



Göran Wall

I den här andra artikeln fortsätter tekn dr Göran Wall sin serie om begreppet exergi.

Den svenska exergiomsättningen

Naturresurser, som energi- och materialresurser, uppträder dels som flöden dels som bestånd, se figur 1. Vi uppfattar solljus, vindar och floder som naturliga flöden. Ett naturligt flöde har en begränsad storlek men är varaktigt i tiden. Ett ekosystem, som en skog, utgör ett levande bestånd, en fond. Det byggs upp av det naturliga flödet av solljus, vatten, koldioxid och näringsämnen. Härigenom ger det upphov till ett flöde av nybildad biomassa av vilket en del, ett överskott, kan tas ut utan att ödelägga beståndet. Andra bestånd, som lager av olja, har helt andra egenskaper. Ett lager kan endast ge ett flöde samtidigt som det töms.

Således är det naturligt att skilja mellan naturliga flöden och bestånd. Bestånd kan indelas i döda bestånd eller lager och levande bestånd eller fonder.

Skillnaden mellan lager och fonder beror av tiden för reproduktion av beståndet. En fond reproduceras under några år, kanske upp till hundra år. Ett lager kan ta miljontals år att nybilda, en för människan nästan oändlig tid. Att utnyttja ett lager innebär också att idag främmande ämnen som svavel och radioaktiva ämnen frigörs i naturen som miljögifter. Detta är ofta en mer begränsande faktor en lagrets storlek. Naturliga flöden och flöden från fonder kallas ibland också för förnybara flöden till skillnad mot icke förnybara flöden eller lager.

jag valt att redovisa energi- och materialomsättningen i det svenska samhället år 1980 i termer av exergi, se figur 2. Flödena av energi- och materialresurser går från vänster till höger i diagrammet, från resursbasen till konsument. Bredden på flödena ges av deras exerginnehåll och anges i PJ/år (1 TWh/PJ).

Onoggrannheten på flödena varierar från ca 5% för elektricitet till ca 20% för värme till bostäder och offentliga lokaler. För att inte göra diagrammet alltför snårigt har jag valt att endast återge exergiflöden som överstiger 5 PJ/år. Inflödena eller samhällets resursbas är uppdelade med avseende på härkomst. Sålunda är solljus ett förnybart naturligt exergiflöde. Skördad skog, gröda och vattenkraft är förnybara exergiflöden från fonder på jorden. Malm, kärnbränsle och bränslen är icke förnybara exergiflöden från lager på jorden. (Denna grova indelning av olika resurser framgår av figur 2). Exergiomvandlingar i samhället representeras av de ofyllda boxarna. De i samhället efterfrågade resurserna återfinns som utflöden till höger i diagrammet.

Solljus

Överst i diagrammet har vi ett inflöde av solljus (ca 20 PJ) som omvandlas till värme. (Det totala inflödet av solljus mot Sveriges yta är ca 1 000 000 PJ/år). Denna värme, ca 1 PJ, täcker ca 5% av värmebehovet under eldningssäsongen, som vi ser längst ner till höger i

Under inflödet av solljus har vi ett inflöde av skördad skog.

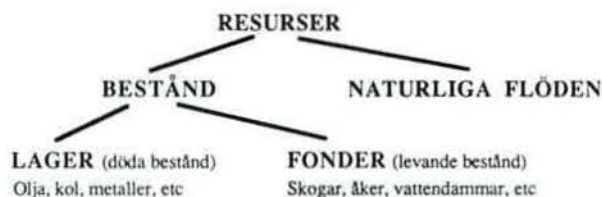
Skogsbruket

Den svenska skogsavverkningen 1980 uppskattas till 394 PJ rundtimmer (49.2 Mm³ fub). (Den årliga tillväxten uppskattas till 480 PJ eller 60 Mm³ fub.) Lagerförändringen innebär ett tillskott av 23 PJ. En stor del av detta rundvirke, 178 PJ, gick till sågverksindustrin. Sågverkens största produktion utgjordes av sågade och hyvlade trävaror (114 PJ). Hack och flis för massaindustrin uppgick till 74 PJ. 15 PJ som ribb och barkved användes för tillverkning av träfiberskivor, spånskivor och plywood. 266 PJ av skogsindustrins rundvirke användes av massa- och pappersindustrin. Pappersindustrin använde också 14 PJ returpapper. Produktionen bestod av: 43 PJ mekanisk, kemisk och dissolvingsmassa, 16 PJ från sulfatmassa och 96 PJ från sulfatmassa. Av denna massaproduktion gick 64 PJ till avsalu och resten, 91 PJ, användes för pappersproduktionen. Främst produktion av papper, 54 PJ, och tidningspapper, 29 PJ. Övriga papper och papp produkter uppgick till 31 PJ.

Exporten av skogsindustrins produkter utgjorde 194 PJ, i huvudsak papper, pappersmassa och hyvlade bräddor. Den totala importen var 73 PJ, huvudsakligen massaved, 20 PJ och sågat timmer, 29 PJ.

Från privata skogar användes 19 PJ som brännved. Flis och barkved från sågverk användes också som bränsle, 8 PJ.

Vid produktionen av pappersmassa görs stora exergiförluster då kemisk exergi i biprodukterna omvandlas till värme vid kokningen av flisen till massa. 120 PJ av vedämnen (lignin) tillsammans med 63 PJ övriga bränslen gav mindre än 60 PJ värme. Inom skogsindustrin används också 57 PJ elektricitet. Exerginnehållet i slutprodukterna, virke, massa och papper uppgick till 331 PJ.

