

Andreas Malm

## Växthuseffekten, klimatet och vädret

### Introduktion

En som länge studerat växthuseffekten och varnat för dess konsekvenser är Andreas Malm, som är en av vårt lands främsta experter på klimatproblematiken. Han doktorerade för några år sedan om fossila bränslens roll i framväxten av kapitalismen (avhandlingen kom ut 2016 i bokform under titeln *Fossil Capital*). Han har skrivit flera andra böcker – den senaste är *The Progress of This Storm* (2018) – och ett stort antal artiklar om klimatfrågan.

Det som återges nedan är *utdrag* ur hans bok ***Det är vår bestämda uppfattning att om inget görs nu kommer det att vara för sent***, som kom ut 2007. Boken tar ett brett grepp på klimatfrågan och det är omöjligt att göra den rättvisa med utdrag. Så den som vill veta mer bör införskaffa boken.



Under denna sommar har vi i stora delar av norra halvklotet (inte minst Sverige) fått uppleva en extrem värmebölja och torka, som medfört stora problem för jordbruket och ett stort antal svåra skogsbränder (i bl a Sverige, Grekland, Portugal, Ryssland och Kalifornien). Bokutdragen har främst valts med avsikt att belysa dessa effekter, där de omfattande skogsbränderna är de mest spektakulära och vars orsaker och mekanismer Malm reder ut.

En aspekt som Malm betonar är att klimatet inte bara ständigt modifieras med små (kvantitativa) förändringar, utan att det även sker *språngvisa* förändringar. Även om förändringarna kan ske ganska lugnt och stilla under ganska lång tid, så kan de plötsligt nå en kritisk punkt som leder till en abrupt och genomgripande omvälvning (som när man under en utflykt plötsligt ramlar ner i ett stup). Sådana språngvisa (kvalitativa) dramatiska förändringar kan uppstå på olika sätt och beror ofta på ”återkoppling”, när man efter en period av långsamma förändringar plötsligt hamnat vid en kritisk gräns, där de redan verkande mekanismerna kraftigt växelverkar med varandra och vi får en ”återkopplingspiral” som triggar allt snabbare förändringar.

Ett exempel på detta är att halten vattenånga i atmosfären växer vid stigande temperatur, och eftersom vattenånga självt är en växthusdrivande gas så kan den, när en viss nivå uppstått, kraftigt spåda på växthuseffekten som till en början främst orsakades av ökad koldioxidhalt. En annan sådan faktor är permafrosten, som när den smälter frigör stora mängder av gasen

metan, som uppskattas vara minst 20 ggr så aktivt som koldioxid när det gäller att öka växthuseffekten.

Andra möjliga mekanismer som är svåra att förutsäga, men som kan orsakas av klimatförändringarna, är förändringar av Golfströmmen, liksom den s k jetströmmen (de kraftiga vindar som finns flera kilometer upp i luften och därifrån styr över låg- och högtryckens rörelser) som kraftigt kan påverka vädret.

Problem med tröskelvärden, återkoppling och språngvisa förändringar tas upp på flera ställen i utdragen nedan, även om jag främst har försökt få med resonemang som har anknytning till torka och bränder av den typ som vi upplevt denna sommar.

Andreas Malm diskuterar de mekanismer som höjer medeltemperaturen och påverkar klimatet på många, ibland svårförutsägbara sätt. Den hittills viktigaste faktorn i denna process är den stigande halten av koldioxid i atmosfären, vilken orsakas av förbränning av fossila bränslen, men som vi redan påpekat ovan tillkommer efterhand flera andra faktorer.

Att den globala uppvärmningen skapar förutsättningar för och driver fram extrema väderfenomen är uppenbart och vetenskapligt belagt. Därför är det minst sagt beklämmande att en politiker som SD:s Jimmie Åkesson under sin valupptakt kan vifta bort problemen genom att häva ur sig: ”Det är den värsta sortens populism att göra politik av hur vädret ser ut en enskild sommar”.

Åkesson vill således göra gällande att det inte finns någon anledning att oroa sig över att vi haft en sommar vars extrema värme det saknas motsvarighet till så länge som man mätt sommartemperaturer – det extrema vädret skulle med detta resonemang inte ha något med den globala uppvärmningen att göra, utan främst beror på slumpmässiga faktorer! Och andra tydliga varningstecken som smältande isar i Arktis och Antarktis och glaciärer över hela jorden, allt mer förödande orkaner och tropiska stormar osv, för att inte tala om forskarvärldens alltmer enträgna och med mängder av fakta underbyggda varningar om klimathotet, allt sådant vill Åkesson få oss att glömma. Han vänder sig till de mest okunniga och omedvetna, de som inte *vill* se problemen, utan fördrar att *tro* att det inte finns någon anledning att oroa sig. I stället för att bidra till att sprida kunskap om klimathotet och komma med seriösa förslag på hur vi kan bidra till att bekämpa och begränsa skadorna, vill Åkesson att vi helst ska strunta i sådana frågeställningar, åtminstone i samband med höstens val. Åkesson och hans SD är antingen okunniga eller (vilket är troligare) så ser de kortsiktigt på saken och tror att de genom att bagatellisera problemen kan vinna röster från de som föredrar att stoppa huvudet i sanden, blunda för och ignorera klimathotet. Verkligen cyniskt!

Som Malm visar så är många av de extrema väderfenomenen och dess resultat, som torka och skogsbränder, inte nya fenomen, utan har blivit allt vanligare under de senaste årtiondena, givetvis inte lika dramatiskt och omfattande som detta år, men inte desto mindre tydliga. Men allra viktigast är att han reder ut de mekanismer som driver fram klimatförändringarna och bidrar på så sätt till att klä av klimatförnekarna, vars alternativa ”fakta” (i Trumps fotspår) helt enkelt består i att förneka och blunda för fakta.

OBS: Alla noter i utdragen av Malms artikel har borttagits nedan.

### **Tillägg om SD:s ”klimatpolitik”**

Jimmy Åkesson är hal som en ål. I Ekots partiledarutfrågning 16/8 vidhöll han att han inte ”är orolig för det varma vädret i sommar”, samtidigt som han sade sig *inte* förneka klimatförändringarna. Denna läpparnas bekännelse blir dock inte särskilt mycket värd, eftersom han samtidigt inte vill att vi i Sverige ska göra något praktiskt åt saken. Han dribblade bort det hela

genom att framhålla ”att alla länder har ett ansvar” och tillade ”Det är avsevärt bättre och billigare att minska utsläppen i länderna där de är som störst. Det är de länderna vi ska fokusera på och det är dit klimatinsatserna ska riktas.” Alltså: Skyll på andra.

Åkesson syftade bl a på Kina. Det är riktigt att Kina har mycket större koldioxidutsläpp än Sverige, men det är knappast ett särskilt bra argument, eftersom det relevanta här bör vara utsläpp per capita (som i Sveriges är c:a 11 ton/person om man medräknar den CO<sub>2</sub> som ”importerats”, medan Kina står för c:a 7,6). Betydligt större syndare är Australien och USA (15,8 resp 15,5 ton/person), dvs om man ska utöva press på de värsta syndarna är det dessa man ska gå på i första hand.

Om man för Sveriges del tar bort den importerade delen så kommer vi ned till knappt 4-5 ton/person. Det är en bra siffra, som främst beror på att elproduktionen domineras av vattenkraft, kärnkraft, vindkraft osv, dvs mycket litet av elen framställs med fossila bränslen. Men viktigare är att den siffran döljer att vårt bidrag till CO<sub>2</sub>-förbrukningen i praktiken är mycket större (11 ton/person) pga av konsumtionen av importerade varor (bl a livsmedel) som vid produktion och transporter ger upphov till mycket CO<sub>2</sub>.

Hela detta problemkomplex skjuter SD och Åkesson åt sidan. Hans recept är att det är andra som är de värsta bovarna, så därför kan vi i Sverige strunta i att göra något. Hans försäkran att han inte förnekar klimatförändringarna blir därmed tomma ord som inte förpliktigar till något.

Åkesson har rätt i att det krävs omfattande internationell samverkan för att radikalt minska CO<sub>2</sub>-utsläppen och att åtgärder som enbart är begränsade till Sverige bara kan få marginell effekt. Men det ena utesluter inte det andra. Åkesson förbiser att Sverige genom att föregå med gott exempel och vidta kraftfulla åtgärder inom landet, samtidigt som man agerar internationellt för att få gehör för krafttag mot klimatförändringarna, skulle kunna bidra till att få till stånd de förändringar som måste till för att bromsa och vända den utomordentligt farliga utvecklingen. Åkessons linje innebär i praktiken att man inte gör någonting alls.

## Lästips

Det extrema vädret under denna sommar och den torra och skogsbränder som uppkommit som en konsekvens av detta har marxistarkivet tidigare uppmärksammat med en artikelsamling: [Vänsterpress om skogsbränderna, vädret och klimatet – juli 2018](#)

Se även: [Från Marx och Engels till ekosocialism](#) av Michael Löwy.

För fler artiklar om växthuseffekten och med den sammanhängande problem, se: [Miljö och politik](#) (sammanställning av texter).

En nyutkommen bok (2018) som rekommenderas till läsning är *Klimatet och omställningen* av Staffan Laestadius. Som framgår av bokens titel så handlar den i hög grad om vad som måste göras för att bryta den onda spiral som utvecklingen av klimatet befinner sig i. Författaren är professor emeritus i industriell utveckling vid KTH.

