KUNGL. VETENSKAPS-AKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

AKADEMIUTTALANDE 2015-04-10

AKADEMIUTTALANDE

DEN VETENSKAPLIGA GRUNDEN FÖR KLIMAT-FÖRÄNDRINGAR

KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN, BOX 50005, SE-104 05 STOCKHOLM, SWEDEN TEL +46 8 673 95 00, INFO@KVA.SE ⋆ HTTP://KVA.SE, BESÖK/LEVERANS, VISIT/DELIVERIES: LILLA FRESCATIVÄGEN 4A, SE-114 18 STOCKHOLM, SWEDEN

Bakgrund

Jordens klimat är variabelt och har undergått många förändringar, såväl gradvisa som snabba, under Jordens historia. Under människans tid på Jorden har perioder med en temperatur jämförbar med dagens växlat med kallare istider. Dessa ofta relativt dramatiska klimatförändringar har åtföljt människans evolution och framgångsrika utveckling. En snabbt växande folkmängd och en ekonomisk utveckling under de senaste två hundra åren, med ökande anspråk på energi och andra naturresurser, har gjort att samhället blivit allt mer sårbart för miljöförändringar, både naturliga och sådana orsakade av människan.

FN:s klimatpanel (The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) arbetsgrupp 1 (The Physical Science Basis) har med några års mellanrum publicerat breda utvärderingar av den vetenskapliga litteratur som behandlar klimatförändringen; den senaste kom 2013. Panelen har dragit slutsatsen att antropogena utsläpp av växthusgaser har lett till en ökning av temperaturen vid Jordens yta under det senaste århundradet.

Det följande utlåtandet är baserat på vetenskapliga fakta och bedömningar. Syftet har inte varit att behandla andra områden utanför de naturvetenskapliga. Förändringar i klimatet, såväl naturliga som orsakade av människan, kommer att kräva åtgärder från samhället som innefattar många andra discipliner, inte minst för utveckling och tillämpning av nya energiteknologier.

A. Vi noterar följande

1. Temperaturen vid jordytan har aldrig varit konstant. Förändringar har skett över många olika tidskalor, från decennier till miljontals år. De senaste 2,5 miljoner åren, kvartärtiden, kännetecknas av omfattande nedisningar omväxlande med värmeperioder, interglacialer. Under den nuvarande värmeperioden (Holocen; dvs de senaste 12.000 åren) nådde den globala temperaturen som högst mellan 9.000 och 7.000 år före nutid. Därefter sjönk temperaturen gradvis mot den så kallade ”Lilla Istiden” som varade några hundra år innan 1900-talets början, dock med vissa avbrott som t ex en varm period under medeltiden, omkring 1000-1200 e. Kr. Förståelsen av orsakerna till förändringarna är fortfarande ofullständig även om många bidragande processer är kända, se punkt A 3. Sedan 1800-talet har den globala medeltemperaturen vid jordytan ökat med knappt 1°C. Uppvärmningen har inte varit konstant, utan har inträffat stegvis. Det kan tolkas som naturliga fluktuationer, som sträcker sig över flera decennier och som är överlagrade en mer långsiktig trend av uppvärmning (se figur 1a).

2. Det finns stora variationer i temperaturtrenden mellan olika delar av världen. Temperaturen har under de senaste 40 åren stigit mest vid höga latituder i den nordliga hemisfären. De senaste 30 åren, under vilka det finns tillförlitliga satellitobservationer, har havsisen under sensommaren i Arktis dragit sig tillbaka ungefär 13 procent per årtionde. Under samma period har en mindre ökning av havsisarna skett runt Antarktis, där temperaturförändringarna har varit obetydliga.

3. Troliga orsaker till de naturliga temperaturförändringarna under den kvartära perioden är astronomiska (orbitala) faktorer och relaterade rumsliga och tidsmässiga variationer i solinstrålningen, stora vulkanutbrott och interna processer i klimatsystemet.

