

Torbjörn Rydberg¹ och Andrew Haden²,

¹ Centrum för uthålligt lantbruk och Institutionen för växtproduktionsekologi, SLU

² Institutionen för landsbygdsutveckling och agroekologi, SLU, tel: 018-67 29 11, e-post: torbjorn.rydberg@evp.slu.se

Energikvalitet och nettoenergi – hur värderar vi olika former av energi

Fossila bränslen ger stort netto

Koncentrerade högkvalitativa energikällor som bensen, dieselolja och elektricitet kräver mycket arbete för att bildas. De fossila energislagen, koncentrerade och processade under flera miljoner år av obetalt arbete utfört av processer i geobiosfären, utgör idag energibasen för det moderna samhället. När man beräknar och värderar bidragen av både det obetalda arbetet från naturen och det betalda arbetet från människor på en gemensam bas (metoden kallas emergianalys, se Odum, 1996), så kan vi se att kvoten obetalt arbete till betalt arbete för olja, kol, gas, och uranium ligger mellan 3 och 14 (historiskt ända upp mot 100). Det betyder att för varje enhet av arbete som samhället använder för att er hålla och leverera energi av en given icke-förnybar energikälla, så är bidraget från geobiosfären 3 till 14 enheter större. Ett arbete som sker utan betalning associerad till sig. Dessa energikällor med stort netto kan därför fungera till att driva andra av samhället organiserade processer. Nettot överskrider flera gånger den gjorda förbrukningen av arbete som åtgått för sökande, extraktion, förädling och leverans.

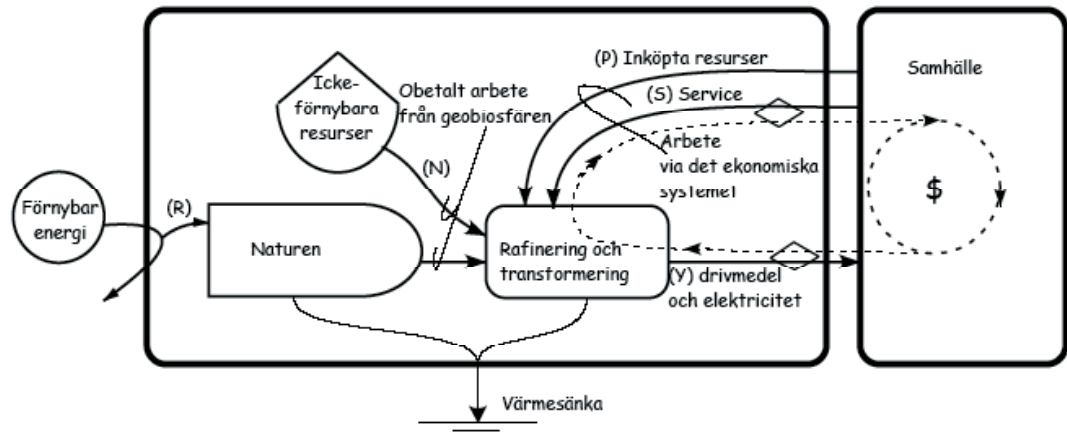
Nya former av energi ger nya möjligheter

Dagens ökade medvetande om miljöpåverkan och resursuttömning leder samhällena till att börja använda mindre koncentrerade energiformer. Avsikten är att de ska vara förnybara och mindre miljöbelastande. Biomassa från jord- och skogsbruket ses då som en sådan energiresurs. Det kan vara spannmål, oljeväxter, energiskog, skogsavfall och snabbväxande gräs. Tanken är att dessa former av energi ska kunna ersätta koncentrerade fossila energiformer. Nu är det emellertid så att naturen tillhandahåller bara med gratisarbete för formeringen av dessa energiformer under en kortare tidsperiod (0,5–70 år). Var och en av dessa energiformer kräver att människor, maskiner och andra ändamålsenliga insatsmedel blir anställda och använda för att göra resten av nödvändigt arbete. Det vill säga uppgradera och koncentrera dessa relativt okoncentrerade drivmedelsresurser till en koncentreringsgrad som är i en ekonomiskt användbar form, en form som samhället har blivit van med. Detta medför att omfattande ekonomiska utgifter krävs och resulterar i att kvoten det ”fria” obetalda arbetet till det betalda arbetet är som högst 3 för äldre skog, till så lite som 1,1 för etanol från spannmål. Den ”fria” obetalda arbetsinsatsen från geobiosfären är väsentligt mycket lägre än från de fossila bränslena. Förmågan att driva andra processer i samhället som vård och omsorg, utbildning handel och rekreation är mindre eller inte alls möjlig. Därför ska vi inte alls förvänta oss att energi från biomassa ska kunna ge oss samma grad av samhälleligt understöd som de fossila drivmedlen förrän de fossila drivmedlena blir

avsevärt mer svåra att extrahera och eller att priset stiger till en nivå så att nettot minskar för de konsumerande länderna.

