

Naturliga klimatvariationer

Per Flensburg, professor i informationssystem

Jordens temperatur har höjts med i genomsnitt $1,4^{\circ}$ sedan 1950. I Sverige är det mer, $1,6^{\circ}$. Uppgifterna kommer bl a från SMHI. Främsta orsaken är höjd halt av CO_2 i atmosfären, den är nu uppe i 427 ppm vilket är det högsta på 800 000 år. Vi har en höjning med 110 ppm sedan 1958. Dessa siffror kommer från NOAA, Mauna Loa-observatoriet på Hawaii.

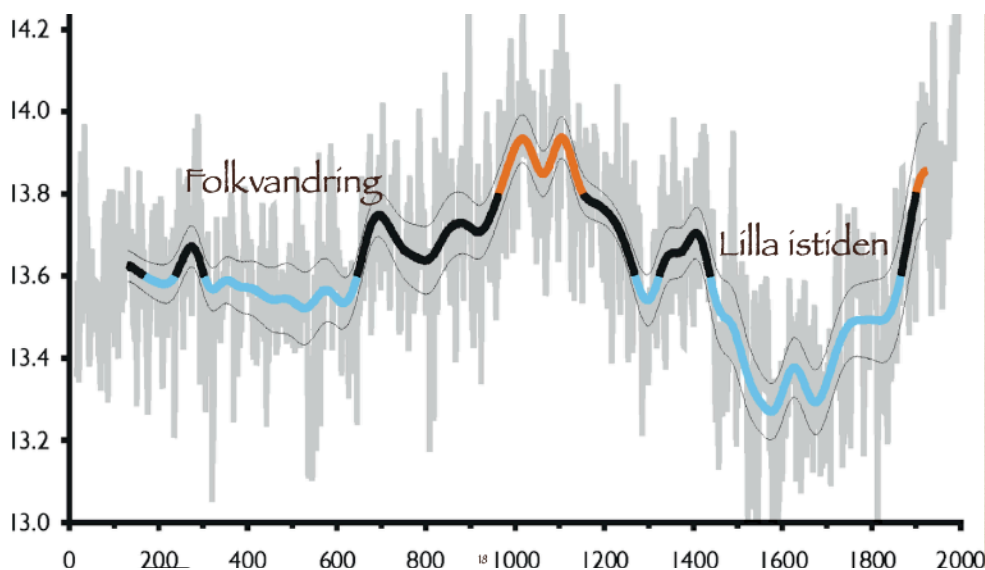
Stort sett alla forskare är eniga om att det beror på mänsklig aktivitet. Genom att elda upp gas, olja och kol frisläpper vi CO_2 som varit bundet i fossilt bränsle i 300 miljoner år. En del av höjningen har dock naturliga orsaker och i denna artikel ska jag förklara hur det fungerar..

Det är i huvudsak följande förhållanden som påverkar temperaturen på jorden:

- Solfläckar
- Variationer i jordbanans elliptiska form
- Jordaxelns lutning
- Precessionen
- Vulkanisk verksamhet
- Havsströmmarna

Solfläckar

Solens yta är ungefär 6000° varm, men i solfläckarna är det svalare ca 4000° . Antalet solfläckar varierar med ca 11 års intervall. De år då det är många solfläckar är solens utstrålning något lägre och följaktligen borde det bli något svalare på jorden.



Men det finns exempel som pekar på motsatsen. Under perioden 1645-1715 förekom det knappt några solfläckor men perioden brukar betecknas som "lilla istiden". Det var extremt kalla vintrar och svala

Fig 1. Temperaturvariationer under de senaste 2000 åren

somrar under denna tid. Det var bl a då som Karl X tågade över bälten i Danmark. Man kan förmoda att solfläckarna har någon form av samband med klimatet men exakt hur detta ser ut är dock än så länge okänt.

Variationer i jordbanan

Figuren bredvid är en förenklad figur av hur jorden roterar runt solen och hur årstiderna varierar. Jordaxeln lutar

23,5° och i figuren lutar den bort från solen på vintern och mot solen på sommaren.

Samma

mängd solstrålning sprids över

större yta på vintern än på sommaren eftersom solen står lägre då och därför är det kallare på vintern än på sommaren.

Jorden rör sig i en elliptisk bana där solen är i ena brännpunkten. I fig 2 är jorden närmare solen på vintern än på sommaren och skillnaden mellan årstiderna är alltså mindre än om jorden rört sig i en cirkelrund bana.

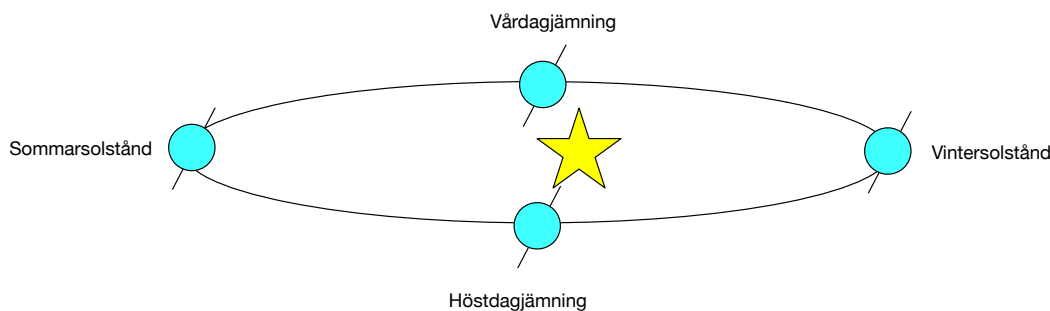


Fig 2. Jordens rotation kring solen

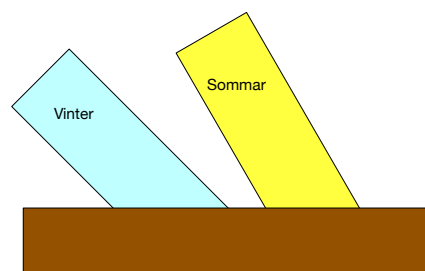


Fig 3. Solstrålning sprids över större yta på vintern än på sommaren.