Det är svårt att förklara uppvärmningen under de senaste 50 åren med enbart naturliga faktorer. Det innebär att mänskliga aktiviteter bidragit till uppvärmningen. Denna slutsats stöds bland annat av mönstret med en uppvärmning av de lägre luftskikten (troposfären) och en avkylning högre upp (stratosfären). Däremot kan uppvärmningen under slutet av 1800-talet och början av 1900-talet mycket väl ha dominerats av naturliga faktorer.

4. Tack vare förekomsten av så kallade växthusgaser i atmosfären vidmakthålls Jordens temperatur på en nivå som tillåter liv i dess nuvarande form. Utan dessa gaser skulle Jordens medeltemperatur vara flera tiotals grader lägre. Växthusgaserna domineras av vattenånga och koldioxid (CO_2), men omfattar även flera andra 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 en direkt följd av en ökning av temperaturen.

Atmosfärens koncentration av CO_2 har under flera tusen år varit runt 280 ppm. Under de senaste 150 åren har CO_2 och CH_4 ökat markant och mätdata från Antarktiska iskärnor visar att deras halter nu har nått de högsta nivåerna på åtminstone 800 000 år. Den totala ökningen av CO_2 var 26 procent mellan 1958 (då noggranna mätningar började genomföras) och 2013. Halterna gick upp från 315 till närmare 400 ppm. Isotopmätningar visar att, till skillnad från tidigare perioder under Jordens historia, CO_2-ökningen främst beror på antropogena utsläpp. Den största delen av ökningen beror på förbränning av fossila bränslen. En mindre del beror sannolikt på en förändrad användning av landområden, inkluderat avskogning och förbränning av biomassa. Cementtillverkning har också gett ett visst, mindre bidrag.

5. Förbränning av fossila bränslen och biomassa har under det gångna århundradet också lett till en ökad koncentration av aerosoler, dvs 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 har minskat den annars förväntade uppvärmningen orsakad av det senaste århundradets ökande halter av växthusgaser. Uppskattningen av aerosolernas nedkylande effekt är dock lägre idag än den var i den förra IPCC-rapporten.

6. Den observerade avsmältningen av glaciärer, minskningen av den Arktiska havsisen, höjningen av havsnivån och uppvärmningen av oceanerna är konsistent med den globala temperaturökningen. Mellan 1870 och 2005 steg havsytan med ca 1,5 mm per år medan den under perioden 1993-2013 steg ca 3 mm per år. Såväl djuphavets värmefördelning som inlandsisar och stora glaciärer reagerar på temperaturökningen med betydande eftersläpning. Även om en stabilisering av jordens temperatur skulle ske kommer havsytan att fortsätta att stiga under flera hundra år som ett resultat av den uppvärmning som redan skett under 1900-talet. Havets yttemperatur 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. Som en följd av den globala uppvärmningen har antalet varma dagar ökat medan antalet kalla dagar minskat. Andra möjliga förändringar relaterade till ett allt varmare klimat, till exempel mer intensiva och frekventa tropiska och extra-tropiska cykloner och en intensivare nederbörd globalt sett, kan däremot idag inte entydigt urskiljas.

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 ENSO (El Niño/Southern Oscillation) fenomenet, den Nordatlantiska oscillationen, ”the Pacific Interdecadal Oscillation” och andra naturliga klimatvariationer. I de flesta delar av världen påverkas vädret starkt av sådana naturliga växlingar. När ENSO är i sin negativa fas (La Niña) och ytvattnet i den östra delen av Stilla Havets ekvatoriella del är kallare än normalt kan den motverka en global uppvärmningstrend under flera år. I sin positiva fas (El Niño) kommer den att förstärka en uppvärmning. På grund av dessa naturliga variationer råder det inte något entydigt samband mellan det senaste århundradets temperaturökning och ökningen av växthusgasernas strålningspåverkan under samma period, se figurerna 1a och 1b.