Martin F 16/8 2018

## Utdragen

*Ur kapitlet "En spiral, från sval till glödhet", s. 118-129*

[ Inleder med ett avsnitt som handlar om *ozon*-gasens roll: ]

Ozon har inte bara egenskapen att utestänga ultraviolettera strålar från biosfären. Den bär också växthusuniform, och dessutom tar den sig in genom klyvöppningarna, fräter på växterna, skadar dem inne i cellerna, tvingar dem att allokeras mer resurser till att reparera sina blad och *reducerar fotosyntesen*.

Det är på atmosfärens högsta hylla, i stratosfären, som ozonet spelar sin brandväggsroll. Där väntar ozonlagret fortfarande på tillräckligt med material för att fylla igen det hål som slagits upp av människans freoner. Men på den lägsta hyllan, den som smeker utmed jorden, i troposfären, svävar ozonmoln som aldrig förr. När människan förbränner sina bränslen på jordens yta ställer sig metan, kolmonoxid, kväveoxid och vissa organiska föreningar i det fria solljuset, reagerar med varandra och frammanar den månghövdade gasen: troposfäriskt ozon är i dag den tredje mäktigaste spärrvakten i växthuset. Därtill fungerar den alltså som ett gift i närkontakt med växter.

Halten av troposfäriskt ozon har fördubblats sedan 1800-talet, och i närheten av många industriella centra ligger den redan över 40 biljondelar, den nivå där skadorna på bladen blir synliga för det mänskliga ögat. Ozonbildningen väntas tillta de kommande decennierna. Den kastar in syra i textilfabrikerna och saboterar just den produktionsprocess som var tänkt att ta hand om koldioxiden. Sommaren 2007 presenterade en forskargrupp de första siffrorna över resultatet: fram till år 2100 kommer upp till en fjärdedel av den globala fotosyntetiska produktionen från de senaste 200 åren att förstöras, minst en tredjedel av den beräknade gödningseffekten går om intet, genom sitt intrång i kolcykeln *fördubblar* det troposfäriska ozonet sin påverkan på jordens klimat.

Och då har vi ännu inte kommit fram till det största problemet med hypotesen om gödningens räddning. Vi vet sedan tidigare att det enda som kan hålla nere koldioxidhalten mer än över en natt är *begravningen* av organiskt material, förskjutningen av kol från den dagliga cirkulationen, utförsel från cykelns aktiva del till den passiva. Om koldioxiden är tillbaka i atmosfären igen nästa morgon är ingen minskning av halten vunnen. Det är här som de fossila bränslena har sin essens: de är döda varelser, utplacerade i "en klippåla med en sten för öppningen". För att gödningseffekten ska kunna neutralisera utsläppen helt eller delvis krävs följaktligen att den leder kolet tillbaka in i en grav som den inte slipper ur. Det förutsätter i sin tur att fotosyntesen sporrar att producera snabbare än respirationen och nedbrytningen hinner konsumera, så att produkter blir över för begravningen.

Problemet är bara att *även respiration och nedbrytning betingas av klimatet*. Heterotrofernas\* metabolism går upp i spinn när temperaturen stiger. De håller kortare tid om det kol de satt i sig, öppnar ventilerna, andas gas. Mikroorganismerna skruvar upp sin nedbrytning av det organiska materialet. Experiment i det fria visar att en hög andel av det extrakol som binds efter intensiv koldioxidgödning inom kort är nedbruten — ibland 70 procent efter bara två år — och tillbaka i atmosfären, och om värmen stiger på fältet kan mikroorganismerna rentav komma igång så till den grad att de också ger sig på *äldre* kol, så att den samlade effekten av mer koldioxid och högre temperatur blir *kortare* förläggningstid i marksänkan. Denna nedbrytningsfrossa är inte längre ett fenomen i artificiella experiment. Marken i England och Wales förlorade mellan 1978 och 2003 i genomsnitt 0,6 procent av sitt kol per år. Takten var jämn under alla vegetationstyper, oavsett vad den brittiska skogsförvaltningen gjorde med dem, vilket fick forskarna att som direkt orsak identifiera medeltemperaturens stigning med

---

\* En heterotrof är en organism, som behöver konsumera organiska ämnen för att få energi – Red

en halv grad, och under de flesta trädslag i Europa har det likaledes visat sig att mikroorganismerna luckrar upp kolet allt snabbare och svettar ut det ur marken; särskilt känsligt för höjda temperaturer har, paradoxalt nog, de djupast försänkta, i princip minst labila marksänkorna visat sig vara. Medan fotosyntesen tidigt blir mätt på koldioxid finns det ingen gräns för hur mycket värmen kan driva upp nedbrytningen. Sluteffekten av höjd halt är därmed inte ökad begravning, utan ökad återfödelse av kolet på jorden som koldioxid i atmosfären.

Sommaren 2003 anställdes ett kontinentalt experiment i uppvärmningens konsekvenser för fotosyntesen. Europa genomlevde den värsta kombinerade torkan och värmeböljan sedan åtminstone 1370, med nederbörder på mindre än hälften av normen och medeltemperaturer upp till 6 grader högre än regeln. En glödande lie gick genom Europas skogar. Den skar djupast där torkan var som värst, men svepte över hela kontinenten och reducerade den totala fotosyntetiska produktionen med nära en tredjedel. Produkterna från fyra års bindning av koldioxid glödde bort över en sommar. Det var den största kris som kontinentens vegetation upplevt sedan 1900-talets början eller ännu längre, den syntes från rymden — Europa blev gulare — och såren från skadade träd och mobiliserade kolreserver blödde länge efteråt. Allt detta följde de välkända lagarna för fotosyntesen. När det råder brist på vatten måste växterna hålla sina klyvöppningar stängda för att inte den ånga de har ska läcka ut, men då kommer inte heller någon koldioxid in, produktionen saktar ned för att till sist, om torkan blir akut, slå över i sin motsats och *just detta var det mest skrämmande med sommaren 2003*: Europas skogar var inte längre sänkor i kolcykeln.

De var källor.

Vad händer då om torka och hetta blir allt vanligare? Vi återkommer till den möjligheten.

När fotosyntesen bygger upp en kolsänka tar den gott om tid på sig. Mossan, barken, grenarna växer i sakta mak. Den gröna elden flammar upp i ultrarapid över århundraden, sävlig och saftig. Plötsligt kan den förbytas i en knastrande röd brand: på några få timmar går all den kol som det tagit femtio, ett hundra, tre hundra år att fixera upp i rök: ett härbärge av halm, förkolnat på ett ögonblick. Skogsbränder utrymmer kolsänkorna. De har alltid varit en naturlig del av kolcykeln, men deras funktion förändras om de blir vanligare, kraftigare, långvarigare och det är just vad de blir när temperaturen stiger, när snötäckena drar sig tillbaka tidigare på våren och dröjer på hösten, när snön överger till och med högt belägna skogar, när vatten och fukt dunstar i gassande sol: marken torkar ut, de gröna träden gulnar till höstackar som under den förlängda sommaren bara står och väntar på en tändande gnista.

Under andra halvan av 1900-talet, och i synnerhet under de sista två decennierna, brann det allt oftare i USA. Mellan 1986 och 2006 fyrdubblades det genomsnittliga antalet stora skogsbränder i landets västra delar, jämfört med, under de 16 föregående åren. Den nedbrända arealen mer än sexdubblades; skogsbrandssäsongen utsträcktes med 78 dagar. Där en brand tidigare slocknat efter i genomsnitt 7,5 dagar pågick den nu i 37,1, från lite drygt en vecka till mer än en hel månad. Trendernas direkta orsak var medeltemperaturen i regionen, som under vår och sommar höjts med 0,9 grader Celsius. I Nordamerika som helhet mer än tredubblades den årligen nedbrända ytan mellan 1970 och 2000 och på andra sidan Barents hav, i Sibirien, där den årliga genomsnittstemperaturen steg med 3 grader Celsius mellan 1960 och 2005, orsakade eldsflammorna bara under sommaren 2003 lika mycket koldioxidutsläpp som Kyotoavtalet ålagts att reducera i hela världen fram till år 2012. Längre somrar borde också betyda längre halvårsskift av fotosyntetisk produktion, och i exempelvis Kanada ökade verkligen upptaget av kol — fram till åren runt millennieskiftet, då den ökade brandrisken hann ikapp och landets skogar *slog över från sänka till källa*.

Det är brandfaktorns oerhörda innebörd. Vid en viss punkt orsakar torkan och den höjda temperaturen en brännbarhet som vid minsta retning kan ödelägga hela skogar och deras funktion inverteras då, från en minuspost till en pluspost i koldioxidhaltens budget, från en

sänka till en källa: frälsning förbannelse.

Indonesiens torvmark är, som vi minns, en levande utställning över perioden karbon. Skogsavfall täcker marken. Det är för blött för att det ska ruttna. Det är för genomdränkt av vatten för att nedbrytarna ska kunna oxidera materialet. Det är, sedan tusentals år, ett museum av uppstoppat kol och under 1997 och -98 rasade så mäktiga bränder över den indonesiska arkipelagen att de åt sig ner till den tolv meter djupa botten, torven brann, människorna i staden Palangkaraya kunde inte se mer än en meter framför sig i tre månaders tid, båtar kolliderade och smogen klädde, som även en svensk tevetittare torde kunna erinra sig, stora delar av Sydostasien i grå askdräkt. Eldstaden täckte bara ett litet hörn av världen, men härifrån utlöstes på bara några månader lika mycket kol som all biomassa på land binder på ett år, eller upp till 40 procent av de årliga utsläppen från fossila bränslen, eller kanske mest anmärkningsvärt — den största ökning av koldioxidhalten på ett enda år som dittills hade registrerats sedan mätningarnas start år 1950. Efter detta inferno har bränder i de indonesiska regnskogarna och torvmarkerna pyrt upp med regelbundna mellanrum. Varje gång en torka lägrar sig tenderar torven att fatta eld igen. När den en gång har urlakats på vatten kan också mikroorganismerna påbörja sin nedbrytning, så att kol nu frigörs även mellan brandsäsongerna.

