

Artikelförfattare **BO NORDELL**Sysselsättning **Professor, avdelningen för arkitektur och infrastruktur, Luleå tekniska universitet**Kontakt **bon@itu.se**

Värmeutsläpp och global uppvärmning

Den globala uppvärmningen bör betraktas som den energi som lagrats på Jorden. Med det synsättet står det klart att 74 procent av den globala uppvärmningen orsakats av värmeutsläpp, och att kärnkraft inte är lösningen utan en del av problemet.

JORDENS MEDELTEMPERATUR i luft, över hav och land, var år 1880 15,9°C respektive 8,6°C, medan Jordens medeltemperatur var 13,6°C. År 2000 hade temperaturerna stigit till 16,4°C respektive 9,8°C med en global medeltemperatur av 14,3°C, det vill säga en temperaturökning på 0,7°C under 120 år [1].

Luftens temperaturökning är ett dåligt mått på global uppvärmning [2, 3]. Om man däremot betraktar den som den värme som lagrats i luft, mark och vatten sedan 1880 kan dess omfattning förstås. Under samma tidsperiod har användningen av fossila bränslen och kärnkraft orsakat (netto)värmeutsläpp eller termiska föroreningar på Jorden. Dessa måste bidra till den globala uppvärmningen.

Här görs en uppskattning av den globala uppvärmningens storlek, det vill säga hur mycket värme som lagrats på Jorden, samt hur stora nettovärmeutsläpp som gjorts under samma tid.

Ett nyckeltal att hålla i minnet vid fortsatt läsning är att den globala energianvändningen under år 2000 var cirka 10^{14} kWh, se figur 1.

Värmelagring i luft

Värmelagringen i luft visar sig både som temperaturökning och ökat fukthinnehåll. De olika lufttemperaturerna över hav och land beaktas genom separata beräkningar. Den totala värmemängd som lagrats i luft 1880–2000 är $5,0 \cdot 10^{14}$ kWh varav 44,6 procent finns över markytan.

Värmelagring i mark

Med den ökande lufttemperaturen värms även marken. Den stigande marktemperaturen mellan 1880 och 2000 motsvarar en värmeförsörjning av $23,4 \text{ kWh m}^{-2}$. Markuppvärmningen berör inte områden med ständigt snö- och istäckt mark utan dessa kommer i stället med under energi för smältning av is. Den del av Jordens yta som påverkas av markuppvärmning är $1,02 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$, vilket ger att den totala värmemängden som lagrats i mark uppgår till $23,9 \cdot 10^{14} \text{ kWh}$.

Värmelagring i vatten

Värmelagringen i havsvatten har bland annat uppskattats från den ökande havsvattennivån. Denna är delvis ett resultat av vatten från smältande landisar och vattnets volymutvidgning vid uppvärmning.

Havsnivån har stigit relativt linjärt med totalt 0,18 meter åren 1880–2000 [4], vilket visar att den inte endast beror på ökande energianvändning (figur 1). Nivåhöjningen har främst orsakats av till exempel utdikning av våtmarker, avskogning och ökad sedimentation på havsbotten.

Smältning av små glaciärer och isar på Grönland uppskattas ha orsakat en nivåhöjning av cirka 0,05 meter till år 2000 [5]. Den största osäkerheten gäller om ismassorna på Antarktis ökar eller minskar. Här antas ingen smältning ha skett fram till år 2000. Den energi som krävs för att smälta landisar och permafrost, motsvarande 0,05 meter ökning av havets yta, är $16,8 \cdot 10^{14} \text{ kWh}$.

Uppgifter om havsvattnets temperaturökning varierar kraftigt. Den nuvarande

volymutvidgningen antas vara 0,5 mm per år [6, 7] men det finns även aktuella studier som rapporterar att havsvattnet kylts under flera år [8, 9]. De storskaliga temperatursvängningar med cirka 15 års cykel som observerats mellan 1955 and 1995⁷ förklaras med att varma havsvattenströmmar smälter is vid polerna varför kallare vatten cykliskt återförs till haven. Medelvärden av dessa temperaturfluktuationer ger en termisk expansion av endast 0,02 mm år, det vill säga en total höjning av havsytans nivå med 1 mm under de senaste 50 åren. Motsvarande termiska expansion innan dess (1880–1955) antas försumbar. Den värmemängd som krävs för att ge 1 mm nivåhöjning av haven är $21,6 \cdot 10^{14} \text{ kWh}$.