Excentricitet

Jordens bana är elliptisk men formen varierar beroende på hur de andra planeterna står. Excentriciteten är ett mått på hur mycket formen avviker från en perfekt cirkel. Den är för närvarande 0,017 vilket betyder att avståndet mellan jorden och solen förändras med 3 procent under loppet av ett år. När jorden befinner sig närmast solen i sin bana blir solinstrålningen därigenom 6 procent starkare än när avståndet till solen är som störst.

Denna excentricitet är dock inte konstant utan varierar med tiden, mellan nära 0 (nästan en perfekt cirkel) till drygt 0,06. Variationen är inte slumpmässig utan sker med en tydlig periodicitet med tre huvudsakliga delkomponenter, med egna perioder på 95 000, 124 000 respektive 405 000 år beroende på övriga planets positioner. Den totala excentriciteten bildas som en kombination av de tre.

När jordbanans excentricitet är som störst blir solinstrålningen hela 23 procent kraftigare vid perihelium än vid aphelium. Då får det stor betydelse för klimatet vid vilken tid på året jorden når perihelium. Om detta sker när det råder sommar på norra halvklotet kan somrarna där bli varmare än genomsnittligt, medan vintrarna i stället tenderar att bli

kallare än normalt eftersom jorden vid den tiden på året befinner sig ovanligt långt från solen. Å andra sidan blir somrarna under sådana omständigheter något kortare och vintrarna något längre än annars, eftersom jorden rör sig snabbare i sin bana vid perihelium än vid aphelium. På södra halvklotet blir dessa förändringarna omvända.

Axellutning

Axellutningen är vinkeln mellan jordens rotationsaxel och en linje vinkelrät mot jordbanans plan. En stor axellutning ger upphov till stora temperaturskillnader mellan de olika årstiderna, medan vi utan axellutning inte skulle ha några årstider alls. För närvarande är jordens axellutning ungefär $23,4^\circ$, men den varierar mellan $22,1$ och $24,5$ grader med en period på ungefär 41 000 år. Vi har alltså en axellutning ganska nära genomsnittet för tillfället. Under tider med större axellutning kan somrarna bli varmare och vintrarna kallare än de är nu, medan en mindre axellutning skapar förutsättningar för svalare somrar och mildare vintrar.

Precession

Jordaxelns precession innebär att den punkt på himlavalvet dit jordaxeln pekar långsamt vrids runt i en cirkel. Motsvarande fenomen kan observeras hos små leksakssnurror. För jordens del går vridningen så långsamt att ett varv tar omkring 26 000 år att fullbordas. För närvarande pekar jordaxeln ungefär mot Polstjärnan, men om cirka 12 000 år kommer den i stället att peka mot en punkt i närheten av stjärnan Vega. Också jordens ellipsformade bana runt solen genomgår en slags precession – ellipsen ändrar gradvis riktning och fullbordar ett helt varv på ungefär 112 000 år.

Båda precessionsrörelserna medför att tidpunkterna för perihelium och aphelium förskjuts en aning från år till år. Nettoresultatet blir att dessa tidpunkter genomgår en cykel med en period på omkring 21 000 år. För närvarande är jorden som närmast solen när det råder vinter på norra halvklotet, medan det största avståndet till solen uppnås sommartid. På södra halvklotet gäller det omvända, vilket innebär att årstiderna i våra dagar tenderar att vara mer extrema på södra halvklotet än på det norra. Om ungefär 10 000 år når jorden i stället perihelium när det är sommar i norr och vinter i söder. Då är det norra halvklotet som kan få större skillnader mellan sommar- och vinterklimat än vanligt.

Inverkan

Ingen av de ovan nämnda förändringarna av jordens rörelser har någon nämnvärd inverkan på den totala mängd solenergi som jorden tar emot under loppet av ett år. Däremot ger de upphov till regelbundna variationer av solinstrålningens fördelning mellan olika delar av jordklotet och olika tider på året. På så sätt kan de få en betydande inverkan på jordens klimat. Exempelvis kan sommartemperaturen på norra halvklotet bli ovanligt låg när jordaxelns lutning är liten samtidigt som jordbanan är påtagligt elliptisk och sommaren inträffar när jorden är som längst från solen. Långt uppe i norr kan som-

rarna då bli så svala att föregående vinters snö- och istäcken aldrig hinner smälta innan det blir vinter igen. Därigenom kan en istid ta sin början.

Återkopplingar

Variationerna i solinstrålningen är egentligen inte tillräckligt kraftiga för att på egen hand kunna ge upphov till växlingarna mellan istider och varmare perioder. Det finns emellertid flera processer (så kallade återkopplingar) som kan förstärka en måttlig klimatförändring. Ett exempel är ökningar eller minskningar av jordytans albedo, det vill säga dess förmåga att reflektera ljus. Snö och is är betydligt ljusare (och har därför större reflektionsförmåga) än barmark eller öppet vatten. Om temperaturen sjunker – exempelvis på grund av minskad solinstrålning – får snö- och istäckena ökad utbredning och längre varaktighet. Då kommer en ökad andel av det inkommande solljuset att återkastas ut i rymden i stället för att absorberas av jordytan och omvandlas till värme. Följden blir att temperaturen sjunker ytterligare med än mer vidsträckta och långlivade snö- och istäcken som resultat – och kanske i förlängningen en ny istid.

En annan återkoppling som bidrar till de stora temperaturskillnaderna mellan istider och varmare perioder är att luftens innehåll av koldioxid och metan sakta minskar när det blir kallare och vice versa. Det betyder att atmosfärens växthuseffekt förändras på ett sätt som förstärker temperaturens långsiktiga variationer.

