kan härledas till ett starkt förtroende för myndigheter och offentliga tjänster. För att citera Lykke Leonardsen, chef för avdelningen för strategisk planering vid Köpenhamns stad:

”Eftersom vi har en så god offentlig service, förväntar sig folk alltid att myndigheterna ska lösa alla de problem de ställs inför, snarare än att de ska behöva vidta åtgärder själva.”

Ett exempel är hur medborgarna handlade efter de skyfall som 2011 drabbade Köpenhamn. Trots att hälften av invånarna i Köpenhamns stad upplevde någon form av skada, var det bara 15 procent som vidtog åtgärder för att skydda sig inför nästa skyfallssäsong. Ett liknande fall är när Manchester drabbades av översvämningar år 2006, då endast cirka en fjärdedel av offren efteråt engagerat sig i någon form av åtgärd för bättre anpassning. Liknande låga siffror redovisas från Helsingborg efter det att stormen Berit, med vindhastigheter som nådde orkanstyrka, drog in i december 2011 och lämnade över 60.000 hushåll utan el.

Försäkringar räcker inte

Medborgarnas vanligaste strategi för att möta riskerna är i allmänhet att teckna en försäkring. Forskning från Sverige, Dan-

mark och Storbritannien visar att medborgarna har en tendens att se försäkringar som allt skydd de behöver, och som den mest effektiva åtgärd de kan ta till. Effekten av försäkringar i samband med klimatförändringar är dock ifrågasatt. Om fler och fler medborgare utsätts för hög risk visar erfarenheter att premierna ökar drastiskt, och att svårt utsatta till och med kan nekas försäkringsskydd.

För att göra saken värre, kan medborgarnas och myndigheternas ansträngningar och anpassningsåtgärder även hindra eller motverka varandra. De värmeböljor som drabbade Chicago 1995 och New York City under 2011 visar tydligt hur detta kan leda till kontraproduktiva resultat. Erik Klinenberg, som författat en bok om följderna av katastrofen i Chicago, skriver så här:

”Hög efterfrågan på el orsakade strömbrott, och stora delar av staden blev utan vatten när invånarna öppnade brandposter för att kyla ner sig och sedan hamnade i bråk med stadens tjänstemän som försökte stänga dem.”

”I New York kör poliser med högtalare längs gatorna och ber folk att dra ner sin luftkonditionering under dagen. Elnätet kan inte hantera det.”

Situationen blir ännu mer oroande då de förändrade klimatförhållandena också minskar myndigheternas kapacitet att möta riskerna genom att försvaga effektiviteten hos de åtgärder som är avsedda att tillämpas vid kända ”vanliga” och mer ”förutsägbara” faror och tillhörande effekter. Sverige är inget undantag från detta.

Forskning för att uppnå en mer hållbar anpassning

Medan det finns omfattande forskning kring myndigheternas medel och verktyg för anpassning, så saknas det nästan helt forskning om anpassningskapaciteten hos individer och hushåll. I Sverige har denna kunskapslucka också uppmärksamats av Klimat- och sårbarhetsutredningen och Naturvårdsverket. Rap-

Tabellen ger exempel på strategier för riskhantering som används framför allt av medborgarna i utvecklade länder.

	Minska och undvika hot och riskkällor	Minska sårbarhet	
Översvämning och stigande havsnivåer	Dammbyggen (t ex av jordvallar) Flytta till säkrare plats	Öka tröskelhöjden för dörrar Ta bort eller flytta elkablar till högre höjd Förbättra avrinning och dränering Ta bort stenar ur markbeläggningen för att låta vatten rinna undan	
Värmeböljor	Flytta till säkrare/kallare plats	Måla tak vita Plantera träd för skugga	
Stormar	Använda växter eller byggnader som vindskydd	Förankra lösa föremål eller flytta dem inom hus inför stormar	

	Beredskap i förebyggande syfte	Beredskap för återhämtning	Outnyttjad kapacitet (oberoende av risktyp)
	Köpa en vattenpump Lagra proviant, till exempel konserver Köpa produkter för skydd mot översvämningar – som snabbmonterade luckor till dörrar och portar som blockerar vattenintrång	Teckna en katastrofförsäkring Dela resurser med grannar, till exempel vatten och kokmöjligheter (spontant eller planerat)	Skapa lokala organisationer och sammanslutningar som skulle kunna ge katastrofhjälp och stöd till sina medlemmar, eller fungera som en plattform för ökat inflytande inom riskrelaterat beslutsfattande i närmiljön TV, radio och mobiltelefoner kan användas som kanaler för varningar, kampanjer etc
	Gå en första-hjälpen-kurs Köpa en elektrisk luftkonditioneringsapparat och/eller en fläkt		Befintliga lokala miljögrupper som skulle kunna engagera sig i anpassning
	Installera en alternativ värmekälla (som inte är beroende av elektricitet), till exempel en kamin eller annan eldstad	Teckna överenskommelser med lokala lantbrukare som kan bistå med redskap och röja undan hinder från vägar, laga skador, etc	

porter från båda dessa visar att det saknas kunskap om social sårbarhet och kapacitet för anpassning på lokal nivå, trots att just sådan kunskap är avgörande för om vi framgångsrikt ska kunna anpassa oss till klimatförändringarna.

Mot denna bakgrund har ett nytt forskningsprojekt inletts vid LUCSUS, Lunds universitets centrum för studier av uthållig samhällsutveckling. Syftet är att skapa kunskap om möjligheterna med ett system som bättre fördelar riskhanteringen mellan medborgare och myndigheter. I ett sådant system skulle institutionella respektive lokalt förankrade strategier för anpassning till klimatförändringar stödja och komplettera varandra.

Forskningen bygger på hypotesen att ett holistiskt samarbete mellan olika instanser, där man förenar metoder som initieras uppifrån med metoder och åtgärder som initieras på gräsrotsnivå, har större sannolikhet att ge ett flexibelt och framgångsrikt system för städers anpassning till nuvarande och framtida risker. Bland annat kommer följande frågeställningar behandlas:

- > Hur skiljer sig strategierna för klimatanpassning mellan olika kommuner idag?
- > Involverar de aktivt olika intressenter, samt medborgare som bor i riskzonen?
- > Tar strategierna hänsyn till den lokala kapaciteten för klimatanpassning?
- > Hur ser gränsdragningen ut, rättsligt och praktiskt, mellan det institutionella och det individuella ansvaret?
- > Vilken kapacitet för anpassning, och vilken attityd gentemot säkerhet, finns hos individer och hushåll idag – eller skulle kunna utvecklas?
- > Påverkas medborgarna av sin livsstil, till exempel av den typ av byggnad de bor i?
- > Vad kan och vill medborgarna bidra med för att förebygga

och minska påverkan av potentiella naturolyckor?

- > Hur skulle medborgarna och deras kapacitet bättre kunna stödjas, och vilka incitament skulle kunna användas för att de ska skaffa sig nya färdigheter?

Forskningen kommer att bedrivas i samarbete med olika svenska kommuner, och även engagera medborgare i områden utsatta för klimatvariationer och klimatförändringar. Hot som kommer att utvärderas är bland annat översvämningar och värmeböljor.

Det finns mycket att lära från bland annat Danmark, Tyskland, Storbritannien, Nederländerna, och även från utvecklingsländer som till exempel Brasilien och El Salvador. Just utvecklingsländer har länge brottats med stora klimatrelaterade störningar och begränsade budgetar, och har därför utvecklat många viktiga verktyg för anpassning driven av medborgarna själva. Anpassningsstrategier från andra länder kommer att analyseras med syfte att identifiera lärdomar som kan vara användbara i svenska förhållanden. De slutliga resultaten kommer bland annat att bli till konkreta guider för klimatanpassning för kommuner och allmänhet.

Avslutande anmärkningar

Anpassning till klimatförändringar är fortfarande ett relativt nytt kunskapsområde. Området klimatanpassning har i huvudsak utvecklats oberoende av området katastrofriskreducering, men dessa båda verksamhetsområden har en gemensam målsättning: att minska förekomsten och effekterna av klimatrelaterade naturolyckor och risker. Eftersom katastrofer, olyckor och risker är övergripande problem, bör anpassning och riskbegränsande åtgärder inte ses som ett valbart ”tillägg” eller en egen sektor, utan måste integreras i alla typer av arbete och i alla sektorer inom den urbana sfären.

Då anpassning av städer till klimatförändringar och tillhörande katastrofer är ett så pass komplext problem finns det inga generella lösningar som passar alla. För att minska risker relaterade till exempelvis extrem värme, kyla, översvämningar och kraftiga vindar behöver man använda en blandning av strategier som ibland är motstridiga. En byggnad som är motståndskraftig mot översvämningar är kanske inte den mest optimala för stormar. För att göra saken värre kan strategier som är effektiva på kort sikt, som luftkonditionering mot höga temperaturer, på lång sikt bidra till att förvärra klimatförändringarna genom ökade utsläpp.

Som läget är idag, och som FNs klimatpanel konstaterar i sin fjärde stora rapport, är det dock inte längre en fråga om att välja mellan att begränsa klimatförändringar eller att anpassa sig till dem. Både anpassning och begränsning är nödvändiga för att minska effekterna av klimatförändringarna. Hållbar stadsutveckling måste följaktligen utgå från planeringsprinciper som innehåller båda aspekterna. □

Ett varmt tack riktas från författaren till Ebba Brink vid LUCSUS för hjälp med översättning av texten.



Christine Wamsler är lektor vid Lunds universitets centrum för studier av uthållig samhällsutveckling (LUCSUS), knuten till Lunds universitets centrum för riskanalys och riskhantering (LUCRAM), och affilierad till Manchester University, Storbritannien. Christine arbetar också som konsult för olika organisationer, och ingår som expert på riskreducering i personalpoolen på Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB).

04:

Klimat, arbetsförmåga och hälsa

INGVAR HOLMÉR
MARIA ALBIN

En stor del av diskussionen om den globala uppvärmningen handlar om dess effekt på naturens ekosystem. Hur det förändrade klimatet kommer att påverka ekonomin och spridningen av sjukdomar diskuteras också. En mindre uppmärksammas följd av ett varmare klimat, som dock kan bli nog så kännbar, är dess påverkan på människors arbetsförmåga och arbetsvillkor. Detta diskuteras här av forskaren i termisk miljö Ingvar Holmér och arbets- och miljömedicinaren Maria Albin.

SAMPELET mellan människan och klimatet påverkar både komfort, hälsa och arbetsförmåga. Vi trivs bäst och kroppen fungerar bäst vid temperaturer kring 20-25 grader om vi har ett stillasittande och lätt arbete och lätt klädsel. Det är därför den temperatur vi brukar skapa i våra bostäder och på våra arbetsplatser.

Likt många av djuren i vår omvärld är människan varmblodig, med en kroppstemperatur på 37-38 grader. Vår energiomsättning syftar i stor utsträckning till att just hålla kroppen varm. Människan är alltså i de flesta klimat varmare än sin omgivning, och våra kroppar avger därför värme till omgivningen.

Värmeutbytet med omgivningen

Vi förknippar oftast klimatet med luftens temperatur, men det är flera andra klimatfaktorer som påverkar kroppens värmeutbyte med omgivningen – även luftfuktigheten, lufthastigheten och temperaturen på ytor runt omkring kroppen. Allt detta påverkar värmeutbytet.

När det gäller lufthastigheten, så är ju luft en gas som strömmar kring kroppen med varierande hastighet. Eftersom luften normalt är kallare än kroppen så strömmar värme från huden till luften, ju mer desto högre lufthastigheten är. Detta värmeutbyte kallas för konvektion.

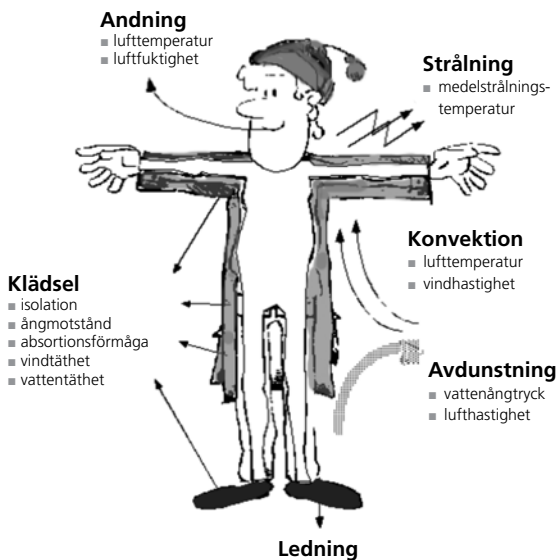
Strålningsvärme spelar också en viktig roll för kroppens värmeutbyte. De flesta ytor runt omkring oss har en lägre temperatur än huden, därför strålar kroppen värme till dessa ytor. Det är något vi lätt kan känna igen om vi tänker t ex på vår solvärmda hud en vacker vårdag.

Huden och andningsorganen utsöndrar hela tiden vatten som avdunstar och för bort värme. Detta blir särskilt tydligt vid tungt fysiskt arbete, då ökad svettning krävs för att kyla kroppen. Blåser det så ökar värmeutbytet, särskilt genom konvek-

tion och avdunstning. I värme är detta i de flesta fall positivt, men i kyla kan stark vind leda till kylskador på nakna hudavsnitt som ansikte och händer.

Kläderna påverkar förstås också värmeutbytet. I värme har man helst lätt klädsel, men vissa arbetsmiljöer kräver särskilda, ofta täta, skyddskläder vilket kraftigt ökar värmebelastningen på kroppen.

Kroppens egen värmeproduktion påverkas också av den fysiska arbetstygden. I vila producerar kroppen cirka 100 W värme, vid lätt arbete cirka 200 W och vid tyngre arbeten 300-500 W. Vid maratonlöpning kan vältränade idrottsmän producera mer än 1.500 W under några timmars arbete.



Kroppens värmereglering

Människan har utvecklat en kombination av medvetna och automatiska anpassningar som gör det möjligt för oss att leva i de mest skiftande klimatförhållanden. I de flesta fall är medvetna åtgärder tillräckliga för att reglera kroppens värmebalans.

I kyla ökar vi arbetstakten, tar på mer kläder, kortar arbetstiden, tar pauser och går in och värmer oss för att nämna några exempel. Blir det för varmt sänker vi arbetstakten, lättar på klädseln, tar pauser, undviker direkt solljus och dricker mer vatten. Inomhus öppnar vi fönster för att skapa drag, och sätter på luftkonditioneringen om det finns en sådan.

Om dessa åtgärder inte räcker, så startar kylan eller värmen fysiologiska reaktioner i kroppen. I kyla minskar blodcirkulation till kroppsytan, vars temperatur faller med risk för kyskada som följd. Hela kroppens temperatur kan också falla, varpå man börjar huttra, dvs får ofrivilliga muskelsammandragningar som ökar kroppens värmeproduktion. Att huttra är obehagligt, men minskar åtminstone tillfälligt nedkyllningen och sänder varningssignaler till hjärnan om att läget är kritiskt.

Gränser för värmetåligheten

Värme är mer problematiskt än kyla eftersom det finns färre medvetna åtgärder att ta till mot värme. Samtidigt är den fysiologiska anpassningen mer kraftfull. Blodcirkulationen till hud, armar och ben ökar och svettkörtlarna aktiveras, vilket kyler huden effektivt även under riktigt varma förhållanden.

Det finns ändå gränser för hur långt kroppen klarar av denna omedvetna, fysiologiska anpassning. Gränserna varierar med ålder, kön, kondition, hälsotillstånd och många andra faktorer, men kan också påverkas genom att vara och arbeta mycket i ett varmt klimat ("värmeträning"). Detta är en del av förklaringen till att människor i varmare länder i allmänhet har en större värmetolerans.

Mycket forskning har gjorts i nästan 100 år om hur människan påverkas av och kan anpassa sig till extrema klimat. Många av dessa studier har gjorts för militära ändamål, men även klimatproblem inom arbetslivet och i boendet har studerats. Det finns också internationellt erkända mätmetoder för att bedöma climateffekter på människa och reglera arbete i framför allt värme. Oftast bygger metoderna på direkta mätningar på arbetsplatser, men det finns också modeller som tar med de viktigaste klimatfaktorerna och ger ett resultat som motsvarar den totala värmebelastningen.

Vad som händer i extrem värme

I normala fall ser vi en kroppstemperatur på 39 grader som hög feber, förknippad med någon typ av sjukdom. Kroppen kan dock klara av en sådan temperatur i samband med extrem värme och tungt fysiskt arbete, så länge man är frisk. Men här går ungefär gränsen, och det gäller då att identifiera de klimat- och arbetsförhållanden som riskerar att passera gränsen.

Detta tar man bl a hänsyn till med ovan nämnda mätmetoder. I arbetslivet sätter man i allmänhet en gräns vid 38-38,5 grader eftersom det rör sig om upprepad exponering under en hel arbetsdag och varje arbetsvecka. I idrottssammanhang kan man vid vissa aktiviteter mäta upp kroppstemperaturer kring 40 grader, t ex i slutet av ett maratonlopp.

En måttlig värmebelastning påverkar framför allt den mentala arbetsförmågan, och ökar risken för olycksfall. Kraftigare värmebelastning slår mot den fysiska arbetsförmågan som gradvis försämras. Vid en extrem värmebelastning som varar i timmar och dagar ökar risken för värmeskador som i värsta fall kan leda till döden i värmeslag.

Tungt arbete i stark värme ger alltså en betydande risk för svåra skador på hälsa och arbetsförmåga. Det behövs därför re-

levanta och tillförlitliga metoder för att känna igen dessa situationer och i tid kunna sätta stopp för arbetet.

Listan nedan visar akuta reaktioner på ökad värmebelastning, dvs reaktioner som kommer inom minuter eller timmar:

- > obehag, besvär
- > mental påverkan, distraktion, koncentrationsproblem
- > ökad belastning på hjärta och cirkulation (förhöjd puls, svullnande armar och ben)
- > svettning med gradvis tilltagande vätskebrist (uttorkning)
- > minskad fysisk arbetsförmåga och uthållighet
- > värmeskador som svimning, kollaps, blodtrycksfall, utmattning och värmeslag

Andra hälsoeffekter

Det finns också kroniska hälsoeffekter av värmestress, om än mindre väl utforskade. Kronisk värmestress med vätskebrist har t ex framförts som en möjlig förklaring till den epidemi av njursvikt som observerats bland framför allt män som utför hårt kroppsarbete i låglänta, heta områden i Centralamerika. Att arbeta under sådana villkor gör att man förlorar mycket vätska, och arbetarna måste själv bära med sig det vatten de behöver under dagen.

Höga temperaturer under vissa årstider har i länder i olika klimatzoner förknippats med förtidig förlossning och havandeskapsförgiftning. Det är inte klart hur orsakssambanden ser ut, men ozon – bildat i en reaktion mellan solljus och luftföroreningar – skulle kunna vara en orsak.

Under heta perioder är det också vanligare att kvinnor i fattiga länder utför hårt skördearbete. Under sådant arbete kan både värmestressen och det hårda skördearbetet i sig ge en risk för förtidig förlossning.

Värmebelastningen påverkar också människors skydd mot

kemikalier. Värmen i sig innebär att flyktiga ämnen som lösningsmedel lättare kommer ut i luften, samtidigt som upptaget i kroppen via andning och hud blir större eftersom hudens blodgenomströmning ökar. Det är också ont om andningskydd och skyddskläder som de som arbetar länge i hetta kan bära utan att det blir alltför tröttsamt. Därför är det vanligt att de som arbetar med bekämpningsmedel i varma länder inte använder skyddsutrustning.

Utsatta grupper

De flesta studier av värmestress är gjorda på friska män i medelåldern. Vi vet dock att äldre människor är känsligare för värmestress bl a för att deras törstsignaler är svagare och deras maximala hjärtfrekvens är lägre. Det gör att de dels dricker mindre, dels har en sämre förmåga att öka hudens blodgenomströmning och sänka kroppstemperaturen genom att svettas.

Den som redan har en funktionsnedsättning i andningsorgan eller hjärt-kärlsystem blir också sämre ställd vid värmestress. Även mediciner som påverkar värmeregleringen (vissa psykofarmaka), svettningen (antidepressiv medicinering) och vätskebalansen (vätskedrivande mediciner) ger en ökad sårbarhet.

Äldre och sjuka människor är alltså särskilt utsatta grupper. Även gravida kvinnor utgör en utsatt grupp. Under en graviditet ökar fettupplagringen, men kroppens avdunstningsyta ökar inte lika mycket som kroppsmassan, och med den värmeproduktionen. Fostrets tillväxt och ämnesomsättning ökar också kvinnans egen värmeproduktion. Detta begränsar gravida kvinnors förmåga att hantera värmebelastning och ökar därmed riskerna med värmestress.

Förutom de rent fysiologiska förhållandena, så finns det också traditioner som kan öka riskerna för olika grupper. Kvinnor som kroppsarbetar i värme är av flera skäl en utsatt grupp. Brist på

toaletter och risk för överfall vid toalettbesök kan göra att kvinnor väljer att dricka så lite vätska som möjligt under arbetet. De kan också vara tvungna att bära traditionell klädsel under arbetskläderna även vid hårt kroppsarbete, vilket ökar värmestressen.

I många kulturer finns spädbarn och små barn med ute på fälten då modern arbetar med t ex skördarbete. De är generellt särskilt känsliga för uttorkning, men i vilken utsträckning detta är ett reellt problem i samband med moderns arbete är inte studerat.

En ytterligare faktor i sammanhanget är arbetsorganisationen. Om den enskilde inte själv kan reglera arbetstakten och bestämma när han eller hon ska ta paus eller svalka sig, så ökar risken för negativa hälsoeffekter vid en viss värmebelastning.

Möjliga åtgärder

Den naturliga reaktionen på skadlig värme är att undvika den – men det skulle för många arbetare innebära att mista sin eller familjens och företagets inkomst. Det finns dock även andra åtgärder och anpassningar som kan minska problemen. Här krävs fortfarande forskning på olika nivåer, men redan idag ser man i varma länder olika strategier för att hantera de riktigt varma timmarna, dagarna och perioderna. Siestan i södra Europa är inte bara till för att vila upp sig! Nedanstående lista visar en rad möjliga sätt att minska värmebelastningen:

- > minska arbetstyngden
- > mekanisera tunga moment
- > använda lättare och bättre arbetsredskap
- > sörja för god luftväxling på arbetsplatsen
- > avskärma värmestrålningen, särskilt solstrålningen
- > anpassa arbetsklädseln
- > ge tillgång till dryck, framför allt obegränsad tillgång till rent vatten

- > organisera arbete och arbetsmoment över dagens timmar så att fysiskt krävande arbete inte behöver utföras under de varmaste timmarna
- > tillåta fler korta raster snarare än få långa (med bra rastplatser)
- > undvika hårt styrda jobb, och låta arbetarna själva få anpassa sitt arbete
- > införa rutiner för övervakning så att symptom på överbelastning upptäcks i tid
- > utbilda personalen
- > beakta hälsotillståndet hos personalen
- > tillåta gradvis ”värmeträning” av ovan personal

Det globalt ökande problemet med värmestress på arbetet uppmärksammas nu allt mer. Det finns sedan länge internationella normer (ISO-standarder) för vad som är en oacceptabel belastning på arbetsplatser. Dessa har dock ifrågasatts i vissa varma länder, eftersom de anses alltför strikta för samhällen vars arbetare är vana vid höga temperaturer. Här kan jämförande experimentell forskning ge ökade kunskaper.

På många håll i världen arbetar man nu med att dokumentera hälsoeffekterna av akut och kronisk värmestress, framför allt vid kroppsarbete i redan varma länder. Detta kommer att utgöra ett kraftfullt underlag för policies både för svenska företag som har verksamhet i dessa länder, för uppköpare som vill försäkra sig om att deras varor är producerade under anständiga villkor, och för arbetarskyddet i de berörda länderna.

I ett varmare klimat kommer också även Sverige att uppleva perioder med extrema temperaturer, då kraftigt fysiskt arbete kan innebära en alltför hög värmebelastning. Räddningspersonal, hemtjänst och byggnadsarbetare är exempel på grupper som då kan komma i riskzonen. □

Ingvar Holmér är professor på Avdelningen för ergonomi och aerosolteknologi, och deltar också i det sk excellenscentret Metalund (www.metalund.lu.se). Hans forskning omfattar flera olika teman inom arbets- och idrottsfysiologi, inomhusklimat, personlig skyddsutrustning samt fysiska och matematiska modeller för värme- och köldpåverkan. Vid forskningen om termisk miljö används bl a två klimatkamrar där arbete i hetta och kyla kan simuleras.

Maria Albin är läkare och specialist i arbets- och miljömedicin. Hon arbetar som docent och överläkare vid Arbets- och miljömedicin i Lund, både inom universitets- och landstingsverksamheten. Hon är även koordinator för excellenscentret Metalund, medlem i Klimatinitiativets referensgrupp och i referensgruppen för Klimatsamverkan Skåne.





Global (o)rättvisa



05:

Förlorarna är de fattiga

LENNART OLSSON

De fattiga grupperna i samhället – främst, men inte bara, i utvecklingsländerna – kommer att drabbas hårdast av klimatförändringarna. Det finns en risk att klimatpolitiken och den rika världens försök att lösa sina klimatproblem kommer att öka snarare än minska fattiga gruppers svårigheter, menar Lennart Olsson på Lunds universitets centrum för hållbarhetsforskning LUCSUS.

EN AV SVERIGES mest framstående ekonomer genom tiderna, Gunnar Myrdal, poängterade en gång att forskare (framförallt ekonomer) måste deklarerat sina värderingar och sin ideologiska utgångspunkt innan de diskuterar sin vetenskap. Inspirerad av detta inleder jag med att deklarerat min ståndpunkt i klimatfrågan. Det är min övertygelse att vi inte kan uppfylla FN:s klimatkonventions mål att stabilisera halterna av växthusgaser på en nivå som hindrar farlig inverkan på klimatet, om vi samtidigt vill vidmakthålla och till och med öka den rika världens höga materiella konsumtion.

Samtidigt instämmer jag fullt ut i artikel 3 i samma konvention, där det betonas att vi måste slå vakt om fattigare länders rättighet till utveckling. Jag instämmer också i artikel 4, som slår fast att rika länder måste bidra till att finansiera fattigare länders anpassning till klimatförändringar.

Min bedömning är dock att två decenniers klimatpolitik bara har ökat risken för allvarliga klimatförändringar i framtiden. Konkreta resultat i form av utsläppsminskningar lyser hittills med sin frånvaro. Dessutom riskerar klimatpolitiken på flera punkter att förvärra situationen för de mest utsatta grupperna i världen.

FN:s klimatkonvention har varit i kraft sedan 1994 och Kyoto-protokollet sedan 2005. Samtidigt har utsläppen av växthusgaser, främst koldioxid, ökat exponentiellt från ca 1 procent per år under 1990-talet till över 3 procent per år under 2000-talet. Detta är en förfärande utveckling som bara kan tolkas på ett sätt: vi kommer att misslyckas med att förhindra "farliga" klimatförändringar.

Både klimatkonventionen UNFCCC och den fjärde utvärderingsrapporten från FN:s klimatpanel IPCC slår fast att fattigare länder kommer att drabbas oproportionerligt hårt av klimatförändringarna. Det är också en av de starkaste slutsatserna i IPCC:s specialrapport om extrema händelser. I ljuset av detta är det glädjande att i andra delen av IPCC:s femte utvär-

deringsrapport (som kommer att presenteras våren 2014) ges klimatförändringars effekter på fattiga grupper i samhället en framträdande roll. Detta sker bland annat genom kapitel som uttryckligen handlar om "human security" och "livelihoods and poverty".

Klimatförändringar och fattigdom

På sätt och vis är det självklart att fattiga människor drabbas hårdare av katastrofer som stormar, översvämningar, torka eller värmeböljor. Om ditt hem är ett enkelt plåtskjul är ju risken större att det förstörs av en storm eller översvämning än om det är ett ordentligt hus byggt av tegel eller betong. Om du är tvingad till hårt kroppsarbete utomhus varje dag drabbas du givetvis hårdare av en extrem värmebölja än om du arbetar inomhus i ett luftkonditionerat kontor, och så vidare.

Om vi lämnar dessa ganska självklara jämförelser och mer systematiskt tittar på hur klimatförändringar påverkar fattiga människor, så blir det ännu tydligare att klimatförändringarna kommer att förstärka de redan förfärande stora skillnaderna mellan fattiga och rika i världen. Klimatförändringarna kommer med all sannolikhet att lägga ytterligare bördor på redan fattiga grupper och kommer dessutom sannolikt att försätta ännu fler människor i fattigdom. I det här sammanhanget är det viktigt att framhålla att fattigdom inte bara handlar om brist på pengar! Fattigdom har många samverkande orsaker och yttrar sig på en mängd olika vis. Några exempel är avsaknad av politiskt inflytande, dålig tillgång till samhällsservice som utbildning och hälsovård, dålig tillgång till marknader och transporter för jordbruksprodukter, avsaknad av ekonomiska möjligheter som krediter och försäkringar, och sämre tillgång till juridiskt och socialt skydd.

