



Kungl. Vetenskapsakademien har till uppgift att främja vetenskaperna och stärka deras inflytande i samhället.
The Royal Swedish Academy of Sciences has as its aim to promote the sciences and strengthen their influence in society.

22 september 2009

DEN VETENSKAPLIGA GRUNDEN FÖR KLIMATFÖRÄNDRINGAR

Uttalande av Kungl. Vetenskapsakademien

Jordens klimat har förändrats vid upprepade tillfällen under historiens gång. Perioder varmare än idag har växlat med kallare istider. En snabbt växande folkmängd, med ökande anspråk på naturresurser och energi, gör att samhället blir allt mer sårbart för miljöförändringar, både naturliga och sådana orsakade av människan. Mänsklig aktivitet påverkar utan tvivel jordens strålningsbalans.

FN:s klimatpanel (The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) arbetsgrupp 1 (The Physical Science Basis) har gjort en bred och systematisk sammanfattning av den vetenskapliga litteratur som behandlar klimatförändringen. Gruppen har dragit slutsatsen att antropogena utsläpp av växthusgaser har lett till en ökning av temperaturen vid jordens yta. Som klimatpanelen påpekar är det svårt att kvantifiera påverkan på det globala klimatet, och osäkerheterna kring många regionala effekter kvarstår.

Det här utlåtandet rör den vetenskapliga grunden för klimatförändringar. Syftet har *inte* varit att behandla andra områden utanför de naturvetenskapliga. Men det är tydligt att förändringar i klimatet kräver åtgärder från samhället som innefattar många andra discipliner, bland annat för utveckling och tillämpning av nya teknologier.

A. Vi noterar följande

1. Temperaturen vid jordytan har aldrig varit konstant utan har genomgått förändringar. Dessa har skett över många olika tidsskalor, somliga har varit snabba. Förståelsen av orsaken till många av förändringarna är ofullständig. Sedan ungefär 1900 har den globala medeltemperaturen vid jordytan ökat med mellan 0,6 och 0,8 °C. Uppvärmningen har inte varit konstant, utan har inträffat stegvis. Det kan tolkas som naturliga svängningar, som sträcker sig över flera decennier och som är överlagrade en mer långsiktig trend av uppvärmning (se fig. 1).

2. Det finns stora variationer i temperaturtrenden mellan olika delar av världen. Temperaturen har stigit mest vid höga latituder i den nordliga hemisfären, speciellt i Arktis. De senaste 30 åren, under vilka det finns tillförlitliga satellitobservationer, har havsisen under sommaren i Arktis dragit sig tillbaka ungefär en procent per år. Under samma period har inga liknande minskningar av havsisarna förekommit runt Antarktis, där temperaturförändringarna har varit mindre.

3. Rekonstruktioner av klimatets utveckling under den nuvarande interglacialsiden (ungefär de senaste 12000 åren) visar på ett antal klimatvariationer om några grader som sträcker sig över tusentals eller hundratals år (både uppvärmning och nedkylning). Det återstår att fastställa i hur



stor omfattning sådana växlingar har en global utsträckning. Möjliga orsaker är variationer i solstrålningen, interna processer i klimatsystemet och stora vulkanutbrott.

4. Tack vare förekomsten av så kallade växthusgaser i atmosfären vidmakthålls jordens temperatur på en nivå som tillåter liv i sin nuvarande form. Växthusgaserna domineras av vattenånga och koldioxid (CO_2), men omfattar även flera andra bidragande gaser. Halterna av flera växthusgaser påverkas signifikant av mänskliga verksamheter. Förutom CO_2 , handlar det om metan (CH_4), dikväveoxid (N_2O) och klorfluorkarboner (CFC:er). Effekten på klimatet av dessa är både direkt och indirekt genom ökningen av atmosfärisk vattenånga, som är kopplad till temperaturen.