Smältning av flytande havsis höjer vattennivån försumbart lite [10]. Havsisarnas totala area är $19,9 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$ varav 75 procent finns på norra halvklotet. Under 1980–2000 minskade isens yta årligen med $0,38\% \pm 0,02\%$ på det norra halvklotet, och $0,02\% \pm 0,48\%$ på det södra halvklotet [11]. Under samma tid förtunnades den tre meter tjocka isen 4 procent [12]. Den totala avsmältningen av havsis under 1880–2000 uppskattas till 10 000 km^3 , vilket kräver $8,5 \cdot 10^{14} \text{ kWh}$ om den smälta isen antas vara kärnis.

Sammanfattningsvis har $46,9 \cdot 10^{14} \text{ kWh}$ lagrats i haven 1880–2000, genom smältning av is och uppvärmning av vatten.

Total värmelagring i luft, mark och vatten

Den totala värmelagringen på Jorden under åren 1880–2000 uppgår till $75,8 \cdot 10^{14} \text{ kWh}$, vilket är den globala uppvärmningens stor-

lek. Denna värme fördelar sig på luft (6,6%), mark (31,5%), vatten (28,5%), samt smältning av land- och havsis (33,3%), enligt figur 2. Noterbart är att den värme som lagrats i luft endast motsvarar 6,6 procent av den globala uppvärmningen.

Nettovärmeutsläpp

Med nettovärme avses värme som normalt inte finns på Jorden, det vill säga ett värmestillskott över det normala. Användning av kol, gas, olja och även kärnkraft resulterar följaktligen i nettovärme. Däremot ger inte förnyelsebar energi någon nettovärme på grund av att dess energi blir till värme oberoende om vi utvinner den eller ej.

Jorden har flera naturliga nettovärme-källor av varierande storlek och förekomst. Hit hör bland annat jordbävningar, vulkanutbrott och meteoritnedfall. De flesta är små och ofta förekommande och dessa anses därför inte tillföra nettovärme.

Utsläpp av icke-naturlig nettovärme uppkommer främst vid användning av fossila bränslen och kärnkraft. Värme från kärnvapentester, och konventionella bomber tillför också nettovärme. Även biobränsle ger nettovärme på Jorden om förbrukningen är större än dess tillväxt.

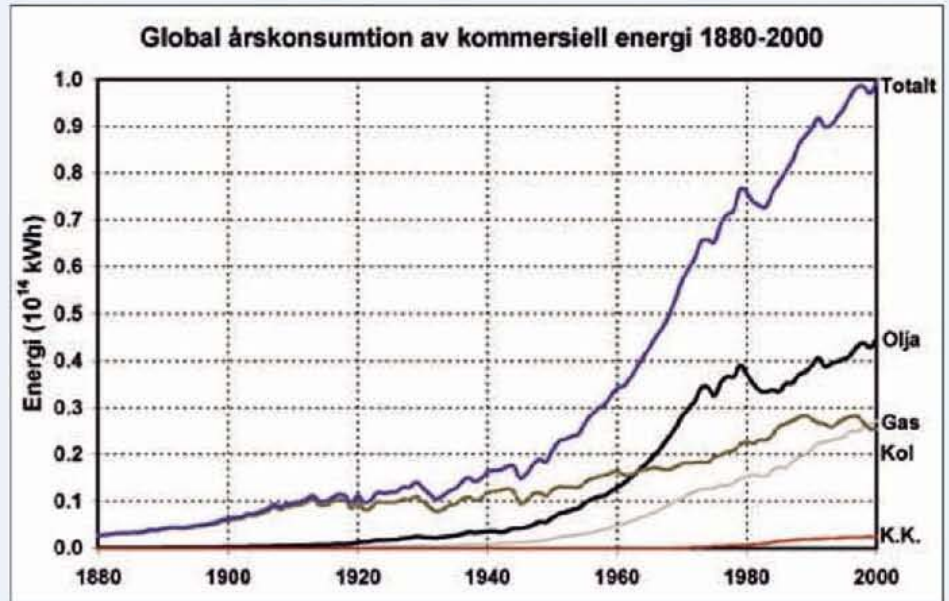
Global energianvändning: Världens kommersiella energianvändning av icke-förnyelsebar energi 1880–2000 [13, 14], se figur 1, har ökat stadigt och var mindre än föregående år endast under 1975 och 1981. Världens kommersiella energianvändning 1880–2000 var $38,5 \cdot 10^{14}$ kWh. All denna energi blir ett nettovärmetillskott.

Vulkanutbrott: Energi från vulkanutbrott frigörs från ett flertal källor av vilka den mest betydande är värmen i lavaflödet [15]. Här medtas endast ett fåtal större utbrott under de senaste 120 åren vilka gett ett värmestillskott av $3,95 \cdot 10^{14}$ kWh.