Den snabba förändring av klimatet som vi sett under de senaste decennierna och som med all sannolikhet kommer att

förstärkas leder bland annat till en ökning av antalet extrema väderhändelser. Det finns en lång rad vittnesmål från olika delar av världen om hur fattiga människor drabbats av extrema väderhändelser, ofta i kombination med andra stressfaktorer som pris-
höjningar på livsmedel, vatten, skolvavgifter och sjukvårdsavgifter.

Fattiga människor är dessutom oftast marginaliserade på olika och ibland samverkande sätt – politiskt, etniskt, geografiskt eller på grund av kön och religion. Dessa olika former av marginalisering bidrar till att försvåra för fattiga människor att återhämta sig efter extrema väderhändelser.

Mindre väderförändringar påverkar också

Människor som är speciellt utsatta och sårbara påverkas dock även av mindre extrema händelser, som en förskjutning av regnperiodens längd eller tidpunkt. Många av dessa förändringar är svåra att upptäcka och belägga med standardiserade väderobservationer, och är sannolikt långt vanligare än vad som rapporteras i vetenskapliga medier.

Bland de mest utsatta grupperna är kustnära befolkning i floddelta där kombinationen av havsnivåhöjning och intensiva stormar skapar extremt hög sårbarhet. Några exempel på detta är Thailand, Burma och Bangladesh samt Mekongflodens delta i Vietnam. Det finns även en stark politisk dimension i fattiga människors utsatthet, som t ex i Nildeltat i Egypten där politiska beslut om satsningar på storskalig akvakultur har bidragit till en ökad sårbarhet för bönder och fiskare. Floddeltan är dessutom extremt tätbefolkade områden med en mängd olika ekonomiska och politiska intressen som drar åt olika håll – en dragkamp där fattiga människor ofta blir förlorare.

Fattiga bönder i utvecklingsländer är en stor grupp som redan börjat drabbas av väderhändelser som kan relateras till klimatförändringar. Dessa kommer med stor sannolikhet att göra

att produktiviteten i jordbruket minskar, inte minst i tropiska områden, beroende på bl a ökad värmestress och brist på vatten. Husdjursproduktionen kommer också att påverkas negativt, framför allt i redan varma regioner.

Klimatförändringarna kommer även att påverka en rad hälsofaktorer. Det gäller återigen framförallt i tropiska områden, där risken ökar för värmestress, minskad tillgång till vatten samt en rad vektorburna sjukdomar (sjukdomar som överförs av insekter, sniglar o dyl).

Klimatpolitikens effekter

Det framgår tydligt av Kyotoprotokollet att åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser ska göras på ett sådant sätt att de inte missgynnar eller skadar utvecklingsländerna. Ändå finns det mycket som tyder på att den nuvarande klimatpolitiken bryter mot denna klausul – både den internationella politiken under FN och olika regionala och nationella initiativ.

Jag ska här ge några exempel på hur den rika världens åtgärder för att minska sina utsläpp av växthusgaser kan skada fattiga människor i andra länder. Först tittar vi på de speciella mekanismer som skapats inom den internationella klimatpolitiken, som Clean Development Mechanism (CDM) och Reduction of Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+). Detta är mekanismer som skapats specifikt för att gynna utvecklingsländer.

CDM är en av Kyotoprotokollets ”flexibla mekanismer”, och innebär att ett industriland kan välja att göra en del av sin utsläppsminskning i ett utvecklingsland om det bidrar till hållbar utveckling. Sedan starten har utsläppsminskningar på ca 1 miljard ton koldioxid på detta vis flyttats över från industriländer till utvecklingsländer.

En majoritet av alla CDM-projekt har handlat om att eli-

minera utsläpp av vissa industriella växthusgaser, en verksamhet som knappast kommer de fattigaste till del. Men det finns en rad andra projekt som skulle kunna innebära fördelar för fattiga människor, som t ex utbyggnad av förnyelsebar energi på landsbygden och i slumområden eller förbättrade spisar på landsbygden. I praktiken har det dock visat sig att dessa projekt ofta gynnar andra grupper i samhället än de fattigaste.

Vilka fördelar har då utvecklingsländerna kunnat dra av denna internationella handel med koldioxid? Om man läser den officiella statistiken på Klimatkonventionens hemsida får man ett mycket positivt intryck av CDM. Men en närmare granskning visar att informationen kommer mer från projektbeskrivningar och ytliga enkäter än från djuplodande analyser av hur projekten påverkar den lokala befolkningen. Den vetenskapliga litteratur som granskat CDM är betydligt mera kritisk och pessimistisk till möjligheten för denna typ av projekt att verkligen bidra till att minska fattigdomen.

Det finns en viktig etisk dimension i själva handeln med utsläppsrättigheter mellan industriländer, som ju huvudsakligen skapat problemet, och utvecklingsländer, som kommer att drabbas hårdast av effekterna. Ekonomer ser ofta handeln som ett sätt att göra utsläppsminskningar så kostnadseffektivt som möjligt, medan man ur ett politiskt perspektiv kan se den som ett sätt att upprätthålla och förstärka maktbalansen mellan nord och syd. Dessa ekonomiska och politiska drivkrafter gör att intresset för hur insatserna påverkar de fattiga i utvecklingsländerna blir minimalt.

Kritiska forskare

Forskare som granskat ett stort antal CDM-projekt och hur de påverkar den lokala befolkningen är förödande i sin kritik. "I marknadskrafternas händer kan CDM-systemet inte på något

påtagligt sätt bidra till en hållbar utveckling”, skriver en forskare. I en omfattande studie några år senare blev slutsatsen den samma: ”Det finns knappast ett enda av de studerade CDM-projekten som kan anses ha en tydlig inriktning mot de fattiga”.

Exempel från vår egen forskning visar att det finns möjligheter att involvera den fattiga befolkningen på ett mera konstruktivt sätt. På så sätt skulle man på sikt kunna bidra till både social och ekonomisk utjämning och minskade utsläpp av växthusgaser. Detta sker dock ofta inte, på grund av byråkratiskt krångel eller ointresse.

REDD+ är ett system som, kort sammanfattat, går ut på att rika länder ska kunna betala fattiga länder för att de ska låta bli att hugga ner sin skog. REDD+ är en betydligt nyare mekanism än CDM och befinner sig fortfarande på försöksstadiet, men trots det finns det många projekt som redan satt igång enligt dess bestämmelser.

Plustecknet efter REDD symboliserar att mekanismen ska addera en rad sociala och ekonomiska fördelar för befolkningen till miljövinster. Även om det är för tidigt att utvärdera REDD+projekt så finns det studier som pekar på liknande farhågor som för CDM, dvs att den lokala befolkningen sannolikt inte kommer att gynnas.

Biobränslen och livsmedelspriser

Ett annat exempel på hur klimatpolitiken kan påverka fattiga människor negativt är den stora satsningen på att producera biobränsle inom jordbruket som vi ser framförallt i USA och EU men också i bl a Australien, Indien och Kina. Mellan åren 2000 och 2009 ökade produktionen av etanol för bränsle med 327 procent och produktionen av biodiesel med hela 2.725 procent. Det finns en stor debatt om riskerna med denna politik som med stor sannolikhet kommer att pressa upp livsmedelspriserna.

Innan vi diskuterar detta närmare kan det vara på sin plats att betona att höga livsmedelspriser inte nödvändigtvis är av ondo. Alltför låga livsmedelspriser missgynnar bönder världen över och tvingar dem att använda bruksmetoder som ofta är miljömässigt förkastliga.

För fattiga människor, framförallt i städerna, som är beroende av att köpa sin mat är höga matpriser däremot förödande. Det är också viktigt att betona att en stor majoritet av världens småbönder inte är självförsörjande på mat, vilket betyder att endast ganska rika bönder gynnas av ökande livsmedelspriser.

Den globala livsmedelsproduktionen ökade snabbare än folkmängden fram till mitten av 1980-talet, och livsmedelspriserna var låga. Men då nåddes en punkt där livsmedelsproduktionen per capita stagnerade och till och med började minska.

Detta var inte något större problem under 1990-talet eftersom det fanns en betydande överproduktion, och både USA och EU hade politiska instrument för att minska produktionen av mat. 2007 började dock livsmedelspriserna plötsligt att skjuta i höjden, för att nå en rekordnivå under 2008. Hungerkravaller utbröt runt om i världen och antalet fattiga i världen ökade.

I vilken utsträckning de ökande livsmedelspriserna beror på odling av biobränslen är fortfarande omdiskuterat. Men det är oomtvistat att den stora satsningen på biobränslen från jordbruket bidrar till ökande livsmedelspriser. Farhågorna ökar också när man tittar på den förväntade utvecklingen, med ännu större satsningar på biobränslen under de kommande decennierna.

”Land grabbing” – internationellt baggböleri

En annan och kanske ännu allvarligare konsekvens av de stora satsningarna på biobränslen är den stora internationella handel med jordbruksmark som numera oftast kallas ”land grabbing”. På svenska skulle vi kunna använda det gamla begreppet baggböleri.

Det värdeladdade begreppet "land grabbing" antyder att handeln med jordbruksmark är orättfärdig, och vi påminns om den koloniala expansionen där europeiska länder tillskansade sig territorier utanför Europa. Den snabbt ökande vetenskapliga granskningen av fenomenet visar entydigt att dessa farhågor besannas.

I april 2012 uppskattade t ex det internationella projektet Land Matrix Project att drygt 80 miljoner hektar jordbruksmark omfattades av land grabbing. Ett genomgående mönster för dessa avtal är att bönder upplåter sin mark på mellan 25 och 100 år till ett utländskt bolag som planerar att producera biobränsle eller livsmedel för export. Ersättningen till markägarna är mycket låg, kanske 50 kronor per hektar och år. I gengäld utlovas arbetstillfällen och andra sociala förmåner, något som sällan infrias.

I vissa fall är det nationella regeringar som aktivt bidrar till land grabbing, t ex i Etiopien och Sierra Leone. I andra fall är det lokala eliter som i samarbete med utländska intressenter möjliggör dessa transaktioner. Det är ytterst besvärande att notera att Sverige är ett av de allra mest aktiva länderna i Europa på området, med flera olika inblandade aktörer. En sammanställning finns på hemsidan www.farmlandgrab.org.

Slutreflektioner

Det är uppenbart att de klimatförändringar som beskrivs i till exempel IPCCs rapporter kommer att innebära ökade problem för en majoritet av världens fattiga. Antalet fattiga kan också på sikt komma att öka till följd av både klimatförändringarna och av den politik som de rika länderna verkar styra in på, framförallt om den stora satsningen på biobränslen från jordbruket består.

Den nuvarande klimatpolitiken utgår från att det går att kombinera en hög konsumtion med ett minskat utsläpp av växthusgaser, en politik som vi ofta kallar ekologisk modernisering. Den bygger i stor utsträckning på energieffektivisering

och en långsam övergång från fossil till förnyelsebar energi. Politiken innehåller dessutom en rad önsketänkanden om framtida teknologier som ska lösa våra problem, som koldioxidlagring och syntetisk biologi. Den bygger däremot inte på någon mera radikal och kraftfull övergång till ny teknologi eller någon minskning av den totala konsumtionen.

Det troliga är att den nuvarande inriktningen kommer att öka utsläppen av växthusgaser i takt med att allt fler människor omfattas av den globala ekonomin. Det skapas således en motsättning mellan utsläppsminskningar och fattigdomsbekämpning – ju fler människor som tar sig ur fattigdom, desto större blir de utsläpp som drabbar de fattiga. För att minska denna motsättning borde klimatpolitiken i stället inriktas mot en mera radikal omställning av samhället till förmån för lägre materiell konsumtion och teknologier som ger alla människor på planeten tillgång till en acceptabel levnadsstandard. □



Lennart Olsson är professor i geografi och föreståndare för LUCSUS, Lund University Centre for Sustainability Studies. Hans forskning rör utvecklingsproblem i Afrika i gränsskiktet mellan natur- och samhällsvetenskaper. Han är Coordinating Lead Author för IPCCs femte utvärderingsrapport och ansvarar för kapitlet om hur klimatförändringar påverkar fattigdom och försörjning. Han koordinerar också ett av Lunds universitets Linnécentra, LUCID, Lund University Centre of Excellence for Integration of Social and Natural Dimensions of Sustainability.

06:

Kossor,
kaffe
och soja

MARIANNE HALL

När Amazonas regnskog huggs ner och den brasilianska Cerrado-savannen odlas upp med soja och kaffe och foder till köttproduktion så hamnar notan för klimatutsläppen på Brasiliens konto. Är det rimligt, med tanke på att mycket av köttet och de andra jordbruksprodukterna exporteras till Europa, USA och Kina? Vem ska stå för klimatutsläppen från en förändrad markanvändning, när varor som produceras på en viss mark transporteras iväg för att konsumeras någon annanstans? Om dessa frågor resonerar här miljövetaren Marianne Hall.

NÄR DET talas om att minska utsläppen av växthusgaser tänker många i första hand på koldioxidutsläppen från förbränning av kol, olja och naturgas. Men förändringar i markanvändning, däribland utsläppen från jordbruk och skogsbruk, har även de en viktig roll att spela i sammanhanget. I dagsläget står dessa för en åttondedel av de totala koldioxidutsläppen, och historiskt sett har de stått för hela en fjärdedel av de totala koldioxidutsläpp som orsakats av människans aktiviteter. För att kunna bromsa uppvärmningen och möta de klimatpolitiska mål som satts upp, till exempel det så kallade tvågradersmålet, måste vi inte bara begränsa användningen av fossila bränslen, utan även hitta mer hållbara sätt att använda jordens övriga resurser.

Sambandet mellan fossila bränslen och utsläpp av växthusgaser som orsakar klimatförändringar är förhållandevis enkelt. Minskad förbränning ger lägre utsläpp. Byte från kol och olja till naturgas ger också något lägre utsläpp, och byte från naturgas till förnybart minskar oftast utsläppen ytterligare. Det yttersta målet är att minimera utsläppen från fossila bränslesystem, och mer generellt lägga om från en fossilbaserad ekonomi till en ekonomi baserad på förnybara energikällor.

Eftersom världsbefolkningen för närvarande ökar och välfärden behöver spridas mer, så behöver vi lära oss att använda alla resurser effektivare. Vi behöver också ställa om från en samhällsekonomi som främst vilar på fossila bränslen och icke-förnybara råvaror till en samhällsekonomi grundad på förnyelsebara råvaror producerade under en hållbart nyttjande av mark, vatten och ekosystem. Hur det kan genomföras på ett sätt som är ekonomiskt och socialt hållbart är inte självklart, men själva principerna är lätta att ta till sig.

Komplexa samband

Sambanden mellan klimatpåverkan och förändringar i markanvändningen är särskilt komplext. Totalt sett, om man räknar in kolupptag och kolutsläpp från alla olika vegetationstyper – skogar, jordbruksmark, savanner, stäpper, öknar osv – är de globala landekosystemen en kolsänka. De tar upp mer kol än de släpper ut. Nästan en tredjedel av allt kol som släppts ut till följd av människans aktiviteter de senaste 150 åren har tagits upp av vegetationen och bundits in i växterna – framför allt i skogarna – och i marken. Trots detta bör vi försöka minimera de utsläpp som sker vid skogsbruk och jordbruk, för att på det sättet maximera kolupptaget i landekosystemen.

Till skillnad från målet att minska växthusgasutsläppen från de fossila bränslena, så har vi dock flera olika mål med användningen av den brukbara markytan. Landyta är inte en obegränsad resurs, och den yta som finns tillgänglig vill vi använda till många olika saker. Vi vill producera livsmedel, foder, bränsle och trä, och vi är beroende av ekosystemtjänster från de naturliga ekosystemen, däribland rent vatten. Vi vill också skydda den biologiska mångfalden, och sist men inte minst är naturen även viktig för sociokulturella syften, rekreation och i vissa fall som kulturarv.

En av detta århundradets absolut största utmaningar blir att producera mat till en växande global befolkning och minska jordbrukets klimat- och miljöpåverkan på samma gång. Jordbruket är redan nu en dominerande kraft bakom många miljöhot, bland annat förlust av biologisk mångfald, markförsämring och brist på rent vatten. Jordbrukssektorn – framför allt det moderna industrijordbruket – står dessutom för stora utsläpp av växthusgaser. År 2005 utgjorde dessa utsläpp drygt 10 procent av alla växthusgasutsläpp orsakade av människans aktiviteter.

Utsläppen från jordbrukssektorn har inte främst formen av koldioxid. Dessa utsläpp är förhållandevis väl balanserade när det gäller upptag och utsläpp, eftersom koldioxidutsläpp från elektricitet och bränsle kopplat till jordbruk räknas till byggnads- och transportsektorn i stället för att belasta jordbrukssektorn. De stora utsläpp som sker är i stället i form av metan och lustgas. Metanutsläppen kommer framförallt från djurhållning och risodling, där jordbruket står för hälften av alla metanutsläpp från mänskliga aktiviteter. Utsläppen av lustgas är kopplade till djurhållning samt till tillverkningen och användningen av konstgödsel (som dessutom till stor del är fossilberoende). Sammanlagt uppgår dessa utsläpp till 60 procent av de mänskligt påverkade lustgasutsläppen.

Lustgas är en mycket potent växthusgas: varje lustgasmolekyl är nästan 300 gånger så kraftfull som en koldioxidmolekyl, sett ur ett hundraårsperspektiv. Även metan är en kraftfull växthusgas och har en uppvärmningseffekt som är 25 gånger kraftigare än koldioxidens. Utsläppen av både metan och lustgas kopplade till jordbruk förväntas öka under kommande år, lustgas med 35–50 procent till 2020 och metan med 60 procent fram till 2030. Ökningarna hänger samman med en förväntad ökning av djurhållningssektorn och en ökad användning av kvävegödsel.

Vad gör vi med den bördiga jorden?

Trots att jordbruket blivit allt mer effektivt är idag nästan en av sju människor hungriga, det vill säga kroniskt undernärda eller beroende av akuta eller långvariga hjälpinsatser för att de saknar tillgång till mat. Detta är framför allt en följd av fattigdom. Situationen kan hastigt förvärras om livsmedelspriserna ökar ytterligare till följd av spekulation. Mer långsiktigt riskerar hungern även att förvärras om odlingen av bioenergigrödor

ökar alltför mycket, eller om klimatförändringarna orsakar fler extrema väderhändelser som torka eller skyfall.

Till detta kommer befolkningsökningen och en ändrad kost med ökande efterfrågan på kött, både i rika delar av världen och i tidigare fattigare länder och regioner där välfärden efter hand ökar. När allt detta vägs in, så pekar vissa studier mot att vi mot slutet av århundradet kommer att behöva odla dubbelt så mycket grödor som idag.

Samtidigt är den yta som vi kan använda för denna fördubbling av jordbruksproduktionen begränsad. Vi använder redan 38 procent av den isfria landytan för matproduktion, vilket är den största enskilda markanvändningstypen. Ytterligare ungefär 30 procent av den isfria landytan är skogbevuxen, medan resten mestadels består av öknar, berg, tundra och städer. Merparten av den mest produktiva markytan används alltså redan till jordbruk, vilket innebär att den ytterligare markyta som vi skulle kunna använda till matproduktion är begränsad.

Av den uppodlade ytan används uppemot 80 procent antingen för att odla foder till boskap, som betesmark eller är på andra sätt knutet till djurhållning. Att så stor yta går åt till just foderproduktion blir i sig ett problem, i de fall vi använder yta där man i stället kunnat odla vegetabilier lämpliga som livsmedel. Verkningsgraden på en ko eller ett får är nämligen rent ut sagt usel. Endast 1 procent av energimängden i det foder vi stoppar in i kossan får vi ut när vi äter köttet. Fläsk och fågel är något bättre – där får vi ut 14 respektive 16 procent av den instoppade energin.

Djurhållningen tar alltså upp en bra mycket större yta än vad vi skulle behöva för att producera samma mängd energi till oss själva från spannmål, soja etc. Ju mer yta vi behöver utnyttja, desto högre blir dessutom efterfrågan på bördig jord, och desto högre blir priset på mark. Höga markpriser har (minst) tre konsekvenser:

- > matpriserna tenderar att öka
- > det blir ökade ekonomiska drivkrafter för att hugga ner skogar för att använda som jordbruksmark, eller till plantager för energigrödor
- > det blir mer lönsamt att driva bort eller på annat sätt ta över mark som ägs av fattiga bönder (jämför med så kallad ”land grabbing” som beskrivs i kapitel 5, *Förlovarna är de fattiga* och kapitel 14, *Hållbarhetskrav på biodrivmedel*)

Självklart är det så att en förändring av matvanorna i riktning mot en lägre köttkonsumtion inte automatiskt kommer att leda till att den extra mat som kan produceras kommer att minska hungern hos de allra fattigaste. Det är inte tillgången på mat globalt som styr deras möjligheter att sätta mat på bordet – vi producerar redan tillräckligt med kalorier för att föda jordens befolkning. Det som minskar deras hunger är att de får förutsättningar för arbete och försörjning, så att de kan komma ur sin fattigdom. En minskad andel kött i dieten kan ändå sägas vara nödvändig, eftersom det skulle ta bort en del av påfrestningarna på ekosystemen och reducera klimatutsläppen.

Att minska konsumtionen av kött är också en mer miljövänlig väg att få fram mer livsmedel än att intensifiera jordbruket och skapa fler storskaliga industrijordbruk. Intensifiering av jordbruket skulle kunna öka markens avkastning, men har samtidigt en kraftig negativ påverkan på den biologiska mångfalden, vilket diskuteras i kapitel 10, *Hoten mot den biologiska mångfalden*.

Stora utsläpp från avskogning

Trots att en hållbar produktion av mat och biobränslen måste ses som ett mycket viktigt mål i sig, är det fortfarande viktigt att samtidigt minska klimatutsläppen från markanvändning.

En stor källa till koldioxidutsläpp är röjning av skog för att ge utrymme för plantager, betesmark och odling. Röjning utan återplantering – avskogning – leder dels till stora koldioxidutsläpp från växtdelar som inte tas tillvara och från själva marken, dels till förlusten av den kolsänka som träden tidigare utgjorde.

Ur ett globalt perspektiv tar man gärna upp kalhuggningen av urskog i tropikerna som en stor klimatbov. Några exempel är palmoljeplantagerna i Indonesien och expansionen av sojaodlingar in i Amazonas. Denna kritik bör dock nyanseras, eftersom all avskogning inte är exakt lika dålig.

Allra värst ur klimatsynpunkt är att bränna ner en skog för att göra plats för annan markanvändning, t ex åkermark eller betesmark. Vid förbränningen går allt kol genast tillbaka till atmosfären som koldioxid. Något bättre är det om man tar vara på timret för husbyggen eller liknande, där träet bevaras under en längre tid. Även i detta fall blir det dock utsläpp av växthusgaser från marken och kvarlämnade växtdelar som bryts ned. Att nyplantera skog är däremot en åtgärd som ofta är gynnsam över tid, eftersom mer koldioxid initialt tas upp än släpps ut.

Handel och transportvägar

Det moderna, globaliserade samhället bygger på att varor, produkter och tjänster transporteras mellan olika platser, länder och regioner. Den ökande globala efterfrågan på mat och andra jord- och skogsbruksprodukter, inklusive biobränslen, har lett till att den globala handeln ökat kraftigt. Detta innebär dels att det inte längre alltid är den lokala efterfrågan som styr vad som odlas var, dels att produktionen och konsumtionen av varor och produkter skiljs åt i tid och rum. Produktionen kan äga rum i ett land, medan konsumtionen av produkten kan ske i ett annat land eller en annan region.

Även den ökande urbaniseringen har sin roll att spela: ungefär 47 procent av jordens befolkning bodde i städer år 2000, en siffra som beräknas öka till 70 procent för år 2050. Detta bidrar ytterligare till den rumsliga och tidsmässiga frikopplingen mellan produktion och konsumtion. Påfrestningarna på ekosystemen och utsläppen av växthusgaser sker på en viss plats vid en viss tidpunkt, medan konsumtionen av produkten sker någon helt annanstans vid en helt annan tidpunkt.

Förändringar i markens användning drivs därför av socioekonomiska och ekologiska mekanismer på både global och nationell nivå. Några exempel är nationell och internationell efterfrågan på jordbruks- och skogsbruksprodukter, nationella och internationella handelspolitiska beslut och avtal, internationella miljö- och klimatavtal och tillgänglighet kopplat till infrastruktursatsningar. Ett exempel på det senare är att när nya vägar dras genom tidigare oexploaterade tropiska skogar kan områdena i deras närhet bli avskogade så snart det går att komma in med redskap för avverkning. Även förändrade klimatomöster, demografiska förändringar och förflyttningar (t ex urbaniseringen) spelar in.

Begränsningen av utsläppen av växthusgaser från de globala landekosystemen måste alltså göras inom en ram som är konsekvent. Det hjälper inte att begränsa klimatutsläppen på en viss plats, om minskningen på den platsen bara leder till att utsläppen ökar på en annan plats.

Brasilien har t ex under senare år genomfört en rad åtgärder som kraftigt bromsat avskogningen av Amazonas. Detta har inte medfört en minskad produktion, utan har istället lett till ökad uppodling av "Cerradon" – ett savannområde med hög biologisk mångfald som täcker 1/5 av Brasiliens yta. Denna står

nu för 70 procent av Brasiliens köttproduktion och en ökande andel av produktionen av soja, majs, bönor och kaffe.

Samma sak händer även på större skalor. Globalt sett har utsläppen från jordbruket, dvs metan och lustgas tillsammans, ökat med närmare 17 procent för tiden 1990 till 2005. Detta genomsnitt döljer stora skillnader mellan olika regioner. Utvecklingsländerna, eller det som ibland benämns ”syd”, har ökat sina jordbruksrelaterade utsläpp med 32 procent och står nu för ungefär tre fjärdedelar av de totala utsläppen från jordbruket. Övriga länder har samtidigt minskat sina utsläpp med 12 procent. Detta beror dock inte på att konsumtionen av livsmedel med hög klimatpåverkan minskat i den rikare delen av världen, utan på förändrade handelsmönster. I Sverige har vi till exempel ökat vår köttkonsumtion med 50 procent under samma tidsperiod.

Vem ska stå för notan?

Vem ska egentligen betala för den klimatkostnad som uppstår när man framställer olika produkter? Är det konsumenten eller producenten? När man räknar på klimatutsläpp med de metoder som används idag är det producentlandet som inte bara får fördelen av exportintäkterna, utan även nackdelen av att få koldioxidutsläppen bokförda på sin utgiftslista.

Om vi fortsätter att använda Brasilien som exempel, så får Brasilien därmed stå till svars för stora klimatutsläpp och miljökostnader på grund av den tidigare kraftiga (och i viss omfattning fortfarande pågående) avskogningen av Amazonas samt den pågående uppodlingen av Cerradon. Detta är intressant ur ett globalt perspektiv, då ett stort antal studier visat på den stora betydelsen av just brasilianska skogar och andra ekosystem.

De brasilianska ekosystemen är viktiga inte bara på grund av sin storlek, utan också på grund av sin potentiella känslighet för mänsklig påverkan, och för att de är basen för Brasiliens

expansiva ekonomi och sociala utveckling. Handelsekonomiskt är ekosystemen viktiga för produktionen av biobränslen, soja, kött och en mängd andra produkter. Ekologiskt är både skogsområdena och övriga ekosystem viktiga för den höga biologiska mångfalden. Klimatmässigt är regionen viktig eftersom skogarna både kan lagra och släppa ut kol, vilket gäller både Amazonas och atlantskogen Mata Atlântica.

Mata Atlântica, Brasiliens förlorade skog, är långt mindre känd än Amazonas, trots att avskogningen varit mycket svårare här än i Amazonas. Mata Atlântica sträckte sig en gång längs hela södra atlantkusten, från Brasiliens östligaste spets nästan hela vägen ner till Uruguay och en bit in i Paraguay. Trots att skogen utsatts för en hel del avverkning de senaste 300 åren fanns uppskattningsvis 75 procent av den ursprungliga skogsarealen kvar 1945. Idag återstår bara en tiondel, utspritt i små fragment. Det som återstår är numera ett biosfärsreservat (UNESCO), för att skydda den stora biologiska mångfald som fortfarande finns kvar.

Många av de produkter som framställs i Brasilien till höga klimatkostnader konsumeras inte alls lokalt i Brasilien eller ens i Sydamerika. I stället exporteras de till regioner med hög efterfrågan på bl a kött, inte minst till Europa. Även Kina och USA importerar stora mängder produkter av olika slag från Brasilien. För att förstå sambandet mellan markanvändning och klimatpåverkan är det därför viktigt att kartlägga de lokala, regionala och globala handelsmönstren och följa transportvägarna.