9. Det finns inga tillförlitliga indikationer från satellitmätningar på några långsiktiga variationer i solstrålningen, undantaget solfläckarnas välkända 11-årscykel. Mätningar tillgängliga för de senaste 30 åren, har visat att variationen av den totala solstrålningen under de tre senaste 11-årsperioderna varit mindre än 1 promille.

Mätningarna har dock pågått alltför kort tid för att bekräfta eller motsäga tidigare använda indirekta uppskattningar, baserade på antalet solfläckar och kosmogena isotoper, av solstrålningens variation under längre perioder. Förståelsen av andra tänkbara klimatpåverkande processer som t ex variationer av den kosmiska strålningen som skulle kunna påverka molnbildningen, är ännu begränsad. Indikationer finns dock på att mängden solstrålning (särskilt ultraviolett ljus) som når Jorden, och som är beroende av solens aktivitet, kan ha en viss påverkan på den storskaliga cirkulationen i atmosfären och därmed också på regionalt klimat.

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 av modellsimuleringar. Trender för kortare perioder är opålitliga och döljs av klimatsystemets inneboende variabilitet. Uppvärmningen i atmosfären tycks under de senaste 15 åren ha avstannat. Orsaken till detta är oklar men en bidragande faktor är sannolikt att värme under denna tid tagits upp och lagrats i haven.

11. Medan strålningspåverkan av växthusgaser är väl grundad, är förståelsen av effekterna av aerosoler (vilka huvudsakligen orsakar en kompenserande nedkylning) och förändrad markanvändning mycket sämre. Detta är en av förklaringarna till varför olika klimatmodeller ger så olika utfall. Olika modeller gör olika antaganden om aerosolpartiklarnas effekter och använder olika beskrivning av landytan och värmeutbytet med haven. En viktig orsak till skillnaderna i utfallen är också att modellerna beskriver molnen och dessas komplexa indirekta effekt på klimatet på olika sätt. Även om växthusgasernas, aerosolernas och landytans påverkan på strålningsbalansen vore känd så skulle ändå temperaturresponsen för klimatsystemet vara osäker. Det skiljer minst en faktor tre mellan de undre och övre gränserna för uppskattningar av responsens storlek (klimatsystemets känslighet).

12. Koldioxiden är fundamental för livet på Jorden och en ökad halt i atmosfären kan göra att vegetationen växer snabbare. Denna effekt är dock svår att förutsäga eftersom den kan begränsas av andra miljöfaktorer som tillgången på näring och vatten, eller av suboptimala temperaturförhållanden. Satellitobservationer har emellertid visat att Jorden blivit grönare under de senaste 30 åren.

13. En ökning av koldioxidhalten i atmosfären orsakar också en försurning av haven, vilket på sikt kan få allvarliga effekter på marina ekosystem. En sådan tilltagande surhet är väl dokumenterad genom mätningar under de senaste 25 åren. Under den perioden sjönk pH i havens ytskikt med ca 0,04. Sedan industrialiseringens början uppskattas pH-värdet ha sjunkit med ca 0,1 (25% ökad surhet).

B. Vad kan hända i framtiden?

1. Långsamheten i den nuvarande omställningen till alternativ till förbränningen av fossila bränslen och biomassa i kombination med det ökande energibehovet i världen gör att halten av CO_2 förväntas fortsätta öka kraftigt under det närmaste århundradet (ökningen har de senaste femton åren varit cirka 35 ppm). Vid mitten av detta århundrade kan en koncentration mellan 450 och 550 ppm förmodligen inte undvikas. Den pågående snabba ackumuleringen av CO_2 i atmosfären, kopplad till dess långa uppehållstid i atmosfären utgör ett allvarligt problem. Utan aktiva motåtgärder kan en hög koncentration av CO_2 finnas kvar i atmosfären under hundratals år. Koncentrationsökningen av andra växthusgaser, som CH_4 och N_2O är mer svårbedömd, och inte direkt kopplad till användningen av fossila bränslen. På grund av naturliga återkopplingsmekanismer kommer en höjning av temperaturen med stor sannolikhet leda till en ytterligare ökning av utsläppen av CO_2 och CH_4 från bl. a. tinande permafrost både över och under havsytan.