Bränder i torvmarker är särskilt ödesdigra, men totalt sett återfinns de stora riskerna i vanliga skogar. Mest studerad är situationen i rikare, nordligare länder. En grupp forskare som räknade på konsekvenserna av en fördubbling av koldioxidhalten från år 2004 till år 2070 kom fram till att antalet dagar med hög brandrisk i västra USA ökar med upp till tre veckor, främst till följd av minskad fuktighet. En annan grupp undersökte hur brändernas karaktär i norra Kalifornien förändras av en halvfördubbling. Varmare och blåsigare väder gör lågorna hetsigare och svårare att kontrollera: andelen vilda, okontrollerbara bränder ökar med 51 procent i San Francisco Bay Area, 125 procent i Sierra Nevada, upp till 143 procent i Amador. Fler eldar ger fler eldar. När det brinner ofta missgynnas skogsvegetation, som kräver lång ro för att mogna, medan buskar och gräs hinner slå ut innan nästa eld — men de är också mer lättantändliga. En tredje grupp konkluderade att den årligen nedbrända arealen i Kanada kan öka med upp till 118 procent under ett scenario av tredubblad koldioxidhalt fram till år 2100, men slängde in en brasklapp om att ”vi upplever vår bedömning som konservativ”. Redan under de gångna 40 åren har koldioxidutsläppen från brinnande skog i Kanada motsvarat en femtedel av dem från fossila bränslen, och när snöfallet var exceptionellt litet under vintern 2007 slogs på nytt rekord på rekord runtom i landets provinser. För Nordamerika som helhet går en skarv vid övergången från 1970- till 80-tal. Både den totala mängden nedbränd skog och den andel som brann ned i storbränder fördubblades under seklets två sista decennier.

Rekonstruktionen av äldre klimatväxlingar visar att brandfrekvensen tätt följer temperaturen. Optimisten skulle nu invända att människan den här gången kan lära sig att släcka bränder mer effektivt: hon har tekniken. Den gör förvisso framsteg på sina håll, men samtidigt blir, som vi har sett prov på, bränderna kraftigare och mer *svårsläckta* när de utsträcks till månadslånga eldstormar. I den amerikanska västern betraktas nu branden i Yellowstone Park år 1988 som invigningen på den nya eran: 25 000 brandmän misslyckades med att få bukt med eldsvådorna, trots tre månaders kamp, innan den fallande vintersnön till sist släckte dem. Skogsbränder från Australien till Grekland har blivit ett stående nyhetsinslag de senaste åren, kampen allt ojämnare, bilderna på stugor som måste evakueras från de framryckande lågorna allt mer fyllda av panik; intrycket från nyhetskonsumtionen stöds av statistiken. För att släcka en brand behövs också — vatten. I den globala uppvärmningens tid kan tillgången på denna släckningsteknikens basvara inte längre garanteras.

Två kategorier av gnistor kan tända en brand i naturen. Människan kan kasta ut en cigarett eller något annat brinnande föremål; en blixtnedslåg kan slå ned. I en uppvärmd biosfär blir åska allt

vanligare.

Bränder stör molnbildningen och den atmosfäriska cirkulationen, bränder torkar ut marken, bränder släpper ut de ämnen som ombildas till ozon i troposfären. Bränder minskar jordens albedo. Vad är det? Det är den tredje variabeln, vid sidan om solinstrålningen och växthus-effekten, som avgör hur mycket värme biosfären tar emot och sänder ut, var jämvikten i energiutbytet hamnar. Tänk på nyfallen snö, eller vitpudrad is. De är kristallklara speglar som reflekterar solens strålning. Man kan känna det mot huden i en skidbacke en strålande vinterdag: solen speglar sig i snön som inte smälter utan återblänker strålarna till vinterbleka kinder och, framför allt, till rymden. Färsk snö och is reflekterar, i ett genomsnitt över de synliga våglängderna, upp till 90 procent av strålningen: detta är deras *albedo*, av det latinska ordet för vit, som i ”albino”, ”albatross”, ”Alperna”. En mörk yta, å andra sidan som i en svart t-shirt en stekhet sommardag — suger åt sig strålarna, håller inne värmen. Ljusa ytor har hög albedo, mörka har låg, och vad som händer när skogar står i brand är att den gröna elden blir svart, *marken absorberar mer av solens värme*.

Grönt är, å andra sidan, mörkare än vitt. Det slår spiken i kistan för hypotesen om att gödningseffekten kan rädda människan från sina egna utsläpp: gödslingen kommer att vara mest verksam längst i norr, där tundra då invaderas av barrskog. En tundra är ofta isig eller täckt av ett jämnt skikt av snö; en skog är grön och skakar av sig det mesta av snön från grenarna. I samma grad som gödningseffekten fungerar kommer den följaktligen att *minska albedon så att mer solenergi bibehålls vid jordytan*, och till skillnad från uppåttjacket för fotosyntesen är inte albedoreduktionen snabbt övergående. Den håller i sig. Beräkningar ger vid handen att albedoeffekten överväger till den grad att slutresultatet av skogens avancemang norrut blir negativt: uppvärmningen *förrärras*.

Albedo är förstås ytterligare ett exempel på exopoiesis, men kanske är inget exempel mer magnifikt än Amazonas. Den lummiga vegetationen, sammanväxt i etage under de högsta trädens markisväv, andas ut väldiga volymer vattenånga, som ombildas till moln i atmosfären och sedan sköljer djungeln i regn. Hälften av Amazonas nederbörd genereras under den egna väven — i vissa regioner tre fjärdedelar — och en vattenmolekyl som faller över regnskogen kretsar upp och ned i genomsnitt fem gånger innan den slutligen droppar ut över Atlanten. Här rymdes år 2007 en fjärdedel av världens alla arter, en tiondel av dess fotosyntetiska produktion, kolmängder som motsvarade mer än ett decenniums förbränning av fossila bränslen; enbart de brasilianska delarna innehöll vid samma tid nära 15 procent av världens samlade biomassa på land.

Som vi har sett får ökad koldioxidhalt *växterna att andas ut mindre ånga*. Djungeln blir torrare. Vatten fattas växtligheten, produktionstakten faller, skogen torkar ut ytterligare, mikroklimatet vacklar och samtidigt, från Atlanten, kan varma vindar strömma in. Det var det som hände sommaren 2005. I den värsta torkan på mer än ett sekel sjönk vattnet i Amazonas floder, lerbankar höjde sig, båtar strandade, fisk ruttnade i hettan. Förhoppningen att detta var ett undantag som infinner sig någon gång per sekel kom på skam när torkan upprepades redan påföljande sommar och så här ser, enligt allt mer samstämmig forskning, framtiden ut för Amazonas regnskog, klämd som den är mellan sin egen avtagande nederbörd och en allt varmare ocean.

Ungefär samtidigt arrangerade en grupp forskare en artificiell torka för att testa trädens gränser. Över en hektar i östra Amazonas spände de upp plastpaneler som avledde regnet innan det föll till marken; sedan studerades händelseutvecklingen från torn och diken och jämfördes med en fri hektar intill. Det visade sig att Amazonas träd kan stå ut med två års torka utan större besvär. De sträcker sina rötter djupare i marken och sänker takten i sin metabolism för att spara in vatten. Men ett tredje år blir för mycket. De högsta träden dör först, både i experimentet och i de verkliga torrperioder som drabbat Amazonas på senare år: det

betyder att markisen rullas in. Inget solskydd bevarar fukten vid marken, de varma strålarna kan ta sig direkt ner till de nedre etage där löven från de uttorkade träden samlas. Under det tredje året i forskarnas experiment betecknades den fria hektaren som lättantändlig i tio dagar, medan den täckta befann sig i samma tillstånd i tio veckor; den förvarade nu mindre än en tredjedel så mycket kol.

Om en brand utbryter ökar risken för en ny. Rök torkar ut omgivande skogspartier. Omedelbart efter branden faller träden än mer material, bränsle lagras på marken och torkas, nästa gång är eldslågorna än mer brutala i sin framfart samtidigt som chanserna minskar för att skogen ska kunna växa till sina forna höjder igen. Ju vanligare bränderna blir, desto vanligare blir bränderna.

Avgrundsscenariot är att påfrestningarna från värmen vid en viss punkt tippa ut Amazonas i en megahärd. De mer sårbara östra regionerna skulle, lyder prognosen, torka ut först, bryta vattenångans cykel och sprida fnösken västerut tills Amazonas i sin helhet är så försvagad att en enda total brand kan storma fram obehindrat. När träden ersatts av ett svartnat hygge av aska och rykande stubbar skulle sedan marken stekas under solen, tills världens mest praktfulla regnskog förvandlats till öken, eller — om det vill sig väl — till en savann av buskar och gräs.