Atmosfärens koncentration av CO_2 har under de senaste 2000 åren varit runt 280 ppm. Under de senaste 150 åren har CO_2 och CH_4 ökat och det finns starka tecken på att de nu har nått de högsta nivåerna på åtminstone 800 000 år. Den totala ökningen av CO_2 var 23 procent mellan 1958 (då noggranna mätningar började genomföras) och 2009. Halterna gick upp från 315 till 386 ppm. Isotopmätningar visar att, till skillnad från tidigare perioder under jordens historia, CO_2 -ökningen främst har ett samband med antropogena utsläpp. Den största delen av ökningen beror på förbränning av fossila bränslen, men ungefär 20 procent beror på en förändrad användning av landområden, inkluderat avskogning och förbränning av biomassa.

5. Förbränning av fossila bränslen och biomassa har också under det gångna århundradet lett till en ökad koncentration av aerosoler, luftburna partiklar. En del av dessa partiklar (sot), bidrar till uppvärmningen. Andra, till exempel sulfater och organiska partiklar, reflekterar solljus tillbaka till rymden och tenderar att kyla planeten. Den nuvarande uppfattningen är att nettoeffekten av alla partiklar är en nedkylning som uppskattas ha dolt en betydande del av det senaste århundradets förväntade uppvärmning.

6. Smältningen och tillbakagången av glaciärer, minskningen av den arktiska havsisen under sommarperioden, höjningen av havsnivån (2-3 millimeter per år de senaste 20 åren) och uppvärmningen av oceanerna stämmer överens med en global temperaturökning. Men otillräckliga observationer av havsnivån (mätproblem) och Arktis havsis (tillförlitliga data täcker endast de senaste 30 åren) gör det svårt att otvetydigt skilja den antropogena trenden från naturliga variationer. Havets ytemperatur varierar regionalt i perioder om tiotals år, vilket illustrerar klimatsystemets komplexitet, behovet av mer tillförlitliga mätdata som sträcker sig över längre tidsperioder, och behovet av en djupare förståelse av bakomliggande mekanismer.

7. Andra möjliga förändringar relaterade till ett allt varmare klimat, till exempel mer intensiva och frekventa tropiska och extra-tropiska cykloner och en intensivare nederbörd, kan inte urskiljas idag. Den stora ökningen av skador orsakade av kraftiga oväder i olika delar av världen, beror huvudsakligen på att mänskligheten idag utnyttjar mer utsatta platser och inte på ett mer extremt väder.

8. Klimatet genomgår betydande naturliga växlingar under perioder som kan sträcka sig över flera årtionden. Dessa inbegriper inneboende dynamiska förändringar, till exempel förändringar relaterade till El Niño fenomenet, den nordatlantiska oscillationen, ”Pacific Interdecadal Oscillation” och andra naturliga klimatvariationer. I de flesta delar av världen påverkas vädret starkt av sådana naturliga växlingar. När de är i sin negativa fas är det mycket möjligt att de motverkar en uppvärmningstrend under ett tiotal år. I sin positiva fas kommer de att förstärka en uppvärmning. Klimatet påverkas också av vulkanutbrott (normalt kortvarigt, till exempel Pinatubo 1991) och av variationer i solstrålningen orsakade av förändringar i jordbanan (på längre tidsskalor). Variationer i solstrålningen och solvindar kan också ha en inverkan på klimatet, men i hur stor utsträckning detta sker och hur den bakomliggande mekanismen ser ut är fortfarande omstritt.

9. Vi har inga tillförlitliga indikationer från satellitmätningar av några långsiktiga variationer i solstrålningen, undantaget solfläckarnas välkända 11-årscykel. Rymdobservationer, tillgängliga för de senaste 30 åren, har pågått för kort tid för att bekräfta tidigare använda indirekta uppskattningar av solstrålningen, baserade på antalet solfläckar och isotopstudier. Förståelsen för andra metoder (baserade på observationer av solens yta eller andra indirekta tekniker) som kan ge en uppskattning av solstrålningen, eller andra rymdrelaterade influenser, som till exempel från kosmiska partiklar (som påverkar molnbildningen), är ännu begränsad.