Ett verktyg som skulle kunna användas för att spåra en produkts klimat- och miljöpåverkan är ett koncept med det inte helt smidiga namnet "eHANPP" (embodied human appropriation of net primary production). En svensk översättning saknas, men begreppet liknar virtuellt vatten, där man räknar ut hur mycket färskvatten som gått åt för att framställa en viss produkt.

Ett par jeans till exempel beräknas förbruka 10.000 liter vatten, inklusive bomullsodlingen och alla steg i tillverkningsprocessen. På samma sätt skulle man via "eHANPP" kunna se hur kraftig påverkan som biobränsle, mat, foder, kläder, möbler etc haft på ekosystemet där varan producerades, och följa hur denna klimat- och miljökostnad transporteras från produktionsplatsen till konsumtionsplatsen.

Som exempel kan vi ta produktionen av ett träbord från en trädplantering. Först räknar man ut hur stor klimatpåverkan själva trädplanteringen har, jämfört med om man behållit det naturliga ekosystemet i stället. Detta kan vara antingen en positiv eller en negativ påverkan. Därefter räknar man fram hur mycket kol och biomassa som förlorats när man avverkade skogen för att få fram träet, det vill säga när marken störs vid avverkningen vilket orsakar kolutsläpp, och om mycket rötter och annan biomassa inte använts utan blivit kvar som spill. Därefter räknar man in material som förlorats vid själva tillverkningen av bordet, och har så slutligen nått fram till den totala miljö- och klimatkostnaden för bordet. Detta mått kan man sedan använda för att spåra transporten av klimatkostnaderna från produktionsplatsen till konsumtionsplatsen.

Om man räknar på detta sätt finner man att länder med stor brukbar yta och förhållandevis gles befolkning blir nettoexportörer av "eHANPP", det vill säga exporterar mer än de importerar. Detta gäller både industrialiserade länder och utvecklingsländer – till nettoexportörerna hör bland annat USA, Australien, Brasilien och Argentina. Bland de stora importörerna finner vi både industrialiserade länder och utvecklingsländer med hög befolkningstäthet per brukbar markyta, som stora delar av Europa, Japan, Egypten och Iran.

I eHANPP har vi alltså ett mått som kan användas till att sammanföra ekologiska och socioekonomiska faktorer. Till de förra hör lokala effekter på ekosystemen och vegetationstyperna, och hit kan man även koppla effekter på den biologiska mångfalden. Till de senare hör handelsvägar, marknadseffekter och efterfrågan, samt effekter av ekonomiska styrmedel och policybeslut.

De kommande utmaningarna

Det är bra med ett mått, men fortfarande återstår frågan om var vi ska debitera klimatkostnaderna. Får vi störst effekt i form av effektivare resursanvändning och minskade utsläpp om vi lägger ansvaret på producenterna, som finns på plats och direkt kan påverka produktionssätten? Eller får vi bäst effekt av att lägga kostnaderna på konsumenten, och låta marknadsmekanismerna styra efterfrågan mot klimatmässigt bättre produkter och produktionssätt? Finns det därtill också frågor om rättvisa?

Diskussionen om var man ska bokföra utsläpp som orsakas av importerade och exporterade råvaror och produkter – om det är konsumenten eller producenten som är ansvarig för utsläppen – är viktig i en värld som strävar efter att stoppa avskogning och annan misskötsel av mark. En viktig utmaning är också att knyta de globala drivkrafterna för markanvändning och förändrad markanvändning, det vill säga internationella handelsmönster och internationell efterfrågan på varor och produkter, till en ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet på lokal nivå i producentlandet.

Man bör därför få fram ett mått på "hållbarhet" hos landekosystemen i allmänhet och för markanvändningen i synnerhet, både ur ett lokalt, regionalt och globalt perspektiv. Begreppet hållbarhet bör dessutom definieras över olika tidsskalor: vad är hållbarhet ur ett 10-årsperspektiv, och vad är hållbart ur ett 100-årsperspektiv?

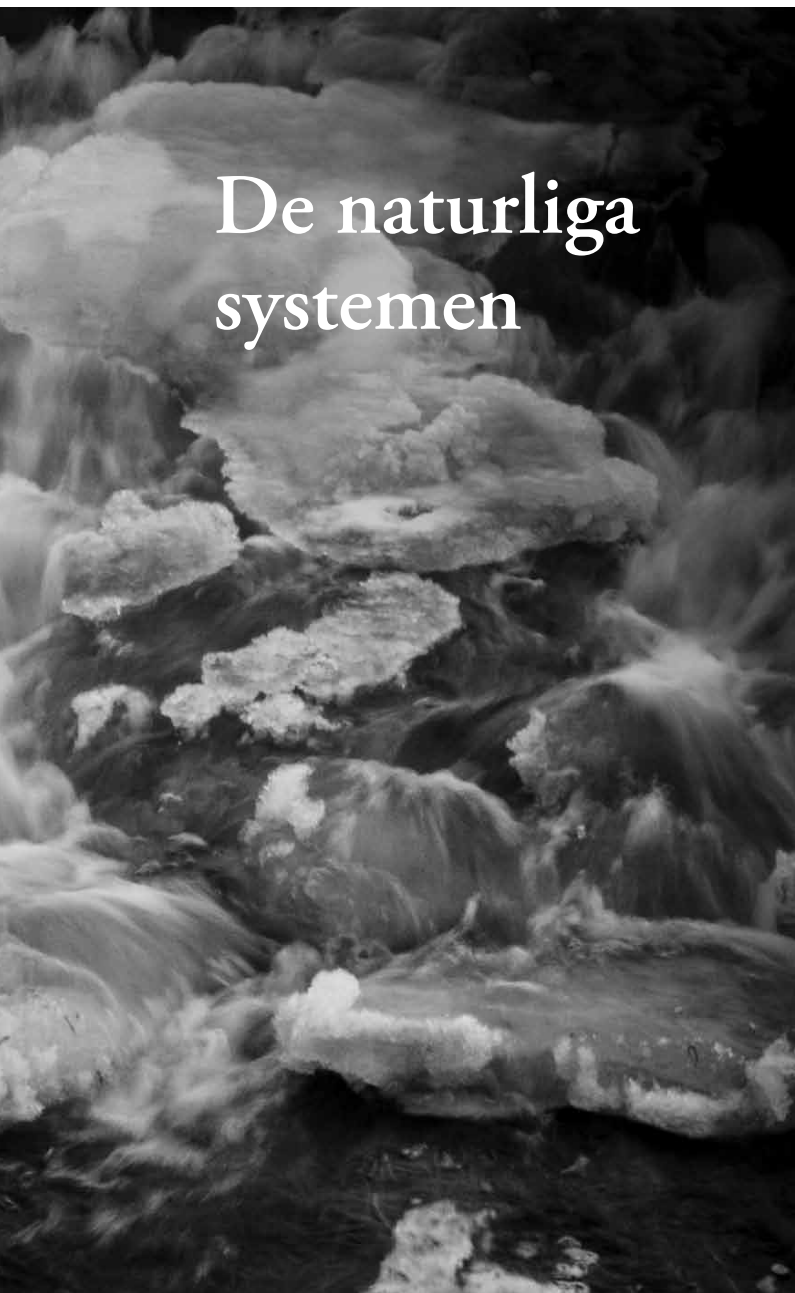
Detta kommer att vara centrala frågor att besvara om ett land eller en region ska kunna definiera vad en hållbar markanvändning innebär för just deras del. Att göra det är i sin tur centralt för att kunna ta politiska beslut om hur marken ska skötas för att klara av alla framtidens krav – både efterfrågan på mat och andra produkter, och behovet av att begränsa klimatutsläpp och annan skadlig påverkan på miljö och biologisk mångfald. □



Marianne Hall disputerade inom ämnet Tillämpad miljövetenskap, och arbetar nu delvis som forskare och delvis som forskningskommunikatör vid Centrum för miljö- och klimatforskning. Hennes forskning är inriktad mot skogar och klimatförändringar: hur skogar och annan vegetation påverkas av det förändrade klimatet, och hur vegetationen och markanvändningen i sin tur påverkar klimatet.



De naturliga systemen



07:

Berg- och dalbana och gungbräda

SVANTE BJÖRCK

Klimatet har förändrats många gånger under de senaste årmiljonerna. Geologen Svante Björck berättar om ett klimat som åkt berg- och dalbana mellan istider och varma perioder. Det finns också en klimatisk ”gungbräda”, där värme på norra halvklotet motsvarats av kyla på södra halvklotet och vice versa. Kunskaperna från den geologiska forskningen har stor betydelse bl a för modelleringen av jordens framtida klimat.

JORDENS utveckling, som en geolog ser den, kan sägas vara både unik och upprepande. Medan varje ögonblick i jordens historia är unikt, så finns det många exempel på cykliska förlopp där utvecklingen upprepas, om än med nya förutsättningar.

Klimatutvecklingen under de senaste årmiljonerna är ett exempel. Gång på gång har inlandsisar byggts upp på norra halvklotet för att till slut smälta och höja havsnivån med tiotals upptill 100-150 meter. Istidsperioderna – glacialerna – har varit längre än de varmare perioderna – interglacialerna – som bara utgjort en liten del av varje istidscykel. Istidscyklerna har under den senaste årmiljonen varit ca 100.000 år långa, medan de dessförinnan var kortare, ca 40.000 år.

Under de kallaste faserna av istiderna var den globala temperaturen 8-10 grader lägre än idag och på vissa delar av jordklotet betydligt kallare än så, medan tropikerna bara kylades ner några grader. Klimatet kunde variera kraftigt även under istiderna. Ibland kunde det vara nästan lika varmt som idag, men dessa faser varade inte tillräckligt länge för att utvecklingen skulle gå in i en interglacial.

Den klimatiska berg- och dalbanan

Man kan säga att klimatutvecklingen under åtminstone de senaste 2,6 miljoner åren har sett ut som en berg- och dalbana, med relativt korta och jämna höjder och däremellan långa dalar med många små plötsliga gupp. Vad som gör denna berg- och dalbana lite speciell är att backarna varit mycket branta, dvs klimatförändringarna har oftast varit mycket snabba. Uppförbackarna har i regel varit brantast: uppvärmningarna har gått snabbast, medan avkylningarna gått mer gradvis.

Analyser av borrhärlor i den grönländska inlandsisen från den senaste istiden ger några exempel på detta. De visar att den grönländska atmosfärens sammansättning flera gånger för-

ändrades totalt på bara ett år, dvs polarluft ersattes av luft från tempererade breddgrader. Samtidigt steg temperaturen, framför allt på vintern, med 10-15 grader på bara ett par år.

De varma faserna under istiden var oftast mycket kortvariga – de varade mellan ca 100 och 1.000 år. Under dessa faser flyttades polarfronten – en gränsszon mellan varmt och kallt både i luften och havet – plötsligt långt norrut. Den Nordatlantiska strömmen (där Golfströmmen ingår) med sitt varma vatten från söder värmdes plötsligt upp och atmosfär, vilket förstås påverkade klimatet kring hela Nordatlanten.

De påföljande avkylningarna var betydligt mer gradvisa och skedde oftast lite oscillerande, dvs med svängningar fram och tillbaka. De mest gradvisa förändringarna skedde när klimatet gick från interglaciala till glaciala förhållanden – ibland kan det t o m vara svårt att avgöra var man skall sätta gränsen mellan en interglacial och glacial. Detta är kanske inte heller så märkligt: det tar längre tid att bygga upp stora inlandsisar än att smälta ner dem, speciellt om de smälter och ”kalvar” i havet eller i stora issjöar.

Solinstrålningen styr växlingarna

De långsiktiga, storskaliga klimatförändringarna hänger framför allt ihop med variationer i sommarens solinstrålning till de relativt höga latituderna – 60-65° – speciellt på det norra halvklotet. Varför spelar då denna solinstrålning till norra halvklotet mest roll för växlingen mellan glacialer och interglacialer? Tar vi en titt på en jordglob ser vi omedelbart den stora skillnaden mellan de två halvkloten. Norra halvklotet domineras i huvudsak av kontinenter, speciellt på de mellanhöga breddgraderna, medan södra halvklotet domineras av de stora oceanerna och t o m helt saknar land mellan 55 och 62°S.

Varför är då de mellanhöga breddgraderna så viktiga? Jo, vi brukar säga att de är de nedisningskänsliga latituderna: här

kan somrarna vara tillräckligt kalla för att den snö som fallit en vinter inte helt smälter före nästa vinter. Är vintern dessutom inte alltför kall men tillräcklig fuktig – som t ex i Skandinavien – kan mycket snö falla som blir svår att smälta om inte sommaren blir tillräckligt lång och varm. När detta fortsätter år från år, och förstärks av att dessa snötäckta landytor reflekterar solljus, så kan glaciärer byggas upp som gradvis övergår i allt större inlandsisar. Det var så som t ex de nordamerikanska och skandinaviska inlandsisarna byggdes upp.

Dessa förutsättningar finns dock inte på södra halvklotet, där det inte finns något land på motsvarande breddgrader. Bergsområdena mindre långt söderut, som i Anderna och på Nya Zeelands södra ö (vars breddgrader motsvarar Sahara respektive Sydfrankrike på norra halvklotet) har visserligen haft glaciärer som kunnat breda ut sig till lägre landområden i närheten. Avsmältningen på sommaren har dock gjort att de aldrig kunnat växa till stora inlandsisar. Det är detta som gör att växlingarna mellan glacialer och interglacialer styrs av solinstrålningen till de mellanhöga latituderna på norra halvklotet.

När sommarens instrålning blir så låg att den inte räcker för att smälta vinterns snö på norra halvklotet kan alltså en istid inledas. Eftersom stora inlandsisar byggs upp på land blir haven av med vatten och havsnivån sjunker. De glaciärer eller istäcken som når ut till havet – exempelvis på Antarktis – kan då breda ut sig mer än tidigare eftersom ett grundare hav innebär att de ”kalvar” mindre. Antarktis inlandsis blir därför större när inlandsisarna byggs upp i norr, och man kan tala om globala istider som styrs av nedisningarna i norr.

Det omvända sambandet gäller sedan när istiden tar slut. När en ökad solinstrålning på sommaren får inlandsisarna i norr att börja smälta, så stiger havsnivån och Antarktis stora shelf-isar börjar kalva och smälta av. Isströmmarnas hastighet,

kalvnningen och havsnivåns stigning förstärker i sin tur varandra i en s k positiv återkopplingsmekanism.

Droppstenar och korallrev

De flesta av mekanismerna bakom de storskaliga klimatförändringarna förstår vi nu ganska mycket av. Ju mer data som kommer fram om dåtidens klimatförändringar och ju mer detaljerad denna information blir, desto mer dynamiskt verkar klimatet dock vara, med mycket snabba förändringar.

Dessa snabba förändringar har inte bara påvisats från iskärnor utan har också visats i andra geologiska arkiv som sjösediment från öar i Södra Oceanen, droppstenar i kinesiska grottor, koraller i karibiska korallrev och marina sediment från afrikanska kontinentalshelfen. Tillsammans bidrar dessa olika fynd till att det geologiska pusslet för olika tidsperioder blir alltmer fullständigt.

För att pusslet skall stämma måste de olika pusselbitarna dock synkroniseras, dvs relateras till samma geologiska klocka. Detta kan ofta vara problematiskt, eftersom de olika arkiven inte lämpar sig för samma dateringsmetoder. Den klassiska geologiska metoden är att ”korrelera”, dvs utgå från att samma händelse går att återfinna i stora områden – ibland t o m globalt – vilket visar att dessa geologiska lager är samtida. Metoden kan säkert fungera för händelser mycket långt bakåt i tiden där den kronologiska precisionen ändå är låg, men när det gäller de snabba kvartära klimatförändringarna riskerar den att leda oss vilse. Det visar försöken att korrelera klimatsignaler mellan grönländska och antarktiska borrhärnor.

Sedan länge har det nämligen varit känt att avslutningen av senaste istiden på norra halvklotet kännetecknades av stora klimatförändringar. För 14.600 år sedan steg temperaturen mycket snabbt, och landisarna smälte allt snabbare i Europa

och Nordamerika. Mycket smältvatten kom då ut i Nordatlanten och både temperaturen och styrkan i den Nordatlantiska strömmen sjönk och steg och sjönk, allteftersom smältvattenmängden steg och sjönk och steg. Detta resulterade i en klimatutveckling med svängningar på 100-500 år.

För 12.800 år sedan inleddes dock en 1.100 år lång och mycket kall period som benämns Yngre Dryas. Namnet kommer från *Dryas octopetala* (fjällsippa), vars blad finns i stora mängder i avlagringar från denna tid. Yngre Dryas innebar att delar av inlandsisarna avancerade, men när denna kalla period avslutades för 11.700 år sedan inleddes vår nuvarande värmeperiod – holocen. I många avseenden kan man säga att Yngre Dryas var istidens sista suck, även om det skulle ta 2.000 år innan den skandinaviska inlandsisen var helt bortsmält och ytterligare nästan 4.000 år innan de sista resterna av den nordamerikanska isen hade smält ut i havet.

Spår efter Yngre Dryas hade man redan tidigt sett i olika geologiska lagerföljder, och de var extremt tydliga i de senare uppborrade grönländska iskärnorna. När man så upptäckte en liknande kall händelse i antarktiska iskärnor tog man för givet att denna ”Antarctic Cold Reversal” var densamma som Yngre Dryas. Eftersom ackumulationen av is är mycket långsammare på Antarktis än på Grönland är enskilda årslager av is där svårare att definiera, vilket gör den antarktiska isen svårare att åldersbestämma. Genom korrelationen till Yngre Dryas i grönländsk is fick man nu en ålder på kallperioden i Antarktis, och tecken på att de kraftiga klimatförändringarna på norra halvklotet avspeglat sig även långt nere i söder.

Korrelationsförsöken misslyckades

Idén var vacker och gladde många geologer, men tyvärr stämde den inte. Ganska snart kom det in uppgifter om glaciärer på Nya Zeeland som visade att den kallperiod som aktiverade glaciärerna måste vara betydligt äldre än Yngre Dryas.

Hur skulle man då kunna datera iskärnorna på Antarktis utan klimatiska korrelationer? Vilka globala signaler har vi om vi inte kan använda oss av klimatförändringar? Vulkanaska? Nej knappast, eftersom ingen aska kan spridas till båda polerna: på den atmosfäriska cirkulationen faller askan nästan alltid ner på det halvklot där vulkanen befinner sig.

Gaser då? Atmosfären innehåller ju gaser som snabbt sprider sig och uppblandas, t ex CO_2 (koldioxid) och CH_4 (metan). Dessa gaser innesluts också i de isbubblor som bildas när snö blir till iskristaller i glaciärisen. Det är genom analys av sådana bubblor i Antarktis is som vi känner till hur atmosfärens koldioxidhalt har varierat långt bakåt i tiden, nästan en miljon år. I grönländsk is finns däremot alltför mycket stoft, som reagerar med koldioxiden, för att koldioxidhalten ska kunna mätas.

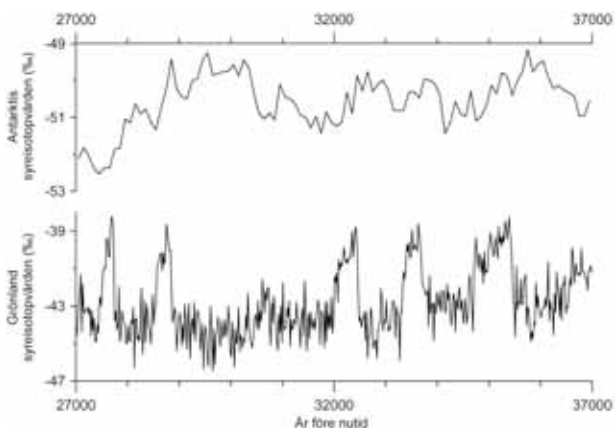
Metan är en bättre möjlighet. Metan går att mäta i både antarktisk och grönländsk is, och dess snabba uppblandning, stora variation och korta livslängd i atmosfären gör den mycket lämplig för detaljerade korrelationer. När man då jämförde metanhalten från de båda polara istäckena visade det sig att den kallperiod på Antarktis man trott vara Yngre Dryas i själva verket startade drygt 1.500 år innan Yngre Dryas, och avslutades när Yngre Dryas började på Grönland och norra halvklotet!

Klimatets gungbräda

Konsekvenserna av detta blir stora, i många olika avseenden. För det första: det visar sig att geologiska tidsperioder faktiskt inte är helt samtidiga över hela jordklotet. Inledningen av den

nuvarande värmeperioden har definierats utifrån grönländska iskärnor: den började för 11.700 år sedan när den kalla Yngre Dryas-perioden var över. Rönen från Antarktis visar dock att den egentligen började tidigare än så, eftersom uppvärmningen i Antarktis inleddes drygt 1.000 år tidigare.

För det andra: när man studerade metanförhållandena i Grönland och Antarktis längre tillbaka i tiden visade det sig att den klimatiska motsatsen mellan polerna – den så kallade ”gungbrädeseffekten”: upp i norr ner i söder och vice versa – även gäller en stor del av senaste istiden, liksom tidigare istider. När temperaturen plötsligt sjönk på Grönland började den stiga på Antarktis. Det har dessutom visat sig att ju längre dessa istida



Kurvorna visar temperaturförändringar registrerade i iskärnor från Antarktis och Grönland. Y-axeln visar halterna av syreisotopen 18O i den snö som föll på inlandsisarna för 27.000-37.000 år sedan – ju lägre värden, desto kallare klimat. De stora svängningarna i temperaturen på Grönland för ca 32.000 år sedan motsvarar temperaturskillnader på hela 15-20 grader.

kallperioder på norra hemisfären varade, desto varmare blev det på Antarktis (även om det aldrig är "varmt" på Antarktis!).

Eftersom jordens hela komplexa klimatsystem måste vara involverat i de bakomliggande processerna, så är detaljerna bakom denna klimatiska gungbräda fortfarande svåra att förstå. Vad vi dock vet är att jordens stora transportband av värme – the Great Conveyor Belt, den atlantiska "värmepumpen", se nedan – måste vara en viktig del av processen. Klimatmodeller har också visat hur det skulle kunna gå till när klimatutvecklingen på de två halvkloten kommer så mycket ur fas.

Jorden för 40.000 år sedan

För att förstå och beskriva förloppet bättre kan vi utgå från en viss situation och en viss tidsperiod. För ca 40.000 år sedan hade vi t ex ett riktigt hårt istidsklimat på norra halvklotet. Stora glaciärtungor från inlandsisarna kring Nordatlanten hade nått ut till havet och lett till en stor mängd isberg i Nordatlanten. På Antarktis började däremot temperaturen att stiga, och fortsatte att bli högre under en 2.000 år lång period. När sedan värmen tog över i norr, där temperaturen plötsligt steg, avbröts värmeperioden i Antarktis och övergick gradvis till en kallperiod. Detta är bara en av många liknande klimatsvängningar under senaste tiden, och troligen ett mönster som är relativt typiskt för istider.

Data från både land och hav, bekräftade av klimatmodeller, visar också att klimatsvängningarna sammanföll med förändringar i djupvattenbildningen och "the Great Conveyor Belt". Med djupvattenbildning i Atlanten menas att ytvattnet blir tyngre på vintern när det kyls av. Det sjunker då ner tills det når en vattenmassa med samma täthet och transporteras sedan söderut i havet på en mellandjup nivå. Detta sjunkande vatten måste ersättas av ytvatten. Det sker genom att varmt ytvatten från söder – från Indiska Oceanen, Sydatlanten och Karibien

– förs norrut och värmer Nordatlanten och dess kringliggande landområden. Det är denna process som kallas den atlantiska ”värmepumpen”.

Kort sammanfattat innebar förändringarna att djupvattenbildningen under Antarktis varma perioder dels var svagare, dels skedde mycket längre söderut än idag. Havets värme ansamlades i Södra Oceanen kring Antarktis eftersom mindre mängder varmt vatten kunde transporteras norröver, vilket i sin tur förstärkte kallperioden i norr. Detta är självklart en förenkling av de mycket komplexa processer som ligger bakom den klimatiska gungbrädesmekanismen, men den hjälper oss att förstå den intima hopkopplingen av jordens klimatmaskineri.

Vi kan också notera att kunskaperna om klimatets gungbräda är ett ytterligare bevis för att den nuvarande globala uppvärmningen beror på människans inverkan. Gungbrädan har under de senaste 20.000 åren gjort att det aldrig förut inträffat en samtidig uppvärmning av norra och södra halvklotet. Det som sker idag är unikt ur ett historiskt geologiskt perspektiv, och kan inte förklaras av några naturliga mekanismer.

Klimatforskning i Lund – och på Tristan da Cunha

Det finns dock en hel del luckor i våra kunskaper om detta klimatiska samspel mellan jordens två halvklot. Här är några viktiga frågor som återstår att besvara: Hur långt norrut på södra halvklotet har klimatresponser varit densamma som i Antarktis? Hur snabbt förändrades de vindar och havsströmmar som går runt jorden, t ex västvindbältet och den antarktiska cirkumpolära strömmen? Har den klimatiska gungbrädesmekanismen varit i funktion även under värmeperioder som den nuvarande?

Dessa frågor är något vi inom en forskargrupp i Lund arbetar med. Ett av våra fältarbetsområden är ögruppen Tristan da Cunha i centrala Sydatlanten, på ungefär samma breddgrad som

Buenos Aires. Detta är världens avlägsnaste bebodda öar, belägna mitt emellan Kapstaden och Patagonien. Denna vulkaniska ögrupp, med huvudön Tristan da Cunha och de mindre öarna Inaccessible Island och Nightingale Island, har ett läge som gör att förändringar i cirkulationsbältenas position kan ge en stark effekt.

På Nightingale Island har vi borrar i tre av öns fyra igenvuxna sjöar och kommit ner till en ålder av 36.000 år. Våra data kommer att kunna visa hur långt norrut på södra halvklotet det antarktiska klimathästret återspeglar sig. Eftersom vi också arbetar på en ö utanför Eldlandet, långt söder om Nightingale Island, kommer vi dessutom att kunna bestämma hur snabbt förändringarna har gått.

Vi har även stora möjligheter att se vad som har styrt ögruppens växlande klimathistoria under holocen, dvs de senaste ca 12.000 åren. Är det temperaturförändringar i havet eller förändringar i västvindbältets styrka och position? Detta kommer att kunna avgöra om gungbrädesmekanismen varit aktiv även under holocen. Genom att kombinera våra och andras data om de förändringar vi kan rekonstruera i Södra Oceanen, och testa dessa data mot körningar av klimatmodeller, blir det möjligt att förstå klimatmaskineriet mycket bättre. Samtidigt kommer klimatmodellerna att få en större trovärdighet – för om de inte kan rekonstruera klimatscenarier bakåt i tiden där vi har data, hur kan vi då lita på dem när vi med hjälp av dem försöker förstå framtidens klimat?

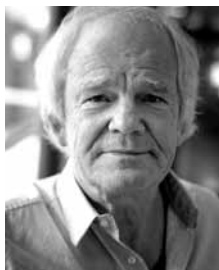
Den globala kolcykeln

En annan viktig aspekt på forskningen i Sydatlanten är att detta område har haft en synnerligen stor betydelse för den globala kolcykeln och förändringar av atmosfärens koldioxidhalt. Under istiden var den marina biologiska aktiviteten i Sydatlanten mycket hög, med stor produktion av växtplankton. Den gyn-

nades säkerligen av att järnrikt stoft blåste ut från de torra patagoniska öknarna med västvindbältet och gödde havet med näring. För att bygga upp denna stora biomassa användes atmosfärens koldioxid, som då sjönk. Samtidigt hindrades utbytet av koldioxid mellan hav och atmosfär av att havsisområdet kring Antarktis var betydligt större än idag.

När uppvärmningen efter istidsmaximum inleddes i Antarktis för drygt 17.000 år sedan minskade däremot havsisens utbredning. Då började det koldioxidrika havet släppa ifrån sig koldioxid, och Patagonien blev fuktigare och mindre ökenlikt vilket minskade gödningen till Sydatlanten.

Detta parallella förlopp mellan koldioxidstigningen och temperaturen i Antarktis och sydligaste Sydamerika ser vi mycket tydligt i de geologiska arkiven. Däremot är fortfarande mycket höljt i dunkel om kopplingarna mellan de två halvklotens varierande klimatutveckling och kolcykelns förlopp in i dagens varma värld. Många av lösningarna till detta, liksom de fysikaliska mekanismerna bakom klimatets berg-och-dalbana och gungbräda, finns säkert i den forskning som bedrivs i och kring Södra Oceanen. □



Svante Björck är professor i kvartärgeologi vid Lunds universitet. Han har också varit ledamot respektive ordförande i NT-rådet på Vetenskapsrådet. Han arbetar i sin forskning med klimat- och havsnivåförändringar under den senaste istidscykeln. En viktig aspekt är kopplingen mellan jordens två halvklot vad gäller klimatets processer, och Svante Björck har därför bl a studerat geologiska klimatarkiv på många öar i Atlanten, från Grönland till Antarktis.