Allt högre sannolikhet tillskrivs scenariot. Om människan fortsätter att släppa ut koldioxid i samma takt som nu, i vad som kallas ”business-as-usual”, beräknas medeltemperaturen i Amazonas stiga med mer än 9 grader under det tjugoförsta århundradet och bringa fotosyntesen på knä; nederbörden tros minska med 64 procent. I bästa fall kan regnskogen bestå till seklets mitt, men den kommer obönhörligen att förlora sin hållbarhet när vattenången — själva dess definitionskomponent — försvinner. De mest avancerade klimatmodellerna förutspår naken mark över Amazonas någon gång innan nästa sekelskifte.

”Låsanordningen har brutit samman”. Så kommenterade Deborah Clark, en av de främsta Amazonasexperterna, den situation som rådde redan sommaren 2006: det är fritt fram för atmosfären att återinkalla kol ur regnskogens förråd. Det är ett hot av ett helt annat slag än människans skogsavverkning, som i jämförelse liknar ett trubbigt gnagande i barken; efter århundraden av nedsågning har Amazonas fortfarande mest naggats i kanterna. En megahärd, däremot, kan uttradera regnskogen i ett slag. Redan 2005 var den yta som brann ned fem gånger större än den som avverkades.

Vid sidan om allt det bränsle som, i en sådan pågående framtid, kastas rakt ut i uppvärmningselden medför den minskade nederbördsproduktionen också mindre regn i andra världsdelar. Hälften av den vattenånga som genereras i Amazonas går i normalfall på export, till övriga Latinamerika, södra Afrika, Europa. Om den ställs in blir effekterna kännbara världen över.

Men inte heller i Amazonas är det endast den levande biomassans kol som riskerar att återföras till atmosfären. I marken pågår en analog process. När värmen stiger, och i synnerhet om solen strilar genom revorna i regnskogens väv, höjs temperaturen även i marken, en jordbastu slås på, det ryser i invånarna, mikroorganismerna: koldioxiden ångar ur hällen.

Samma sak sker i permafrosten. Permanent frost är en bur mot nedbrytning. Den nekar mikroorganismerna, syret och vattnet åtkomsten till kolet. Inte mindre än en fjärdedel av den norra hemisfärens areal upptas av permafrost — betrakta ytorna i norra Kanada, Ryssland, Alaska på en världskarta — och totalt inryms här *mer kol än i hela jordens atmosfär*. Om den i ett slag släpptes ut och oxiderades skulle dagens halt *fördubblas*. Den mest högoktaniga sänkan återfinns i norra Sibirien, vars tysta, frusna, stillastående isjord, som går under namnet ”yedoma”, utgör knappt åtta procent av den globala permafrosten men innehåller hälften av dess kol. Som vi redan nämnt är den — händelsevis första gången utforskad av Vladimir Vernadskij — en kvarleva, i ordets mest bokstavliga bemärkelse, från pleistocen, då hordar av



bisonoxar, mammuthar och vildhästar betade på stäppen innan människans jaktvanor och uppvärmningen vid istidens slut tillsammans utrotade dem. I nära 20 000 år har sedan organiskt material från ben och rötter och slamsor av växtlighet och djur suttit internerade i Sibirien, men på ett enda sekel — det tjugoförsta — kommer det enligt allt mer detaljerade beräkningar att försättas på fri fot när *frosten släpper*, marken töar, torv, myrar, mossar ställs i dagen, förmultning och nedbrytning tar fart när syret sveper in. Mikroorganismer regeras av temperaturen, och när den stiger väcks de till liv igen, som när Aslan andas på isstatyerna i *Narnia*; utan att vänta sätter de igång med att återföra kolet till atmosfären.

Temperaturhöjningen råkar vara särskilt kraftig hos permafrosten. Det beror inte minst på albedoeffekten av att snön och isen i norr drar sig tillbaka: jorden drar åt sig mer värme, snön och isen smälter mer, mer värme stannar i marken och så vidare, i en egenhändig spiral vars resultat är en lokal uppvärmning som löper fortare än det globala genomsnittet. Processen kan observeras i alla den norra hemisfärens permafrostområden. I Alaska steg medeltemperaturen med mellan 2 och 4 grader från 1880-talet till 1980-talet och med 3 grader från 1980-talet till 2005, snarlika siffror inrapporteras från Kanada — och från Sibirien.

År 2006 presenterade en grupp forskare resultatet av omfattande experiment på yedoma. De hade kapslat in bitar av isjorden i tuber, transporterat dem till laboratorierna i amerikanska universitet och töat upp innehållet. Det visade sig att kol med en ålder på mellan 21 000 och 24 000 år pustades ut ur tuberna efter bara några månader av plusgrader.

Omständigheterna vid frigivningen avgör vilken form kolet antar i atmosfären. Om marken torkar ut samtidigt som den tinar kan huvudfällan av mikroorganismer rusa in och bryta ned kolet till koldioxid, men om i stället vattnet från den smältande isen fyller ut jorden och bildar saggiga sjöar med det ogästvänliga namnet ”termokarst” uteblir syret. Då infinner sig i stället mikroorganismerna från kloakerna: pionjärerna, de första bakterierna, de som två miljarder år efter syrgasrevolutionen fortfarande är inställda på liv utan syre. De är metanogener, vilket betyder att de omvandlar kolet till *metan*. Denna process pågår *nu*, den kan iakttas, den kräver bara en uppvärmning som lyfter yedoman till -3 grader för att sätta igång. När isen smälter sjunker marken, marken dränks av vatten och vattnet tenderar att röra sig i sidled, rekrytera organiskt material från hålor i yedoman och samla ihop det utmed botten i en termokarst-sjö. Ett litet hål i isen ovanpå sjön räcker för att kolet ska *bubbla upp som metan*, 22 gånger mäktigare vid spärren än koldioxiden, och pelare av metanbubblor kan nu observeras från så gott som samtliga sjösystem i norra Sibirien: små svarta perforeringar i den vita isens marginaler. Kolet som kommer upp är från pleistocen, upp till 43 000 år gammalt. Mellan 1974 och 2000 accelererade bubblingen; metanutsläppen från norra Sibirien ökade med 58 procent.

Den permafrost som först ger upp sin sista suck är den som befinner sig närmast värmelinjen, några få grader från plus, ofta söder om polcirkeln. I delar av den kanadensiska provinsen Manitoba sjunker gränsen för permafrosten med 30 centimeter per år; träden viker sig som druckna efter att den frusna markens socklar har släppt. I lappländska myrar har metanutsläppen ökat med 47 procent sedan 1970. I vissa regioner av Himalaya har 36 procent av permafrosten redan töat bort, i Alaska hälften — denna delstat är nu en *aktiv kolkälla* — och sibirisk permafrost dras på samma sätt med, i synnerhet efter de varma somrar då *bränder* går genom taigan.

Detta är bara början. *Om människans utsläpp av koldioxid fortsätter enligt business-as-usual kommer 90 procent av världens permafrost att ha töat år 2100.* Rivningen av kolförvaret accelererar skarpt under 2000-talets första decennier. ”Vi drar ut sladden till frysen i norr. Allt som bevarats där kommer att börja ruttna”, som en forskare uttrycker det. Eller, som ett annat forskarlag skriver: ”den stora, alltjämt nedfrusna reservoaren av pleistocengammal kol i Sibirien är att betrakta som en potentiell tidsinställd bomb av metan.”

En annan konvertering av mark som väntar i uppvärmningens släptåg är ökenspridning. När öken ockuperar stäpp, savann eller odlingsmark så gott som uträddas jordens kapacitet för produktion av biomassa och det kol som sedan tidigare är nedsänkt görs fritt. Omkring 200 000 kvadratkilometer i norra Kina har ockuperats sedan 1950, i spåren av att särskilt vinter- och natt-temperaturer höjts: analys av jorden visar att den nu har kvar mindre än 10 procent av sin ursprungliga produktionskapacitet. Nästan 50 procent av markens organiska material har lämnat markens yta.

För närvarande belägrar den nordkinesiska öknen ytterligare 300 000 kvadratkilometer mark.

Men människans främsta återlösare så här långt har, som vi sett, inte varit sänkorna till land, utan de till havs. Till deras förfogande står, som vi erinrar oss, två pumpar, varav den kvantitativt mest betydande är lösningspumpen: koldioxidens automatiska upplösning som kolsyra i vatten. Den fortgår ständigt, så länge det finns mer koldioxid i atmosfären än i havsytan. Lösningspumpen strävar, med andra ord, efter *jämvikt* mellan luften och vattnet; halten av koldioxid i vattnet jämnas ut i relation till luften senast ett år efter att en obalans har uppstått. Men bara vid ytan. För att havet verkligen ska kunna svälja kolsyran måste den pressas ned i djupen, och det är en betydligt långsammare och trängre passage, allmänt kallad oceanernas ”flaskhals”. Syran i havsytan kan bara hålla samma takt som atmosfärens koldioxidhalt om vidaretransporten via flaskhalsen flyter smidigt, vilket i sin tur förutsätter att ytvattnet är *kallt* och *salt*: endast då har det tillräcklig densitet för att ta sig igenom. Men en av de första effekterna av att jordens medeltemperatur stiger är *att havsytan blir varmare*. Pressen från yta mot flaskhals avtar.

Dessutom rekapitulerar vi att havet sväljer mer kol i kyligare vatten och rapar i varmare. Ogillar du kolsyra? Ta ut läskan ur kylan, öppna den och ställ fram den i middagssolen: sakta lämnar syran flaskan, tills det inte längre finns några bubblor som kan spraka i din gom. Av detta följer en enkel slutsats. Generellt varmare havsytan betyder generellt *lägre takt i lösningspumpen*: mindre koldioxid tar sig ner i oceanens backar. Mer pyser ut. Hittills har dubbelt så mycket kol sväljts i haven runt Arktis och Antarktis som vid ekvatorn — men det är just här, vid de höga latituderna, som uppvärmningen nu är som mest intensiv. De motsatser som driver lösningspumpen genom världshaven är på väg att slätas ut.