10. Frågan om hur klimatsystemet svarar på en yttre påverkan är komplex och kan på ett tillförlitligt sätt bara bestämmas för perioder som är flera decennier långa och för jorden eller halvkloten som helhet. Detta förhållande stöds både av empiriska studier och modellsimuleringar. Trender för kortare perioder är opålitliga och döljs av klimatsystemets kaotiska beteende. Baserat på detaljerade teoretiska studier och modelleringar drar IPCC slutsatsen att den observerade uppvärmningen av klimatet från ungefär 1970 är i allmän överensstämmelse med ökningen av växthusgaser och aerosoler. Följaktligen menar IPCC att detta är den mest troliga orsaken bakom den nuvarande globala uppvärmningen.

11. Medan effekten av växthusgaser är väletablerad, är förståelsen för effekten av aerosoler (vilka huvudsakligen orsakar en kompenserande nedkylning) mycket mindre. Detta är en av förklaringarna till varför olika modeller ger ett brett spektrum av utfall. Andra orsaker till skillnaderna i modellernas utfall är interna processer i klimatsystemet (molnens roll inkluderad), vilka i princip är oförutsägbara efter en period kortare än ett år. Förhållandet mellan förändringar i växthusgaser och aerosoler och klimatförändringar är komplext, och det finns ingen enkel direkt (rumslig eller tidsmässig) koppling.

12. Vi vill också uppmärksamma att en ökad halt av koldioxid i atmosfären kan göra att vegetationen växer snabbare. Men den effekten är svår att förutsäga eftersom den kan begränsas av andra miljöfaktorer som tillgången på näring och vatten, och suboptimala temperaturförhållanden. En ökning av koldioxidhalten i atmosfären orsakar också en försurning av haven, vilket kan få mycket allvarliga effekter på marina ekosystem.

B. Vad kan hända i framtiden?

1. Den nuvarande långsamma omställningen till alternativ till förbränningen av fossila bränslen och biomassa sammantaget med det ökande energibehovet i världen gör att halten av CO₂ förväntas fortsätta öka kraftigt under det närmsta århundradet (ökningen har de senaste fem åren varit cirka 10 ppm). Vid mitten av detta århundrade kan en koncentration mellan 450 och 500 ppm förmodligen inte undvikas. På längre sikt kommer fossila bränslen att bli mer svårtillgängliga och som en följd kommer sannolikt framtida ökningen av antropogena utsläpp att minska. Inte desto mindre är effekten av CO₂-ackumuleringen i atmosfären, kopplad till den långa uppehållstiden i atmosfären ett allvarligt problem. Utan aktiva motåtgärder kan en hög koncentration av CO₂ finnas kvar i tusentals år. Koncentrationsökningen av andra växthusgaser, som CH₄ och N₂O är mer oklar, och inte direkt kopplad till användningen av fossila bränslen.

2. Utsläppen av aerosoler förväntas sakta minska eftersom det problemet är lättare att komma åt rent tekniskt och förmodligen kommer att åtgärdas för att eliminera allvarliga lokala och regionala hälsoproblem, speciellt i Indien och Kina. Eftersom uppehållstiden för aerosoler i atmosfären är kort, kommer deras koncentration och effekt på klimatet att också avta.

3. Baserat på olika utsläppsscenarios har IPCC genomfört modellsimuleringar för att uppskatta effekten av antropogena växthusgaser och aerosoler på klimatet under de kommande 100 åren. Dessa studier tyder på en global uppvärmning under slutet av 2000-talet om 1,5–3,5 °C. En stor del av den här uppvärmningen är knuten till den positiva återkopplingen från vattenånga, som snabbt ökar i takt med en högre temperatur.

Även andra förändringar kan följa på den uppvärmning som IPCC förutsäger, till exempel i det hydrologiska kretsloppet, vilka kan förorsaka större problem än själva temperaturförändringarna. Samtidigt som en mindre uppvärmning kan vara acceptabel, åtminstone i vissa regioner, kommer en högre grad av uppvärmning sannolikt orsaka mycket allvarliga problem världen över.