08:

Metanbomb i Arktis?

MARKKU RUMMUKAINEN

Kommer vi att drabbas av en "metanbomb" när värmen tinar den ständigt frusna permafrosten och värmer upp våtmarkerna och havet i Arktis? Risken för detta nämns i olika sammanhang, och handlar om att stora mängder metangas – en starkare växthusgas än koldioxid – snabbt skulle kunna frigöras och stiga upp i atmosfären. Klimatologen Markku Rummukainen finner att det kanske inte blir någon explosion, men att koldioxid och metan från Arktis ändå kan komma att kraftigt förstärka den mänskligt orsakade uppvärmningen.

METAN är en mycket effektivare växthusgas än den mer omtalade växthusgasen koldioxid. Över en hundraårsperiod påverkar en metanmolekyl klimatet ungefär 25 gånger mer än en koldioxidmolekyl. På kortare sikt är skillnaden ännu större.

De två gaserna har båda en kolatom i sina molekyler, men därutöver har metanet fyra väteatomer och koldioxiden två syreatomer. Denna skillnad ger dem olika egenskaper i fråga om både växthuseffekt och vistelsetid i atmosfären. Metan stannar mycket kortare tid i atmosfären. Dess "vistelsetid", dvs när ett tillskott av gasen minskat med en viss andel, är cirka 10 år mot koldioxidens cirka 100 år. Metanet omvandlas till koldioxid, vilket gör att det fortsätter att ha en uppvärmande effekt även efter sin direkta vistelsetid.

Att det oftast talas mer om koldioxid än om metan beror i första hand på att det finns betydligt fler koldioxidmolekyler i atmosfären än metanmolekyler. Att minska koldioxidutsläppen är den enskilt största utmaningen när det gäller att minska vår klimatpåverkan. Metanet är dock i högsta grad värt att uppmärksamma, dels på grund av att det trots allt har en betydande klimateffekt, dels eftersom vissa naturliga system kan börja att avge mer metan i ett varmare klimat. Stora naturliga utsläpp av metangas skulle i så fall öka den globala uppvärmning som människans aktiviteter satt i gång.

Källor, sänkor och halter

I samband med atmosfärens växthusgaser brukar man tala om "källor" och "sänkor". Dessa är system som avger respektive upptar växthusgaser från atmosfären. Både koldioxid och metan har ett naturligt kretslopp som omfattar atmosfären, havet och de biologiska systemen. Koldioxid och metan utväxlas i detta kretslopp på ett sätt som i ett jämviktsläge innebär en viss fördelning av kolinnehållet mellan kretsloppets olika delar.

Under de senaste 10.000 åren har naturliga kolsänkor och kolkällor i stort balanserat varandra. Utsläpp av koldioxid och metan har kompenserats av upptag, och atmosfärshalterna har varit ganska jämna. Sett ur ett längre perspektiv har halterna i atmosfären varierat mer, vilket tyder på att naturliga förändringar i klimatet påverkat de naturliga sänkorna och källorna.

De mänskliga utsläppen av koldioxid och metan kan liknas med en kortslutning av dessa kretslopp. Jämvikten har förstörts när kol, som länge legat bundet i geologiska reservoarer, plötsligt tillförts till kretsloppet genom framför allt förbränning. Mer kol har då hamnat i atmosfären. Den resulterande klimatförändringen kan sedan påverka de naturliga källorna och sänkorna på samma sätt som vi vet att tidigare, naturliga klimatvariationer kunnat göra.

Den största naturliga metankällan är våtmarker, som finns både i tropikerna och i kallare områden som Arktis. Den viktigaste metansänkan är metanets oxidering i atmosfären, dvs den kemiska reaktion som förvandlar metan till koldioxid och vattenånga. Eftersom koldioxiden stannar längre i atmosfären än metanet, innebär det som redan nämnts att metanet har en långvarig klimateffekt även efter sitt eget försvinnande.

Stark ökning av växthusgaser

Dagens halter av växthusgaser i atmosfären är höga, även sett ur ett längre perspektiv. Koldioxidhalten i atmosfären har stigit med 40 procent och metanhalten med hela 150 procent jämfört med den förindustriella nivån. Förbränning av fossila bränslen innebär utsläpp av både koldioxid och metan. Metanutsläpp orsakas även av risodlingar, boskapsskötsel och avfallshantering. Förändringar i markanvändningen, som till exempel avskogning, orsakar också utsläpp.

Scenarierna för hur mycket koldioxid- och metanhalt kommer att förändras framöver är ganska osäkra. Det beror delvis på en osäkerhet om hur våra energisystem, vår markanvändning (avskogning och jordbruk) samt vår industriproduktion kommer att utvecklas. Säkert är att det kommer att ta tid att bli av med utsläppen, och under tiden ökar vi växthuseffekten och därmed klimatförändringarna ytterligare.

Det finns också betydande frågetecken när det gäller de naturliga systemens känslighet för klimatuppvärmningen. Vi vet inte med säkerhet i vilken omfattning kolsänkor och källor i mark och vatten reagerar under klimatförändringar.

Återkopplingsmekanismer

När det gäller att minska den mänskliga klimatpåverkan är det allra viktigaste att minska utsläppen av koldioxid, eftersom det är med dem vi påverkar klimatet mest. Ju snabbare vi kan få utsläppen att minska, desto mindre blir de direkta klimateffekterna och desto mindre blir risken för att vi sätter igång ytterligare naturliga mekanismer som kan öka uppvärmningen ännu mer. En av dessa mekanismer är den omdiskuterade "metanbomben" i Arktis.

Att just Arktis är särskilt intressant i sammanhanget beror på att uppvärmningen där beräknas bli som allra störst på jorden. Mycket av metanet i de naturliga systemen är för närvarande lagrad i frusen mark och kallt hav. När det blir varmare tinar permafrosten, våtmarkerna torkar eller blir blötare och vegetationen förändras. De händelsekedjor som då startas av uppvärmningen kan i sin tur leda till ytterligare förändringar, vilka kallas återkopplingar ("feedback") i klimatsystemet.

Metan från landområden

Metangas produceras vid nedbrytning av organiskt material under syrefattiga förhållanden, vilket i Arktis till exempel kan ske i sjöar eller i våtmarker. När det däremot finns tillräckligt med syre så bildas inte metan. Då omvandlas markens kol i stället till koldioxid. Denna skillnad gör att det blir viktigt hur det ser ut i marken där nedbrytningen av organiskt material äger rum. Viktiga faktorer utöver temperaturen är även nederbörden, avdunstningen, grundvattennivån och bildandet av sjöar när permafrosten tinar. Metan som bildas djupare in i marken kan på sin väg uppåt omvandlas i de övre markskikten till koldioxid. Sjöar, våtmarker och vissa växter (kärlväxter som örter, buskar, dvärgbjörkar) kan däremot ge snabbspår för metantransporten till ytan och vidare in till atmosfären.

Vegetationsförändringar kan ha även en ytterligare effekt på metan. Vegetation producerar så kallade flyktiga kolväten som oxideras i atmosfären på samma sätt som metan. Klimatförändringarna bedöms öka produktionen av dessa ämnen, vilket gör att det blir mer tävlan om oxiderande ämnen och metanets livstid ökar i atmosfären. Ökningen av metanhalten har en likadan effekt på dess egen livstid, vilket innebär att en ökande metanmängd i atmosfären förlänger tiden metan stannar kvar. Förändringar i temperaturen och fuktigheten kan däremot öka oxideringens effektivitet. Det ger en motverkande effekt, som betyder att metanets livstid i atmosfären kanske ändå inte blir så annorlunda framöver.

"Isfängelser" i havet

Om metanbildningen i marken handlar ett senare avsnitt. Men det finns också mycket metan, troligen ännu större mängder än på land, på havsbottenarna i form av metanhydrater. Metanhydrater är metangas som blivit inkapslad i iskristaller. Dessa

isfångelser hålls ihop så länge det är tillräckligt kallt och de är under det tryck som råder i havets djup. Skulle vattentemperaturen höjas tillräckligt mycket, så skulle metangasen kunna komma loss och bubbla upp till atmosfären.

Metanhydrater förekommer på flera håll på världens havsbottnar, ofta på stora djup. På östsibiriska kontinentalshelfen och i Svalbardsområdet finns också ganska grunda områden med metanhydrater. Det finns mätningar av lokalt stora utflöden av metan från en del av dessa system. Det har dock inte gått att säga om sådana utflöden funnits redan tidigare och om de i så fall nu är större än förut.

Hittills har man inte sett någon större påverkan på atmosfären från metanhydrater, och risken för stora metanutsläpp från havsbottenarna verkar inte överhängande. Dels tar det lång tid innan den globala uppvärmningen hunnit sprida sig till havets djup, dels är det mycket möjligt att metan som frigjorts från hydraterna helt eller delvis omvandlas till koldioxid på vägen upp.

Stora mängder metan

Det finns något olika uppskattningar om kolmängderna i markbaserade system, men man vet att en stor andel finns i permafrostområdena och våtmarkerna i de arktiska delarna av Eurasien, Grönland och Nordamerika. Dessa marker har gott om organiskt kol, det vill säga en ansamling av dött organiskt material som beroende på omständigheterna kan omvandlas till antingen koldioxid eller metan.

Den uppskattade mängden organiskt kol i permafrostmarker är upp till 1.700 miljarder ton kol vilket är ungefär dubbelt så mycket som kolmängden i atmosfären. I våtmarker finns globalt någonstans mellan 200 och 450 miljarder ton kol. Uppskattningarna av metanhydratmängder är mer osäkra och landar mellan 1.500 och 7.000 miljarder ton. Mängderna är alltså

mycket stora. Det är ändå inte troligt att mer än en liten andel av dessa mängder hamnar i atmosfären, som diskuteras här nedan.

Som redan nämnts, är Arktis den region i världen som kommer att bli drabbad av den största uppvärmningen av alla. En värmeökning ger också större effekt i miljöer med snö, is och permafrost än i tempererade klimat, eftersom tidigare frusna system påverkas dramatiskt när smältpunkten inträffar. Förändringarna i landskapet blir snabbt synliga för blotta ögat. Snötäcket, havsisen och glaciärerna minskar. Det bildas smältvattensjöar, marken kan lokalt rasa in när permafrosten ger vika, och erosionen får bättre fäste längs floderna och kusterna.

De förändrade utsläppen av växthusgaser från Arktis blir mindre synliga men lika verkliga som förändringarna i landskapet. Nedbrytningen av organiskt material går snabbare när kylan minskar. Glaciärer som drar sig tillbaka blottlägger tidigare dold kol från kol- och naturgasreservoarer i berggrunden. Permafrostens tinande exponerar kol som tidigare varit vilande i marken. Till att börja med påverkas den ytnära permafrosten, men efter hand sprider upptiningen sig nedåt i marken och kan börja beröra allt större kolmängder.

Smältvatten och förändrad nederbörd påverkar förhållandena i marken och bidrar till att avgöra om nedbrytningen av organiskt kol leder till koldioxid eller metan. Och utöver att smältvattensjöar kan utgöra en kanal som gör det lättare för metan som bildas djupare i marken att ta sig upp till ytan, så ökar de också värmetransporten ner i marken, vilket gynnar tiningen.

Briserar metanbomben?

Det finns mekanismer för återkopplingar i Arktis som ytterligare ökar uppvärmningen. Dagens forskarsvar är ändå att även om det inte går att utesluta att metanbomben briserar, verkar det osannolikt att metan från Arktis skulle ha någon betydande inverkan på

klimatet, i alla fall under det närmaste århundradet. Ökande utgasning av koldioxid i Arktis är troligen viktigare än eventuella ökande metanutsläpp från arktiska system.

Skulle avgångarna av metan ändå öka mycket, skulle vi få anledning till att revidera gängse klimatscenarier. Det spelar dock roll hur snabbt avgångarna skulle äga rum. En långsam ökning skulle höja klimatpåverkan bara något, på grund av metanets korta livstid i atmosfären. En viss långsiktigare klimateffekt skulle dock samtidigt uppstå när metan blev koldioxid i atmosfären.

Viktiga frågetecken

Vad som händer i Arktis är ett viktigt frågetecken i klimatfrågan. Enligt vissa uppskattningar skulle ett varmare klimat i Arktis kunna driva ut så pass mycket koldioxid under 2000-talet att gängse globala uppvärmningsscenarier, som redan handlar om stora förändringar, ytterligare bör skrivas upp med mellan en halv grad och en grad.

Om det kommer att handla om så mycket – eller litet – återstår att se. Vi har ändå all anledning att tro att metan- och koldioxidutsläpp från de arktiska systemen kommer att öka. Dessutom ändras de berörda systemen själva, vilket påverkar ekosystemen och andra värden på viktiga sätt.

Blotta faktum att det finns frågetecken kring metan och Arktis är också oroande i sig, eftersom vi alltså inte med säkerhet kan uppskatta hur mycket upptiningen av Arktis kommer att förstärka den globala uppvärmningen bortom de direkta växthusgasutsläppen. Klimatfrågan är kanske ännu mer allvarlig än vi oftast föreställer oss idag? □



Markku Rummukainen är professor i klimatologi vid Lunds universitet och verksam vid Centrum för miljö- och klimatforskning (CEC). Han är även koordinator för det strategiska forskningsområdet MERGE – Modelling the Regional and Global Earth system – som handlar om modellering av jordens klimatsystem, med fokus på vegetation och landbaserade ekosystem.

09:

Östersjön i ett förändrat klimat

JOHANNA STADMARK
HANS HANSON

Klimatets växlingar har alltid påverkat Östersjön.

Tidigare har förändringarna framförallt haft naturliga orsaker, men idag påverkas flera processer av människan, och förändringarna går fortare än de gjort under de senaste århundradena. Här fokuserar ekologen Johanna Stadmark och professorn i teknisk vattenresurslära Hans Hanson på de effekter som förändringar i temperatur, salthalt och havsnivå har på Östersjöns ekosystem och kuster.

DAGENS UPPSKATTNINGAR är att temperaturen i Östersjöområdet kommer att öka med upp till 4 °C de närmaste hundra åren. Ju längre norrut vi kommer desto mer ökar temperaturen. Även nederbörden förväntas öka, främst under den kallare delen av året, och vi kan vänta oss fler häftiga regn. Östersjöns ytvatten kommer därför troligen att bli både varmare och sötare.

En ökning av jordens medeltemperatur kommer även att höja havens medelvattennivåer. Detta kommer att påverka bland annat Sveriges kuster. Här anses det handla om en havsnivåändring på mellan 0,7 och 1,5 meter över perioden 1990-2100, där 1 meter är den siffra som svenska myndigheter idag använder som riktmärke för kommunernas långtidsplanering. Hur detta slår lokalt beror på landhöjningen, som är störst i norra Sverige, där den uppgår till nära 10 millimeter per år, och minst i södra Sverige med knappt 0,5 millimeter per år.

Effekter på ekosystem och kemi

Ekosystem som Östersjön kan ofta anpassa sig till förändringar i till exempel salthalt och temperatur om förändringarna kommer gradvis och inte är alltför stora. Fiskbeståndet och andra levande organismer har då tid att anpassa sig till de nya förutsättningarna. Men om det sker många förändringar på relativt kort tid, eller om ett tröskelvärde passeras, kan ekosystemet rubbas så att vissa arter dör på grund av ogynnsamma förhållanden eller konkurreras ut av bättre anpassade organismer.

Ett exempel på ett viktigt tröskelvärde i Östersjön är syrehalten. De flesta organismer behöver minst 2 milligram syrgas per liter vatten för att överleva och klarar inte syrebrist.

Redan i naturligt tillstånd finns det risk för en sådan syrebrist i Östersjöns djupare vatten. Ett skäl till detta är att Östersjöns vattenmassa är skiktad, med ett sötare ytvatten och ett saltare bottenvatten. Om ytvattnet blir ännu sötare, till följd av

ökad avrinning från land, kan skiktningen bli stabilare och omblandning av de båda vattenmassorna ske mer sällan.

Ett annat exempel där en gräns kan passeras när temperaturen stiger är isens utbredning i Östersjön. Vissa sälararter, exempelvis vikaren, behöver is för att föda sina ungar. Om isutbredningen minskar kan vikaren därför behöva flytta norrut till Bottenviken, där konkurrensen om lämpliga platser kan bli stor.

Ännu en effekt av en ökad temperatur är att de arter som normalt finns i Östersjön utmanas av invaderande arter som är bättre anpassade till en högre temperatur. Högre temperatur ger också sämre möjlighet för en del tångarter, som den mindre bandtången, att bre ut sig och vara livsmiljö för andra arter. Detta kan i sin tur få effekter på den biologiska mångfalden.

Växtplankton har stor betydelse för hur ett ekosystem fungerar. Aktuell forskning visar att en del arter som finns i Östersjön idag kan förflytta sig genom vattnets temperatur- och salthaltsskiktningar, medan andra hindras om skiktningen är för stark. Vi kan därför vänta oss förändringar i artsammansättningen av växtplankton framöver. Vilka effekter det får på näringstransporten i havet och högre upp i näringskedjan är svårt att veta.

Förändringar på land som påverkar Östersjön

Östersjöns avrinningsområde – det område inom vilket allt vatten har Östersjön som slutstation – har förändrats många gånger under årtusendenas lopp. Landskapet har varit beskogat, därefter öppnare och nu åter mer beskogat. Hur landskapet sett ut har ofta präglats av kulturen och inte nödvändigtvis av klimatet. Oavsett vad som påverkar förändringarna i växtligheten, så har dessa förändringar effekter på det vatten som rinner ut i åar och floder och vidare ut i Östersjön.

Forskning har visat att Östersjöns bottenvatten redan tidigare har lidit av syrebrist. Detta har varit under perioder då det varit

varmare, till exempel under medeltiden. Om syrebristen var en direkt effekt av den högre temperaturen, eller om den berodde på människans påverkan, är svårt att veta. Odlingen kan till exempel ha varit mer intensiv under varmare perioder. Ett intensivare jordbruk ger ett ökat läckage av näringsämnen till Östersjön.

Hur flödet av näringsämnen från land till hav påverkas av ett framtida varmare klimat med en längre vegetationsperiod beror på vad som kommer att växa på land. Norra Europa kan bli allt viktigare för Europas matproduktion om det blir alltför varmt och torrt i södra Europa. Ett utbyggt jordbruk kan då få effekter på Östersjön. Om skogsbruket blir mer intensivt, bland annat för att öka koldioxidupptaget och för att producera biobränsle, kan detta också öka läckaget av näringsämnen till havet.

Syrefattiga bottnar i Östersjön

Östersjön är även naturligt ett ekosystem som är utsatt för stor stress. De djur som lever i Östersjön lever ofta på gränsen av sitt utbredningsområde. Djursamhället består av dels sötvattensarter som klarar lite saltare förhållanden, dels marina arter som kan leva i brackvatten. Många marina arter, exempelvis blåmusslan, kan inte växa sig lika stora i bräckt som i salt vatten.

Flera faktorer påverkar syreförhållandena i Östersjöns bottenvatten. Temperatur och salthalt har direkta effekter på hur mycket syrgas som kan lösa sig i vattnet. Syrgasen förbrukas sedan då organiskt material, som till stor del består av rester av döda plankton, bryts ned. Ju mer näring det finns i vattnet, desto mer organiskt material blir det som ska brytas ned, och desto mer syre går åt.

Merparten av den näring som tillförs Östersjön från land kommer från jordbruksmark, skogsmark och reningsverk. Det kommer också ett nedfall av kväve som släppts ut i form av avgaser från bil- och färjetrafik. Dessutom bidrar kvävefixerande organismer med kväve genom att omvandla kvävgas (som näs-

tan fyra femtedelar av luften består av) till kväve i former som andra organismer kan använda sig av för att tillväxa.

Det sker också utsläpp av framför allt fosfor från Östersjöns botten då det blir syrebrist. När det finns syrgas vid botten så är fosfor bundet till järnföreningar, men vid syrebrist ändras järnets egenskaper och fosfor släpps fri. För närvarande står denna sorts bottenutsläpp för en stor del av den fosfor som plankton i Östersjön använder.

Östersjön har under decennier tillförts stora mängder näringsämnen och algproduktionen är därför hög – vi brukar kalla Östersjön för ett övergött hav. Blomningar av giftiga cyanobakterier gynnas av hög temperatur och god tillgång på fosfor, så vi kan vänta oss en ökning av dessa blomningar i framtiden. Eftersom allt som producerats förbrukar syre när det ska brytas ned kan den ökade produktionen av plankton sedan ge ytterligare syrebrist i bottenvattnet med ytterligare fosforutsläpp som följd. Det bildas en ond cirkel.

Många botten längs Östersjöns kuster har drabbats av syrebrist någon gång under de senaste sextio åren. Att just kusterna berörs beror på utflödet av näringsämnen via åar och floder och att strömmarna i Östersjön främst transporterar det näringsrika ytvattnet längs med kusten. Det är möjligt att vindarna förändras i framtiden, vilket i så fall kan påverka omblandningen av vattnet vid kusterna och därmed syrehalten. Var detta kommer att ske och vilka effekter det kan få är dock svårt att förutsäga.

Hur fisken påverkas

Olika fiskarter påverkas på olika sätt av exempelvis syrebrist. Arter som äter bottenlevande djur måste söka sig till områden där det finns liv på botten och det sker fiskflykt från områden där förhållandena är dåliga. Torsken å sin sida påverkas redan i början av sin livscykel. Torskens ägg, som flyter i vattnet, be-

höver syrgas och samtidigt en salthalt som endast finns på lite djupare vatten. Om syrebristen ökar i bottenvattnet när temperaturen blir högre kan det bli färre delar av Östersjön som ger torskens ägg möjlighet att utvecklas. Det skulle i så fall leda till en nedgång i mängden torsk. Men det finns även andra modeller som visar att en värmeökning med tre grader kan vara positiv för torskynglens överlevnad, så frågan är komplex.

Vattnet blir brunare

Under de senaste åren har många ytvatten i Sverige blivit brunare. Men vad beror färgförändringen på? En förklaring är att det beror på att våra marker återhämtar sig från den försurning som drabbade både sjöar och mark under slutet av 1900-talet. En annan förklaring är att temperaturökningen lett till ökad nedbrytning av organiskt material. Ökad avrinning på grund av mer nederbörd kan också spela in.

Mätningar i flodmynningarnas utlopp i Östersjön visar att det vatten som rinner ut i Östersjön har blivit mörkare. Det organiska material som kommer ut i Östersjön idag kan alltså ha en annan sammansättning än det haft under tidigare decennier. Det pågår idag forskning kring hur det organiska materialet ser ut och i förlängningen vilken effekt det kan ha på livet i Östersjön.

Koncentrationen av järn i vattnet har ökat över tid. Även denna ökning kan ha del i färgförändringen. Järn är i vissa områden det ämne som begränsar hur mycket plankton som kan växa i havet, och ett ökat utflöde av järn skulle därför kunna bidra till en ökad algproduktion i Östersjön – även om järnbrist inte anses vara ett stort problem just för Östersjöns plankton.

Havsnivån stiger

Under den senaste istiden täcktes Sverige av ett tjockt istäcke vars tyngd gjorde att markytan trycktes ner. Efterhand som isen

smälte undan lättade trycket och markytan började successivt stiga igen. Denna landhöjning pågår fortfarande och är minst vid den skånska sydkusten där den uppgår till knappt 0,5 millimeter per år. Den största landhöjningen sker i de nordligaste delarna av Sverige och uppgår där till nära 10 millimeter per år.

Den lokala havsnivåförändringen (också kallad den relativa havsnivåförändringen), utmed en viss kust är alltså lika med skillnaden mellan havsnivåhöjningen (också kallad den absoluta havsnivåförändringen) och landhöjningen. Havsnivåförändringen är tämligen lika utmed den svenska kusten, medan landhöjningen alltså varierar från plats till plats.

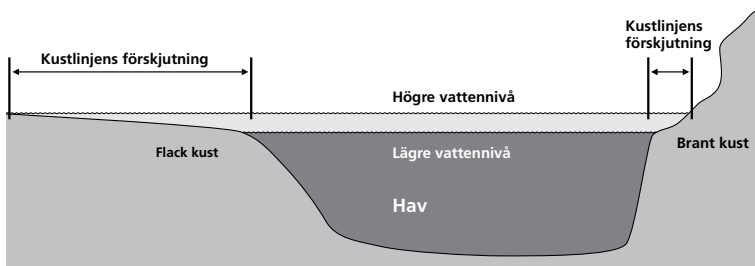
Den relativa havsnivåförändringen kan beräknas för olika delar av landet fram till år 2100. Beräkningarna visar att Ystad, som har den minsta landhöjningen, kommer att få en vattenståndshöjning med drygt 90 centimeter. I Piteå, med den högsta landhöjningen, kommer havsnivån att fortsätta sjunka de närmaste 40 åren och först om 80 år överstiga dagens nivå.

Havsbottnen ändrar form

En stigande havsnivå inverkar på våra kustområden på flera sätt. Först och främst kommer naturligtvis all mark som ligger lägre än den nya vattenytan att ställas under vatten. Stora områden kommer att beröras längs flacka kuster, medan effekterna blir mera begränsade längs branta kuster, se figur 1.

För mjuka sandkuster, som vi har gott om framförallt i södra Sverige, är förhållandena lite mer komplicerade. Genom att sanden flyttas omkring utmed bottenprofilen kommer botten gradvis att ändra form.

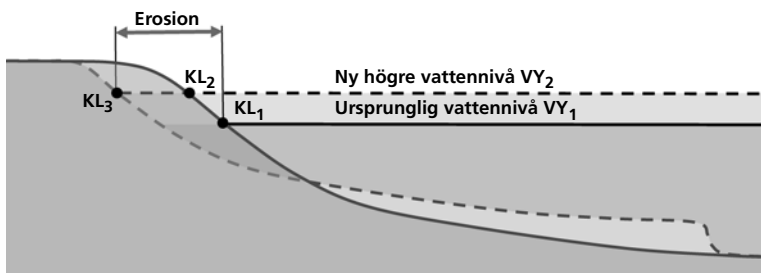
Studier av en stor mängd bottenprofiler runt om i världen visar att bottenprofilen i sådana fall kommer att "vilja följa med upp" när medelvattenytan stiger. Därmed behålls det naturliga jämviktstillstånd som råder mellan bottenprofilen och medelvattenytan.



Figur 1. Kustlandskapets lutning avgör hur stora områden som ställs under vatten vid en viss vattenståndshöjning.

Det som händer är att vågorna och strömmarna gräver bort (eroderar) sanden från den övre delen av profilen och lägger den längre ut i profilen, se figur 2. Detta fortgår tills den nya bottenprofilen har precis samma geometriska förhållande till den nya vattennivån som den ursprungliga bottenprofilen hade till den ursprungliga vattennivån. Vid en hård stenkust händer alltså inget annat än att vattnet stiger och når högre upp på berget. Vid en sandkust däremot flyttar sig hela bottenprofilen, och kustlinjen drar sig långt bakåt.

Kustlinjens tillbakadragning kan beräknas om man känner till vattennivån och bottenens medellutning. Om exempelvis bottenens medellutning är $1/100$, vilket är ett ganska typiskt värde, så kommer en sandkust att dra sig tillbaka 1 meter för varje centimeter som havet stiger. Det betyder att om havet stiger med 1 meter till år 2100 så drar sig kustlinjen tillbaka 100 meter. Detta gäller överallt där kustområdet närmast vattnet består av lösa sediment och där inga åtgärder vidtas för att motverka erosionen.



Figur 2. Vid den lägre, ursprungliga vattennivån (heldragen horisontell linje) ligger bottenprofilen på den lägre nivån (heldragen kurva). Då vattennivån stiger till en högre nivå (streckad horisontell linje) flyttas kustlinjen till KL_2 om kusten är stenig. Om den däremot är sandig flyttas hela bottenprofilen uppåt och bakåt (streckad kurva), så att kustlinjen backar ända till KL_3 .

Åtgärder mot erosionen

Vad kan man då göra för att motverka denna erosion? En gammaldags reaktion, som dessvärre fortfarande lever kvar hos många myndigheter, är att lägga ut hårda skydd för att förhindra fortsatt erosion. Dessvärre löser dessa metoder inte problemet, utan flyttar det i stället bara nedströms längs kusten. Resultatet blir oftast att man efter en tid får uppföra ett skydd också här. Efter ett antal år har man då en lång kuststräcka täckt av sten eller betong i stället för den sand som en gång fanns där.