2. Utsläppen av aerosoler förväntas minska eftersom det problemet är lättare att komma åt rent tekniskt. Förmodligen kommer detta att åtgärdas för att minska risken för 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 avta relativt snabbt. I ett längre perspektiv är den ökade koldioxidhalten den dominerande faktorn för framtida antropogena klimatförändringar.

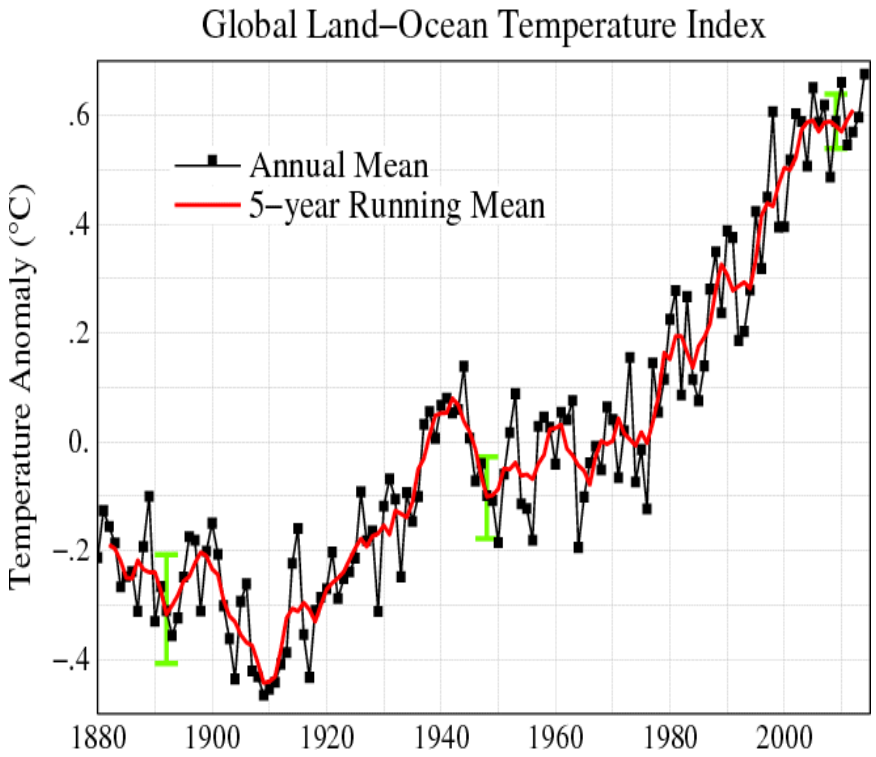
3. Baserat på olika utsläppsscenarier har IPCC genomfört modellsimuleringar för att uppskatta effekten av antropogena växthusgaser och aerosoler på klimatet under de kommande 100 åren. Dessa studier tyder på en global uppvärmning under slutet av 2000-talet på 1-4 °C. En betydande del av den uppvärmningen är knuten till den positiva återkopplingen från vattenånga, vars halter ökar i takt med en högre temperatur. En stor del av osäkerheten i uppvärmningens storlek beror på svårigheten att bedöma molnens roll i klimatsystemet, värmelagringen i haven, samt de naturliga variationerna av temperaturen.

4. Även andra förändringar kan följa på den uppvärmning som IPCC förutsäger, till exempel i det hydrologiska kretsloppet, vilka kan förorsaka större problem än temperaturförändringarna i sig. Samtidigt som en mindre uppvärmning kan vara acceptabel i vissa områden, eller till och med ha en positiv effekt, kommer en högre grad av uppvärmning sannolikt orsaka mycket allvarliga problem på många håll i världen.