4. En väntad konsekvens av temperaturökningen under 2000-talet är en höjning av havsnivån, orsakad av en värmeexpansion av havsvattnet och den förväntade fortsatta smältningen av landisar. Hastigheten för höjningen av havsnivån kommer troligtvis öka till följd av värmeackumulering i världshaven och den långsamma värmeexpansionen av havsvatten. Det finns också en möjlighet, även om den troligen är liten, att stabiliteten hos vissa landisar kommer att minska vilket kan leda till en snabbare höjning av havsnivåerna.

5. Tyvärr har vi ännu inte tillräcklig kunskap för att med någon större tillförlitlighet bestämma vad som kommer att hända. För tillfället kan vi inte utesluta att det finns andra hittills förbisedda antropogena effekter på klimatsystemet, som antingen ökar eller minskar inflytandet av de stigande koncentrationerna av växthusgaser. En faktor är hur moln formas och skingras. Ökad molnighet på lägre nivåer sänker ytemperaturen och en minskad molnighet förstärker uppvärmningen. Nuvarande indikationer tyder på att dessa molneffekter sammantaget inte

nämnvärt påverkar klimatets utveckling. Andra viktiga aspekter är återkopplande processer som påverkar kolets kretslopp i klimatsystemet och utsläppen av CH₄, till exempel från tundra-områden.

C. Allmänna råd

Trots den hittills långsamma och till synes oregelbundna uppvärmningen av klimatet framträder två centrala problem som kan få allvarliga konsekvenser för samhället på en global nivå. För det första förväntas den långa uppehållstiden av CO₂ i atmosfären påverka atmosfärens sammansättning under flera hundra år, förmodligen med oåterkalleliga konsekvenser för jorden under för människan överskådliga tidsrymder. För det andra finns det en möjlighet, om än liten, för extrema och snabba svängningar i klimatsystemet, vilket kan resultera i en snabb höjning av havsnivån eller långvariga perioder av torka i utbredda områden som är viktiga för matproduktion. Omfattande åtgärder mot klimatförändringarna måste därför innehålla både ett vetenskapligt förhållningssätt, med huvudmålet att åstadkomma en bättre kvantifiering av allvarliga och oacceptabla risker, och ett samhällligt förhållningssätt med målet att, baserat på det rådande kunskapsläget, begränsa riskerna. De rådgivande punkterna nedan avser framförallt den första av dessa aspekter.

1. Stöd förbättringar och långsiktiga åtaganden i det globala observationssystemet (inräknat satelliter), för att öka tillförlitligheten i klimatövervakningen, och i väder- och klimatprognoser. Stöd också förbättringar av modeller och databehandlingssystem.
2. Stöd grundforskning som syftar till att öka förståelsen för klimatsystemet och dess förutsägbarhet på olika tidsskalor. Gynna tvärvetenskaplig forskning för att öka den allmänna förståelsen för jorden som ett integrerat system. Detta inbegriper studier av ett brett spektrum av mekanismer som påverkar klimatet, både interna (till exempel aerosoler) och externa (till exempel solpåverkan och kosmisk strålning) och återkopplingsprocesser som är förknippade med dessa.
3. Analysera i detalj klimatets tidigare utveckling (historiskt, arkeologiskt och geologiskt) för att mer precist definiera karaktären, rumsligt och tidsmässigt, av tidigare klimatförändringar och deras miljökonsekvenser. Det kommer att förbättra klimatmodeller och tillhandahålla en stabilare grund för att pröva den möjliga effekten av klimatförändringar under det kommande århundradet.
4. Bidra till energihushållning och till utveckling av effektiva energisystem som inte leder till utsläpp av växthusgaser.
5. För att motverka de negativa effekter som ökande atmosfäriska halter av CO₂ och andra växthusgaser långsiktigt kan få på klimatet och på havskemin (till exempel försurning) bör utveckling av ny teknik prioriteras. Den ska innefatta metoder som minskar utsläppen av CO₂

och andra klimatpåverkande komponenter (inklusive CH₄, N₂O, troposfäriskt ozon och luftburna sotpartiklar) och även fokusera på lagring av CO₂ i såväl biosfären som geosfären.