Tabell 1. Kvoten obetalt arbete till betaltarbete (EYR), totala arbetsinsatsen på gemensam energibas per producerad Joule av produkt (Transformitet, sej/J) och procentuell andel av det totala arbetet som är lokalt förnybart för några skogsprodukter, jordbruksprodukter drivmedel, elektricitet och biobränslen.

Notering	Produkt	EYR	Transformitet(Sej/J)	Förnybar(%)	Referens
Ved					
V1	Skog, brukad	2,73	6,50E+03	63	(Doherty et al., 2002)
V2	Salixodling	1,32	6,60E+03	24	(Doherty et al., 2002)
V3	Skog, nat. förnygring	3,58	1,06E+04	72	(Doherty et al., 2002)
Grovfoder					
G1	Hö, Sverige 1927	2,01	1,36E+04	50	(Rydberg & Jansén, 2002)
G2	Tagasaste, buske	2,74	1,28E+05	53	(Lefroy & Rydberg, 2003)
Spannmål					
S1	Havre, Sverige 1927	1,27	4,47E+04	22	(Rydberg & Jansén, 2002)
S2	Majs	1,36	5,30E+04	25	(Ulgiati & Brown, 1998)
S3	Soja	1,74	5,60E+04	14	(Ivarsson, 2002)
S4	Majs	1,31	1,13E+05	24	(King et al., 1995)
S5	Solros	1,71	1,20E+05	12	(Ivarsson, 2002)
S6	Korn	1,43	2,10E+05	9	(Ivarsson, 2002)
S7	Havre	1,77	2,60E+05	13	(Ivarsson, 2002)
Fossila bränslen					
F1	Råolja	14,86	5,30E+04	0	(Ulgiati & Brown, 1998)
F2	Naturgas (via pipeline)	7,11	5,88E+04	0	(Doherty et al., 2002)
Elektricitet					
E1	Vind (2,5 MW)	7,44	6,21E+04	87	(Brown & Ulgiati, 2002)
E2	Vatten (85MW)	7,65	6,23E+04	69	(Brown & Ulgiati, 2002)
E3	Geotermisk (20MW)	4,82	1,47E+05	70	(Brown & Ulgiati, 2002)
E4	Kol (1280 MW)	5,48	1,71E+05	9	(Brown & Ulgiati, 2002)
E5	Olja (1280 MW)	4,21	2,00E+05	7	(Brown & Ulgiati, 2002)
Animalier					
A1	Nöt, betesdrift	1,71	3,38E+05	41	(Brandt-Williams, 2001)
A2	Gris, ekologisk	1,13	4,80E+05	11	(Andresen et al., 2000)
A3	Gris, konventionell	1,04	5,80E+05	4	(Andresen et al., 2000)
A4	Fisk, odlad	1,33	6,46E+05	24	(Ortega et al., 2001)
Biobränslen					
B1	Etanol, majs	1,08	1,76E+05	5	(Ulgiati, 2001)
B2	Etanol, sockerbeta	1,15	1,63E+05	12	(Ulgiati & Brown, 1998)
B3	Etanol, sockerrör	1,21	2,00E+05	11	(Lanzotti et al., 2001)



Figur 1. Energidiagram som visar översiktligt det obetalda arbetet från geobiosfären och det betalda arbetet via samhället vid genererandet av olika former av drivmedel eller energilag.

Några definitioner

Utan att gå in på de omfattande teoretiska grunderna som ligger till stöd för energiberäkningar kan vi med hjälp av figur 1 beskriva vad som är beaktat i beräkningarna av de parametrar som presenteras för de olika produkterna i tabell 1. Vi behöver först definiera vad emergi är. Emergi är mängden energi av en form som direkt och indirekt behövs för att understödja ett givet flöde eller lager av energi eller material av en annan form. Detta innebär att emergi uttrycker allt bakomliggande arbete – även det indirekta. Indirekt arbete är arbete som tillförts av naturen, dvs. både från biologiska och geologiska processer. Transformiteten är kvoten mellan emergin som behövs för producerandet av flödet eller lagret och den aktuella energin i flödet eller lagret. Med andra ord, transformiteten mäter insatserna av emergi per enhet produkt som genererats. Vanligen uttrycks emergi i solemergijoules. Varav följer att transformiteten för en vara eller tjänst är lika med $(R + N + P + S)/\text{Joule}$ i varan eller tjänsten. R, N, P och S ska då vara uttryckta i solemergijoule (sej). R står för använd förnybar energi, N för använd icke förnybar energi, P för inköpta resurser och S för tillfört direkt och indirekt arbete. Uttrycket blir då (sej/J) . Vitsen med detta är bland annat att vi nu kan förstå hur stor andel av geobiosfärens processer som krävs för våra aktiviteter.

Vad blir det för tillskott?