Milankovitchkurvor

En serbisk matematiker, Milutin Milankovitch, räknade ut hur alla dessa förändringar sammanlagt agerar och det blev något som kallas Milankovitch-kurvor. I figur 4 ser vi kurvornas interaktion jämförd med temperaturen på jorden under den senaste årsmiljön på 65:e breddgraden. Vi ser att större delen av tiden har det faktiskt varit istid.

Milankovitch publicerade denna modell 1941, men han hade redan börjat jobba på modellen 1920. I den visade han på klimatcyklar på 23 000 och 41 000 år. Senare expeditioner, bl a den svenska Albatrossexpeditionen 1947-48, visade att det även fanns en 100 000 årscykel. Men den studerade tidsrymden, 1 miljon år, anses av en del moderna forskare vara för kort. Längre tillbaka var klimatet varmare och havsisens påverkan mindre.

Med kunskap om dessa kurvor borde man tämligen exakt kunna beräkna temperaturen idag om det inte funnits någon påverkan av människan. Men återkopplingar gör saken komplicerad eftersom de återkopplingsprocesser som aktiveras vid olika temperaturer är mer komplicerade och kraftigare än man anat och mycket svåra att efterskapa i modeller. Vi kan därför inte med 100% säkerhet ange en exakt siffra men 98% av klimatforskare är överens om att mänsklig aktivitet är orsaken till den ökande halten CO₂.

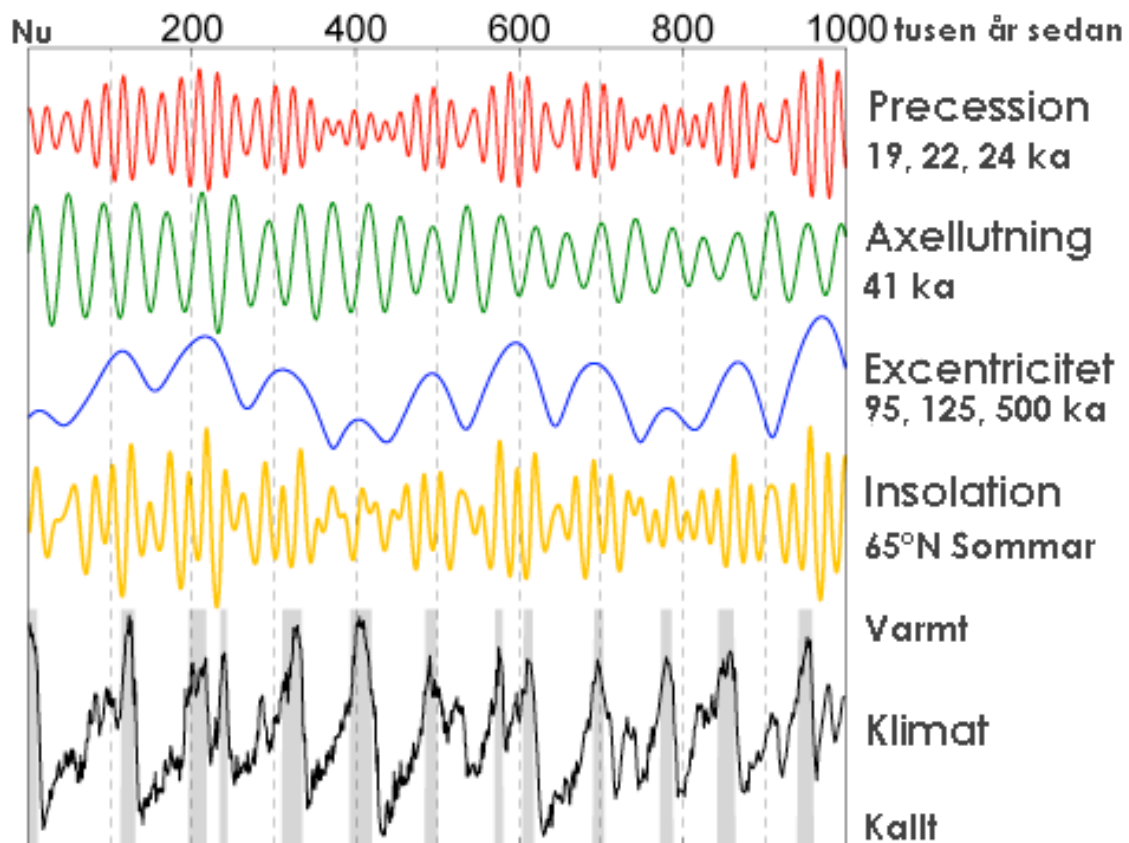


Fig 4. Graf som visar de tre banparametrarnas och klimatets variation. Grå zoner är interglaciära (varma) perioder. Tidsskalan är i tusental år.

Vattenångans inverkan jämfört med koldioxid

Koldioxid är inte den starkaste växthusgasen. Se fig 5. Förekomsten av alla dessa gaser i atmosfären har ökat markant sedan industrialismens början, och särskilt under de senaste decennierna [IPCC, 2013b]. Vattenånga har mycket större förmåga att absorbera infraröd strålning än vad koldioxid har, den finns dessutom i betydligt större mängd i atmosfären. Trots det spelar koldioxid en stor roll för den globala uppvärmningen. Det beror på att jordytan kyla av när vattenånga bildas genom avdunstning. Vattnets kretslopp skapar därigenom en jämvikt mellan jordens temperatur och mängden vattenånga i atmosfären. När ytterligare en växthusgas, som till exempel koldioxid, tillförs ökar temperaturen något vilket i sin tur ökar avdunstningen och mängden vattenånga i atmosfären. Därigenom förstärker vattenången koldioxidens växthuseffekt.