Så höll oceanerna jämn takt med den ökade koldioxidhalten fram till slutet av 1900-talet, men sedan började en nedgång märkas. I norra Stilla havet, under observation från Hawaii, sjönk upptaget avsevärt mellan 1989 och 2001. I de södra delarna av världshaven tappade lösningspumpen fart från 1981 och framåt och hann inte längre med att trycka ner den ständigt stigande koldioxidhalten; starkare vindar — till följd av uppvärmningen — fick haven att rapa allt mer. Till detta ska läggas att även oceanernas kolsyretörst efterhand mattas, så att de blir allt trögare i sin mottagning av koldioxid från ovan ju mer de redan svalta.

Forskarnas fruktan är att delar av världshaven helt ska hoppa av från sin sänkfunktion någonstans längs seklets horisont.

Men hittills har alltså lösningspumpen arbetat för högtryck och sugit i sig 30 procent av den antropogena koldioxiden, och mer kolsyra i havet betyder surare hav, försurning, sjunkande ph-värde. Vad som pågår under trycket från den stigande koldioxidhalten är ingenting mindre än en total remix av oceanernas kemiska miljö. Om ph-fallet fortsätter som nu kommer det inom några århundraden att ha sjunkit till en nivå lägre än någon som registrerats i arkiven över de senaste 300 miljoner åren. Det får konsekvenser för havens liv. Plankton, flytande sniglar, foraminiferer och andra havsorganismer lagrar kolämnet kalciumkarbonat i sina kroppar, eller närmare bestämt: i sina hårda kroppsdelar, sina skal. Lagringen försvåras av försurning. Kalciumkarbonatet kan inte stelna om vattnet är för surt; i stället *löser skalen upp sig*. År 2005 visade ett forskarlag bilderna från en resa till framtiden: de hade tagit ett fartyg till havet nära Antarktis, fångat upp plankton av arten *Clio pyramidata* och sänkt ned dem i

bassänger med vatten av samma kemi som förväntas råda om koldioxidhalten fördubblas från den förindustriella utgångspunkten, upp till 560 miljondelar. Inom några timmar syntes vita repor i skalen. Inom 48 timmar var de upplösta. Tidigare hade man räknat med att skalupplösningen skulle sätta in först vid en *fyrdubbling* av halten, men de nya rönen pekar på att processen kan gripa omkring sig i världshaven inom 50 år om business-as-usual fortsätter.

Minst lika förödande för den biologiska pumpen är konsekvenserna av att haven skiktas, att flaskhalsen smalnar av, att strömmarnas cirkulation upp och ned i vattenkolumnen saktar in när ytan värms upp och lägger sig som en lätt bräda ovanpå det tunga, kalla vattnet i djupen. Också planktonen är beroende av ett högt flöde i havets inre mixer, som förutom kolsyra förflyttar och öser upp de näringsämnen som behövs för fotosyntes: kväve, fosfat, järn. När ytan värms upp hackar mixern. Havet ”stratifieras”. Resultatet kunde häpnadsväckande nog observeras från rymden redan i början av 2000-talet: från båtar syns inte skillnaden, men satelliter avläser varje nyansförskjutning i havsytans palett och fotograferade nu *en minskad produktivitet hos världens plankton från 1999 och framåt*. Fiskar försvinner från haven för att människor fiskar upp dem, men plankton exploateras inte kommersiellt; om deras närvaro plötsligt minskar måste det bero på en förändring i miljön. Mycket riktigt följde produktivitetens fall uppvärmningen av havsytan.

Vad som här står på spel är själva basen för den biogeokemiska cirkulationen av kol i haven.

Under tidigt 1990-tal återkallade biosfärens kolsänkor allt mer koldioxid från spärrarna mot den infraröda strålningen. Den luftburna andelen *föll*, främst till följd av ett jättelikt utbrott år 1991 i den filippinska vulkanen Pinatubo, som kastade ut så mycket stoftpartiklar i atmosfären att ett parasoll mot solstrålning vecklades ut och jordens medeltemperatur sjönk — tillfälligt. Inte många år dröjde innan huvudtendensen tog över igen.

En första anomali antecknades 1997. Efter bränderna på Indonesien steg koldioxidens luftburna andel. Det gav, som vi noterat, den största ökningen av koldioxidhalten på ett enda år, men rekordet varade bara till 2003, då torkan i Europa och USA och bränderna i Sibirien fick halten att hoppa upp mer än två miljondelar från ena året till det andra. Tendensen syns nu tydligt i observatoriet vid Mauna Lao: fortfarande sänks halten på sommarhalvåret, då fotosyntesen på norra hemisfären har högsäsong, men sedan 1990-talets mitt blir effekten något mindre för *varje sommar som går*.

Tecknet är här.

I motsats till den tro som kommer till uttryck i hypotesen om gödningseffektens vederkvickelse löser sig inte problemet av sig självt. Tvärtom: atmosfärens ökade koldioxidhalt utlöser av sig själv *en fallande tendens i sänkornas kapacitet att omhänderta det kol som människan släpper ut*. I synnerhet gäller det fotosyntesen på land. Den visar tydliga tecken på att svaja under kolet från den passiva cykeln, främst genom att fatta eld.

Faktum är att den koldioxid som människan släppt ut idag helt dominerar kolcykelns utveckling. Den har startat en spiral som nu rullar av sig själv: *från att ha varit behaglig sval blir biosfären allt hetare*. Eller, kanske mer precist uttryckt: den antropogena koldioxiden är en smällare som tänts på och kastats in i ett lager med fyrverkerier.

Sådana samband har satt det cartesianska paradigmet på svåra prov.

### ***Ur kapitlet ”En sandhög som rasar”, s 137-139***

Växelverkan är inte den enda beteendekod hos den globala uppvärmningen som förbryllar. Vi har anat en ombytlig läggning. Det klimat som förändras tycks ha en tendens till oväntade utbrott, till överslag som plötsligt välter sedan länge etablerade, lugna tillstånd; en liten retning tycks nog för att väcka odjur.

Tänk på skogsbranden. Asp, tall, svartgran står tryggt sedan decennier, eller rentav sekel, någonstans i Klippiga bergen. I år kommer våren och smälter bort snön en dag tidigare. Det gör ingen skillnad. Skogen mår som vanligt ändå. Nästa år kommer våren två dagar tidigare, en liten förändring som inte sätter några märkbara spår och det gör inte heller tre dagars tidigareläggning, eller ett par tiondelars Fahrenheit högre sommartemperatur, eller en halv veckas senare ankomst för vintersnön. Men om utvecklingen fortgår i samma riktning medför *ytterligare* en dags tidigare snösmältning, *ytterligare* en tiondel Fahrenheit i värme, *ytterligare* ett uteblivet regn att skogen *vid en viss punkt* frasar som tidningspapper och träffas av ett åskväder och fattar eld, lågorna omfamnar asp, tall, svartgran och på ett ögonblick kastar hela skogen om från att sänka till att släppa ut kol: en liten förändring lockar fram en ohygglig.

Själva orsaken till branden — uppvärmningen med sina olika manifestationer — är inte ny. Den har travats upp under lång tid, utan att något har hänt. Men en dag har de små tillsatserna lagrats på varandra till den grad att skogen vid ännu en liten påstötning spricker som en bubbla och själva dess funktion i kolcykeln, utövad i årtionden, byts ut: från sänka till källa. På samma sätt i Amazonas, där en extra brand i något hörn varken gör från eller till men där bränderna i ett visst läge kan mötas och omvandla hela regnskogen till någonting fullständigt annat. En tysk expert på taigan konstaterar att ”vid någon punkt, även om vi inte vet när, kan de sibiriska skogarna drabbas så hårt av påfrestningarna från värmen att de dör”.

Så här ska det inte gå till, enligt den mekaniska världsbilden. Där sker förändringar i jämn takt. För Descartes var det logiskt att se inte bara organismen som en maskin, utan också själva universum: all materia sattes i tidernas begynnelse noggrant samman av den Store Ingenjören, som skruvade upp den likt en klocka och sedan lämnade den att följa sina mekaniska lagar för sig själv.

En klocka går och går, men den kommer inte till dörren.

Descartes föreställning om universum som ett urverk utvecklades under 1700-talets sista decennier av James Hutton, en gentleman i Edinburgh, jordägare, god vän med två av det unga kapitalistiska produktionssättets nyckelfigurer: James Watt, känd som ångmaskinens upptäckare, och Adam Smith, den borgerliga nationalekonomins grundare, mest berömd för sin teori om hur marknaden regleras av en ”osynlig hand”. Till sin mission valde Hutton att beskriva *jorden som maskin* och, närmare bestämt, hur ”varaktighet och stabilitet anskaffats maskinen”. Han ville visa hur planeten fungerade pålitligt, utan kriser eller katastrofer. Jorden som den såg ut, med sina skiftande bergarter och landskap, sina flodsystem och dramatiska fjälltoppar, hade inte vecklats fram av vulkaner eller nedfallande objekt från himlen eller någon annan bankande slägga, utan av regnvatten, bränningar, rörelser i jordskorpan som förflöt och verkade så långsamt att de krävde den mest skärpta blick för att upptäckas; ”kaos och förvirring får inte föras in i naturens ordning.” Jorden kan inte ens åldras: ”tidens gång kan på intet sätt slita ut eller förstöra en maskin som konstruerats med så stor visdom”. Som Huttons kollega och popularisator John Playfair förklarade ”kan ingenting iakttas bortom den nuvarande ordningens fortsättning; inget latent frö av ondska hotar helheten med slutgiltig förstörelse, och rörelser som är så perfekta kan aldrig av sig själva ta slut”. Jorden som *perpetuum mobile* och därtill fulländad sådan: den bästa av alla möjliga planeter, omöjligen ett offer för krafter som lurar i dess inre. Som en följd av detta ”regelsystem av höjder och försänkningar, kullar och dalar, bäckar och floder” kan jorden bara, med Huttons egna ord, operera ”extremt långsamt”. Den är ingenting annat än en gigantisk klocka. Hutton förklarade sålunda att den enda riktiga metoden för att avläsa jordens historia och förflutna var att göra det här och nu: att identifiera den väldiga maskinens små sekundvisare och följa deras rörelser.