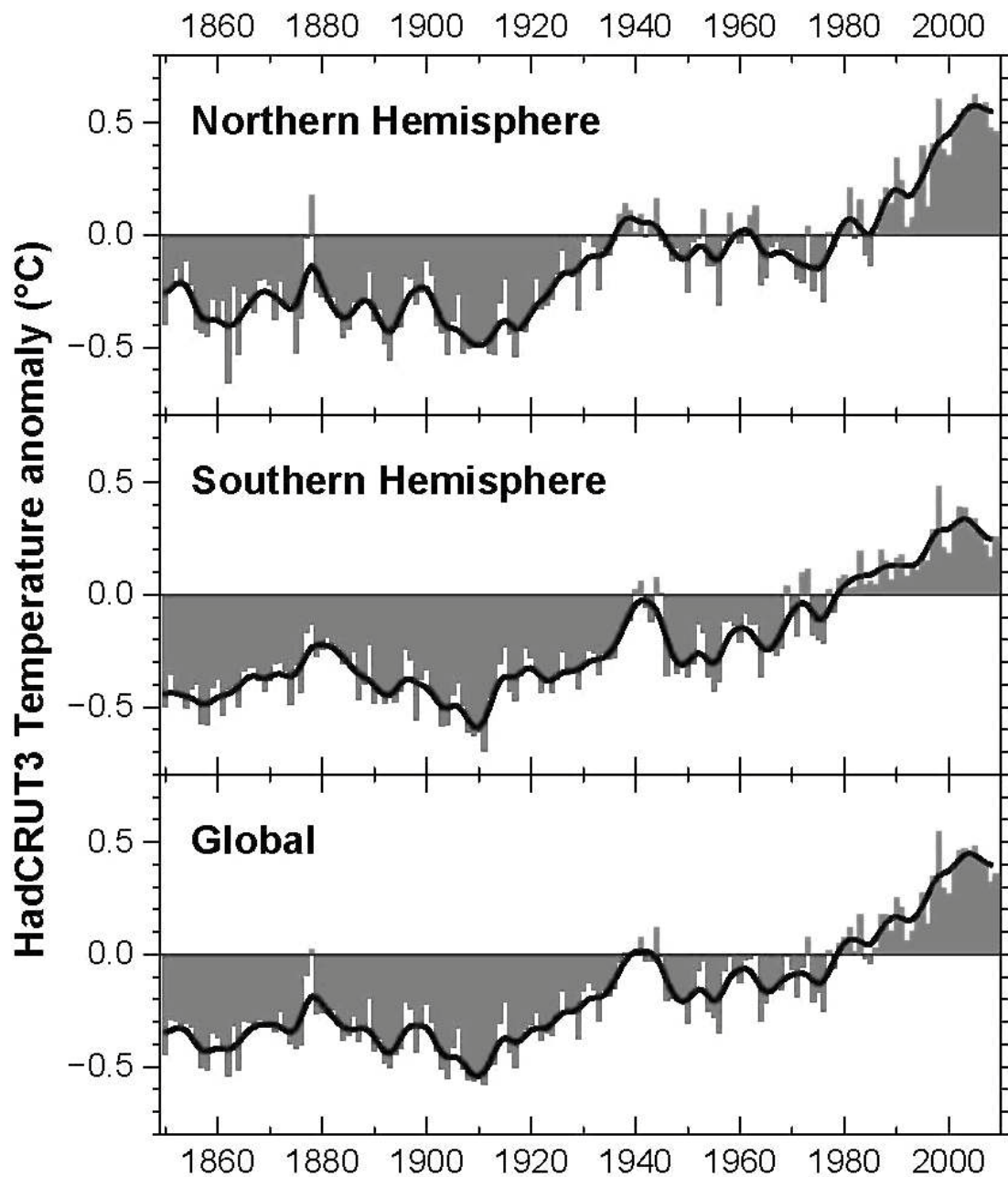


Fig. 1 Temperaturanomalier vid jordytan – globalt och i nordliga och sydliga hemisfärerna (från Hadley Centre, Storbritannien, 2009)