Luftens innehåll av vattenånga påverkas alltså inte direkt av människan utan är i stället mest beroende av temperaturen. Ju varmare det är, desto mer vatten i ångform kan finnas i atmosfären och desto mer vatten avdunstar från jordytan och blir till ånga i atmosfären. Varje temperaturhöjning – oavsett vad den beror på – leder alltså till att vattenånghalten ökar i luften och att växthuseffekten därigenom förstärks. Då stiger temperaturen ännu mer – det blir med andra ord "rundgång".

Växthusgas (eller motsvarande)	Andel av totala växthuseffekten på jorden (%) ^[9]
Vattenånga	39–62
Moln	15–36
Koldioxid	14–25
Ozon	2,7–5,7
Dikväveoxid (lustgas)	1,0–1,6
Metan	0,7–1,6
Partiklar	0,3–1,8
CFC ("freoner")	0,1–0,5

Fig 5. Olika gasers andelar av totala växthuseffekten

På indirekt väg kan människan därför trots allt påverka vattenången och dess uppvärmningseffekt. När vi exempelvis släpper ut koldioxid och därigenom höjer temperaturen på jorden blir följden att även vattenånghalten stiger.

Det finns också andra slags positiva återkopplingar som förstärker växthusgasutsläppens inverkan på klimatet. På egen hand uppskattas en för-

dubbling av luftens koldioxidhalt bara kunna värma upp jorden med drygt en grad, men med återkopplingarnas hjälp uppskattas uppvärmningen, till följd av en sådan fördubbling, i själva verket kunna bli omkring tre grader. (<https://www.naturvardsverket.se/arnesomraden/klimatforandringar/darfor-blir-det-varmare/vaxthuseffekten-forstarks/>)

Vulkanisk verksamhet

Vulkaner kan också påverka klimatet. Hela jorden har varit totalt nerisad vid fyra tillfällen, den första för 2,3 miljarder år sedan, de senare för 950-600 miljoner år sedan(<https://www.geologia.fi/sv/2018/12/08/geologi-och-tiden-livets-utveckling/>) Detta är ett tämligen stabilt tillstånd men det anses ha blivit brutet på grund av omfattande vulkanisk verksamhet. Dels har vulkanerna producerat mycket CO₂, dels har den svarta askan gjort att jordens albedo minskat och mer värme har absorberats.

Under jordens utveckling har det skett många massutrotningar, en hel del av dem beroende på vulkanisk aktivitet. Orsaken har varit utsläpp av aska och diverse svavelföreningar, så som aerosoler, som sprits i stratosfären och hindrar solstrålningen. Aerosoler är små fasta och flytande partiklar utspridda i atmosfären. Vindblåst damm, havssalter, vulkanisk aska, rök från skogsbränder och föroreningar från fabriker är alla exempel på aerosoler. Beroende på storlek, typ och plats kan aerosoler antingen kyla ytan eller värma den. De kan hjälpa moln att bildas, eller så kan de hämma molnbildningen. Och om de andas in kan vissa aerosoler vara skadliga för människors hälsa.

Stratosfären börjar vid ca 10 km höjd på våra breddgrader medan den vid ekvatorn börjar på ca 17 km höjd. Den sträcker sig upp till ungefär 50 kilometer över markytan. Stratosfären kännetecknas av att temperaturen, till skillnad från i troposfären och mesosfären, ökar med höjden. Stratosfären är 11 - 45 km tjock. Temperaturen i stratosfären är på de lägre höjderna ganska konstant mellan -50 °C och -55 °C. Med tilltagande höjd stiger temperaturen sakta så att den ligger omkring 0 °C på 50 kilometers höjd. Ozonlagret som skyddar jorden från bland annat UV-strålning ligger i stratosfären cirka 25 kilometer från markytan.

Ett kraftigt vulkanutbrott kan tillfälligt kyla ner jorden. T ex det på Krakatau 1883 sänkte jordens medeltemperatur med upp till 0,5° i tre år. Men koldioxiden som också produceras finns till skillnad från aska och aerosoler kvar i atmosfären i tusentals år. Att framkalla fler vulkanutbrott för att sänka temperaturen är alltså ingen bra lösning.

I fig 6 visas hur en del vulkanutbrott från mitten av 1800-talet påverkat sikten och därmed också temperaturen i atmosfären. Ju högre stapel desto lägre temperatur. Vi ser att påverkan har varit ganska kort.