När vi undersöker nuvarande ting får vi data, från vilka vi kan resonera oss fram till det som har varit; och från det som faktiskt har varit får vi data för att sluta oss till vad som kommer att hända härafter. Utifrån antagandet om att naturens förehavanden är likformiga och jämna finner vi i

naturen en metod för att bestämma hur mycket tid som måste förflyta för produktionen av de händelser vars effekter vi ser.

För denna princip har Hutton adlats till den moderna geologins grundare. Han följdes av en engelsman som dubbats till det vetenskapliga förnuftets riddare: Charles Lyell. Några årtionden in på 1800-talet drog Lyell ut i strid mot sin rival på andra sidan kanalen, Georges Cuvier, en geolog som danats i franska revolutionens anda. Cuvier studerade jorden i dalgångarna runt Paris och fann att den bestod av olika skikt, ömsom ”krita” och ömsom ”slam”, skarpt åtskilda men lagrade ovanpå varandra. Det kunde inte förklaras på något annat sätt än att havsnivån under vissa perioder stigit våldsamt, och under andra lika våldsamt dragit sig tillbaka. Cuvier pekade även på de mammutkadaver som nyligen dragits fram ur frusna marker i norra Europa — oruttna! — och tog dem till intäkt för att denna art överfallits av en dödlig förändring i klimatet.

Sådana plötsliga förändringar kallade Cuviers *révolutions*.

Livet på jorden har ofta störts av fruktansvärda händelser. (...) Levande organismer har varit offren för katastrofer. Vissa har drunknat i störtfloder, andra har torkat ut när havsbotten plötsligt rest sig; deras arter har nått sitt eviga slut, och det enda de lämnat efter sig är spillror i klipporna som naturalisten svårligen förmår identifiera.

Mot denna franska ”katastrofism” sänkte nu Lyell sin engelska lans och red ut för principen om *gradualism*. Den kan enklast definieras som föreställningen att även de största fenomen skapas genom ackumulation av de mest vardagliga pyttfaktorerna; inte genom att den loja rytmen höjs, utan genom att den agerar över oerhörd tid. Jorden är i balans. Varje händelse i det förflutna kan förklaras med orsaker som är i verkan även idag, ty maskinen rullar i samma takt även över de mest svindlande geologiska tidsperioder: ”det har aldrig inträffat”, skrev Lyell, ”någon störning av de fysiska händelsernas uniforma ordning! Visserligen har — det kunde han inte gärna förneka — jordbävningar, vulkanutbrott, översvämningar och andra katastrofer ägt rum, men de har alltid varit *lokala*, alltid *ovanliga*, alltid *obetydliga* i sina effekter, medan de globala, vanliga och väldiga operationerna i jordens maskinsystem är diminutiva. De empiriska belegg för omkastningar i jordens äldre klimat som katastrofisterna fäste vikt vid avfärdade han som tecken på ”okunskap om naturens lagar, inte på revolutioner i hennes ekonomi”. Lyell förkastade allt tal om ”plötsliga och våldsamma revolutioner på jorden”, om ”allmänna katastrofer och en serie översvämningar”, om ”nedfrysningen av planeten, om den plötsliga utrotningen av hela raser av djur och växter och andra hypoteser som återupplivar den uråldriga andan av spekulationer...

*Forts s 147-151:*

Men viktigast är kanske allmängiltigheten. ”Vi måste överge vår föreställning om konstant förändring, makligt opererande över omärkliga grader, som det normala tillståndet för en entitet i utveckling”, skrev Gould. Sådant förutsätter att världen är friktionsfri, rentav tom. Om världen i stället är full av redan existerande fenomen är det högst troligt att ett *nytt* fenomen stöter på ett bromsande motstånd, som först *vid en viss punkt* ger vika så att nyheten får sitt genombrott. Gould förklarade att

synsättet med de språngvisa förändringarna oftare och på ett riktigare sätt än konkurrenterna kan kartlägga takten i de biologiska och geologiska förändringarna — om inte annat så därför att *stabla komplexa system är både vanliga och mycket motståndskraftiga mot förändringar*. Som min brittiske kollega, geologen Derel V Anger, skriver till stöd för den språngvisa synen på de geologiska förändringarna: 'Historien för varje enskild del av jorden består, liksom livet för en soldat, av långa perioder av tråkighet och korta perioder av fasa.'

Med den avbrutna jämvikten gjorde tankefiguren om kvantitetens överslag i kvalitet en framstöt djupt in i den moderna naturvetenskapen. Den var en av flera murbräckor — vi ska återkomma till andra — som med start i början av 1970-talet slog upp gapande hål i gradua-

lismen: ut klev forskare, ovana vid det skarpa ljuset. Trevande sökte de efter termer och analysmetoder för att ringa in det slags förändringar, den form av kausalitet som så länge stängts ute.

Men om den förhärskande vetenskapen tills nyligen saknat ord för kvalitativa språng är det vardagliga språket desto rikare på idiom: vi talar om droppen som får bägaren att rinna över. Vi talar om den tändande gnistan, om ketchup-effekten. Vi säger att en god vän är nära bristningsgränsen, att missnöjet på en arbetsplats befinner sig vid kokpunkten, att hon är nära att gå in i väggen medan det dröjde länge för honom innan polletten trillade ned och för mig blev det vändpunkten, ”det hänger på en skör tråd”, ”nu är det nog”, ”det här är bara för mycket”. På engelska har vi *the tipping point, that put the lid on it, the straw that broke the camel's back, this country is on the brink* och en rad andra ordstäv; troligen återfinns liknande uttryck i varenda mänskligt språk.

Den franske matematikern Rene Thom föreslog i början av 1970-talet att man helt enkelt borde tala om ”katastrofer”. Om ett stabilt system ställs under påfrestningar kommer, resonerade han, orsaken inte att ta sig uttryck i en proportionerlig verkan. Systemet kommer att streta emot och förbli sig likt in i det sista. Under tiden stegras påfrestningen — tills en katastrofal justering inträffar och ett nytt stabilt system uppkommer. I fysiken talar man om ”fas-övergångar” och ger Hegels omslag från flytande vatten till is eller ånga som standard-exempel. Inom den nya termodynamik som utvecklades på 1970-talet använder man hellre ”bifurkationspunkter” som namn på de instabila korsningar där en aldrig så liten kraft kan knuffa ett system in på en ny väg, medan ekologer sedan några år studerar de ”regimskiften” där små långsamt verkande variabler plötsligt kastar hela ekosystemet över ända.

Ytterligare ett allmänt begrepp, som måhända röjer vetenskapens känsla av att det här är fråga om något lätt monstros, är ”icke-linjaritet”. Klockans cirklar speedas upp, mekanikens ekvationer sväller: ett system är icke-linjärt när ”en given påverkan får en oproportionerlig reaktion”. Det är ett icke-, en avvikelse från hur tingen normalt betar sig.

Makten i den icke-linjära matematiken är välkänd sedan tidigare. Den återberättas i en kinesisk legend om hur en kejsare spelar schack med sin konkubin. Hon ber ödmjukt att få en hög ris om hon vinner partiet. Hon vill ha ett riskorn för den första rutan på schackbrädet, två för den andra rutan, fyra för den tredje, sedan åtta, sexton, trettiotvå och så vidare. Kejsaren godtar roat hennes begäran, förlorar partiet och upptäcker att han inte äger tillräckligt med ris för att betala skulden; den intellektuellt överlägsna konkubinen blir kejsarinna och kejsaren munk. Det vi är ute efter är nära besläktat med denna logik, men det tycks avvika på en punkt från den expanderande rishögen. Tänk igen på vår skog i Klippiga bergen: den fattar eld när blixten slår ner och omvandlas från källa till sänka i ett förlopp som inte håller ihop från början till slutet, varken gradvis eller med exponentiell hastighet, utan *knäcks på mitten*.

Hegel kallade detta för ”nodlinjen”. Nodlinjen skär den kvantitativa förändringens linje. På dess andra sida uppträder den nya kvaliteten; när vi säger att omslaget sker ”vid en viss punkt” är det nodlinjen vi avser. För vattnet på pannan är nodlinjen under normaltryck 100 grader Celsius. 47 grader är nodlinjen för flercelliga organismers värmeterolerans. Det finns ett visst värde av vattenbrist, uttryckt som ”~0,4 i relativt utvinningsbart vatten”, där en växt faller offer för torkan, stänger sina klyvöppningar och suspenderar den foto-syntetiska produktionen. Varje människa som upplevt en orgasm vet instinktivt vad en nodlinje är. ”Avgörande förändringar i våra liv”, skriver Stephen Jay Gould, ”äger oftare rum som snabba övergångar än som gradvis tillökning”.