En bättre lösning är att lägga ny sand på stranden. Genom att lägga på ett lager sand med en tjocklek som motsvarar höjningen av vattennivån återställer man den naturliga jämvikten mellan bottenprofilen och medelvattenytan. Metoden ger inte bara estetiskt mera tilltalande kustområden, utan visar sig också vara mer ekonomisk än att lägga ut hårda skydd.

Att lägga ut ny sand är en teknik som tillämpats framgångsrikt i bland annat Nederländerna, där cirka en tredjedel av landets yta redan idag ligger under havets medelnivå. Här har man antagit en nationell princip som går ut på att bibehålla kustlin-

jens läge där den låg 1991 genom att lägga ut sand efterhand som havsnivåerna fortsätter att stiga.

Nederländerna är dock ett litet land som inte har lika lång kustlinje som Sverige. Ny sand kan knappast läggas ut utmed alla de delar av Sveriges kust som påverkas av havsnivåhöjningen. I stället behöver de svenska kustkommunerna börja fundera över vilka kustområden som ska prioriteras för olika typer av åtgärder. Andra åtgärder som kan vara aktuella för att förhindra framtida konflikter vid stigande havsnivåer är dels att undvika att exploatera områden som kan komma att påverkas negativt i framtiden, men också att, där detta är möjligt, planera för att successivt avveckla existerande bebyggelse och annan infrastruktur inom olämpliga områden.

Hur påverkas vi av Östersjöns förändringar?

Kommer vi att behöva vänja oss vid syrefria bottenar längs eroderade kuster, och blommande ”giftalger” när somrarna blir varma? Eller kan vi anpassa oss till de klimatförändringar som förutspås?

För Östersjöns ekosystem är klimatet bara en av många faktorer som spelar in. Mängden näringsämnen förvärrar för närvarande de problem som finns. Om länderna runt Östersjön lyckas minska näringsläckagen, så som man planerar, så skulle Östersjön på sikt kunna må bättre även när temperaturen stiger och vattnet blir sötare.

När det gäller kusterosionen bör vi använda befintlig kunskap om hur vi bäst kan behålla vår kustlinje och återskapa redan eroderade kustpartier, samt för att bättre förstå vilka områden vi bör undvika att bebygga för att slippa framtida problem. □

Johanna Stadmark är forskare i kvartärgeologi och deltagare i projektet "Hantering av multipla stressfaktorer i Östersjön" vid Lunds universitet. Projektet syftar till att klargöra hur bland annat övergödning och klimatförändringar har påverkat Östersjön de senaste 2.000 åren och till att ge underlag för förvaltning av framtidens Östersjön.

Hans Hanson är professor vid Avdelningen för teknisk vattenresurslära vid Lunds tekniska högskola. Hans forskning är inriktad på fysikaliska kustprocesser, dvs vågor, strömmar, vattenstånd, kustsediment, erosion och översvämningar. Vid avdelningen har bl a beräkningsmodeller utvecklats för att visualisera hur olika kustområden kommer att förändras i framtiden och hur förändringarna kan påverkas av olika åtgärder.







Jord- och skogsbruk

10:

Hoten mot den biologiska mångfalden

HENRIK G. SMITH

Vad är värst för den biologiska mångfalden – klimatförändringarna i sig, eller de åtgärder som det förändrade klimatet kommer att kräva för att öka jordbrukets produktion i en varmare värld? Går det att hitta sätt att få fram mer livsmedel och bioenergi utan att skada miljön och mångfalden, och hur ser ett sådant jordbrukssystem ut? Det diskuterar här ekologen Henrik G. Smith.

KLIMATFRÅGAN har kommit lite i skymundan efter misslyckandet i Köpenhamn 2010, men för den uppmärksamme duggar de pessimistiska rapporterna tätt. Det finns inga tecken som tyder på att ökningen av växthusgaser i atmosfären bromsas. Nya värerekord slås regelbundet. Grönlandsisen fortsätter att dra sig tillbaka.

En vacker vårdag i det skånska jordbrukslandskapet är det svårt att ta till sig detta. Turen till Skogshejdans naturreservat vid Fyledalen i Skåne bjuder på en underbar morgonkör av upphetsade fågelhanar, och de första humledrottningarna har vaknat till liv och söker en boplatz där de kan producera den första generationen arbetare. Men någonting har ändå hänt. Förändringen kommer smygande. Lite varje år, så att vi vänjer oss och inte registrerar den.

De senaste decenniernas allt varmare väder har medfört att flyttfågeln anländer tidigare och börjar häcka. Humledrottningarna vaknar tidigare på våren för att finna sina boplatser, och blommorna de söker sin vårföda från blommar också tidigare.

Klimatet påverkar mångfalden

Sådana så kallade fenologiska förändringar dokumenteras av amatörer och forskare runt om i världen. Vi vet inte säkert vad de kommer att betyda. Ibland kanske de bara innebär en förskjutning eller förlängning av en arts livscykel – men för arter som är beroende av varandra finns risken att förskjutningen är olika. Fågelungarnas hungrigaste period kanske inte längre inträffar just när de larver föräldrarna brukar mata dem med är som vanligast.

Vi ser också att arters utbredningsområden ändras. Mest märks detta när vi får in nya fågel- eller fjärilsarter som vi inte observerat tidigare. Mer subtilt är att sammansättningen av organismsamhällena förändras. Sedan 1953 har fågelskådare var-

je år räknat antalet häckande fåglar i Fågelsångsdalen utanför Lund och kunnat konstatera att arter med en sydlig utbredning ökat på bekostnad av arter med en mer nordlig utbredning.

Olika arter påverkas på olika sätt av temperatur och nederbörd under olika säsonger. Därför förändras arters förmåga att överleva och reproducera sig, och därmed deras förmåga att konkurrera med andra arter, på olika sätt när klimatet förändras. Generellt leder detta till en förskjutning av utbredningsområdena mot norr. I Sverige har fåglarnas genomsnittliga utbredning förskjutits ca 30 mil norrut på 35 år.

Att exakt förutsäga vad förändringarna kommer att innebära för mångfalden av organismer lokalt, regionalt och globalt är svårt. Det beror på så många faktorer: hur väl olika organismer kan följa med klimatförändringen, om organismer som är beroende av varandra ändrar sin utbredning i samma takt, om det finns områden tillgängliga dit arters utbredning kan förskjutas och mycket annat.

Vissa forskare förutsäger dramatiska effekter, andra är mer försiktiga. De flesta är dock eniga om att det kommer att ha en negativ effekt på den biologiska mångfalden. Framförallt kommer organismer som inte kan förskjuta sina utbredningsområden mot högre höjder eller mer pol-nära områden att drabbas. Vart skall t ex fjällräven ta vägen? Slutsatsen är oftast att klimatet hittills inte lett till massiva utrotningar av arter, men att det framgent kommer att vara en avgörande orsak till förlust av biologisk mångfald – om inte något drastiskt händer med utsläppen av växthusgaser.

Stor inverkan från jordbruket

Efter att länge ha sysslat med grundforskning började jag för ca 20 år sedan i ökande omfattning arbeta med mer tillämpade frågeställningar. En viktig orsak var den minskning av den biologiska mångfalden jag kunde observera i jordbrukslandskapet. Staren,

på den tiden mitt favoritobjekt för studier, minskade dramatiskt.

Hundratals amatörfågelskådares heroiska arbete med att inventera fåglar varje år i hela Sverige (och ett nästan lika heroiskt arbete från mina kollegors sida med att ställa samman all denna information), visade att samma sak gällde en rad fågelarter knutna till jordbrukslandskapet. Samma trender kunde man också observera i de flesta nordeuropeiska länder, liksom i Nordamerika.

Det är inte heller bara fåglarna som drabbats. Vi har bättre data för fåglar än för de flesta andra organismgrupper, men genom ett idogt detektivarbete har forskare kunnat konstatera att mångfalden av växter och insekter minskat på motsvarande sätt. Genom att sammanställa gamla rapporter från Svensk Frötidning och jämföra med egna inventeringar kunde vi exempelvis tillsammans med forskare vid Sveriges lantbruksuniversitet konstatera att humlorna, tidigare jämnt fördelade mellan många olika arter, nu dominerades av bara några få arter.

Denna utveckling kan inte skyllas på klimatet. I stället finns det en tydlig koppling till jordbrukets produktivitetsutveckling; det var t ex i de europeiska länder som lyckats utveckla den högsta produktionen per yta som jordbruksfågelnas antal minskade fortast.

Att undersöka orsakerna till utvecklingen mer i detalj är en utmaning för oss forskare. Egentligen vill vi göra experiment – bedriva jordbruket på olika sätt, replikerat i rimlig omfattning, och studera effekten på den biologiska mångfalden före och efter. Men de anslag som skulle kunna finansiera sådan forskning finns för närvarande inte. I stället gör vi så kallade plats-mot-tid-substitueringsstudier, där vi jämför fält, gårdar eller landskap som skiljer sig i de egenskaper som vi vill studera, men som i övrigt är jämförbara.

Genom sådana studier har man kunnat dra slutsatsen att den stora förlusten av biologisk mångfald i jordbrukslandska-

pet är orsakad dels av jordbrukets intensifiering på fältnivå, dels av att den ekologiska mångfalden minskar på själva gårdarna. Livsmiljöer som tidigare funnits runt till exempel stengårdsgårdar, lövdungar och dammar går ofta även de förlorade när jordbruket intensifieras.

På fältnivå har dränering, konstgödning, pesticider, och konkurrenskraftigare grödor medfört att vilda organismer har svårare att klara sig. Rapphönans ungar har svårt att hitta proteinrik föda, när det inte längre finns ogräs som utgör föda för de larver och andra småkryp som kycklingen vill äta. Fröätande jordlöpare hittar färre ogräsfrön att äta. De värsta pesticiderna som DDT och kvicksilver är borta, men nya så kallade systemiska gifter som neonikotinoider påverkar pollinatörer som humlor och bin negativt även i väldigt låga doser.

På gårdsnivå har större fält medfört att det finns färre kantzoner där vilda blommor kan överleva, fjärilar hitta nektar och fåglar bygga bo. I Europa är mycket av den biologiska mångfalden också knuten till betesmarker och ängar, oproduktiva produktionsformer som hotas i ett allt effektivare jordbruk.

Beskrivningen i början av texten var därför inte helt representativ. Skogshejdans underbara naturbetesmark finns kvar och sköts eftersom Högestad & Christinehof Förvaltnings AB lagt sig vinn om att bevara sina naturpärlor. På många andra ställen är jordbrukslandskapet däremot utarmat genom en intensifiering av jordbruket som drivits fram av marknadskrafter och politiska beslut. I dessa områden kan vårpromenaden upplevas som steril, även om utsikten över rapsfälten kan bedåra.

Klimatåtgärder

Världens befolkning fortsätter att öka och därmed efterfrågan på livsmedel. I takt med att ekonomierna växer i många länder ökar också efterfrågan på importerade livsmedel. Effekter av

detta kan man läsa mer om i kapitel 6, *Kossor, kaffe och soja* här i antologin. Det talas om att världens livsmedelproduktion måste fördubblas för att möta den ökade efterfrågan på livsmedel.

Samtidigt är biobränslen tidens mantra för att lösa klimatfrågan. För att undvika en större samhällsomställning fokuseras klimatåtgärderna på att ersätta fossila bränslen med biobränslen. Många av dessa kan produceras på åkermark, som biodiesel från majs, värme från videplanteringar och biogas från rörfilen. Eftersom jordbruksmarken är begränsad leder ökad efterfrågan på varor som kan produceras på jordbruksmark till ökade priser på jordbruksprodukter. Förutom att detta oroar FNs livsmedels och jordbruksorganisation FAO, som befarar ökad hunger och social oro, kan det leda till ökad utbredning eller intensifiering av jordbruket.

Eftersom jordbruket redan utgör 38 procent av den samlade landytan på jorden, så är det svårt att öka produktionen genom att öka utbredningen av jordbruket. Många områden som inte har jordbruk är antingen extremt lågproduktiva (tundra, öknar, berg), värdefull natur (regnskogar, nationalparker) eller områden som nyttjas till annat (städer, produktionsskogar).

I stället riskerar ökad efterfrågan på livsmedel att leda till ökad intensifiering av jordbruket. Om priserna på livsmedel stiger, så lönar det sig att använda mer konstgödning och mer pesticider, att dika mer och att ta bort fler så kallade odlingshinder (eller småbiotoper som Jordbruksverket kallar dem). Mängden insatsvaror i jordbruket i form av gödning och pesticider förväntas bli mer än fördubblade de närmaste 50 åren om nuvarande trender håller i sig.

Vissa forskare talar om att sluta det så kallade avkastningsgapet. Genom att jämföra avkastningen för olika områden med den maximalt förväntade avkastningen med dagens jordbruksmetoder, kan man identifiera möjligheter att öka produktionen för att möta den ökade efterfrågan. Detta skulle kunna öka

skördarna med mer än 50 procent.

Studerar man kartor över var avkastningsgapen finns, stämmer de tyvärr ganska bra överens med de områden som fortfarande har kvar en omfattande biologisk mångfald. Avkastningsgapet är t ex stort i östra Europa, som kommit med i EU så sent att deras jordbruk ännu inte hunnit intensifieras.

Klimatet och jordbrukspolitiken samverkar

Åter till klimatet och den biologiska mångfalden. I Finland, där man bedrivit så kallad övervakning av fjärilar under lång tid, har man noterat att vanliga arter ändrat sin utbredning när klimatet förändrats, medan sällsynta arter inte gjort det. I Storbritannien har man sett att brist på habitat (lämplig livsmiljö) minskar takten på fjärlars förändrade utbredning norrut.

Det här innebär att det finns en samverkan mellan klimatets effekt på den biologiska mångfalden och bevarandet av goda livsmiljöer. Förutom det självklara faktum att arter med god tillgång på lämpligt habitat därmed kan finnas i stora populationer och klara klimatförändringar bättre, så innebär brist på goda habitat att arter svarar sämre på ett förändrat klimat. De kommer att inte att kunna flytta sig i takt med klimatförändringen, och riskerar därmed att utrotas.

Det mest drastiska exemplet är arter som lever i bergsområden och förändrar sina utbredningsområden till allt högre höjder, för att till slut utrotas eftersom de inte kan sprida sig till nordligare bergsområden. Många fjärlars utbredningsområden i Sierra de Guadarrama i Spanien har minskat eftersom de flyttat 60 m upp i bergen under 30 år. Vart skall de till slut ta vägen?

Modeller som förutsäger risken för förlust av biologisk mångfald kan komma till dramatiskt olika resultat beroende på sina antaganden i det här fallet. Somliga modeller antar att arterna klarar av att sprida sig i takt med klimatförändringen, och

får då ett måttligt negativt utfall. Andra modeller antar däremot att spridningen kraftigt begränsas av till exempel brist på lämpliga habitat, vilket leder till betydligt mer pessimistiska slutsatser.

En ytterligare intensifiering av jordbruket riskerar därför att förvärpa effekten av klimatet på den biologiska mångfalden. Förlust av värdefulla habitat leder till ökat avstånd mellan lämpliga livsmiljöer och därmed minskad möjlighet till spridning. Ett landskap som är mindre ekologiskt varierat, med färre kantzoner och småbiotoper och mer intensivt odlade fält, kan motverka spridning.

Framtida möjligheter

Innebär detta att vi står inför ett oundvikligt val mellan att antingen förse en ökande befolkning med mat och bioenergi, eller att behålla den biologiska mångfalden? Det beror på.

För det första kan bristen på livsmedel och energi mötas på andra sätt än genom ökad produktion, t ex genom minskad köttkonsumtion i den rika delen av världen, omställning av samhället till mindre användning av energi, och användning av restprodukter, sol och vind för den energi vi behöver. Detta behandlas delvis i andra kapitel i denna antologi.

För det andra kan konventionell intensifiering ersättas med så kallad ekologisk intensifiering. Ekologisk intensifiering innebär att man utnyttjar stödjande så kallade ekosystemtjänster för att öka eller bibehålla produktionen, i stället för att öka de externa insatserna. Det handlar om att med den biologiska mångfaldens hjälp öka cirkulationen av näringsämnen, vattenhållningen, den biologiska kontrollen, pollineringen och de andra tjänster organismerna förser oss med.

Dessa ekosystemtjänster genereras av organismer som agerar på olika skalor – på fältet, på gården eller i hela landskap. Genom ändrad växtföljd och andra sätt att bearbeta jorden kan

den mängd kol som binds i marken öka, till förmåga för organismer i marken som bidrar till att behålla en god näringsstatus och därmed god produktion. Genom att bevara inslag av naturliga biotoper i landskapet gynnas naturliga fiender som spindlar, jordlöpare och parasitsteklar som kan hålla efter bladlöss och andra växtätare och därmed minska skördeförlusterna. Genom att bevara naturbetesmarker gynnas pollinatörer som humlor, som sedan kan sprida sig ut i landskapet och bidra till pollineringen av jordgubbar, raps och andra grödor.

Studier av ekologisk odling har visat att minskad intensitet i odlingen kan gynna flera av dessa tjänster. Det innebär inte nödvändigtvis att den nuvarande formen av ekologisk odling, som ger mindre skördar än konventionell odling, nödvändigtvis är den bästa odlingsformen. Att satsa på att öka den ekologiska mångfalden i landskapet genom att skapa småbiotoper, anlägga kantzoner med mera är andra sätt att gynna dessa ekosystemtjänster.

I ett föränderligt klimat, där en ökad och inte minskad satsning på naturvård behövs för att klara den biologiska mångfalden, kan ekologisk intensifiering vara ett av många sätt att hitta en positiv samverkan med klimatanpassning. De svenska naturbetesmarkerna är inte bara ett oerhört uppskattat inslag i det svenska jordbrukslandskapet som för tankarna till Emil i Lönneberga, de härbärgerar dessutom en stor del av den biologiska mångfald som är hotad i Sverige, och kan stödja produktionshöjande ekosystemtjänster i jordbruket.

Se till landskapets samlade värden

Jordbrukets utveckling har drivits fram genom mekanisering, växtförädling och ökade insatser, stödda på forskning. Det kanske nu är dags för ett paradigmskifte i forskningen. Vi har idag en viss kunskap om hur vi skall gynna naturliga ekosystemtjänster i jordbruket – men om dessa metoder fått lika mycket resurser som

de konventionella metoderna, så hade vi kanske idag kunnat ha ett effektivt, högproduktivt jordbruk som slår vakt om den biologiska mångfalden som en tillgång. Då hade inte jordbrukets utveckling behövt vara något hot mot den biologiska mångfalden.

Min granne lantbrukaren Ingvar i Djurröd var bekymrad över utvecklingen och talade gärna om att tiden var ur led. På många sätt är det trots allt bättre idag – vi har ett jordbruk som producerar mer, samtidigt som lantbrukarna har bättre arbetsmiljö och hälsa. Men Ingvar hade rätt i att vi inte tillräckligt uppskattar alla de andra nyttigheter som jordbruket producerar – t ex upplevelser och naturvård. Genom att se till landskapets samlade värden kan vi kanske bevara sådana pärlor i landskapet som Skogshejdan, även i ett förändrat klimat. □



Henrik G. Smith är professor i zooekologi vid Lunds universitet och föreståndare för Centrum för miljö- och klimatforskning vid naturvetenskapliga fakulteten. Han är också koordinator för det s k strategiska forskningsområdet BECC, Biodiversity and Ecosystem services in a Changing Climate, och för SAPES, en forskningsmiljö som förenar ekologisk och socio-ekonomisk forskning om ekosystemtjänster. Hans egen forskning handlar främst om biologisk mångfald i jordsbrukslandskapet.

11:

Skogsägare behöver praktiska råd

ANNA MARIA JÖNSSON

Att klimatet blir varmare vet vi, men vad detta i detalj kommer att betyda för Sverige vet vi mindre om. Det innebär svårigheter för verksamheter där man är tvungen att planera på lång sikt, som skogsbruket. Ska skogsägarna satsa på andra trädarter än gran, och i så fall vilka? Hur ska de sköta sin skog för att minska riskerna för skador i ett varmare klimat, men ändå få en rimlig avkastning? Ekosystemvetaren Anna Maria Jönsson skriver om ett område med många frågor men färre svar.

EXTREM väderlek leder ofta till skador på växande skog. Det gäller både kraftig nederbörd och långvarig torka, och temperaturer som är ovanligt höga eller låga i förhållande till årstiden. Höga vindhastigheter kan på kort tid orsaka stor skada – ett exempel är stormen Gudrun som fällde upp mot 75 miljoner kubikmeter skog. Ny skog har nu börjat växa upp, och under de 50-100 år som den ska växa sig stor kommer klimatet med största sannolikhet att förändras.

Ett varmare klimat ger både för- och nackdelar. Det kan ge längre växtsäsong och därmed högre produktion. Men det kan samtidigt gynna temperaturberoende skadegörare, till exempel granbarkborren som angripit 3,5 miljoner m³ gran efter Gudrun-stormen. Milda vintrar med lite tjäle kan göra skogen mer utsatt för stormskador, genom att rötterna får sämre förankring. Lokalt påverkas stormkänsligheten av markens stenighet och vattenhalt samt av skogens artsammansättning, ålder och skötsel.

Ekosystemmodellering är ett verktyg för att studera hur klimatet påverkar träden. Det kan användas för att ta fram kunskap kring klimatförändringens effekter och möjlighet till anpassning. Genom att simulera olika skötselalternativ kan modellen beräkna hur olika ekosystemfunktioner påverkas och belysa olika målsättningar med skogen. Man kan därigenom studera utvecklingen av enskilda bestånd och analysera effekter på landskapsnivå. För att forskningen ska kunna komma till praktisk nytta behövs en bra kommunikation mellan forskare och skogliga aktörer.

Klimatet påverkar många aspekter

Klimatanpassning behövs både för att minska risken för skador på växande skog och för att bevara den biologiska mångfalden. Att avsätta skogsområden till naturvård är ett sätt att gynna biologisk mångfald. En skogsägare kan också satsa på flera trädslag, både för att öka mångfalden och för att sprida riskerna. Antingen kan man

plantera olika trädslag i rena bestånd, eller tillsammans i blandbestånd. Man kan också plantera en art, vanligen gran, och gynna lövträd som kommit upp av sig själv när man röjer och gallrar.

Det går även att sprida och minska riskerna genom att variera skogens skötsel. Viktiga val är när och hur hårt man gallrar, samt när man väljer att slutavverka. En variant är kontinuitetsskogsbruk där träd av olika ålder växer sida vid sida, i stället för jämnåriga bestånd som är vanligast i Sverige i dag.

Klimatanpassning av skogens skötsel är något som behöver hanteras i samband många olika skötselfrågor. Det gäller till exempel viltförvaltning, kulturlämningar, bevarande av biologisk mångfald, skogsbilvägarnas bärighet, skötsel av avrinningsområden, rekreation samt skogsmarkens långsiktiga produktionskapacitet och förmåga till kolinlagring.

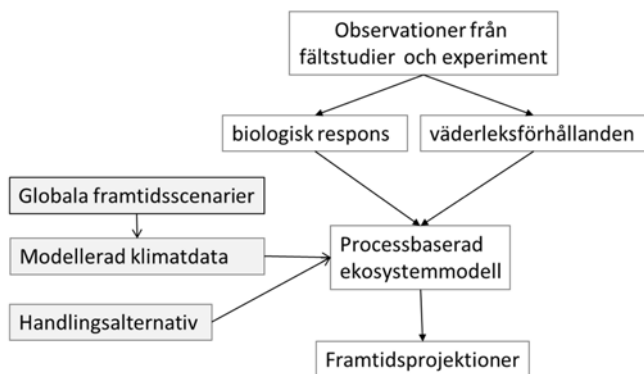
Osäkerhet kring hur mycket det lokala klimatet kommer att ändras utgör samtidigt ett hinder för diskussioner kring klimatanpassning. ”Hur kommer min skog att påverkas?” undrar många skogsägare, som vill veta mer om hur olika trädslag och provenienser (plantor med olika ursprung) förväntas reagera. De vill också ha konkret information om skötselalternativ och om sjukdomar på olika trädslag. Skogliga rådgivare efterfrågar därför kunskapsunderlag som är tillräckligt detaljerade för att kunna svara på hur enskilda skogsägare kommer att påverkas.

Klimatprojektioner

Alla växter påverkas av det storskaliga klimatet, det vill säga väderleken sett över en lite längre tidsperiod. Klimatets påverkan återspeglas i indelningen av olika odlingszoner. När man vill bedöma om och hur klimatet förändras jämför man vanligen medelvärden för olika 30-årsperioder, men även extremvärden bör analyseras eftersom de kan ha stor påverkan.

Klimatmodeller som drivs av olika utsläppsscenarier, baserade på beskrivningar av möjlig global utveckling, används för att göra framtidsprojektioner för de kommande 50-100 åren. Scenarierna representerar en rad olika utvecklingsalternativ, och därför kan klimatmodellernas framtidsprojektioner inte betraktas som väderleksprognoser.

För de närmsta åren handlar modellernas osäkerhet till stor del om naturliga variationer från ett år till ett annat. På lite längre sikt hänger osäkerheten även samman med framtida utsläpp av växthusgaser, och det går därför inte att säga vilket av scenarierna som är mest troligt.



Figur 1. Data från fältstudier och experiment används för att utveckla och utvärdera processbaserade ekosystemmodeller. Data från klimatmodeller som representerar olika framtidsscenarier används som indata till ekosystemmodellen. Modellen kan på så sätt användas för att ta fram framtidsprojektioner och belysa effekter av olika handlingsalternativ.

Ekosystemmodellering

Klimatförändring har lett till ett ökat behov av kunskap om de effekter som kan väntas inom olika samhällssektorer, bland annat skogsbruket. Ekosystemmodeller som drivs av data från klimatmodeller kan användas för att tolka klimatförändringssignalen i termer av biologiska effekter. Det som är extremt ur biologisk synvinkel fångas inte alltid upp genom en analys av klimatextremer, utan man behöver förstå hur olika organismer reagerar på specifika tröskelvärden, temperatursummor och nederbördsmängder. Ju bättre vi förstår hur väderlek, trädslag och skadegörare interagerar, desto bättre möjligheter har vi att förutsäga hur en klimatförändring kan komma att påverka olika risker.

Modelleringen kan göras i flera steg, och kunskap från fältförsök, laboratorieexperiment och övervakningsytor behövs för att utveckla och utvärdera modellen. Första steget handlar om att förstå hur temperatur och vattentillgång påverkar en enskild art. Nästa steg är att förstå hur olika arter påverkar varandra. Det kan till exempel handla om konkurrens mellan olika trädslag, eller hur träd och skadegörare interagerar. Därefter går det att modellera olika skötselalternativ.

Det finns flera sätt att hantera den osäkerhet som hänger samman med själva modelleringstekniken. Här behövs en dialog med skogliga rådgivare och skogsbrukare för att fundera igenom hur resultaten kan användas. Vilken information är relevant för att kunna fatta beslut? Hur pass detaljerad behöver den tidsmässiga och rumsliga upplösningen vara? Ska modellen ta med ekonomiska avväganden?

Granskog och stormskador

Skogen i södra Sverige är av flera anledningar mer utsatt för stormskador än i norra Sverige. Klimat- och växtförhållanden

är olika, och stormvindar är vanligare i söder. Genom ekosystemmodellering kan vi simulera hur klimatförändring kan påverka skogens tillväxt och de faktorer som har betydelse för stormskador och efterföljande angrepp av granbarkborre.

Skogens utsatthet för stormskador påverkas av trädslag, ålder, skötsel och virkesförråd. Granen är generellt mer känslig för stormskador än andra trädslag på grund av sitt ytliga rot-system. Täta granbestånd som gallras förväntas ge hög timmerkvalitet, samtidigt som gallringen ökar stormkänsligheten hos kvarvarande träd.

En större andel äldre granskog i landskapet medför alltså en ökad risk för stormskador. En annan åldersfördelning eller trädslagssammansättning gör landskapet mindre känsligt för storm, men mer känsligt för andra typer av skador och insektsangrepp. Granen kan växa snabbare i ett varmare klimat, vilket gör att man kan få en längre period med stormkänslig skog om man väljer att bruka skogen på samma sätt som tidigare. Genom att anpassa omloppstiden efter den klimatberoende tillväxten kan denna riskökning delvis motverkas.

Osäkerheten kring framtida stormar är dock stor. Men även om stormvindar inte blir vanligare eller kraftigare, så kan ett varmare klimat ändå öka risken för stormskador i skog eftersom marken blir frusen under en kortare period. Utan tjäle minskar rötternas förankringsförmåga, och det krävs inte lika kraftiga vindar för att välta träd när marken är ofrusen som när den är frusen.

Skador från granbarkborre

I ett andra modelleringssteg kan vi simulera effekten av granbarkborrar, som kan förvärra skadorna efter en storm. God tillgång på nyligen stormfällda träd ger barkborrarna bra möjligheter att föröka sig. En stor population ökar i sin tur risken

för att granbarkborren angriper och dödar stående träd. Det är därför viktigt att snabbt ta hand om stormfälld skog och plocka bort angripna stående träd.