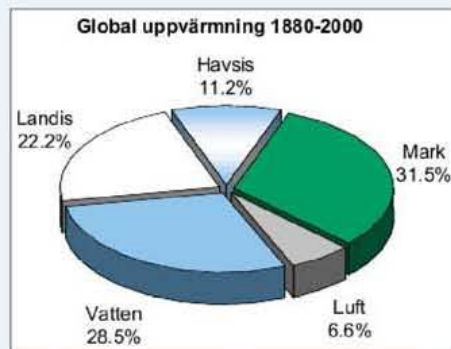
Jordbävningar: Den energi som frigörs vid jordbävningar blir också värme. Årligen inträffar cirka 1,4 miljoner jordbävningar på Jorden. De flesta är små och betraktas som normala, medan ett fåtal extrema utbrott räknas med i denna nettovärmeuppskattning [16, 17]. Den totalt frigjorda värmen från sådana jordbävningar 1880–2000 resulterade i $2,7 \cdot 10^{14}$ kWh nettovärme.

Meteoritnedfall: Meteoritnedfallen sedan 1880 har varit relativt små och är försumbara för denna nettovärmeuppskattning. Det bör dock noteras att det under geologiska tidsskalor förekommit meteoritnedfall vars energi motsvarar hundratals år av global energianvändning.

Kärnvapentester: Mer än 2 000 kärnvapentester genomfördes under tiden 1945–1998. Trots att sprängningarna hade stor styrka blev värmeutsläppen små på grund av deras korta varaktighet. Den totala värmemängden från genomförda tester [18] var $6,64 \cdot 10^{12}$ kWh.



Figur 1: Global årlig konsumtion av kommersiell energi, åren 1880–2000 [13].



Figur 2: Den globala uppvärmningen är $75,8 \cdot 10^{14}$ kWh, det vill säga värmelagring på Jorden under åren 1880–2000. Ovan visas hur den globala uppvärmningen är fördelad i mark, luft, vatten och is.

Krig: Nettovärme från konventionella bomber och vapen under Andra världskriget uppgick till $6,7 \cdot 10^9$ kWh. Motsvarande siffra för kriget i Persiska viken 1990 var $9,8 \cdot 10^7$ kWh. Kriget resulterar inte i så mycket nettovärme medan däremot konsekvenserna av krig har stor betydelse. Under kriget i Persiska viken sattes 700 oljekällor i brand varvid 190 Mm^3 olja brann upp under åtta månader [19]. Detta innebar ett värmeutsläpp av $1,9 \cdot 10^{12}$ kWh. Det totala värmeutsläppet från bomber och granater åren 1880–2000 uppskattas till 10^{13} kWh [20].

Icke-kommersiell energianvändning, det vill säga det som förbrukas utanför energimarknaden, ingår inte i energistatistiken. I denna kategori ingår gasfacklor på oljefält, bränder i kolfält och undermarksgruvor, och olja som används för till exempel produktion av plaster och färger [21].

Gasfackling: Fackling av gas är vanlig inom oljeindustrin. Så motsvarar till exempel gasfacklingen i Afrika 50 procent av kontinentens elanvändning. Problemet storlek understryks av att Världsbanken ger ut en särskild tidskrift "The News Flare" [22, 23],

vars uppgift är att minska den globala gasfacklingen. Dessa värmeutsläpp, fram till år 2000, beräknas till $0,9 \cdot 10^{14}$ kWh.

Kolbränder: Hundratals kolfält brinner utom kontroll runt om i världen. Några av de äldsta och största bränderna finns i Kina, USA och Indien. Bara i Kina förbrukar dessa bränder årligen 20 Mton kol [24]. Då undermarksbränder är svåra att bedöma har de inte tagits med i denna sammanställning. Bränder i kolfält uppskattas ha gett ett värmestillskott på $8,8 \cdot 10^{12}$ kWh.

Olja för annat än energi: En annan nettovärme-källa är olja som används för produktion av plaster och färger. Här antas att plastprodukterna så småningom bränns och därmed också avger sin nettovärme. Eftersom en viss mängd plast deponeras ger detta något för höga värmemängder. Mellan 1939 och 2000 har värmeutsläppen från plaster gett $0,4 \cdot 10^{14}$ kWh.