Uppenbarligen rör det sig här om en närmast obegränsad mängd företeelser. Har de över huvud taget något gemensamt? Och vilket av alla namn som föreslagits åt dem ska vi i så fall välja? Det förefaller som det vi är ute efter verkligen skiljer sig från det som går och går och aldrig kommer till dörren, från maskinen som står på, från tåget som rullar och fågeln som

flyger från en punkt till en annan och mängder av andra ting, både artefakter och naturliga, som när de en gång satts i rörelse följer en slags räls och skiftar läge men inte tillstånd eller väsen. Men lika mycket skiljer det sig från gradvisa, dröjande metamorfoser, som — för att ta ett klassiskt filosofiskt exempel — när en gubbe blir skallig. Vad vi talar om här är processer som påbörjas och fortsätter men möter något slags *tröghet* i det redan existerande, varpå en motsättning etableras, krafterna prövas mot varandra tills — vid en viss linje — det gamla ger efter. Linjen garanterar att orsak och verkan är två olika storheter som inte går i fas med varandra; *före* linjen får orsaken ringa verkan om ens någon alls, vid linjen ger samma orsak i ytterligare en liten mängd omstörtande effekter.

I enlighet med principen om att kalla ett hjul som redan har upptäckts för hjul och inte rundskiva ska vi hålla fast vid Hegels ”nodlinje” för att beteckna denna linje.

Men vad är det som händer vid nodlinjen? Ta den kambriska explosionen. Efter att två barriärer för evolution av flercelliga organismer — alltför låg syrehalt, alltför hög värme — till slut, omkring tre miljarder år efter det första livets uppkomst, hade röjts undan realiserades de vilande genetiska potentialerna. Det var inte följden av någon långsam Darwinsk anpassningskonkurrens, utan av att en nodlinje överskreds, varefter organismer uppenbarade sig på en högre nivå, med kvaliteter som *inte existerade på den lägre nivån*.

Nodlinjen var födelseögonblicket för emergens.

Detsamma gäller syrgasrevolutionen. Längre framstod den som en gåta. Varför dröjde det så lång tid från blågrönalgernas uppfinning av fotosyntesen (för 3,5 miljarder år sedan) till den puls då atmosfärens sammansättning kastades om (för 2,3 miljarder år sedan)? Varför genererade inte fotosyntesen i stället en svagt stigande kurva av ökad syrehalt, varför förblev den resultatlös innan atmosfären plötsligt — i geologisk tid — blev syremättad? Gåtan löstes av tre forskare år 2006; fallet är instruktivt för nodlinjernas roll i biosfärens historia. Efter att fotosyntesens hjul börjat rulla samlades syrgas i vad som kallas ”syreoaser”, men som lättare kan föreställas som syrefyllda luftkupor tätt över de vattenskikt där blågrönalgernas produktivitet var som störst. En obetydlig ökning av atmosfärens syrehalt ägde rum, i omedelbar anslutning till produktionsplatserna. Man kunde nu vänta sig att fotosyntesen, genom att bara rulla på som vanligt över årmiljonerna, sakta skulle fylla på med mer syre. I stället tog det stopp.

Det fanns en barriär för syrgasreformer. Längre upp, ovanför kuporna, revs syret bort ur atmosfären. Över denna tidiga jord strålade nämligen ultravioletter utan att stöta på något hinder, och när sådana skarpa strålar får tag i syremolekyler förbrukar de dem genast, genom att utlösa en kemisk reaktion med en annan gas: metan. Den var välrepresenterad i denna tidiga atmosfär, utandad, som vi minns, av metanogenerna, blågrönalgernas föregångare. Utan skydd mot de ultraviolettera strålarna försvann alltså syret i en tvångsreaktion med metan så fort det kom ovanför kuporna, och ett stabilt, syrefattigt status quo bibehölls, trots fotosyntesen, fram till för 2,3 miljarder år sedan — då nodlinjen spräcktes. När blågrönalgerna hade producerat tillräckligt mycket syre — eller snarare: när tillräckligt mycket kol hade begravs i litosfären — blev kuporna så kraftiga att de kunde stå emot reaktionstrycket från de ultraviolettera strålarna och metanet. Syret reste sig från vattenytan, allt högre upp i troposfären, där atomerna grupperade om sig till sin triangelmolekyl: ozon. Det första troposfäriska ozonlagret hade bildats. Inflödet av ultraviolettera solstrålar motades och *i ett slag* avbröts reaktionerna med metanet, jordens atmosfär hade begåvats med en övre kupa, blågrönalgernas syre kunde strömma ut genom atmosfären och förstärka ozonlagret så att ännu mer fritt syre kunde strömma ut ...

På ett geologiskt ögonblick hoppade så atmosfären från syrelös till syrefylld sammansättning, i den första revolutionen. Det kan ha räckt med att begravningen av organiskt material ökade med så lite som tre procent. En sådan andel kan inte spåras idag: när atmosfären väl befann

sig vid nodlinjen var den sista avgörande orsaken så liten att den omöjliga kunde sätta sin signatur i kolcykelns urkunder. Existensen av en nodlinje, en barriär — de kemiska reaktioner som rev bort syret så länge ett ozonlager saknades garanterade att påfyllningen av syre i atmosfären först var så olidligt långsam att den knappt existerade och sedan så våldsamt, gåtfullt snabb. (Nodlinjens exakta uttryck skrivs här: vid 10-5 av dagens syrenivå produceras tillräckligt med ozon för att ett troposfäriskt ozonlager ska uppstå.)

De tre forskarnas slutsats löd: ”Jordens historia har karaktäriserats av en serie avgörande övergångar, åtskilda av långa perioder av relativ stabilitet.” Biosfären är en bok där varje nytt kapitel skrivits genom kvantitetens övergång i kvalitet, som i det första livets uppkomst, uppfinnningen av fotosyntesen, syrgasrevolutionen, den kambriska explosionen, bildningen av nya arter genom avbruten jämvikt, kapitel efter kapitel. I samtliga fall rör det sig här om emergens. Kvantiteter som ansamlas blir i ett visst skede havande med något annat, med en ny totalitet, men omslaget dit sker i *språng*. Det är sådana omslag som traditionellt har lyfts fram av tänkare i den dialektiska traditionen, i metaforer som ”stegen” eller ”trappan”, där de nya kvaliteterna inträder på nästa avsnitt.

Men de är bara den ena klassen av omslag. Där finns också en annan. Där finns droppen och bägaren, bristningsgränsen och den sköra tråden. Djuret som dör över 47 grader Celsius tar inte ett språng till en högre nivå. Växten som torkar ihop ger inte upphov till nya kvaliteter.

Den som klättrar uppåt kan också hasa nedåt, trilla i stup, falla från avsnitt till avsnitt.

Det var en grupp nyfikna fysiker som i slutet av 1980-talet och början av 90-talet råkade komma över lagarna för den andra klassens omslag. De bildade ett internationellt forskarkollektiv runt den danske fysikern Per Bak, senare äktenskapligt förenad med en av sina mest framstående kollegor, Maya Paczusi. I fikarum, laboratorier och konferenssalor utvecklade de en teori

### ***Hela kapitlet ”Kritiska lägen”, s 159-163***

I den andra generationens modeller över självorganiserad kritiskhet, efter den arketyppiska sandhögen, är ingen populärare än skogsbranden. När en skog är ny på jorden och består av glest sly och späda ungräd på behörigt avstånd från varandra är risken liten för att en brand ska sprida sig. Men när den gröna elden har verkat långsamt och stadigt över tiden är skogen tätbefolkad, grannarna är instuckna i varandra och det räcker att *ett* träd fattar eld för att alla ska göra det: varje träd växer med varje annat och brinner med varje annat. En cigarettfimp slängd från bilfönstret kan förinta skogen som helhet; effekten blir varken större eller mindre än om en dunk bensin hälls ut i skogskanten och en fackla kastas in.

Bränder är, som vi redan konstaterat, en naturlig del av skogarnas liv, men mot slutet av 1900-talet blev de allt våldsammare. Den första förklaringen, som präglade fysikernas tidiga modeller, var att skogsvårdsmyndigheter med överdriven nit hade släckt minsta antydning till brand. Eftersom det aldrig fick brinna i skogarna, löd resonemanget, lagrades enorma mängder biomassa till en veritabel vedstapel, och när en brand väl bröt ut hade den så mycket att ta i att den slet sig från myndigheterna i en oreglerlig utlevelse.

Det är en faktor i brandstatistikens utveckling. Där finns också en annan, som forskningen på senare år vaknat till: uppvärmningen. Oavsett myndigheternas skötsel filosofi lagras nu uppvärmningen potentiell energi i jordens skogar, från Indonesien till Kalifornien; under förlängda somrar preparerar hetta och torka det organiska materialet till allt större brännbarhet, lättantändlighet. Skogarna når, under uppvärmningens sakta stekande sol, ett tillstånd av självorganiserad kritiskhet. Under nodlinjen kan bränderna fortfarande vara begränsade, men *vid* den är risken för infernon överhängande, för bränder som blåser ur sig den orsak som ackumulerats över lång tid: här har genomsnitt, normalfördelning, linjära beräkningar föga



betydelse. Skogen kan vara försvunnen från en dag till en annan. Försvinnandet kan, i all praktisk mening, vara irreversibelt; har skogen väl förvandlats till ett svart fält av rykande stumpar kan det krävas hundratals år för att den ska återuppstå, om den inte i stället — som i prognosen för Amazonas — växer upp som ett annat slags ekosystem. I en uppvärmd skog ökar en brand risken för nästa, som ökar risken för nästa, men efter kataklysmen tar det slut. Megabränder kan inte fortsätta för evigt när bränslet väl har förtärts. I ett längre tidsperspektiv rör det sig här om ett *övergångsfenomen*, en engångshändelse på väg från pyramidtoppen till bordsskivan, ett skred pådrivet av ett energiöverskott och sedan är det över.