Temperaturen påverkar både när granbarkborren svärmar och hur snabbt den utvecklas från ägg till fullvuxen insekt. I ett varmare klimat blir den första generationen tidigare utvecklad än i ett kallare klimat. I dag utvecklas oftast en generation per år i Sverige, medan två generationer per år är vanligt i Danmark och längre söderut.

Ett varmare klimat kommer att medföra att allt fler individer från den första generationen svärmar och producerar en andra generation i södra Sverige. En andra generation ökar risken för snabb populationstillväxt i stormfälda träd, vilket i sin tur ökar risken för skador på stående skog.

För att motverka risken för angrepp finns det en lag som säger att stormfälld skog ska vara omhändertagen och borttransporterad före den förste juli. Efter extrema stormskador räcker tillgängliga resurser dock inte till för att ta hand om all stormfälld skog i tid. Gudrun-stormen ledde därför till en hel del barkborreskador, och modellsimuleringar tyder på att angreppen hade kunnat bli mer omfattande om klimatet varit varmare.

Komplexa beslut

Ungefär hälften av all skog i södra Sverige är gran, och den stormkänsliga granskogen drabbades hårt av Gudrun med runt åttio procent av skadorna. Trots det har flertalet skogsägare vågat satsa på gran igen. Samtidigt vet vi att granen är stormkänslig, och att en klimatförändring indirekt kan öka risken för stormskador genom mer nederbörd under hösten och mindre tjäle under vintern.

Enligt skogliga rådgivare saknas kunskap om alternativen. Därför upplever skogsägarna ibland en motsättning mellan

att satsa på produktion (plantera gran) och att sprida riskerna (plantera även andra trädslag). Hur påverkas riskerna av proportionen mellan barr och löv? Hur påverkas inkomsten? Björk har under länge varit lägre värderad än granen, men hur kommer det att bli framöver?

Andra trädslag innebär också andra utmaningar. Till exempel är det numera svårt att satsa på både alm och ask på grund av almsjuka och askskottsjuka. Bok och ek har betydligt längre omloppstid, så det tar längre tid innan de ger avkastning. I unga år är de dessutom hårt utsatta för viltbetning, precis som tallen, vilket kan kräva att man inhägnar planteringen.

Många skogsägare vill gärna försöka med andra arter, och ibland även med nya arter så som hybridlärk och sitkagran. Andra satsar på att variera bruksmetoderna. En helt ny metod innebär dock ett risktagande i sig. Kanske behövs både mer kunskap och nya maskiner innan metoden fungerar väl.

En kortare omloppstid kan vara ett sätt att minska risken för stormskador. Å andra sidan påverkas beslutet om avverkning både av skogägarrens egna ekonomi och av rådande virkespriser. Efterfrågan kan variera stort mellan åren, och att tidigarelägga avverkningen blir därför framför allt en fråga för bestånd som redan uppnått en viss ålder och storlek.

För bestånd som är unga i dag handlar besluten i första hand om att planera för när och hur man ska röja och gallra. Ett enskilt skogbestånd är alltid mer känsligt åren direkt efter gallring, eller om det nyligen blivit exponerat på grund av att ett intilliggande bestånd huggits ner. Eftersom ingen vet när nästa stora storm kommer att inträffa är det svårt att beräkna hur mycket en enskild skogsägare kan göra för att påverka omfattningen av stormskador på sin mark.

Framtida värden

Till frågorna om effekten av ett förändrat klimat kommer frågor om den övergripande målsättningen med den brukade skogen. Även här är svårt det att blicka 50-100 år fram i tiden. Om vi blickar bakåt kan vi se att den allmänna synen på målet med skogens skötsel har förändrats över tid. Fokus låg länge på produktion av biobränsle, timmer och massaved. Under de senaste decennierna har miljömålet lyfts fram och jämförts med produktionsmålet. Skogen ska skötas så att den biologiska mångfalden bevaras, och hänsyn ska tas till allmänna intressen.

De arter och miljöer man vill bevara är många gånger förknippade med en skötsel som hänger samman med de ekosystemtjänster som en gång i tiden var högt värderade. Skogsbete var vanligt, och skogarna var i allmänhet glesare. Många skogar var förr i dåligt skick efter det att de stora träden avverkats. En lag om återbeskogning infördes i början av 1900-talet för att ta tillvara markens produktionsförmåga, och trakthyggesbruket med jämnåldriga bestånd blev vanligt. I dag har skogens roll som kolsänka för att begränsa klimatförändringen blivit en ny aspekt att beakta. Vem vet vad barn och barnbarn kommer att värdesätta?

Klimatförändringen leder till nya frågor när det gäller bevarandet av kulturlandskap och biologisk mångfald. Ska vi försöka bevara olika arter och miljöer i naturreservat? Går det att klimatanpassa skötseln av olika naturtyper, eller ska man försöka underlätta för arterna att flytta sig i takt med att klimatet ändrar sig? Vilken betydelse har den brukade skogen? Vilken roll spelar frivilliga avsättningar till naturvård? Vilka åtgärder är kostnadseffektiva?

Osäkerheten behöver hanteras

Det är lång tid mellan plantering och slutavverkning, och skogsbrukare måste hantera osäkerheter av flera slag. Det hand-

lar både om osäkerheter som beror på att kunskap saknas, och osäkerheter som beror på att vi vet att någonting kan inträffa men vi vet inte när. Det kan till exempel handla om att nya skadegörare kan etablera sig, eller när nästa svåra storm kommer.

Ett problem för praktikerna är att forskare sällan kan ge säkra svar. Skogsägarna vill ha raka och tydliga siffror för sin skog, gärna information för enskilda bestånd och möjlighet att identifiera riskbestånd. Bristen på klara svar leder lätt till att klimatförändringens effekter inte tas med i den långsiktiga planeringen av skogens skötsel.

När det gäller klimatförändring så går det inte att säga vilket scenario som är mest troligt, eftersom det bland annat beror på framtida beslut om utsläpp av växthusgaser. I vissa fall går det att peka på en tydlig trend, till exempel att tjälen minskar i takt med att klimatet bli varmare. I andra fall är det svårare. Risker för frostsador orsakade av temperaturbakslag kan öka i ett varmare klimat när våren kommer tidigare – men samtidigt minskar ett varmare klimat rent generellt risken för frostsador. Nettoeffekten beror på hur mycket klimatet ändrar sig, och väderleken kan variera mycket år från år.

Många skogsägare väljer att förlita sig på sina erfarenheter. Erfarenhetsbaserad kunskap begränsas dock av hur väl man känner till olika kombinationer av väderlek, trädslag och skadegörare. Lokal kunskap är inte desto mindre viktig för att kunna tolka den storskaliga klimatförändringssignalen. Om klimatmodellerna antyder att det generellt i en region kommer att regna mer under hösten, så kan de som berörs identifiera vilka delar av skogen som är känsliga för mycket nederbörd. Kanske går det då att vid plantering, röjning och gallring gynna trädslag som är bättre anpassade till att växa på fuktig mark.

Ny kunskap behövs

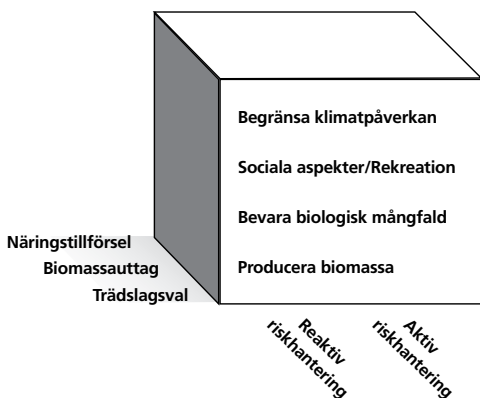
Behovet av riskhantering har alltid funnits inom skogsbruket, så problemet är egentligen inte nytt. Forskningen kring hur risker kan förändras till följd av klimatförändring är dock relativt ny, samtidigt som både forskning och klimatanpassning är processer som tar tid och kräver en löpande utveckling av kunskap och kompetens.

Klimatanpassning handlar om att hantera osäkerhet och risk genom att välja mellan olika skötselalternativ. Övergripande målsättningar påverkar trädslagsval, biomassauttag och eventuell näringstillförsel, som i sin tur påverkar risker för klimatrelaterade skador, angrepp av skadegörare och förlust av biologisk mångfald. För att hantera dessa behövs både en aktiv strategi och en plan för att hantera problem som kan uppstå (t ex att snabbt ta hand om stormfällda granar för att minska risken för granbarkborreangrepp, eller att bekämpa skogsbränder).

På samma gång som det behövs information om hur man ska sköta enskilda skogsbestånd, så behövs det kunskap kring de storskaliga följderna. Vad händer om flertalet skogsägare gör på det ena eller det andra sättet? Påverkas landets virkesförråd, markens förmåga till kolinlagring, risken för skador på växande skog, möjligheten att bevara biologisk mångfald, och skogens värde för rekreation?

Frågor om hur skogsbruket ska kunna bli långsiktigt uthålligt sett ur ett ekologiskt, ekonomiskt och socialt perspektiv är i högsta grad aktuella även i andra länder. Trenden i Europa är att skogsbruket håller på att byta fokus från traditionell virkesproduktion till ett mångbruk som även omfattar socioekonomi, människors hälsa, begränsad klimatpåverkan och energiför-

sörjning. Detta gör beslutsunderlagen allt mer informations-
 täta och komplexa, vilket kräver nya tekniker för att analysera
 konsekvenserna av olika möjliga beslut utifrån en mångfald av
 ekosystemtjänster. Forskningens roll handlar då mer om att ut-
 veckla verktyg för att belysa olika frågeställningar och hantera
 eventuella intressekonflikter än att producera färdiga svar. Ge-
 mensamma målsättningar och fördelning av ansvar är något
 som måste diskuteras mellan berörda samhällsaktörer. Fram-
 tagna råd och riktlinjer kan sedan ligga till grund för de kon-
 kreta beslut som fattas av enskilda skogsägarna. □



Figur 2. Anpassning av skogsskötsel till ett förändrat klimat är en komplex fråga, som handlar om vilka skötselalternativ som finns, hur man ska hantera osäkerhet och risk, och hur enskilda beslut hänger samman med övergripande målsättningar.



Anna Maria Jönsson är docent i växtekologi och forskare vid Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap vid Lunds universitet. Hon arbetar med modeller för att analysera hur pågående klimatförändring kan påverka trädens tillväxt och risken för skador.

12:

Hur ska skogens hållbarhet mätas?

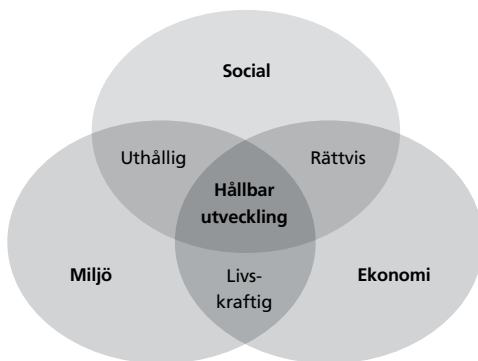
PER BODIN
ANDERS MÅRELL

Hållbart skogsbruk är ett mål som eftersträvas av många i Sverige, från den lokala nivån ända upp till regeringsnivån. Men vad innebär begreppet? Hur ska ett sådant skogsbruk definieras? Och hur bra fungerar de kriterier som idag används för att bedöma om ett visst skogsbruk är hållbart, och de så kallade indikatorer som ska mäta om kriterierna uppfylls? Om detta resonerar Per Bodin och Anders Mårell, forskare vid Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap i Lund respektive det statliga franska forskningsinstitutet Irstea.

ETT VANLIGT skogsbruk förväntas ge en produktion av timmer och massaved som går med vinst. Ett ”hållbart skogsbruk” däremot ska inte bara ta hänsyn till skogsbrukets ekonomiska resultat, utan verka för en långsiktig och uthållig skogsproduktion som samtidigt tar hänsyn till andra ekologiska, socioekonomiska och kulturella värden.

Ett skogsbruk som bedrivs enligt principerna för hållbar utveckling har de tre likvärdiga målen ekonomisk, social och ekologisk hållbarhet, se figuren nedan. Det innebär till exempel att skogsbruket utöver sitt ekonomiska resultat ska ta hänsyn till bevarandet av den biologiska mångfalden, skogens förmåga att mildra effekterna av klimatförändringarna och skogen som rekreationsplats för jakt- och naturupplevelser

Konventionen om biologisk mångfald som undertecknades 1992 i Rio Janeiro var startpunkten till att Sverige och flertalet andra skogsnationer har engagerat sig i ett internationellt samarbete som strävar till att bedriva ett sådant hållbart skogsbruk i världens skogar.



Figur 1. Begreppet hållbar utveckling innehåller många olika dimensioner. Man talar ofta om de tre dimensionerna ekonomisk, social och ekologisk hållbarhet.

Kriterier för hållbarhet

Ett vanligt och etablerat system för att mäta hållbar utveckling innebär att man definierar ett antal viktiga kriterier som sammanfattar grunderna för en sådan utveckling. I Europa har 46 länder inom ramarna för ett frivilligt samarbete kallat "Forest Europe" kommit fram till sex kriterier som ska sammanfatta de viktigaste aspekterna av hållbart skogsbruk i Europa. Enligt dessa kriterier, understrukna nedan, ska Europas skogar förvaltas och nyttjas på ett sådant sätt att man tar hänsyn till 1) skogens naturresurser och den globala kolcykeln, 2) skogens hälsa och vitalitet, 3) de produktiva tillgångarna, 4) den biologiska mångfalden, 5) skogens skydd av bl a mark och vatten, och 6) skogens politiska, kulturella och ekonomiska värden.

För att man ska kunna mäta hur väl dessa kriterier uppfylls har det till varje kriterium kopplats ett antal indikatorer. Dessa indikatorer ska sedan utvärderas gentemot mål som satts upp i form av rikt- eller gränsvärden. Till kriteriet om skogens hälsa hör t ex indikatorer som mäter mängden luftföroreningar, markens tillstånd och andelen avlövad skog. Till kriteriet om skyddande funktioner hör arealen av skogar som ska skyddas mot markerosion, skydda vattenresurser eller skydda infrastruktur och naturresurser. Till kriteriet om skogens värden hör antalet skogsägare och antalet anställda inom skogssektorn, skogsnäringens bidrag till BNP, konsumtionen av träprodukter och handeln med virke – och så vidare.

Indikatorerna har lite olika karaktär: somliga mäter skogens tillstånd, andra mäter åtgärder man gjort för att få skogen mer hållbar. Den förra typen kallas tillståndindikatorer och visar t ex vilka trädarter och hur mycket död ved det finns i skogen. Den senare typen kallas aktionsindikatorer och visar t ex hur

stor andel skog som har en skötselplan, och hur mycket skog som består av naturliga bestånd. En tredje typ av indikatorer berör den regionala eller nationella nivån och kallas kontextindikatorer. Några exempel här är antalet anställda i skogssektorn, skogsbolagens nettovinst och skogsnäringsens bidrag till BNP.

Stormen Gudrun och skogens hållbarhet

Natten mellan den 8 och 9 januari 2005 drog stormen Gudrun in över södra Sverige. Stormen gjorde tusentals hushåll strömlösa och orsakade stora störningar i tågtrafiken. Men den kanske värsta följden var de enorma skadorna på skogen, skador som fick konsekvenser många år framåt.

Stormfällning är inget nytt fenomen, och man vet fortfarande inte säkert om ett föränderligt klimat kommer att öka frekvensen av allvarliga stormar eller inte. Vad man däremot vet är att ökade temperaturer kommer att ge minskat tjäldjup och blötare marker, vilket gör träden mer stormkänsliga. Eftersom merparten av den skadade skogen var odlingar med enbart gran har skogsskadorna efter stormen Gudrun kopplats till frågan om hur vi brukar skogen för att bäst kunna utnyttja dess resurser under en lång tid. Hur ska man t ex på bästa sätt kunna väga en hög produktion med en hög risk för skogsskador mot en lägre produktion med en lägre risk för skador? ”Hållbart skogsbruk” är här ett ramverk för en långsiktig skogsproduktion som inte bara tar hänsyn till skogens produktiva värden.

Frågan är hur väl de tidigare nämnda indikatorerna för hållbart skogsbruk fungerar när en skog råkar ut för en storskalig störning som t ex stormen Gudrun? Detta är vad vi ska studera i kommande avsnitt. Med utgångspunkt från bland annat Skogsstyrelsens statistik kan vi se hur hållbarhetsindikatorerna förändrats för Kronobergs län, som var det län som drabbades hårdast av stormen. Vår genomgång, som inte är fullständig men tar

med de viktigaste förändringarna, visar att de allra flesta av hållbarhetsindikatorerna på Forest Europes lista har berörts.

Påverkan på skogens och markens tillstånd

När ett träd skadas eller dör påverkas en av hållbarhetsindikatorerna direkt – den som mäter arealen av skadad skog. Ungefär 14 procent av arealen skogsmark i Kronobergs län, och 17 procent av volymen, skadades av stormen.

Alla trädarter skadades dock inte lika mycket. Skadesiffrorna för gran, tall och löv var 22 respektive 13 och 2 procent, vilket betyder att trädartssammansättningen, arealen föryngringsytor och landskapsmönstret förändrades på motsvarande sätt. Eftersom skadorna slog hårdast mot inplanterad gran så påverkades också den indikator som mäter andelen introducerade trädslag. Även ålders- och diameterdistributionen för de olika trädslagen påverkades, eftersom skadorna främst drabbade äldre träd.

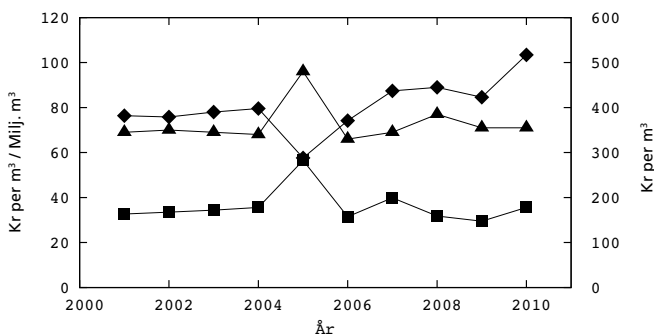
Mängden död ved ökade kraftigt efter stormen Gudrun, från 5,1 m³ till 6,3 m³ per hektar i Götaland. Detta medförde att skadeangreppen från granbarkborren ökade. Totalt dödades i Sverige 3,5 miljoner kubikmeter gran av granbarkborren åren efter stormen, vilket bidrog till att öka arealen skadad skog. (Om granbarkborrens angrepp, se också kapitel 11, *Skogsägare behöver praktiska råd*).

Det finns slutligen ytterligare två indikatorer som har med skogens och markens tillstånd att göra, och som påverkades av stormen Gudrun. Det är andelen avlövad skog, dvs träd som skadats men som inte dödats, och markens egenskaper som påverkas av kraftiga störningar som stormar och skogsbränder.

Pengar och ekosystemtjänster

På grund av den stora mängden stormfälld skog sjönk virkespriserna kraftigt – priset på sågtimmer minskade för tall och gran med hela 30 procent – liksom även priserna på massaved. Utöver detta så ökade avverkningskostnaderna jämfört med ett normalår vilket gör att nettopriset för ved minskar (se figuren nedan), och därmed också skogsägarnas vinst. Skogens möjligheter att vara en kolreservoar påverkades också: från att ha tagit upp koldioxid blev skogen vid stormfällningen plötsligt en kolkälla.

På grund av all stormfälld skog blev tillgängligheten till skogen sämre. Det påverkade bland annat älgjakten, och ledde till att antalet skjutna älgar i Götaland minskade kraftigt, en annan viktig inkomstkälla från skogen. Även kulturella värden skada-



Figur 2. Här ser man tydligt effekten av stormen Gudrun år 2005. Den ledde till en plötslig nedgång i priset för sågtimmer av gran i kr per m³ (romber: höger y-axel), och en samtidigt ökning av avverkningskostnaden i kr per m³ (trianglar: vänster y-axel) och bruttoavverkningen i milj. m³ (kvadrater: vänster y-axel).

des: av 1.200 fornlämningar i Kronobergs län som inventerades efter stormen hade hälften skadats av denna.

Påverkan på arbetskraften

Alla indikatorer vi räknat upp här är sådana som har direkt med stormskadorna att göra. Det finns också, som tidigare nämns, sådana som gäller den regionala eller nationella nivån och styrs mer av övergripande politiska och ekonomiska faktorer. Men en tillräckligt stor störning kan påverka även sådana indikatorer som har med hela branschen att göra. Så också med stormen Gudrun: på grund av farorna med att hantera stormfälld skog ökade andelen skadade, sjuka och dödade inom skogsbruket. Totalt i landet ökade antalet skadade och sjuka per tusen anställda inom skogsbranschen från 6 till 18 respektive från 4 till 7 under bara detta år, och antalet dödade i absoluta tal ökade från 1 till 10.

Som vi kunnat se berör en storskalig störning som stormen Gudrun framför allt de indikatorer som mäter skogens tillstånd och skogens ekosystemtjänster. Dessa indikatorer hör samman med skogens hållbarhet enligt vissa av de kriterier som sattes upp av Forest Europe, men inte alla. Av de sex kriterierna kan vi se att indikatorerna kopplade till de tre första är starkt påverkade: hållbarheten avseende skogens naturresurser och den globala kolcykeln, skogens hälsa och vitalitet samt skogens produktiva funktioner. De tre återstående kriterierna – skogens biologiska mångfald, de politiska, kulturella och ekonomiska värdena samt skogens skyddande funktioner – påverkas mindre eller inte alls.

Är detta ett bra sätt att mäta?

Blev då skogsbruket i Sverige mindre hållbart genom stormen Gudrun? Eftersom stormen ju gav utslag i en lång rad indika-

torer, så ser det uppenbarligen ut som det. Men var verkligen skogsbruket mer hållbart 2004 än det var 2005? Det faktum att en så stor andel av skogen skadades av stormen tyder inte på det – en hållbar skog skulle inte ha råkat så illa ut.

Att indikatorerna alltså verkar ge fel bild beror på att skogen är ett dynamiskt system där förändringar sker över långa tidsperioder. Därför måste trender i skogens tillstånd ses över lång sikt, och indikatorer som mäter skogens tillstånd fungerar inte om de mäter ett tillstånd bara från ett år till ett annat.

Frågan är också vad man vill uppnå med mätningarna. Om poängen är att jämföra hur hållbart skogsbruket i ett land är jämfört med ett annat, eller att mäta skillnader i hållbarhet över kort sikt, blir indikatorer som mäter skogens tillstånd oanvändbara. I stället bör man mäta de åtgärder som gjorts för att göra skogen mer hållbar (aktionsindikatorer).

Ett väldigt tydligt exempel är behovet av ett mått på skogens störningskänslighet, snarare än mängden skadad skog. Erfarenheten från stormen Gudrun visar att en hållbar skogsproduktion inte bara ska vara beständig vid dagens klimat utan även vid klimatet de närmaste 100 åren. Det behövs därför en indikator som mäter andelen skog som kan antas vara mindre känslig för framtida störningar.

Hur en mindre störningskänslig skog ser ut är förstås beroende på typen av störning. Olika trädslag är ju olika känsliga för olika störningar, och det är inte troligt att det går att minska effekten av alla typer av störningar på ett enda sätt. Denna typ av indikator skulle ändå kunna bli en viktig del av ett system för att mäta hållbar skogsproduktion.

Ett alternativ för en mindre störningskänslig skog kan vara att inrikta sig på att minimera risken för den dominerade typen av störning, om det finns en sådan. Skogen skulle då skötas efter den principen, och den på detta sätt skötta arealen skul-

le kunna utgöra en indikator på minskad störningskänslighet. En annan typ av lösning är den så kallade försäkringsprincipen, dvs att inte lägga alla ägg i samma korg utan använda sig av olika trädslag och olika skötselstrategier. En variant på detta är att öka användandet av blandskog, som visat sig vara mer beständig mot olika störningar än monokulturer med ett enda trädslag. Andelen blandskog skulle således kunna vara en indikator på minskad störningskänslighet. Mer forskning behövs dock här för att nå den optimala avvägningen mellan hög produktion och liten störningsrisk. □

Per Bodin är miljövetare och arbetar vid Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap vid Lunds universitet. Hans fokus ligger på modellering av ekosystem, kolflöden och ekosystemtjänster, för närvarande med inriktning på markanvändnings- och klimatförändringars effekter på kol- och vattenflöden i Afrika. Han har tidigare forskat om teorier och modeller kring hållbart skogsbruk i ett framtida klimat.

Anders Mårell är jägmästare och skoglig doktor med inriktning på frågor om skogsbrukets hållbarhet. Han arbetar sedan mer än 10 år i Frankrike, där han vid det statliga forskningsinstitutet Irstea studerar klövviltets påverkan på den biologiska mångfalden och på skogsförnyringen. Tidigare arbetade han med forskning kring skogsbränder i medelhavsområdet samt var samordnare för ett nätverk om långsiktig skogsekosystemforskning.





Lösningar,
eller nya
problem?



13:

Biokol ger dubbla fördelar

HÅKAN WALLANDER

Skulle en variant av grillkol kunna användas både som jordförbättringsmedel och som ett sätt att långtidslag-
ra kol i marken och därmed binda koldioxid? Det me-
nar i alla fall de som förespråkar tillverkning av biokol.
Ekologen och markbiologen Håkan Wallander berättar
om biokol och dess egenskaper, om den forskning som
görs, om sina egna erfarenheter och om Ghana som ett
land med stora möjligheter på området.

TÄNK OM VI KUNDE hitta ett sätt att sänka koldioxidhalten i atmosfären. Tänk om vi samtidigt kunde göra jordarna i tredje världen bördigare så att människorna där inte behövde gå hung-riga. Tänk om tekniken för detta vore så enkel att tredje världens invånare skulle kunna sköta detta själva. Då skulle vi till och med kunna betala dem för att de sänker koldioxidhalten åt oss, och de ekonomiska orättvisorna i världen skulle utjämnas.

Detta låter väl för bra för att vara sant, men de som förespråkar storskalig användning av biochar – biokol – menar att denna teknik kan få stor betydelse för att motverka klimatförändringarna.

Grillkol för jordförbättring

Biokol är i princip samma sak som grillkol. Men i stället för att använda det i grillen använder man det som jordförbättrings-medel, och som ett sätt att långtidslagra kol i marken. Tekni-ken har länge använts bl a av indianerna i Amazonas (mer om detta senare).

Biomassa som förbränns under begränsad syretillförsel, som i de gamla kolmilorna, genomgår en process som kallas pyrolys. Då bildas kol, tjära och pyrolysgas, en blandning av metan, vätgas och kolmonoxid. Ungefär en tredjedel av bio-massans vikt omvandlas till biokol under processen. Energin i gasen utvinns och kolet kan sedan användas som träkol eller myllas ner i marken.

Luftens koldioxid binds genom växternas fotosyntes och omvandlas till biomassa. Då sjunker koldioxidhalten i atmosfären. Men när biomassan bryts ner eller eldas upp så återgår samma mängd koldioxid, och slutresultatet blir plus minus

noll. Biokolets speciella kemiska egenskaper gör dock att svampar och bakterier har svårt att bryta ner det, och det kan dröja ända upp till 10.000 år innan allt återgått. Ju mer kol vi gräver ner, desto mer kan vi därför sänka atmosfärens koldioxidhalt. Att gräva ner biokol blir ett sätt att långtidslagra kol i marken.

Gör jorden mer lucker

Biokol som myllats ner i marken kan förbättra jordens egenskaper på flera sätt. I mikroskopet ser man att det är poröst som en tvättsvamp och genomvävt av porer och håligheter. Det är därför träkol är så mycket lättare än trä. Håligheterna gör jorden luftigare, och mer av vattnet kan hållas kvar i porerna när det regnat. Kompakta jordar blir mer luckra, och torra sandiga jordar får bättre vattenhållande förmåga om man blandar in biokol. Den porösa strukturen ökar också den sammanlagda yta som näringsämnen kan bindas till, vilket minskar risken för näringsläckage.

Biokolets egenskaper påverkas av temperaturen under tillverkningsprocessen. Kväverikt material som hönsgödsel förlorar mer kväve vid högre temperaturer: hela 60 procent kan förloras om pyrolysen sker vid 800°C, och biokolets näringsbindande förmåga minskar också. Temperaturer runt 350°C ger bättre näringshållande förmåga och bättre utbyte av kol, men kolet blir inte lika stabilt. Man bör därför välja process efter vad det är man vill uppnå: lägre temperaturer om det viktigaste är att förbättra jordens förmåga att hålla näring, högre temperaturer om långtidförvaring av kol är huvudmålet.