Avskogning: Varje dag sedan år 2000 avskogas 200 km² skog, främst i Afrikas regnskogar. Dessförinnan var takten högre. Globalt har vi därigenom 11,1 Mkm² mindre skog än 1850. Eftersom denna skog så småningom bränns eller förmultnar leder detta till ett nettovärmeutsläpp av $8,2 \cdot 10^{14}$ kWh sedan 1880. Detta motsvarar 8,2 års global energianvändning räknat på konsumtionen år 2000. Här antas det normala skogsbruket vara i balans, det vill säga att avverkningen har varit lika eller lägre än tillväxten under de senaste 120 åren.

Kärnkraft: Fram till år 2000 var den ackumulerade elproduktionen i världens kärnkraft $0,4 \cdot 10^{14}$ kWh. Eftersom kärnkraftverken har 33 procent effektivitet blir deras utsläpp av kylvärme, till hav eller luft, dubbelt så stort, det vill säga $0,8 \cdot 10^{14}$ kWh.

Totala nettovärmeutsläpp

Nettovärmeutsläppen summeras i tabell 1. Huvuddelen av värmen ($38,5 \cdot 10^{14}$ kWh)

kommer från den kommersiella energianvändningen medan övriga icke-förnyelsebara värmekällor ger $10,4 \cdot 10^{14}$ kWh. Diverse andra värmekällor (vulkaner, jordbävningar etc) innebär $6,8 \cdot 10^{14}$ kWh. Det globala nettovärmeutsläppet 1880–2000 uppskattas till $55,7 \cdot 10^{14}$ kWh. Nettovärmeutsläppet förklarar därmed 74 procent av den globala uppvärmningen, vilket ger att 26 procent av uppvärmningen har andra orsaker, se tabell 1 och figur 3.

Slutsatser

Den globala uppvärmningen bör betraktas som den energi som lagrats på jorden. Genomförda beräkningar av värmelagring i luft, mark och vatten gäller åren 1880–2000.

Data som använts för att beräkna värmen i luft och mark, samt smältning av landisar är relativt tillförlitliga medan smältningen av havsisar kan vara överskattad. Den största osäkerheten gäller temperaturökningen i havsvatten, vilket innebär att värmelagringen i havsvatten kan vara underskattad.

Av den globala uppvärmningen finns endast 6,6 procent i luft. Återstående värme har lagrats i mark (31,5 procent), havsvatten (28,5), smältning av havsis (11,2) och landisar (22,2 procent).

Smältning av isar står för en tredjedel av den globala uppvärmningen. En viktig slutsats är att lufttemperaturen hade varit avsevärt högre om den inte kylts av den is som smält.

Nettovärmeutsläpp har fram till år 2000 orsakat 74 procent av den globala uppvärmningen. Den resterande värmen kan till exempel bero på variationer i solens inten-

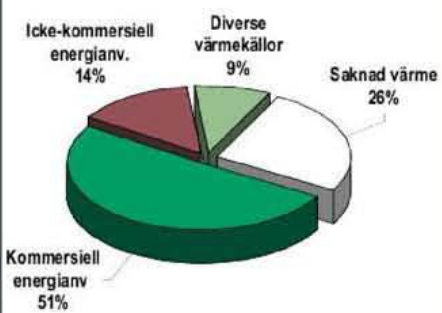
sitet, en effekt av den ökade halten av växthusgaser i atmosfären, överskattad global värmelagring, och/eller en underskattning av nettovärmeutsläppen.

De flesta åtgärder som för närvarande vidtas för att motverka den globala uppvärmningen fungerar även med denna förklaring; till exempel effektivare energianvändning och ökad användning av förnyelsebar energi. Plantering av skog, det vill säga en utökad skogsareal, är ett mycket viktigt steg för att binda nettovärme.

Koldioxidavskiljning och efterföljande lagring har ingen eller ringa effekt.

Kärnkraft är inte någon lösning på den globala uppvärmningen utan en del av problemet.

Global uppvärmning och dess ursprung



Figur 3. Cirkeln representerar den globala uppvärmningen, det vill säga globalt ackumulerad värme under åren 1880–2000. Figuren visar att 74 procent av den globala uppvärmningen är ett resultat av nettovärmeutsläpp medan övriga 26 procent måste ha andra orsaker.