En liknande logik kan iakttas i permafrosten. ”Permafrost utgör ett komplext, integrerat svar på energibalansen vid jordens yta”, skriver en forskare: ”permafrosten är dynamisk, och dess distribution, tjockhet och sammansättning har varierat kraftigt över geologisk tid: Hittills under holocen har frosten fungerat som en barriär för det organiska materialet. Nodlinjen är uppenbar. ”När jordens temperatur stiger till nära 0° C börjar isen i marken att smälta. Inom 50 år har nästan allt fruset vatten blivit flytande. Utan isen som barriär sker avrinningen av vattnet genom markkolumnen enklare”, med två forskares ord. Ihållande värme eller uppmjukande regn fungerar här som de droppande sandkornen som försätter permafrosten i tillstånd av självorganiserad kritiskhet, tills skreden kommer. De är, återigen, ett övergångsfenomen; när det organiska materialet väl har glidit ut mellan markens fingrar kan det inte fångas in igen.

Gabriella Walker, vetenskapsjournalist på *Nature* och specialist på is: ”Några få verkligt heta somrar kan bryta igenom isbarriären.” Ytterligare en forskare: ”Det är svårt att driva permafrosten över tröskeln till tö. Men när den väl har tippats över går den av sig själv.”

Nodlinjerna tycks rentav vara allestädes närvarande i den globala uppvärmningen. Det förefaller som om återkopplingarna vid varje avsnitt i sina spiraler måste överskrida en nodlinje.

Detta har varit en sen upptäckt för klimatvetenskapen. I den hittills mest ingående krönikan, *The Discovery of Global Warming*, skildrar Spencer Weart de barriärer som länge spärrade vägen för Svante Arrhenius hypotes, däribland föreställningen om Naturens Balans. Vid Arrhenius tid betraktade vetenskapen — han bar själv dess glasögon — naturen som stabil, harmonisk, ytterligt aktsam och dröjande i alla förändringar. Om något ingav fruktan var det kylans återkomst, ty norra Europa hade trots allt bevisligen täckts av is tills alldeles nyss i den geologiska historien. Så sent som 1976 tillkännagav *Business Week* att ”den dominerande skolan [inom klimatforskningen] hävdar att världen blir kallare”, och några få domedagsröster menade rentav att människan genom sina utsläpp av sotpartiklar blockerade instrålningen av solljus och bringade en förtida istids olycka över sig. Sådana scenarier avfärdades i allmänhet, som av generalsekreteraren för Storbritanniens prestige-fyllda Meteorological Office i mitten av 1970-talet: ”klimatsystemet är så robust att människan har lång väg kvar att gå innan hennes inflytande blir så stort att det kan orsaka allvarliga avvikelser”. Också Arrhenius, minns vi, såg det som omöjligt för människan att driva in jorden i en uppvärmning med mindre än ett par tusen år av konstanta utsläpp.”

Klimatet *non facit saltum* [ gör inga språng ]

Under sent 1960-tal, skriver Weart, ”fortsatte många experter att tro att det var ren spekulatation att föreställa sig att hela världens klimat skulle kunna förändras på mindre än ett tusen år eller liknande’: I IPCC:s andra rapport från år 1995 förpassades risken för ”oväntade, omfattande och snabba förändringar av klimatsystemet” till en bisats — uppvärmningen var en snigel — och åtta år senare, år 2003, varnade ett klimatvetarkollektiv för att ”nästan all forskning hittills har utgått från scenarier med långsamma och gradvisa förändringar”.

Vi ska se att gradualismen än idag kan sticka huvuden i sanden.

Men mot slutet av 1900-talet, i en process som är påfallande analog med den inom evolutionsbiologin, banade sig nya klimatvetenskapliga rön väg genom denna ”fördom i den västerländska tanken”, för att tala med Gould. Från flera håll sprack verkligheten igenom.

Om forskare blev beredda att skänka en tanke åt att det globala klimatet skulle kunna förändras avsevärt inom loppet av bara ett århundrade berodde det på att pusslets bitar tycktes passa bättre och bättre ihop. Plötsliga krängningar hade envist framträtt ur de rudimentära väder- och klimatmodeller som utvecklats på 1950- och 60-talen. (...) Forskarna skulle ha kunnat avfärda modellerna som alltför grova för att kunna säga något pålitligt — men historiska data visade att föreställningen om en radikal instabilitet i klimatet när allt kom omkring inte var absurd. (...) Mars och Venus, ökat sotdis och flygplansmoln, katastrofal torka, fluktuerande lager av is och mull längs havsstränderna, datakalkyler över planeternas omlopp, energibudgetar och kollapsande istäcken: allt detta berättade om klimatsystem med benägenhet för fruktansvärda omslag. Varje berättelse — bisarr i sig själv — framstod som mer rimlig i ljuset av de andra.

Under i synnerhet det senaste decenniet har en livaktig forskning om *abrupta klimatförändringar* sprungit fram. Där talar man om ”trösklar”:

I tekniska termer inträffar en abrupt klimatförändring när klimatsystemet passerar någon tröskel, vilket utlöser övergången till ett annat tillstånd i en takt som bestäms av klimatsystemet självt och som är högre än den ursprungliga orsaken: Även en långsam påfrestning kan utlösa en abrupt förändring, och påfrestningen kan mycket väl vara kaotisk och så liten att den är omöjlig att upptäcka.

Eller: ”Den sammantagna effekten av klimatförändringar och andra mänskliga störningar ger avgörande förändringar i ekosystemen [på land] som tycks äga rum abrupt när en kritisk tröskel överträds.”

Som vi ser är innebörden av ”tröskel” närmast identisk med nodlinjens, men tröskel kan, åtminstone på svenska, vara en lätt missvisande metafor. En tröskel är något man aktivt, medvetet måste *höja sig över*, lyfta foten för att passera, men det som åsyftas här är den punkt där ett system inte tål ytterligare addition av en liten påfrestning. Vi kan därför se ”tröskel” och ”nodlinje” som väsentligen utbytbara men föredra den senare, mer neutrala termen.

Det som kommer efteråt kan vi kalla *klimatskred*.

Vad gäller just teorin om självorganiserad kritiskhet har klimatforskningen varit ovanligt sen med att ta den till sig: den första högprofilerade studien publicerades 2007. Det har suttit långt inne hos klimatforskare att analysera långsiktiga förändringar som tvära kast, liksom i dagsprognosen från en fjällvädersmeteorolog, och de forskare som velat tillämpa teorin — den idag längst utvecklade för analys av abrupta förändringar i naturliga system — har hävdade att just de discipliner som studerar klimatet utmärker sig för särskilt rigorös gradualism.

Men självorganiserad kritiskhet är det stadium där en uppvärmd biosfär står och väger.

Vi ska fortsätta att använda oss av modellen, inte som allegori eller analogi, utan som teoretiskt analysverktyg som kan bidra till att förklara vart uppvärmningen driver oss.

Utgångspunkten är enkel. Allt börjar med solen, vars energi är den primära variabel som betingar biosfären. Den har inte höjts av ”naturliga variationer”, men väl av upprustningen av spärrarna mot den infraröda strålningen: ett överskott av energi har ackumulerats. Detta överskott kan endast vara under en, i geologisk skala, begränsad tid; jorden måste återställa sin balans till rymden, så att den sänder ut lika mycket energi som den får in. Men under tiden *driver överskottet en uppvärmning av jorden*, en omställning av biosfärens processer på vägen mot ett en ny balans. Övergångsperioden sträcks ut och målet för omställningen skjuts fram: trögheten i havens inre mixer gör att extravärme under lång tid magasineras i ytskikten innan den fördelas ut i biosfären, medan människans fortsatta koldioxidutsläpp garanterar att överskottet ständigt fylls på.

Liksom i sandhögen lagras och stegras i biosfären en potentiell energi. När delar av den realiserar stiger medeltemperaturen, över år och decennier som följer på varandra, men denna höjda medeltemperatur utlöser återkoppling-ar och tenderar därmed att i sig förlänga processen genom att ytterligare spä på energiöverskottet: en drivkraft ur drivkraften. Detsamma gäller drivmedlet, själva koldioxiden. Både temperatur och koldioxid står i maximalt interaktiva relationer till livet på jorden; när de höjs når signalerna ut överallt och utlöser av egen kraft nya processer som spirallikt rullar ut ur de redan pågående. Följden blir att sandhögen reser sig allt högre, allt spetsigare, än så länge sammanhållen av den etablerade ordningen, av motståndskraften i de biogeokemiska cyklernas mönster:

Biosfären organiserar sig själv kritiskt.

I denna situation inträffar klimatskred av alla storlekar. De följer sin egen lokala logik; biosfären är en ultrakomplex totalitet som, likt den största tänkbara babusjka-docka, rymmer oräknade totaliteter. Konkreta faktorer styr vad som sker från fall till fall, med nodlinjer som ritats upp i det specifika ekosystemet, men ur biosfärens perspektiv är processen en och densamma.

Ett stigande överskott av energi rasar ut över jorden.