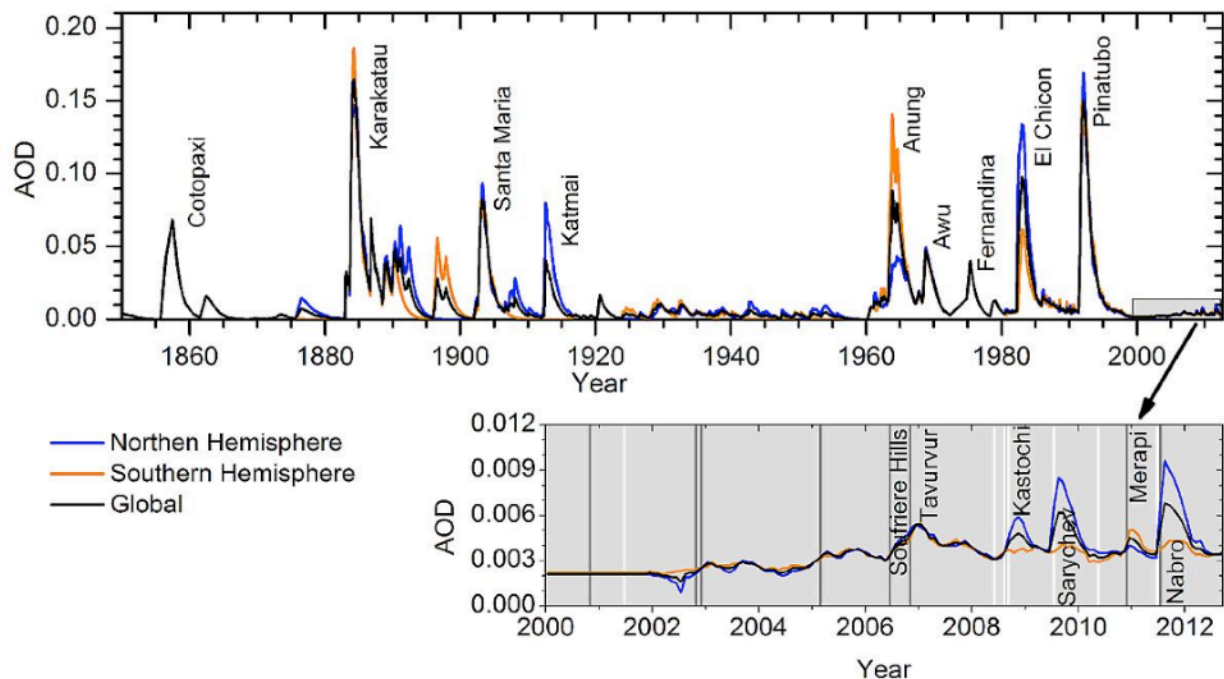


Fig 6. Källa: S. M. Andersson, 2015, *Volcanic aerosol in the upper troposphere and stratosphere. Diss., Lunds Universitet*

Men inträffar flera stora vulkanutbrott med få års mellanrum kan det få stora konsekvenser. Det är ett internationellt forskarlag av historiker och naturgeografer som presenterar nya fakta i tidskriften Nature Geoscience.

De har använt sig av årsringar från träd som växt i Altaibergen på gränsen mellan Ryssland och Kina och i de Europeiska alperna under de senaste 2000 åren och kan visa att perioden mellan 536 och 660 var betydligt kallare än någon tidigare insett.

Redan tidigare har man känt till att åren efter 536 var ovanligt kalla. Men de nya resultaten avslöjar att det handlade om en köldperiod som varade i ett helt sekel över i princip hela norra halvklotet.

I Centralasien sjönk sommartemperaturen hastigt med över tre grader, i alperna med omkring två grader. Nedkylningen är den mest dramatiska som den här delen av världen har utsatts för under de senaste 2000 åren.

- Det här gör att vi talar om en liten istid, betydligt kallare än den period som brukar kallas den Lilla Istiden, och som sträckte sig från medeltiden och till mitten av 1800-talet,

säger Fredrik Charpentier-Ljungqvist vid Stockholms universitet, en av forskarna bakom artikeln.

Forskarna kallar perioden för den senantika lilla istiden. De nya beräkningarna säger att kylan på 500- och 600-talen kan ha orsakat missväxt i stora delar av Asien och Europa. Något som måste ha fått katastrofala följder för människorna som levde på norra halvklotet.

Historieskrivaren Prokopius, som levde i nuvarande Italien, skrev år 536 att solen lyste som månen, helt utan strålgång "som i en ständig solförmörkelse med matt sken och inte som den brukade. Från den stunden utsattes människorna alltid för krig, svält och andra dödliga gissel"

- Samhällen på den tiden kunde ofta klara ett eller kanske två år av dåliga skördar, men här ser vi många år i rad av missväxt, vilket måste ha lett till rena svältkatastrofer, säger Fredrik Charpentier Ljungqvist.

Han tror att åtminstone tio växtsäsonger måste ha varit extremt kalla under perioden. I en del trädringsprover från Ryssland ser man spår av frostsprängning i veden, något som betyder att det måste ha varit minusgrader mitt i sommaren.

Orsaken till klimatförsämringen hittar forskarna i borrhärdar från inlandsisarna i Antarktis och på Grönland.

Stora mängder svavelföreningar från den här tiden avslöjar att jättelika vulkanutbrott måste ha kastat ut enorma stoftmoln i atmosfären - partiklar som fördunklat solen under långa perioder.

Nya förfinade analysmetoder visar att det rör sig om flera utbrott - ett på norra halvklotet år 536 följt av ett ännu större år 540 i tropikerna - och ett tredje, mindre, år 547.

- Det var en ren slump att det inträffade flera stora utbrott inom så kort tidrymd, men det var den tillfälligheten som gjorde att effekterna blev så stora, säger Fredrik Charpentier-Ljungqvist.

Krig och pest

Forskarna drar direkta paralleller mellan klimatförändringen och de stora politiska skeendena under den här tiden. Centralasiatiska stammar som plötsligt stod utan bet för sina djur bröt in i norra Kina och östra Europa. Kriget som följde blev bland annat undergången för den sassanidiska dynastin i Persien.

I svältens, kylans och krigens spår följde sjukdomar. Bara några år efter det första vulkanutbrottet bröt den så kallade justinianska pesten ut. Farsoten har fått sitt namn efter den östromerske kejsaren Justinianus, som härskade i Konstantinopel, dagens Istanbul, vid den här tiden.

- Det här blev ytterligare en katastrof. Bara i Konstantinopel dog halva befolkningen, 250 000 människor, i pesten, säger Fredrik Charpentier-Ljungqvist.

Pesten skulle fortsätta att härja på norra halvklotet i ytterligare flera århundraden och skörda miljontals offer. Forskarna bakom artikeln tror till exempel att sjukdomen förebådade det Östromerska imperiets tillbakagång och fall.

Mycket att lära

Alla blev inte förlorare i klimatförändringarnas spår. Forskarna tror att kylan i norr kan ha gett mer regn över den arabiska halvön. Bättre växtlighet gjorde det möjligt för det växande arabiska imperiet att expandera norrut när det plötsligt fanns gott om mat för arméernas kamelkaravaner.