referenser

- [1] NCDC-NOAA, 2007. **Global Surface Temperature Anomalies**. <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/anomalies/anomalies.html>
- [2] Pielke R.A., Davey C. and Morgan J.A., 2004. **Assessing global warming with surface heat content**. EOS. American Geophysical Union. 85:210-211
- [3] Pielke R.A., Davey C. and Morgan J.A., 2004. **Assessing global warming with surface heat content**. EOS. American Geophysical Union. 85:210-211
- [4] PSMSL, 2007. **Permanent Service for Mean Sea Level**, www.pol.ac.uk/psmsl/
- [5] Harvey L.D.D., 2000. **Climate and Global Environmental Change**. Prentice Hall, Harlow
- [6] Church J.A., Gregory J.M., Huybrechts P., Kuhn M., Lambeck K., Nhuan M.T., Qin D., Woodworth P.L., et al., 2001. **Climate Change 2001: the Scientific Basis. Chap 11. Changes in Sea Level. 3rd Assessment Report of the IPCC**. Cambridge Univ. Press, Cambridge
- [7] Antonov J.I., Levitus S., and Boyer T.P., 2002. **Steric sea level variations during 1957–1994: Importance of salinity**. J. Geophys. Res. 107 (C12):8013
- [8] Ishii M., Kimoto M., and Kachi M., 2003. **Historical ocean subsurface temperature analysis with error estimates**. Monthly Weather Review 131, 51–73
- [9] Lyman J.M., Willis J.K., and Johnson G.C., 2006. **Recent Cooling of the Upper Ocean**. Geophys. Res. Letters 33, L18604, doi:10.1029/2006GL027033.
- [10] Noerdlinger P.D. and Brower K.R. (In press). **The Melting of Floating Ice Raises the Ocean Level**. See also US NSIDC, <http://nsidc.org/news/seaice/>
- [11] NSIDC, 2007b. **National Snow and Ice Data Center**. http://nsidc.org/data/seaice_index/
- [12] Johannessen O.M., Bengtsson L., Miles M., Kuzmina S., Semenov V.A., Alekseev G.V., Nagurnui A.P., Zakharov V.F., Bobylev L., Pettersson L.H., Hasselmann K. and Cattle H.P., 2003. **Arctic climate change – observed and modeled temperature and sea ice variability**. NERSC Technical Report no. 218
- [13] CDIAC, 2007. **US Carbon Dioxide Information Analysis Center**, www.cdiac.ornl.gov
- [14] EIA, 2007. **US Energy Information Administration**, www.eia.doe.gov/emeu/international
- [15] Simkin T., and Siebert L., 1994. **Volcanoes of the World**, 2nd Ed: Geoscience Press /Smithsonian Inst. Global Volcanism Program, Tucson
- [16] Gutenberg B. and Richter C.F., 1956. **Earthquake magnitude, intensity energy and acceleration**. Bull. Seism. Soc. Am. 46,105–145
- [17] USGS, 2007. **U.S. Geological Survey Earthquake Hazards Program**. <http://neic.usgs.gov/neis/eqlists/eqstats.html>
- [18] Lawson J. E., 1998. **Oklahoma Geological Survey Observatory Catalogue of Nuclear Explosions**. www.okgeosurvey1.gov/level2/nuke.cat.html
- [19] GulfLINK, 2007. **Office of the Special Assistant for Gulf War Illnesses**. www.gulfink.osd.mil/
- [20] Sipri, 2007. **Stockholm International Peace Research Institute**. www.sipri.org
- [21] Gervet B., **Heat Emissions from Gas Flaring, Coal Fires, Deforestation and Plastics**. Luleå University of Technology. www.ltu.se/shb/2.1492/1.5035
- [22] GGFR, 2007. **The News Flare. GGFR – Global Gas Flaring Reduction**. www.worldbank.org/ggfr
- [23] WB, 2007. **The World Bank. "Global Gas Flaring Reduction Initiative". Report 27235**. World Bank Group. pp.77. www.ifc.org/ogc/global_gas.htm
- [24] Stracher G.B. and Taylor T.P., 2004. **Coal fires burning out of control around the world: thermodynamic recipe for environmental catastrophe**. International Journal of Coal Geology 59: 7–17(2004)

Tabell 1: Nettovärmeutsläpp och global uppvärmning 1880–2000

Kommersiell icke-förnyelsebar energi	Nettovärme (10^{14} kWh)	%
Olja	15,2	20,1
Gas	6,9	9,1
Kol	16,0	21,1
Kärnkraft	0,4	0,5
	38,5	50,8
Övrig icke-förnybar energi		
Gasfackling	0,9	1,2
Bränder i kolfält	0,1	0,1
Avskogning	8,2	10,8
Olja för plasttillverkning	0,4	0,5
Spillvärme från kärnkraftverk	0,8	1,1
	10,4	13,7
Övriga nettovärmekällor		
Vulkaner	4,0	5,2
Jordbävningar	2,7	3,6
Kärnvapentester	0,1	0,1
Krig (bomber)	0,1	0,1
	6,8	9,0
Totalt		
Nettovärme	55,7	73,5
Lagrad värme (global uppvärmning)	75,8	100,0
Saknad värme	20,1	26,5