Biokolet har en aktiv yta – det är därför vi dricker aktivt kol för att motverka matförgiftning, då kolet kan binda giftämnen. Denna aktiva yta kan även suga åt sig den näring som redan finns i jorden och då kan tillgängligheten för växterna minska. Därför är det viktigt att man laddar kolet med näring innan

man gräver ner det i jorden, speciellt om ursprungsmaterialet är näringsfattig ved. Om man däremot gör biokol av näringsrik höns gödsel är det inte lika viktigt att tillföra extra näring. I Kenya och Brasilien bedrivs stora projekt med massproducerat biokol som laddats med gödsel innan det plöjts ner i marken, och tillväxten blir då betydligt bättre.

Jordar med låg närings- och vattenhållande förmåga har störst möjlighet att förbättras av tillskott av biokol och det är i tropiska områden, där sådana jordar är vanliga, som biokolltillsatser kan få störst effekt. Men även i välgödslade jordar kan det vara en fördel att tillsätta biokol eftersom övergödningen av sjöar och hav motverkas när kväve, fosfor och andra näringsämnen binds på biokolets aktiva yta.

Terra preta

Biokolltillverkningen är inte något nytt fenomen. Amazonas var befolkat av flera miljoner indianer ända in på 1500-talet då de första västerlänningarna anlände. Spanjoren Francisco de Orellana rapporterade om utbredda städer och välutvecklade jordbruk längs Amazonasfloden när han färdades här vid denna tid. Men indianerna drabbades av västerlänningarnas sjukdomar och bara en bråkdel överlevde. Deras samhällen förföll och övergavs. Men de lämnade kvar en svart jord – terra preta – som är bland de mest produktiva vi känner till idag.

Flera forskare anser att indianerna bedrev ett slags modifierat svedjebruk där man var noga med att inte elda upp all biomassa, utan i stället täckte brandhärden med jord för att begränsa syretillgången. Resultatet blev att biokol ansamlades i marken. Kolet gjorde jorden svart och hjälpte till att hålla kvar näringen så att den inte läckte ut ur marken.

Under de tusentals år som indianerna befolkade områdena

längs Amazonasfloden ansamlades matrester som fisk och köttben i marken, och även fekalier och urin. Växtnäringsämnen som fosfor, kväve och kalium från dessa material fastnade på biokolet och resultaten blev en näringsrik jord som kunde odlas under tusentals år.

Regnskogsjord som inte berikats med biokol är näringsfattig. Nästan all näring finns bunden i växtligheten, och om träden tas bort för man även bort näringen. I den svarta jorden hålls däremot näringen kvar, och dessa jordar odlas fortfarande utan några tillväxtminskningar.

Min väg mot biokol

Första gången jag fick höra talas om biokol var under en konferens i Davos i Schweiz. Där träffade jag jordbruksforskaren Utra Mankasingh, som visade en poster om biokol i sydindiska jordbruksjordar. En speciell sorts brännare med begränsad syretillförsel hade utvecklats för ändamålet. Brännarna användes för att laga mat sedan byborna laddat dem med grenar, kvistar och annat överblivet brännbart material. Efter måltiden spreds de förkolnade resterna på åkrarna som jordförbättringsmedel.

Jag fick kontaktuppgifter till en av projektledarna, David Friese-Greene i USA, som via e-post gav mig beskrivningar av bananodlingar i södra Indien där skörden ökat med 30 procent efter att biokol hade grävts ner i samband med planteringen. Men det gällde att ladda kolet med urin eller annan näring innan man tillförde den till jorden.

E-posten från David Friese-Greene avslutades med en kryptisk förfrågan om jag kände en Folke Günther. Efter lite efterforskningar förstod jag att även Folke arbetade med biokol, och att han var svensk och faktiskt bodde i Lund. På hemsidan har systemekologen Folke Günther en vägbeskrivning till sin bo-

stad, och bilderna avslöjade att jag till och med hade cyklat förbi hans hus på morgonen på vägen till jobbet. Jag mejlade och fick snabbt svar. Han höll på att utveckla en ny sorts biokolbrännare och skulle testa den till helgen; jag var välkommen att vara med.

Middagslagning med biokol

Helgen anlände och jag var på plats när Folke stolt visade upp sin nytillverkade brännare. En liten samling fantaster hade samlats, och Folke satte fyr på några vedträn han placerat under brännaren, vars behållare var fylld med träpellets. Efter tjugominuter antändes pyrolysgasen som sipprade fram ur små hål på insidan av behållaren. Den brann med en klar rökfri låga. Folke placerade en wok ovanpå och hällde i olja. När oljan var het la han i fint skurna grönsaker och välmarinerat kött. Snart njöt vi av en underbar middag och kände samtidigt tillfredställelsen av att försöka hejda klimatförändringarna.

Nästa dag räknade jag dock ut att biokolet vi hade producerat och grävt ner i Folkes trädgård motsvarade ungefär den mängd koldioxid som jag släppt ut under bilfärden till och från hans hus. Det behövs alltså enorma mängder biokol för att den ska göra någon verklig skillnad, och konkurrensen om biomasan är hård. I Sverige vill vi använda allt mer biomassa från skog och jordbruk till fordonsbränsle och som råvara till kraftvärmeverk. Biokolstillverkning ger visserligen också en del energi, men utbytet blir högre om man förbränner biomasan i ett kraftvärmeverk.

I Sverige tycks biokolets roll därför bli rätt marginell. Men det kanske inte är i den utvecklade delen av världen som biokol kan göra mest nytta. Lågproduktiva jordar i bl a Afrika kan förbättras med biokolsinblandning, och i delar av världen där

man använder öppna eldar för att laga mat kan pyrolysspisar ge enorma miljövinster. Röken från de öppna eldarna spär på växthuseffekten eftersom den bidrar till de enorma värmeabsorberande bruna moln som täcker stora delar av södra Asien. De kvinnor som nu lagar mat över öppna eld skulle också slippa få sina ögon och luftrör skadade av röken.

Det hela är dock komplicerat, eftersom röken även kan ha positiva effekter. En gång blev jag inbjuden till en familj i Nepal som hade en öppen eldstad i sin hydda. Röken impregnerade halmtaket och höll ohyran borta. Det berättades att byborna hade fått spisar med skorstenar från en schweizisk biståndsgrupp, men att problemet med insekterna i taken blivit så svårt att projektet fick avbrytas.

Forskning om biokol

Forskningen kring biokol har accelererat de senaste åren. Men fortfarande är det ingen som vet hur man omvandlar en eroderad och utarmad åkerjord till en högproducerande terra preta-jord. Det fordras mycket forskning om vi någonsin ska nå dit. Mycket tyder på att biokolet får bättre egenskaper ju längre tid det får ligga i marken. Kemiska och fysikaliska förändringar sker genom mikroorganismernas långsamma bearbetning.

Om biokolet producerats vid lägre temperatur finns det dessutom kvar en del lättillgängliga kolföreningar som mikroberna kan utnyttja. Nyttiga svampar och bakterier får skydd när de växer in i biokolets mikroskopiska porer som är för stora för nematoder, hoppstjärtar och andra rovdjur som vill äta upp dem.

Det finns flera rapporter som visar att bakterier som fångar luftens kväve gynnas av biokol. Eftersom kvävet är det näringsämne som växterna behöver mest av, så kan detta vara en del av förklaringen till den tillväxtökning man ofta ser hos grödorna.

Skördeökning på 10 procent

En svårighet med forskningen om biokol är att resultatet i hög grad påverkas av framställningsmetoderna, och ingen har på ett systematiskt sätt jämfört biokol som producerats vid olika temperaturer och av olika utgångsmaterial. En sammanställning av alla dittills gjorda studier publicerades 2011, och då kom man fram till att biokol ger en genomsnittlig skördeökning på 10 procent. Biokol som tillverkats av näringsrik hönsgödsel gav i regel resultat över genomsnittet, medan biokol av avloppsslam gav sämre skördar. Största effekten fick man på mer genomsläppliga sandjordar och på jordar med lågt pH, sannolikt på grund av att biokolet förbättrar den vattenhållande förmågan och att biokolets pH-höjande effekt är viktigast på sura jordar.

En annan aspekt som kan få betydelse ur klimatsynpunkt är biokolets förmåga att motverka bildningen av lustgas (dikväveoxid, N_2O). Lustgas är en mycket mer potent växthusgas än både koldioxid och metan och bildas främst i syrefria fickor i jorden av bakterier som använder nitrat i stället för syre i sin andning.

De flesta undersökningar tyder på att biokoltillsats ger en kraftig sänkning av lustgasbildningen. Skälet kan vara att jorden blir luftigare, så att bakterierna använder syre i stället för nitrat med koldioxid i stället för lustgas som slutresultat. Men även nitrattillgången är viktig. Om biokolet binder upp nitrat och gör det otillgängligt för bakterierna, så kan de inte tillverka lustgas i samma utsträckning. Dock kan nitratbildningen i vissa fall gynnas av det högre pH som biokolet ofta medför. Här behöver vi forska mer om vi ska kunna minimera lustgasbildningen med hjälp av biokol.

Exemplet Ghana

Det är i lågproduktiva jordar i tredje världen som biokolet kan göra mest nytta. Det låga näringsinnehållet och den låga mullhalten kan förbättras genom näringsladdat biokol.

Ghana är ett jordbruksland i västra Afrika. Här bedrivs fortfarande svedjebruk. Men när man bränner den torra afrikanska buskskogen blir det mest kvar aska, och kolhalten i jorden ackumuleras inte så som den gjorde i Amazonas med indianernas modifierade svedjebruk.

Näringen i askan räcker några år, men sedan måste åkern överges så att ny skog kan etablera sig och bygga upp ett nytt näringskapital. Jordarna är då utarmade eftersom man inte återfört någon näring och inte heller – av ekonomiska skäl – använt någon konstgödsel. Lägre organiska halter minskar jordarnas förmåga att hålla kvar vatten, vilket tillsammans med avverkningen av den skyddande skogen ökar risken för erosion.

Åkrarna i Sahelregionen producerar endast en bråkdel av sin potentiella förmåga och förlusten i form av försämrad produktionsförmåga i Ghana under perioden 2006-2015 kan komma att motsvara 4,2 miljarder US dollar. Jordarna i Ghana är sandiga och genomsläppliga, och allt detta sammantaget innebär goda förutsättningar för att förbättra bördigheten med biokol.

Stora mängder jordbruksrester

Nyligen gjordes en stor inventering av Ghanas potential för att producera biomassa för både energi och biokolstillverkning. Den totala mängden jordbruksrester i landet, främst stjälgar från majs och durra samt rester från kakaobönor, är beräknad till ca 4.000.000 ton. Om man kunde utnyttja en femtedel av detta för biokolstillverkning och om utbytet skulle bli 20 procent, så skulle man kunna tillverka 160.000 ton biokol om året.

Detta motsvarar bara en bråkdel av Ghanas totala koldioxidutsläpp på 9.000.000 ton, men skulle innebära en kontinuerlig förbättring av åkerjorden om man varje år tillförde 10 ton näringsladdad biokol till 16.000 hektar. På 50 år skulle därigenom en femtedel av åkerarealen kunna vara förbättrad.

Förutom jordbruksrester finns det andra möjliga produkter att använda till biokolsproduktion: en fjärdedel av Ghanas mark är täckt av skog, och beräkningar tyder på en potential runt 500.000 ton om man räknar in hyggesrester och restprodukter från träindustrin. Oljeväxten *jatropha*, vars oljerika frön används för tillverkning av biodiesel, kan också bli en källa till biokol.

Ghana har således en potential för att förbättra sina jordar och i begränsad mängd bidra till att sänka atmosfärens koldioxidhalt. Det krävs dock mer forskning och utveckling av ny teknik samt en seriös satsning från regeringen i Ghana innan detta kan bli en realistisk möjlighet.

Hur långt räcker det?

Beräkningar tyder på att det finns 15 miljarder hektar åkermark på jorden. Om vi skulle tillföra biokol till dessa vart tionde år så skulle vi enligt en livscykelanalys gjord 2008 kunna binda 0,65 gigaton kol per år, vilket motsvarar 2,47 gigaton koldioxidekvivalenter. Detta kan jämföras med det årliga totala utsläppet av koldioxidekvivalenter på 49 gigaton per år. Biokol kan alltså inte lösa hela klimatproblematiken, men kan ändå bli ett viktigt bidrag för att begränsa effekterna: många bäckar små blir ju till slut en hel flod. Det finns också analyser som tyder på att den totala klimatnyttan kan bli 2-5 gånger större om biomassa används till biokol i stället för till biobränsle.

Samtidigt finns det flera svårigheter att ta hänsyn till. Tillgången på biomassa är begränsad och konkurrensen kommer att bli hård i framtiden. Materialet måste också kunna produceras på ett hållbart sätt och inte ge några stora utsläpp av växthusgaser och andra föroreningar, vilket ofta sker när biokolet tillverkas i liten skala. Här finns dock hopp om förbättringar, eftersom teknikutvecklingen är snabb på området.

Detta är några av de viktiga frågorna för framtiden:

- > Ska vi maximera matproduktionen eller omvandla mer biomassa till energi, drivmedel och biokol i framtiden?
- > Kommer vi att utarma markerna på näring och mullämnen när vi intensifierar skördarna?
- > Ska vi certifiera biokolet eftersom egenskaperna skiljer sig åt beroende på framställningssätt, och för att säkerställa att det inte tillverkas på bekostnad av minskad matproduktion?

Om man noga överväger dessa frågor borde uthålliga lösningar för storskalig biokolsproduktion kunna skapas i tropiska regioner med utarmade jordar, där klimatnyttan kan kombineras med jordförbättring. I Sverige och andra västländer i väst är det däremot tveksamt om biokol kan få annat än en marginell inverkan på klimatförändringarna. Men det finns förstås inget som hindrar att vi berikar våra trädgårdsjordar med en påse grillkol som krossats till ett finare pulver. Efter att ha laddat det med urin har man ett perfekt jordförbättringsmedel med näring som inte riskerar att läcka ut i omgivande vattendrag – och har samtidigt gjort en liten insats för klimatet. □



Håkan Wallander är professor i markbiologi och miljövetenskap vid Biologiska institutionen i Lund. Han forskar kring samspelet mellan skogs-träden och deras samarbetspartners – mykorrhizasvamparna. Resultaten av hans forskning används bland annat för att utveckla ekosystem-modeller inom forskarnätverket BECC, Biodiversity and Ecosystem services in a Changing Climate. Han utgav 2012 en populärvetenskaplig bok om jord på Atlantis förlag.

14:

Hållbarhets- krav på biodrivmedel

BODIL ELMQVIST

SARA BROGAARD

PHILIP PECK

Hur ska jordens odlingsmark räcka till för att producera både biodrivmedel och livsmedel till en växande befolkning på ett hållbart sätt? Biodrivmedel har ett gott syfte – bland annat att minska utsläppen av växthusgaser och därmed den globala uppvärmningen. I sin nuvarande form domineras dock biodrivmedlen av grödor som konkurrerar med livsmedelsproduktionen. Detta problem diskuteras av Bodil Elmqvist och Sara Brogaard från Lunds universitets centrum för studier av uthållig samhällsutveckling, LUCSUS, och Philip Peck från Internationella miljöinstitutet IIIIEE, med särskild tonvikt på EUs styrmedel och så kallad ”land grabbing” i Afrika.

ALLT FLER STATER har satt upp mål för en kraftigt ökad produktion och användning av förnybar energi, inklusive bioenergi. Bakom dessa mål står behovet att minska växthusgasutsläppen, men även behoven att trygga tillgången till energi samt stimulera landsbygdsutveckling och ge bättre förutsättningar för branschen att långsiktigt satsa på nya energislag. EU har inom det så kallade förnybartdirektivet formulerat obligatoriska mål för medlemsländerna. Enligt direktivet ska år 2020 minst 20 procent av den totala energianvändningen inom EU komma från förnybara källor. Inom transportsektorn har målet satts till 10 procent.

Just transportsektorn är viktig ur ett hållbarhetsperspektiv eftersom stora utmaningar kvarstår i arbetet med att minska växthusgasutsläppen och öka andelen förnyelsebar energi just i denna sektor. Den kommersiella produktionen av biobränslen inom transportsektorn, så kallade biodrivmedel, domineras av etanol från bl a sockerrör, majs, kassava och vete, samt biodiesel från bl a raps, soja och oljepalmer. EU, USA och Brasilien är de viktigaste aktörerna på den internationella marknaden.

På senare tid har dock debatten kring biodrivmedlens hållbarhet intensifierats. Ett skäl är den ökade medvetenheten om hur odlingen av biogrödor i nuvarande form ofta konkurrerar med andra ekosystemtjänster från marken, som livsmedelsproduktion och kollagring. Ett annat skäl är att importen av biodrivmedel från länder i syd ifrågasatts på grund av den intensiva och storskaliga produktionens negativa sociala effekter.

För att möta kritiken och försöka säkra en hållbar produktion av biodrivmedel har EU infört hållbarhetskriterier för biodrivmedel. Huvudsyftet är att garantera både att utsläppen av växthusgaser minskar väsentligt och att produktionen inte hotar marker med hög biologisk mångfald eller hög kolinbindning såsom skogar och våtmarker. Den svenska lagen

om hållbarhetskriterier, som infördes 2010, innebär i princip att alla som handlar med biodrivmedel i Sverige måste följa de kriterier som beskrivs i förnybartdirektivet. Sveriges mål i samband med förnybartdirektivet är att förnybar energi ska stå för 49 procent av energikonsumtionen år 2020, högst bland alla EU länder, och 10 procent inom transportsektorn.

Intentionerna bakom lagstiftningen om hållbarhetskriterier är goda, men vi menar att den samtidigt har viktiga luckor som bland annat berör odlingen av biogrödor i fattigare länder med oftast sämre fungerande institutioner. Samtidigt som utvecklingen av hållbarhetskriterier ska ske i alla Europas länder kommer det nämligen allt fler rapporter om "land grabbing" – markövertagande på orättvisa villkor i fattigare länder, i första hand för att odla biogrödor. Se även kapitel 5 – *Förlovarna är de fattiga*.

Syftet med detta kapitel är att diskutera vad det innebär i ett globalt perspektiv när vi använder odlingsmark för att producera biodrivmedel. Vi sammanfattar kort debatten kring storskalig produktion av grödor för biodrivmedel och diskuterar konceptet hållbara biodrivmedel i samband med EUs förnybartdirektiv. Vi återger i stora drag innebörden av lagen om hållbarhetskriterier och resonerar om vad det innebär att direktivets införande i svenska lag framförallt berör miljömässiga kriterier.

Varför ifrågasätts biodrivmedel?

De biodrivmedel som direkt konkurrerar med livsmedelsproduktionen eftersom de framställs av jordbruksgrödor och därmed kräver åkermark brukar kallas traditionella eller första generationens biodrivmedel. I den gruppen ingår bland annat etanol och biodiesel som produceras av till exempel sockerrör, majs, raps och spannmål. De biodrivmedel som inte på samma direkta sätt konkurrerar med livsmedelsproduktionen kallas av-

ancerade eller andra och tredje generationens biodrivmedel. Ny teknik för avancerade biodrivmedel ger möjligheter att använda fler olika råvarukällor, som lignocellulosa från skogssektorn och restprodukter från jordbruket.

Biogas, Sveriges tredje största biodrivmedel efter etanol och biodiesel, är ett avancerat biodrivmedel. Biogasen i Sverige framställs främst av avloppsslam, slakteriavfall och källsorterat avfall från hushåll och verksamheter. Andra kommersiella avancerade biodrivmedel är HVO (hydrogenerad olja) som i Sverige främst baseras på tallolja, en restprodukt från skogsindustrin. Enligt Energimyndighetens statistik för 2011 var nästan 20 procent av de registrerade biodrivmedlen i Sverige klassade som andra eller tredje generationens biodrivmedel, då främst biogas och HVO.

Livsmedelskrisen 2008 innebar att livsmedelspriserna steg kraftigt på många håll i världen och resulterade i matkravaller och efterföljande debatter om orsakerna till prisstegringarna. Produktion av biodrivmedel pekades ut som en bidragande, och troligen viktig orsak till ökande livsmedelspriser, även om uppskattningar av dess faktiska inverkan på prisökningarna har varierat avsevärt. Det kvarstår dock att av USAs totala majs-skörd nådde siffrorna för användande till biodrivmedel upp till 30 procent under denna period. I samband med detta började etanolproduktionen ifrågasättas i bland annat Sverige, och begreppen fuletanol och finetanol började synas i media för att belysa att etanol kan produceras på mer eller mindre hållbara sätt. Även om mindre än 1 procent av den globala jordbruksmarken för närvarande anses användas till att odla grödor för biodrivmedel, så är det viktigt att veta om biodrivmedel verkligen är hållbara när man argumenterar för och stimulerar en ökad användning av dem.

En annan anledning till att biodrivmedel är ifrågasatta är att

det inte är självklart att de minskar utsläppen av växthusgaser. Att biodrivmedlen skulle göra det, eftersom de anses vara koldioxidneutrala, är ju ett av huvudskälen till satsningen på biodrivmedel. Men inkluderar man de växthusgasutsläpp som hör samman med till exempel en förändrad markanvändning, konstgödsel och fossilbränsle driven mekanisering kan den samlade effekten tvärtom bli en ökning och inte en minskning av utsläppen.

Utsläppsförändringen enligt de standardvärden som för närvarande används (utan ILUC) anger en stor variation från drivmedel till drivmedel. Biodiesel som produceras av raps hade enligt dessa värden lägst utsläppsminskning (ungefär 38 procent) för de mängder som rapporterades som hållbara till Energimyndigheten för 2011. Utsläppsminskningen för etanol varierade från 50 till 80 procent och för det avancerade biodrivmedlet HVO, hydrogeniserad olja, låg den antagna minskningen på ungefär 88 procent.

Förändrad markanvändning i flera steg

Indirekta förändringar av markanvändningen (förkortat ILUC efter engelskans Indirect Land Use Change) kan påverka den totala växthusgasbalansen för biodrivmedel. ILUC sker när produktionen av biogrödor driver undan existerande matgrödor, vilket i sin tur måste kompenseras genom att obrukad mark i andra områden omvandlas till odlingsmark. Om den obrukade marken är till exempel skog eller kolrika gräsmarker kan växthusutsläppen för ett biodrivmedel i slutändan bli högre än för motsvarande fossilt bränsle. Att förändringarna kallas indirekta syftar på att utsläppen av växthusgaser sker på en annan plats än där odlingen av biogrödor äger rum.

De indirekta effekterna har hittills inte ingått i beräkningsmallarna för biodrivmedlens växthusgasutsläpp. I ett förslag från oktober 2012 vill EU-kommissionen minimera

biodrivmedelsproduktionens konkurrens med livsmedelsproduktionen genom att kräva att ILUC inkluderas i beräkningarna och att kraven på utsläppsminskningen från biodrivmedel skärps. Bara hälften av de 10 procent förnyelsebar energi inom transportsektorn som är EUs mål föreslås dessutom komma från livsmedelsbaserade biodrivmedel.

Klimatkommissionär Connie Hedegaard uttrycker förändringen så här: ”För att biobränslen ska kunna hjälpa oss i våra insatser mot klimatförändringarna måste vi använda biobränslen som verkligen är långsiktigt hållbara. Vi måste satsa på biobränslen som faktiskt minskar utsläppen och inte konkurrerar med livsmedel. Det här innebär givetvis inte något stopp för första generationens biobränslen, men vi skickar ut en tydlig signal om att framtida biobränslen måste vara avancerade biobränslen. Allt annat är ohållbart.” Förslaget har debatterats intensivt under hösten 2012, och mött kritik från många aktörer inom bland annat den svenska biodrivmedelsbranschen som hävdar att det skulle innebära stora svårigheter för branschen.

Ytterligare en anledning till att biodrivmedel är ifrågasatta är att importen av biogrodor och biodrivmedel från tillväxt- och utvecklingsländer kritiserats på grund av den intensiva och storskaliga produktionens sociala aspekter. Det handlar om bristande hänsyn till rättigheter för arbetare och traditionella brukare av mark och naturresurser, lokalbefolkningens försörjning och andra former av landsbygdsutveckling. Det här diskuteras mer senare i kapitlet.

Kan man reglera bort ”fula biodrivmedel”?

Det finns uppenbarligen många tveksamheter kring framställningen av biodrivmedel. Ett viktigt styrmedel för biodrivmedelssektorn i Sverige är EUs så kallade förnybartdirektiv och tillhörande hållbarhetskriterier från 2009, som tidigare nämnts.

Sverige är ett av de länder i Europa som varit först med att överföra hållbarhetskriterierna till nationell lag. Hållbarhetskriterierna innebär att utsläppen av växthusgaser ska vara klart mindre vid användning av biodrivmedel än vid motsvarande användning av fossila bränslen. Denna minskning ska vara 35 procent år 2012 över hela produktionskedjan och sedan öka till 50 procent 2017 (i det nya förslaget från EU skärps reglerna och minskningen tidigareläggs till 2014 för nya anläggningar).

Dessutom får man inte avverka naturskog för att odla biogrödor, eller odla sådana i områden med höga naturvärden. Man får inte heller odla biogrödor i naturliga och icke-naturliga gräsmarker med hög biologisk mångfald, eller i våtmarker och torvmark eller andra områden med höga kollager. I praktiken innebär hållbarhetskriterierna i många fall att biogrödor enbart kan odlas på mark som klassades som åkermark år 2008.

Denna lag gäller även om odlingen av biogrödor och produktionen av biodrivmedel sker utanför Sveriges och Europas gränser. För att täcka in alla förhållanden i olika länder behövs dock ytterligare arbete för att tolka markanvändningen till landets specifika kontext. Det är fortfarande oklart hur markkriterier för till exempel länder i Afrika kommer att tolkas. Tolkningarna kommer ha stor betydelse för effekterna av hållbarhetskriterierna.

Lagen om hållbarhetskriterier innebär att alla aktörer i Sverige som handlar med biodrivmedel ska rapportera mängderna till Energimyndigheten. Energimyndigheten rapporterar sedan in den totala volymen biodrivmedel till EU-kommissionen, och med hjälp av den volymen beräknas Sveriges andel förnybart biodrivmedel. Det svenska målet på 10 procent för 2020 har uppnåtts redan under 2012.

Fokus på miljöaspekter i lagen

De aktörer i Sverige som är rapporteringsskyldiga till Energimyn-

digheten kan välja ett nationellt eller ett frivilligt rapporteringssystem. Det nationella rapporteringssystemet omfattar i princip enbart miljöaspekterna för närvarande, medan aktörer som vill försäkra sig om sociala hållbarhetsaspekter får söka sig till de frivilliga systemen. Bland dessa finns det hösten 2012 tolv system som godkänts av EU-kommissionen. De inkluderar i varierande grad aspekter som även relaterar till social hållbarhet som till exempel tryggad livsmedelsproduktion, arbetsrätt, ägandeförhållanden och landsbygdsutveckling. Även om sådana aspekter ingår är det dock svårt att kontrollera att kraven verkligen uppfylls.

Energimyndighetens statistik för 2011, det första rapporteringsåret, visar att det bara är ett fåtal av aktörerna i Sverige som väljer ett frivilligt rapporteringssystem. Merparten av de biodrivmedel som används i Sverige är alltså hållbara i betydelsen att de uppfyller hållbarhetskriterierna, men tar i princip inte hänsyn till några aspekter om social hållbarhet. Enligt ett pressmeddelande från Energimyndigheten i maj 2012 registrerades ingen "fuletanol" i Sverige 2011, men då är alltså definitionen av hållbarhet den begränsade definition som ges i hållbarhetskriterierna.

Det är möjligt att kostnaderna för att certifiera socialt, ekonomiskt och ekologiskt hållbara biodrivmedel skulle bli så höga att aktörer undviker biodrivmedelssektorn. Svaret på frågan om man kan reglera bort "fula" biodrivmedel är att man möjligen kan det, men det är en process vars komplexitet inte bör underskattas.

Regleringarna hindrar inte "land grabbing"

Det är naturligtvis viktigt att veta var biogrödan är odlad för att bedöma biodrivmedels hållbarhet. Biodrivmedel i dess nuvarande form domineras av grödor som konkurrerar med livsmedelsproduktionen och där en betydande del importeras från länder utanför EU. Sverige importerade år 2011 huvudsakligen biodrivmedel och biogrödor från Europa, Brasilien och

USA. Ingen biogröda var odlad i Afrika eller Oceanien, och försumbara mängder odlades i Asien och Latinamerika utöver Brasilien. Det innebär alltså att enligt statistiken ingen land grabbing i Afrika kan kopplas till de hållbara mängder biodrivmedel som rapporterades in under 2011. Vi vill ändå titta närmare på denna företeelse, eftersom det enligt vår åsikt inte finns något som hindrar land grabbing även om man följer de svenska hållbarhetskriterierna.