Enligt artikelns huvudförfattare, Ul Büntgen vid det schweiziska statliga forskningsinstitutet WSL, visar studien tydligt hur plötsliga klimatförändringar snabbt kan kasta existerande politiska system över ända.

- Det finns mycket att lära av hur snabba och stora omvälvningarna blev under senantikens lilla istid, säger han. <https://www.svt.se/nyheter/vetenskap/vulkanutbrott-orsakade-liten-istid>

World fossil carbon dioxide emission 1970-2021

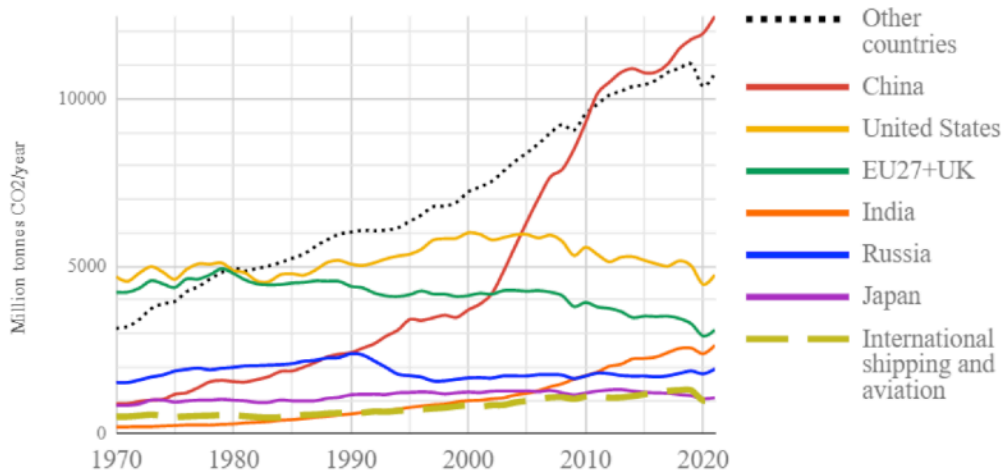


Fig 7. Världens CO2-utsläpp sedan 1970 (bl.a. för de sex länder och konfederationer som släppte ut mest).

Havsströmmar

I detta avsnitt ägnar jag utrymmet åt att beskriva havsströmmar och hur de uppkommer för att sedan diskutera hur de påverkar klimatet. Havsströmmar uppkommer på i princip tre sätt:

- Vinden
- Olika temperatur
- Tidvatten

Vinddrivna strömmar

När vinden blåser drar den med sig ytvattnet på grund av friktionen. Då jorden roterar skapas en corioliskraft som gör att det uppkommer virvlar, medurs på norra halvklotet och moturs på södra. Dessa virvlar sprids neråt genom den s k *Ekmanvridningen*, förklarad 1902 av den svenske forskaren Vagn Walfrid Ekman, men observerad först av Fritjof Nansen under en polarexpedition på Norra ishavet 1893–1896. Om vinden på södra halvklotet blåser parallellt med en kust medför Ekmanvridningen i kombination med Corioliskraften att kallt bottenvatten strömmar upp till ytan. Detta vatten innehåller mer salter och mineraler än ytvattnet och det medför ökad produktion av biomassa. Detta fenomen kallas *uppvällning*.

Nu blåser det passadvindar från öster till väster både norr och söder om ekvatorn. Passadvindarna uppkommer när varm luft över ekvatorn stiger uppåt. Då strömmar kall luft norrifrån och söderifrån till ekvatorn och på grund av Corioliskraften avlänkas de åt höger på norra halvklotet och åt vänster på södra. Passaden skapar i sin tur västliga vindar på norra och södra halvklotet. På Atlanten och Indiska oceanen leder detta till att orkaner kan uppkomma.