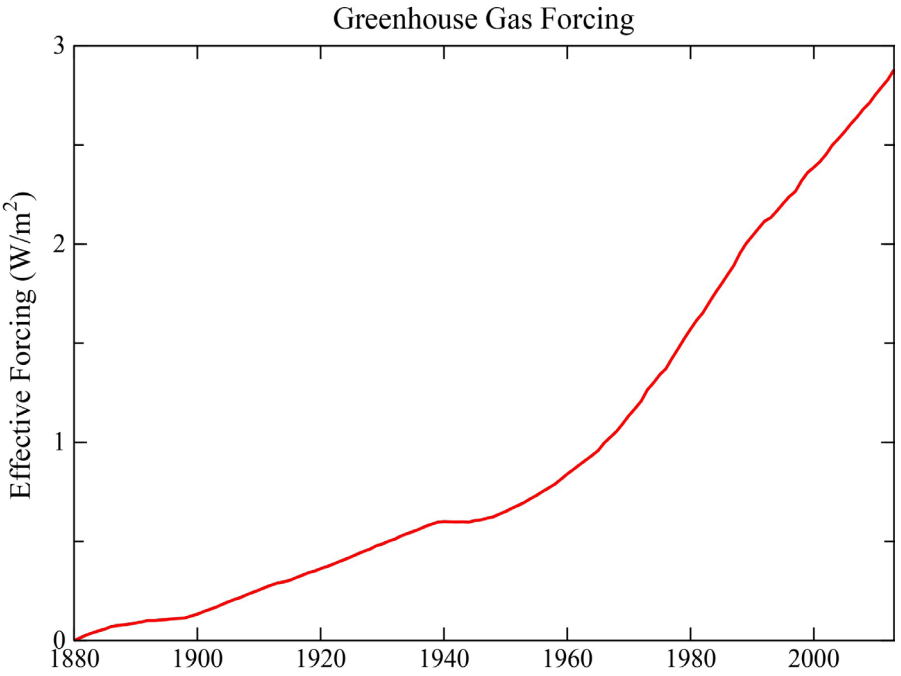
5. En konsekvens av den förväntade temperaturökningen under 2000-talet är en fortsatt höjning av havsnivån, orsakad av en värmeexpansion av havsvattnet och av en smältning av landisar. IPCC uppskattar att havsnivån vid slutet av detta århundrade kan vara 40 till 60 cm högre än den var kring år 2000.

6. Tyvärr har vi ännu inte tillräcklig kunskap för att med någon större tillförlitlighet beräkna vad som kommer att hända med klimatet i framtiden. Man kan inte utesluta att det finns andra hittills förbisedda naturliga eller 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 yttemperaturen och en minskad molnighet förstärker uppvärmningen. Nuvarande indikationer tyder på att dessa molneffekter sammantaget ger en viss förstärkande återkopplingseffekt, dock oklart hur stor. Andra viktiga aspekter är återkopplande processer som påverkar jordytans reflektionsförmåga (albedo) eller kolets kretslopp, till exempel utsläppen av CH4 från tinande arktisk permafrost på land och i grunda hav.

a.



b.



Figur 1

a. Förändring av jordytans medeltemperatur – årsmedelvärden och löpande femårsmedelvärden – sedan 1880 relativt medeltemperaturen för perioden 1951-1980. De vertikala gröna linjerna visar en uppskattning av osäkerheten. Från GISS/NASA. http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/

b. Utvecklingen av de antropogena, långlivade växthusgasernas (CO2, CH4, N2O, CFCer) strålningspåverkan (climate forcing) sedan 1850. Data från Makiko Sato, Columbia University. http://www.columbia.edu/~mhs119/Forcings/Fe.1850-2013.txt