Den svenska termen för land grabbing, baggböleri, betyder enligt Svenska Akademiens Ordlista att ”skövla eller olovligt avverka skog”. Termen användes för första gången i mitten av 1800-talet och syftade då på byn Baggböle i Västerbotten där kronoskog olovligt hade avverkats. På engelska används även termen ”large-scale land acquisitions” som är en mer neutral term än land grabbing. Gemensamt för alla begreppen är att de syftar på internationella kontrakt med jordbruksmark.

År 2011 publicerade det internationella projektet Land Matrix Project en omfattande rapport om land grabbing. Projektet är ett samarbete mellan mer än 40 ideella organisationer och forskningsorganisationer. Information om land grabbing är svår att verifiera, eftersom många av de företag som handlar med mark inte alltid har intresse av att dela med sig av korrekt statistik. Land Matrix Project är för närvarande den mest tillförlitliga källan på området.

Stora och ökande arealer

Enligt projektets rapport uppgick markaffärernas areal mellan åren 2000 och 2010 till 203 miljoner hektar, varav 71 miljoner hektar har verifierats av flera oberoende källor och alltså är mer tillförlitliga. Siffrorna kan jämföras med Sveriges totala area på 45 miljoner hektar. Rapporten visar också att arealerna ökat kraftigt under samma period. En av anledningarna anses

vara de höga livsmedelpriserna 2007 och 2008, när konkurrensen om mark ökade.

Att skaffa mark för energiproduktion är den största drivkraften för de ökande markaffärerna, inte livsmedelsproduktion som man tidigare trott. Livsmedel kommer först på andra plats, och därefter exploatering av mineraler, industri, turism och skogsbruk. Mycket av den mark som ingår i markaffärerna ligger i Afrika som ofta har låga kostnader för både mark och arbetskraft.

Även om det alltså 2011 inte var något företag i Sverige som importerade biogrödor eller biodrivmedel från Afrika, kan detta mycket väl ske i framtiden. Det finns dessutom ett flertal exempel där svenska intressen har investerat i mark i Afrika under det senaste årtiondet, som till exempel i Tanzania, Mozambique och i Sierra Leone. Det betyder naturligtvis inte att dessa företag nödvändigtvis har bidragit till en orättvis handel – men det finns inte heller, än så länge, några bevis för att något företag inte har inneburit försämrade levnadsförhållande för lokalbefolkningen.

Slutligen

Med den här länken mellan biodrivmedel och land grabbing vill vi uppmärksamma svårigheterna med att framställa hållbara biodrivmedel i stor skala, speciellt när produktionen av biogrödor och biodrivmedel sker i länder med en stor andel fattig befolkning utan tryggad tillgång till mat och med oklara markägarförhållanden. Den viktigaste anledningen till land grabbing är bioenergi, och många av affärerna gäller mark i Afrika.

Lagen om hållbarhetskriterier har en stor potential att påverka marknaden, eftersom alla aktörer som handlar med biodrivmedel i Sverige måste följa dess kriterier för att drivmedlet ska vara befriat från skatt. Dessutom ska alla medlemsländer instifta lagar som bygger på EUs förnybartdirektiv vilket inne-

bär att direktivet bör få en stor påverkan på den globala utvecklingen av biodrivmedel.

Men definitionen av hållbarhet enligt hållbarhetskriterierna är idag begränsad, vilket kan skicka fel signaler till oss konsumenter – vi tankar bilen med ett drivmedel som är klassat som hållbart, men där hållbarhetskriterierna i princip är begränsade till miljöaspekter, utan att inkludera indirekta förändringar av markanvändningen och utan att säkert kunna undvika land grabbing. Vill man försäkra sig om att sociala kriterier tydligare uppfylls måste man idag söka sig till ett av de frivilliga certifieringssystem som har mer långtgående kriterier, men även där finns det frågetecken bland annat kring verifieringen av alla kriterier. EUs ändringsförslag i oktober 2012 avser att uppmuntra avancerade biodrivmedel, som alltså inte konkurrerar på samma sätt med livsmedelsproduktionen, men kommer enligt vissa kritiker att alltför snabbt strypa marknaden för första generationens biodrivmedel.

Efter ett års erfarenhet av rapportering av hållbarhetskriterierna för biodrivmedel och flytande biobränsle ser vi ett stort behov av en mer djupgående analys av konsekvenserna. Vad kan vi lära av EUs inflytelserika direktiv för styrning av den europeiska energi- och transportsektorn? Hur kan vi på ett bättre sätt inkludera relevanta kriterier när det gäller övriga producerande länder, främst i det globala syd?

Slutligen vill vi betona vikten av att parallellt med utvecklingen av biodrivmedel arbeta med utvecklingen av andra alternativ, såsom vätgas- och elbilar samt andra alternativ som ännu inte är kända. Dessutom är det centralt att kontinuerligt arbeta med att förändra våra transportmönster. □

Bodil Elmqvist är fil dr i naturgeografi och arbetar på Lunds universitets centrum för studier av uthållig samhällsutveckling, LUCSUS. Hon ser det tvärvetenskapliga perspektivet som centralt och har bland annat arbetat med jordbruks- och försörjningsfrågor i Afrika. Bodil Elmqvist är även intresserad av samverkan och mer lokala hållbarhetsfrågor, och arbetar som projektkoordinator för Utmaning hållbart Lund som främjar samarbete mellan Lunds universitet och Lunds kommun. Med stöd från energimyndigheten kommer alla tre författarna att studera effekterna av EUs hållbarhetskriterier på biodrivmedel.

Sara Brogaard är lektor vid Lunds universitets centrum för studier av uthållig samhällsutveckling, LUCSUS, och är fil dr i naturgeografi. Hennes forskningsintresse är inriktad på markanvändningsförändringar och deras kopplingar till markförstöring, klimatfrågor och småskaliga bönders livsmedelsförsörjning. Sara Brogaard arbetar liksom Bodil Elmqvist i det Formasfinansierade projektet Land Use Today and Tomorrow (LUSTT).

Philip Peck är tekn dr och universitetslektor i förebyggande miljöskydd på Internationella miljöinstitutet. Med en bakgrund inom ingenjörsvetenskap och gruvindustri är hans huvudintresse hur industrin och samhället ska komma över de hinder som står i vägen för en miljö- och resursmässigt anpassad utveckling. På senare år har han fokuserat på resurssnål och klimatvänlig produktion och konsumtion samt utveckling av förnybara energisystem, främst bioenergi.



15:

Balansgång mellan klimat och hälsa

ERIK SWIETLICKI

BIRGITTA SVENNINGSSON

JAKOB LÖNDAHL

Tack vare stoftkornen i luften kan det bildas moln som ger upphov till regn och hjälper till att kyla av jorden.

Men partiklarna har också en baksida: de bidrar till astma, hjärtkärlsjukdomar, förurning och andra problem.

Ska vi då sträva efter att minska mängden partiklar i luften, för att förbättra människors hälsa – eller tvärtom släppa ut fler, för att skydda jorden från den ökande uppvärmningen? Aerosolforskarna Erik Swietlicki, Birgitta Svenningsson och Jakob Löndahl berättar om partiklarnas många roller.

LUFTEN vi omges av är full av små svävande partiklar, som vi andas in i miljontal med varje andetag. Partiklarna och luften utgör tillsammans en så kallad aerosol. Vardagliga exempel på aerosoler är vedrök, sot från bilavgaser, havssprej och uppvirvlat stoft från vägar och åkrar. I våra hem höjer vi också kraftigt halten av aerosolpartiklar varje gång vi lagar mat, bäddar sängen och tänder ett stearinljus.

Vid Lunds universitet har vi utfört partikelmätningar jorden runt: vid Nordpolen, över Stilla Havet, i Amazonas regnskogar och i Sverige från Malmö i söder till Abisko i norr. Minst partiklar fanns det i Arktis där man kan se extremt låga halter, ner till ett fåtal partiklar per kubikcentimeter luft. I svensk bakgrundsluft utanför städerna är halterna vanligen några tusen partiklar per kubikcentimeter luft, men vid en trafikerad gata eller i en vägtunnel kan nivån stiga till miljoner partiklar per kubikcentimeter.

Intresset för de luftburna partiklarna har på senare tid ökat både nationellt och internationellt efterhand som kunskapen har vuxit kring deras koppling till en rad allvarliga miljö- och hälsoproblem. Det gäller framför allt försurning av mark och vatten, hälsoeffekter och mänsklig påverkan på klimatet. Det har också visat sig att partiklarna faktiskt kan ha en dämpande effekt på uppvärmningen.

Små – men olika stora och olika formade

Det som utmärker en aerosolpartikel är att den kan hålla sig svävande i luften en längre tid. För att kunna göra detta får den inte vara för stor. Medan millimeterstora regndroppar snabbt faller till marken kan moln- och dimdroppar – som normalt är runt hundra gånger mindre – hålla sig svävande länge. Men partiklarna kan heller inte vara alltför små. Då är de inte längre fasta eller flytande partiklar utan snarare gasmolekyler.

Storleken på luftens partiklar varierar därför mellan någon nanometer (miljondels millimeter) och några tiondels millimeter. Den största partikeln har alltså en diameter som är cirka hundrausen gånger större än den minsta, och väger cirka en miljon miljarder gånger mer. Denna enorma skillnad i storlek och volym kan lättare förstås genom att jämföra med mer vardagsnära ting. Om den minsta partikeln är liten som ett knappålshuvud är den största stor som Globen-arenan i Stockholm.

De minsta partiklarna bildas genom kondensering av gasmolekyler, medan stora partiklar främst bildas genom mekaniska processer, ungefär som när en sten mals ner i mindre bitar. De allra flesta aerosolpartiklarna är mindre än en tusendels millimeter – en mikrometer. När vi genom andningen får i oss 10-20 kubikmeter luft varje dygn, får vi samtidigt i oss flera miljarder partiklar men deras sammanlagda vikt är mindre än ett tusendels gram.

Eftersom partiklarna har så olika storlek är det inte förvånande att de inte alla bildas på samma sätt, inte uppför sig likadant i atmosfären, och heller inte transporteras på samma sätt. Det gör det svårt att beskriva hur halterna av partiklar förändras i tid och rum i de modeller vi använder för att beskriva luftens kvalitet, hälsoeffekter och klimatförändringar.

En annan komplicerande faktor är att partiklarna också är olika i sammansättning och form. Till skillnad från gasmolekyler är luftburna partiklar individer, precis som människor. Att tex alla koldioxidmolekyler har exakt samma fysikaliska och kemiska egenskaper gör att deras bidrag till växthuseffekten ganska lätt kan beräknas, till skillnad från partiklarnas.

Kortlivade partiklar

Aerosolpartiklar är relativt kortlivade i atmosfären. I regel rör det sig om timmar, dagar eller veckor innan de kommer i kontakt

med jordytan och avlägsnas ur luften. Detta kan jämföras med växthusgaser som koldioxid, metan, lustgas och freoner, som ofta har en omsättningstid på flera år eller till och med århundraden.

Partiklarna tvättas ur atmosfären främst genom att de bildar molndroppar eller iskristaller som växer till regndroppar eller snöflingor stora nog att snabbt falla till marken. De allra största partiklarna kan dessutom singla ner på egen hand och försvinna ur lufthavet även utan moln och nederbörd. Sådan så kallad torrdeponering kan också ske när luften silas genom växtlighet eller passerar över skrovliga markytor.

Trots att partiklarna har en begränsad uppehållstid i atmosfären kan de transporteras långa sträckor. Ett exempel är de svavelpartiklar från förbränning på kontinenten som orsakar surt regn i Sverige, ett annat är askpartiklarna från vulkanutbrottet på Island häromåret som lamslog flyget i hela Europa.

Partiklarnas hälsoeffekter

Att luftföroreningar i stora mängder är ohälsosamt har varit känt länge. Ett av många tidiga klagomål på dålig luft återfinns i en skrift av den romerske författaren och filosofen Seneca från år 61: "Så snart jag undkom den tryckande atmosfären i staden, och den ohyggliga odören från rykande kök som, när de användes, öste ut en förödande sörja av rök och sot, märkte jag genast att min hälsa förbättrades". Ett mer modernt exempel är de samlade utsläppen från mängder av skorstenar i London som i december 1952, när luften stod stilla över staden, dödade runt 12.000 människor inom loppet av några veckor.

Nu lever vi ju inte längre i antikens Rom eller 1950-talets London, så hur förhåller det sig med de måttligare partikelhalter vi normalt utsätts för i mer moderna miljöer? Även där ställer luftens partiklar tyvärr till med stor skada. I Sverige, där luften är jämförelsevis ren, dör runt 5.000 personer varje år i

förtid på grund av inandade partiklar. Globalt handlar det om flera miljoner människor.

En del partiklar i luften är värre än andra. Om vi utsätts för radon, giftiga kemikalier eller asbestdamm kan vi räkna med större problem än om vi insuper saltstänk från en frisk havsvind.

Tumregeln är ändå att de flesta partiklar vi andas in är dåliga för hälsan. Forskningen är i stort sett entydig. Befolkning i områden med mycket luftföroreningar har sämre hälsa och förkortad livslängd. Barn som växer upp nära trafikerade gator får en långsammare tillväxt av lungorna. Människor och djur som fått i sig avgaser drabbas av förändringar i kroppen som är knutna till inflammation, cancer och hjärtinfarkt.

Att partiklarna påverkar hälsan vet vi alltså, men vi vet inte helt vad det är för egenskaper som gör partiklarna farliga eller vilka mekanismer i kroppen som aktiveras när föroreningarna kommer in i oss. Därför vet vi inte heller vilka partiklar som eventuellt skulle kunna vara ofarliga, och som möjligen skulle kunna släppas ut i atmosfären för att kyla av jorden. Det finns en uppsjö av hypoteser, men inga säkra svar.

Sot: en dubbel miljöbov

Något vi dock faktiskt vet är att just sotpartiklar är farliga både för hälsan och klimatet. Här finns alltså inte någon motsättning: att minska utsläppen av sot från t ex dieslbilar, vedeldning och ofullständig förbränning skulle medföra idel vinster.

Sot uppstår vid förbränning – vid höga temperaturer och syrefattiga förhållanden – av bränslen som innehåller kolatomer. Sot bildas från i princip all förbränning.

Att just sot hjälper till att värma jorden beror på att sotpartiklar är mörka, faktiskt nästan helt svarta, och därför bra på att absorbera solljus. Även sot som faller ner på snö eller is gör att

mer solljus absorberas. Detta leder till en snabbare avsmältning i polarområdena och i glaciärer som t ex de i Himalaya.

Samtidigt är sot dåligt för hälsan: att andas in dieselavgaser är farligt, liksom att laga mat över öppen eld eller på ineffektiva vedspisar. Världshälsoorganisationen (WHO) har nyligen klassat sot som cancerogen. Lyckas vi begränsa utsläppen av sotpartiklar kan vi därför räkna med stora vinster i minskat mänskligt lidande, samtidigt som jordens uppvärmning saktar av något.

På senare tid har av detta skäl mycket uppmärksamhet riktats mot sot och andra kortlivade klimatpåverkande luftföroreningar (Short-Lived Climate Pollutants, SLCP). En "koalition för klimat och frisk luft" (Climate and Clean Air Coalition) bildades i februari 2012 och en rad länder har anslutit sig, däribland Sverige och USA, samt EU-kommissionen.

Det finns dock en risk i sammanhanget. Blir fokus för stort på de kortlivade klimatpåverkande luftföroreningarna kan vi missa pudelns kärna, utsläppen av de långlivade växthusgaserna. Det finns i längden inga snabba "fix" som kan lösa klimatproblemet – utsläppen av växthusgaser måste minska omedelbart! Sotet erbjuder bara en möjlighet att kanske vinna lite tid och samtidigt gagna hälsan.

Växthuset jorden

Som vi vet får jorden sin energi i form av strålning från solen. Strålningen kommer i huvudsak in som kortvågig, synlig strålning och försvinner ut igen som långvågig värmestrålning. De långlivade växthusgaserna absorberar en del av den utgående värmestrålningen, som fastnar i den lägre delen av atmosfären och värmer upp luften och jordytan. Det är detta vi kallar växthuseffekten.

Växthusgaserna utgör mindre än en promille av alla molekyler i atmosfären, men är avgörande för planeten: utan dem hade

jordens medeltemperatur varit -18°C . Därför får också våra nuvarande utsläpp av växthusgaser stor effekt. Trots att de är små i förhållande till den totala gasmängden i luften, är de stora jämfört med den förindustriella koncentrationen av samma ämnen.

Det politiska målet är att hålla den pågående temperaturhöjningen under 2°C . Klarar vi inte detta beträder vi okänt territorium, och jordens atmosfär kan komma ur balans på allvar.

Det finns två huvudåtgärder för att hindra en framtida klimatkatastrof:

- > en snabb minskning av utsläppen av växthusgaser, främst koldioxid och metan
- > tekniska eller biotekniska lösningar för att ta hand om den extra koldioxid vi släppt ut i atmosfären

I ett desperat läge kan vi också tvingas använda nödlösningar:

- > försöka minska inflödet av kortvägig solinstrålning till jorden
- > öka jordens reflekterande förmåga så att mer kortvägig solinstrålning reflekteras tillbaka ut i rymden igen.

En del av detta berörs i andra bidrag i denna antologi. Här ska vi koncentrera oss på den sista punkten, att öka jordens förmåga att reflektera bort delar av den inkommande solstrålningen.

Att stöta bort en del av solstrålningen ...

Från rymden sett har vår planet både mörka och ljusa områden på sin solbelysta del. Ljusa ytor sprider en stor del kortvägig solstrålning tillbaka ut i rymden, medan mörka ytor i stället suger åt sig solstrålningen och omvandlar den till värme. Idag reflekterar jorden bort ungefär 30 procent av den inkommande solstrålningen (jordens så kallade albedo). Ju ljusare planeten är – ju högre dess albedo – desto kallare blir den. Hur gör vi då jorden ljusare?

De mörkaste ytorna är oftast öppet hav eller mörka barrskogar,

medan de ljusaste ytorna huvudsakligen utgörs av moln, is, snö och öknar. Tyvärr gör ett varmare klimat att den is- och snötäckta ytan minskar, vilket minskar planetens albedo. Den ljusa snön eller isen döljer ju nästan alltid en mörkare yta oavsett om det är havsvatten, växter eller sten. När Arktis is och glaciärer-na krymper finns liten hjälp att hämta. Att ökenspridning ökar jordens reflektion av solljus är klen tröst.

Ett annat sätt att göra jordytan ljusare är att ersätta de mörka barrskogarna med ljusare markytor som öppna fält eller åkrar. Men vi vill ju samtidigt kunna öka mängden biomassa som kan binda kol, och skogar är mångfalt bättre på att lagra kol än öppna fält. Därför är detta inte heller någon lösning.

... med hjälp av partiklar?

Låt oss därför i stället lyfta blicken från jordytan till luften ovanför. Hur kan vi öka atmosfärens förmåga att reflektera solljus? Svaret är luftburna partiklar – aerosoler.

Två möjligheter står till buds. Vi kan öka mängden partiklar i luften så att de bildar ett soldis, vilket kallas den direkta effekten. Vi skulle också kunna ändra molnens egenskaper så att de blir vitare, och kanske till och med öka deras utbredning, vilket kallas den indirekta effekten.

Den första av dessa effekter kan vi ibland observera under varma dagar med klar himmel. Uppåt ser himlen blå ut, men mot horisonten är luften disig och föremål långt borta ser suddiga ut. Det som sprider solljuset är inte gaserna i luften eller vattenånga, utan de luftburna partiklarna (i partikelfri luft kan sikten vara upp mot 30 mil).

Soldiset utgörs alltså av många, många partiklar som är så små att de ungefär motsvarar våglängden på det synliga ljuset. En del av det spridda ljuset riktas utåt mot rymden, och jordytan kyls ner.

Teoretiskt sett kunde vi definitivt öka jordens reflekterande förmåga genom att släppa ut aerosolpartiklar eller gaser som bildar partiklar, som exempelvis gasen svaveldioxid som omvandlas kemiskt i atmosfären och bildar sulfatpartiklar. Men tyvärr är det inte så enkelt att bara höja partikelhalterna, eftersom detta även medför allvarliga hälsoeffekter och ekologiska risker.

Att ändra på molnen

Om det av hälsoskäl inte är lämpligt att öka soldiset genom att släppa ut partiklar, kanske man i stället kunde förändra molnen? Då måste vi först titta på hur ett moln bildas. Molekyler av vattenånga har väldigt svårt att kondensera till en droppe bestående av enbart vatten. För det behövs en övermättnad av vattenånga motsvarande en relativ luftfuktighet runt 400 procent eller mer. Orsaken är att den allra första pyttelilla hopen av vattenmolekyler som ska utgöra kondensationskärnan är mycket instabil och snabbt avdunstar igen.

I atmosfären når inte den relativa luftfuktigheten mer än någon enstaka procents övermättnad. Därför bildas i praktiken alla molndroppar på en yta där kondensationen kan påbörjas. I badrummet hemma sker detta t ex på badrumsspegeln som immar igen när vi duschat. I atmosfären är det aerosolpartiklarna som utgör denna yta.

En typisk aerosolpartikel med en torrstorlek på 0,1 mikrometer växer ganska måttligt vid relativa luftfuktigheter upp till ca 95 procent. För att bilda en molndroppe måste luftfuktigheten vara ännu högre, strax över 100 procent. Luften är då övermättad med vattenånga, och partiklarna växer mycket snabbt till droppar som blir mer än 100 gånger större än den ursprungliga partikeln.

När detta sker i atmosfären kan vi tydligt se gränsen mellan områden där luftfuktigheten är tillräcklig och där den inte är

det: antingen finns där ett moln eller också inte. Det är alltså inte så att det saknas partiklar i luften som kan bilda molndroppar, utan det är luftfuktigheten som inte räcker till. Faktum är att det nästan alltid finns tillräckligt med partiklar i luften för att moln ska bildas vid höga luftfuktigheter. Endast i extremt rena miljöer saknas partiklar. Ett bra exempel på detta finns i ett Youtube-klipp från en isbrytarexpedition till Arktis: www.youtube.com/watch?v=EneDwu0HrVg.

Huvudbudskapet är alltså att varje molndroppe bildas på en aerosolpartikel, och att det så gott som alltid redan finns partiklar tillgängliga som kan bilda molndroppar. Det är därför inte helt lätt att öka mängden moln på jorden i syfte att göra planeten vitare och mer reflekterande. Men det har visat sig att mängden partiklar i luften påverkar flera viktiga egenskaper hos det moln som bildas.

Smutsiga moln är vitare

Antalet partiklar som bidrar till att bilda molndroppar påverkar molnets strålningsegenskaper. Resultatet låter först som en paradox: moln som bildas i smutsig luft med många partiklar blir ljusare än moln som bildas i ren luft med få partiklar, vilket kan verka märkligt.

När ett moln bildas vid luftfuktigheter över 100 procent så kondenserar ungefär lika mycket vattenånga oavsett hur många partiklar som bildar molndroppar. Många partiklar ger upphov till många molndroppar som måste dela på den tillgängliga mängden vattenånga och därför blir dropparna ganska små. En ren luftmassa med få partiklar ger i stället ett moln med få men stora molndroppar.

Jämför man de renare molnen med få molndroppar och de smutsigare molnen med många molndroppar visar det sig att de senare är vitare, sett uppifrån, eftersom de många mindre drop-

parna ger en större yta som kan sprida solljuset inte bara en utan flera gånger. De partikeltäta molnen har alltså högre albedo, dvs större förmåga att kasta solstrålningen tillbaka ut i rymden.

Ett bevis för att denna mekanism fungerar är de moln som bildas i plymen från fartyg ute på havet. På satellitbilder kan man tydligt se att moln som ligger i plymen, mitt bland fartygets rökgaser, ser ljusare ut än de som är utanför. Det är också här över haven man kan förvänta sig den största effekten av ett extratillskott av partiklar i molnen; fler partiklar i tunna moln över en i övrigt mörk yta ger den största förändringen av jordens reflektionsförmåga.

Både den direkta effekten (soldiset) och den indirekta effekten (de partikeltäta molnen) bidrar till att kyla av jorden, men det är osäkert hur stora de olika effekterna är. FN:s klimatpanel uppskattade i sin rapport från 2007 att deras sammanlagda kylande inverkan i nuläget motverkar huvuddelen av koldioxidens uppvärmning.

Antropocen – en ny geologisk epok

Begreppet geoengineering, ”geoingenjörskonst”, har debatterats flitigt på senare tid som ett sätt för mänskligheten att styra jordens klimat. Vår påverkan på jordens klimat genom utsläpp av växthusgaser är ett exempel på totalt misslyckad geoingenjörskonst som pågått ända sedan industrialismens genombrott.

I frustration över den politiska oförmågan att begränsa utsläppen av växthusgaser föreslog Nobelpristagaren Paul Crutzen 2006 att man i nödfall skulle kunna begränsa uppvärmningen

genom att skjuta upp raketer med svaveldioxid i stratosfären på en höjd av mer än 15 km, där sulfatpartiklar skulle bildas. Vi vet från kraftiga vulkanutbrott att partiklar kan stanna i stratosfären under flera år och att de bidrar till att kyla av planeten något. Osäkerheterna om hur detta skulle påverka det livsviktiga stratosfäriska ozonskiktet är dock mycket stora.

Ett annat förslag är en flotta av specialbyggda fartyg som sprayar upp havsvatten i luften. Partiklarna av havssalt skulle då påverka molnbildningen över haven och öka den indirekta effekten. Tyvärr fungerar inte detta eftersom avkylningen då vattendropparna avdunstar gör att luften med partiklarna sjunker ner mot havsytan i stället för att stiga upp till molnen.

Vad händer nu?

Det har visat sig väldigt svårt att få jordens länder att frivilligt komma överens om utsläppsbegränsningar för de långlivade växthusgaserna. Tyvärr är detta det enda som kan förhindra att klimatförändringarna helt hamnar bortom mänsklig kontroll. Att tillräckligt många människor ideellt skulle göra omfattande livsstilsförändringar för att minska sina utsläpp är inte realistiskt.

Utsläpp av kylande kortlivade aerosolpartiklar kan möjligen hjälpa oss tillfälligt, liksom en minskning av mängden värmande sot. Ökar vi partikelhalterna i atmosfären dör dock också en del människor som andas in dem. Sotet är egentligen den enda sorts partiklar vars utsläpp vi med säkerhet kan säga är bra att minska, eftersom sotet både värmer och dödar. □

Erik Swietlicki är professor i aerosolfysik vid avdelningen för kärnfysik vid Lunds universitet. Han forskar kring atmosfäriska aerosoler – partiklar i utomhusluften – och deras inverkan på klimat, miljö och människors hälsa. Han har gjort mätningar i många olika miljöer på jorden, från Amazonas regnskogar och Nordpolens isar till avgasosande vägtunnlar.

Birgitta Svenningsson har en forskartjänst finansierad av Vetenskapsrådet och förlagd till avdelningen för kärnfysik vid Lunds universitet. Där studerar hon samspillet mellan aerosoler och klimat. Hon intresserar sig speciellt för partiklars vattenupptag och bildningen av molndroppar. Hennes intresse riktas också mot att förstå hur partiklar bildas i atmosfären.

Jakob Löndahl forskar kring aerosolpartiklars påverkan på hälsa och klimat vid avdelningen för ergonomi och aerosolteknologi vid Lunds universitet. Som doktorand studerade han hur luftburna partiklar fastnar i lungorna när vi andas. Nu arbetar han främst med biologiska aerosoler och utveckling av metodik för diagnos av lungsjukdom.



15 NEDSLAG I KLIMATFORSKNINGEN

DÅTID NUTID FRAMTID | LUNDS UNIVERSITET

Från humlor, metanbomber och luftpartiklar till markkonflikter och klimatanpassning på medborgarnivå.

Klimatförändringen och dess konsekvenser blir alltmer tydlig och sträcker sig allt längre in i samhällsfrågorna och vardagslivet.

Klimatfrågan handlar dels om naturvetenskapliga frågeställningar, om atmosfärsprocesser och förändringar i havet och på tundran, och om naturresurser och tjänster som vi kanske tar för givna, som rent vatten eller bin som pollinerar blommande örter, träd och buskar.

Men klimatfrågan handlar också om hur vi fördelar resurser mellan olika länder och befolkningar idag och imorgon – mellan alla oss som lever "här" och "nu", och alla dem som lever "där" och "i framtiden". I slutändan handlar den om hur vi ser på oss själva och människans plats i ekosystemet nu och i framtiden.

Antologin *15 nedslag i klimatforskningen – Dåtid, nutid, framtid* ger inte en heltäckande bild av klimatfrågans alla aspekter. Istället läggs en mosaik av femton ögonblicksbilder från forskningen vid Lunds universitet med berättelser om klimathistoria, dagens utmaningar och framtida möjligheter.

www.cec.lu.se

Detta är en klimatneutral produkt verifierad av Respect (www.respect.se).