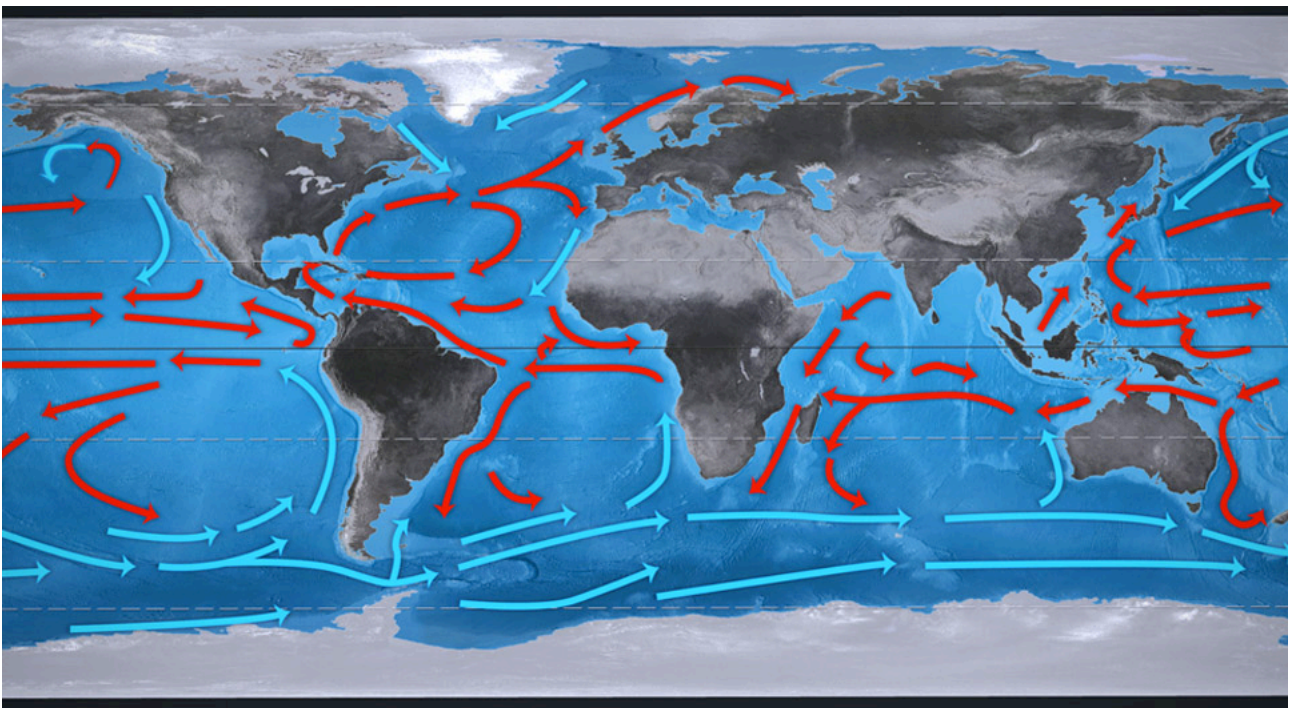


Fig 8. De viktigaste havsströmmarna. Röda är varma och blåa är kalla.

På södra halvklotet har vi tre tydliga cirkulationer, medan det inte är lika tydligt på norra halvklotet. På norra Atlanten har vi golfströmmen som för varmt vatten från Mexikanska golfen ända upp till Kolahalvön, där Murmansk har en isfri hamn. Vi ser att Golfströmmen delar sig ungefär i höjd med Newfoundland och bildar Nordatlantiska strömmen som går mot Skandinavien och Kanarieströmmen som går mot just Kanarieöarna. Denna

senare ström är i huvudsak driven av vinden medan den Nordatlantiska strömmen är en termohalin ström.

Termohalin cirkulation

Termohalin cirkulation beror på skillnad i temperatur och salthalt. När det varma vattnet från ekvatorn strömmar norrut avdunstar vatten och salthalten ökar. Samtidigt blir vattnet kallare och därmed också tyngre. I det kalla vattnet ökar också salthalten och i takt med att den varma strömmen blir kallare sjunker den ner mot botten. En kall havsström uppkommer på botten och går i motsatt riktning mot den varma. På så sätt får vi ett omfattande termohalint cirkulationssystem runt hela jorden. Se fig 9 nedan.

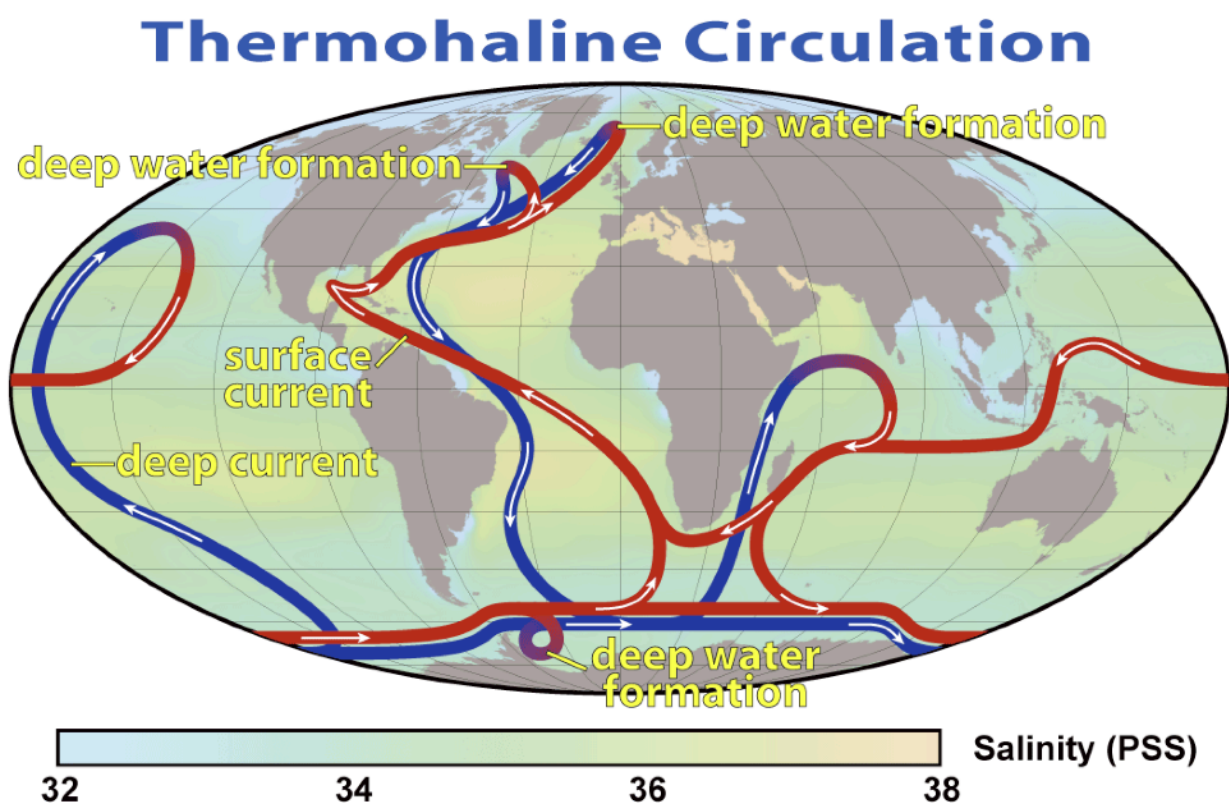


Fig 9. Det thermohalina cirkulationssystemet på jorden (Källa: <https://www.aquaportail.-com/dictionnaire/definition/13384/circulation-thermohaline>)

Havsströmmar och klimat

När det gäller klimatpåverkan är det främst Golfströmmen och El-niño som påverkar. Golfströmmen drar upp varmt vatten mot norra Europa och temperaturen där är mycket högre än på motsvarande breddgrader i Kanada. Golfströmmen är en mäktig havsström som för med sig värme motsvarande 1400 TW eller hundra gånger världens energibehov (Wikipedia: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Golfstr%C3%B6mmen>) Det som driver Golfströmmen är det kalla vattnet som sjunker till botten och strömmar tillbaka till ekvatorn. Nu blir Arktis varmare och isen där och på Grönland smälter. Det gör att

salthalten minskar och "pumpen" blir svagare. Golfströmsystemet är idag svagare än det varit på 1600 år. Fortsätter den globala uppvärmningen så varnar forskarna att den kan stanna av helt. I tidskriften Nature Geoscience bekräftar ytterligare en grupp forskare att det hittills rör sig om 10-20 procents avmattning. Avstannar Golfströmmen får vi samma klimat som Alaska med vintertemperaturer ner mot -50°. En något oväntad effekt av klimathotet.