Det andra måttet som är presenterat i Tabell 1 är EYR. Det betyder "Emergi Yield Ratio" och är ett mått på förmågan av en process att exploatera och generera användbara lokala resurser genom att investera redan tillgängliga resurser. EYR beräknas så här om vi använder parametrarna i figur 1. $EYR = (R+N+P+S)/(P+S)$ Det tillhandahåller ett mått på beslaget av obetalda lokala resurser orsakade av en aktivitet till exempel jordbruket. Man kan avläsa det som ett potentiellt tillskott till ekonomin som är genererad av investeringen av redan tillgängliga användbara resurser. Det allra lägsta värde som EYR kan ha är ett. Ett lågt värde indikerar att investeringen inte ger utrymme för andra aktiviteter. Primära energikäl-

lor (råolja, kol, naturgas och uran) visar vanligen EYR på fem eller mer. De kan med andra ord skördas med en liten insats från det ekonomiska systemet i relation till vad de ger.

Förnybar andel

Det tredje måttet som finns med i Tabell 1 är Procent förnybar energi. Det är den lokalt förnybara delen av nödvändigt arbete uttryckt i energi dividerat med den totala mängden arbete som är nödvändig för produkten. Förnybar % = $(R) / (R+N+P+S)$. I det långa loppet är det bara processer med ett högt värde som är uthålliga.

Några slutsatser

Ofördelaktiga energikvoter (energi ut/energi in) för biobränslen är inte ovanliga när noggranna beräkningar genomförs och de större skalorna tas med i beräkningarna. Det betyder att biobränslen inte kan betraktas som en energikälla för samhället. Det totala arbetet som behövs för biobränslen uttryckt som transformiteten ligger mellan 1–3 E5 sej/J, medan transformiteten för fossila bränslen ligger mellan 4–7 E4 sej/J. Slutsatserna av detta är att framställandet av biobränslen uppvisar en lägre grad av effektivitet än geobiosfärens framställning av fossila bränslen. Vidare är EYR lägre för biobränslena än de är för de olika grödorna som odlas i jordbruket. Vilket betyder att grödorna har större kapacitet att stimulera ekonomi än de processade biobränslena. Det skulle med andra ord vara bättre att använda de fossila bränslena direkt än att använda dem för att odla biobränslen. Vidare kännetecknas biobränslena av en låg andel förnybar energi för sitt bildande. I kombination med en högre transformitet betyder det att den icke-förnybara mängden arbete som behövs till biobränslena är större än vad de är för de fossila bränslena. Detta trots att de många gånger presenteras som förnybara bränslen.

Referenser

- Andresen, N., J. Björklund, and T. Rydberg. 2000. Ecological and conventional pig production - an analysis of resource flows and environmental dependency on farm scale level. In *Emergy Analysis to Assess Ecological Sustainability*. (J. Björklund), Dissertation.
- Brandt-Williams, S. 2001. *Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios*.
- Brown, M. T., and S. Ulgiati. 2002. Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems. *Journal of Cleaner Production* 10:321.
- Doherty, S. J., P. O. Nilsson, and H. T. Odum. 2002. Emergy evaluation of forest production and industries in Sweden. SLU, Inst. för bioenergi, Uppsala.
- Ivarsson, J. 2002. *Emergy Evaluation of the Sunshine Farm*. M.S. Thesis.
- King, R. J., Munroe, M., Farley, J., Floyd, R., Clarkson, J. & Baker,

- R. 1995. Ecological Economics of Alternative Transportation Fuels. In hall, A. S., (Ed.). *Maximum Power. The Ideas and Applications of H.T. Odum.* University Press of Colorado. pp. 284-301.
- Lanzotti, C. R., Ortega, E., Guerra, S. M. G. 2000. Emergy Analysis And Trends For Ethanol Production In Brazil. In Brown, M. T., Brandt-Williams, S., Tilley, D., Ulgiati, S. (Eds.). *Emergy Synthesis 1. Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings from the First Biennial Emergy Analysis Conference, Gainesville, Florida, September, 1999.*
- Lefroy, E., and T. Rydberg. 2003. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. *Ecological Modelling* 161:193.
- Odum, H. T. 1996. *Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making.* Wiley, New York.
- Ortega, E., Queiroz, J. F., Boyd, C. E. & Ferraz, J. M. G. 2000. Emergy Analysis Of Channel Catfish Farming In Alabama, USA. In Brown, M. T., Brandt-Williams, S., Tilley, D., Ulgiati, S. (Eds.). *Emergy Synthesis 1. Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings from the First Biennial Emergy Analysis Conference, Gainesville, Florida, September, 1999.*
- Rydberg, T., and J. Jansen. 2002. Comparison of horse and tractor traction using emergy analysis. *Ecological Engineering* 19:13.
- Ulgiati, S. 2001. A Comprehensive Energy and Economic Assessment of Biofuels: When “Green” Is Not Enough. *Critical Reviews in Plant Sciences* 20:71.
- Ulgiati, S., and M. T. Brown. 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling* 108:23.