Ser vi på det andra fenomenet, El Niño, så är det ett av de kraftfullaste naturfenomen som existerar och det påverkar i princip hela jordens klimat. Utanför Chiles kust löper en kall havsström, Humboldtströmmen. Den uppkommer därför att passadvindarna blåser västerut mot Indonesien och Australien. Det ger upphov till lågtryck med intensiva regn över Indonesien och nordöstra Australien. På andra sidan Stilla havet, flyter den kalla Humboldtströmmen upp. Normalt är ytvattnet cirka 8 grader kallare där än på andra sidan Stilla havet. Lufttrycket är högt och stora delar av Perus och norra Chiles kusttrakter hör normalt till jordklotets allra torraste platser.

När El Niño uppträder ändras tryckförhållandena i atmosfären, vilket leder till att passadvindarna försvagas och ändrar riktning, vilket i sin tur påverkar havsströmmarna. I stället för att drivas västerut samlas det varma ytvattnet utanför Sydamerikas kust. Följden blir att vädret ändras dramatiskt. Regionen drabbas nu i stället av mycket kraftiga regn, som särskilt under kraftiga El Niño-år orsakar katastrofala översvämningar. En annan effekt är mycket kraftig minskning av fiskbestånden i de normalt sett oerhört fiskrika vattnen utanför Perus kust vilket orsakar stor skada för de många människor som försörjer sig på fisket. På andra sidan Stilla havet i Indonesien och östra Australien råder rakt motsatta förhållanden. Där drabbas man nu i stället av stigande lufttryck och svår torka vilket slår hårt mot jordbruket och ofta orsakar väldiga skogsbränder.

La Niña är beteckningen på den period som följer när El Niño-perioden är avslutad. La Niña är El Niños motsats. Nu blir i stället havsvattnet i de östra och centrala Stilla havet ovanligt kallt medan motsatsen gäller i havet utanför Indonesien och Australien. Till skillnad från El Niño sänker La Niña jordens medeltemperatur.

Vi ser att havsströmmarna i stor utsträckning påverkar klimatet och vi har observerat stora förändringar i dess under senare år. Frågan är om dessa är naturliga variationer eller om de är förorsakade av ökad halt av växthusgaser i atmosfären. För Golfströmmens del kan man nog fastslå att så är fallet, den smältande isen i Arktis och på Grönland är ingen naturlig variation. Beträffande El Niño vet man ännu inte. Klimatforskare och historiker har visat att El Niño-fenomenet vid upprepade tillfällen har påverkat historiens förlopp och att så kallade meganiños (kraftiga El Niño-perioder som varar åtskilliga år, eller till och med decennier) även utplånat hela kulturer. De senaste åren har forskningen ökat huruvida den globala uppvärmningen kommer påverka El Niño-La Niña-cykeln.

Slutsatser

Svaret på frågan om den observerade temperaturhöjningen på jorden beror på naturliga förhållanden eller är förorsakade av mänsklig aktivitet har ett entydigt svar: Det är människorna som de skyldiga! Ser vi på de astronomiska förhållandena är vi på väg in i

en ny istid och medeltemperaturen borde sjunka istället för att stiga. Några omfattande vulkanutbrott har vi inte råkat ut för och Golfströmmens försvagning kan bara förklaras med ökad halt av växthusgaser, vilket människorna är skyldiga till. Ser vi på fig 9 så hänger det thermohalina systemet samman och en förändring i Golfströmmen påverkar hela systemet. Följderna kan vi inte säga något om i dagens läge. Men El Niño kan vara ett naturligt fenomen om vilket vi än så länge inte vet speciellt mycket. Orsaken till att vinden plötsligt ändrar riktning är än så länge okänd.

Vi har sett att det har varit stora variationer i klimatet åtminstone under de senaste 2 000 åren. Dessa har haft naturliga orsaker och man kan tro att de variationer vi ser har naturliga orsaker. Men ser man på de faktorer som jag gått genom ovan är det inget som tyder på att temperaturhöjningen har naturliga orsaker. Däremot är halten av CO₂ i atmosfären högre än den varit på 800 000 år. Detta har otvivelaktigt en påverkan på temperaturen på jorden. Men det är inga enkla orsak-verkan förhållanden utan komplexa feed-back loopar som är omöjliga att förutsäga. I varje fall verkar det som om de modeller man hittills använt för att förutsäga jordens temperatur inte stämmer eftersom höjningen är högre än vad som modellen förutser. Man kan förmoda att det rör sig om feed-back loopar som man inte riktigt känner till och vars effekter är kaotiska. Jorden kommer säkert att klara krisen, likaså livet på jorden men mänsklighetens framtid är mer tveksam.

Referenser

IPCC (2013b). Observations: Atmosphere and Surface. I Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 159-254). Cambridge University Press.

Büntgen, U., Myglan, V., Ljungqvist, F. et al. Cooling and societal change during the Late Antique Little Ice Age from 536 to around 660 AD. *Nature Geosci* 9, 231-236 (2016).
<https://doi.org/10.1038/ngeo2652>