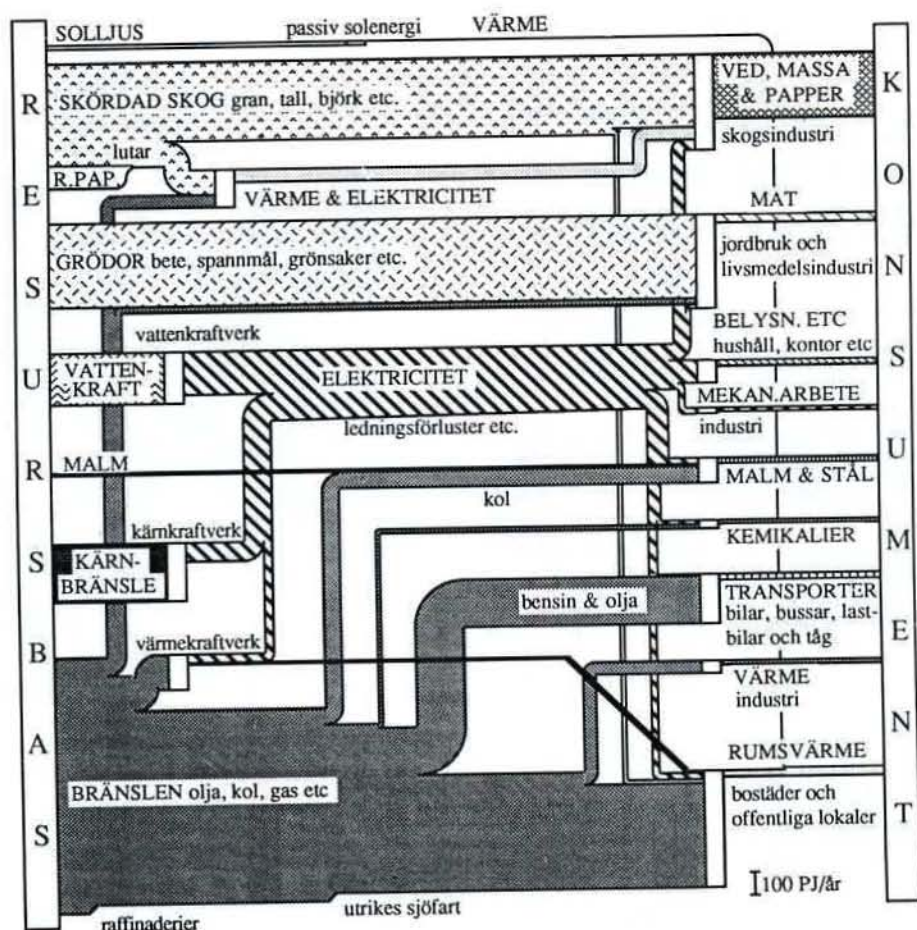


Figur 1. En klassificering av resurser.

Resursomsättningen i det svenska samhället

Exergi kan användas som ett mått på energi- och materialresurser. För att på ett åskådligt sätt demonstrera detta har

diagrammet. Ett söderfönster släpper in omkring 7 MJ/m² och dygn under eldningssäsongen i Stockholm. Genom lämplig reglering med fönsterluckor kan ett söderfönster härigenom motsvara ett mindre värmeelement.



Figur 2. Den svenska resursomsättningen i exergienheter 1980. Total resursomsättning 2540 PJ eller 305 GJ/person. Nettoutb yte 500 PJ eller 60 GJ/person.

Jordbruket

Nästa omvandling i diagrammet visar jordbruket och livsmedelsindustrin. Skördad gröda omvandlas med hjälp av bränslen och elektricitet till mat. Maten består dels av vegetabilier, som grönsaker och bröd, dels animalier, som mjölk och kött. Vi ser att utflödet av mat är mycket litet jämfört med inflödet av skördad gröda. Detta beror på att vi relativt sett åter mycket animalier och lite vegetabilier. Ännu värre är att omkring en tredjedel av all producerad mat slängs.

Det totala exergiinnehållet i växtodlingens produkter var 190 PJ. Härtill kommer uppskattningar för foder och avfall, 138 PJ. Mängden avfall som återfördes till jorden uppskattas till 31 PJ. Den totala grödan är alltså ca 328 PJ/år.

Inom jordbruket och livsmedelsindustrin omsätts förutom gröda även bränsle (30 PJ) och elektricitet (19 PJ) för maskiner och uppvärmning. (Den indirekta exergiförbrukningen i form av produktion av konstgödning uppgick till 24 PJ.) Slutproduktionen inom denna sektor är mat. Ett dagligt intag av 2 862 kcal per

person och dag motsvarar en årlig omsättning av 36 PJ för hela landet. Den borde vara 29 PJ. Enligt statistiken säljs mat motsvarande 42 PJ. En del av detta är icke ätbara delar som skal och ben, men även stora mängder ätbar mat slängs. Svensken av idag frossar i mat mer än någonsin tidigare och i en omfattning som sett i ett globalt perspektiv är helt unik.

Elektricitet från vattenkraft och värmekraft

Vattenkraft är nästa omvandling i diagrammet. Av vattenkraft får vi elektricitet. Elektriciteten används som vi sett tidigare inom skogsindustrin (57 PJ) och vid livsmedelsproduktion (19 PJ). Dessutom används elektriciteten för belysning, hushållsström etc (114 PJ). Inom verkstadsindustrin används elektricitet (27 PJ) för att bli driva maskiner, dvs för mekaniskt arbete. Återstoden av elektriciteten går till malm- och järn och stålindustrin (34 PJ), kemisk industri (20 PJ), transporter

(8 PJ) och elvärme (33 PJ).

1980 var produktionen av elektricitet genom vattenkraft 209 PJ. Om vi inkluderar omvandlingsförlusterna från lägesenergin i dammen till den levererade elektriciteten från kraftverket, transformationsförluster och förluster i pumpkraftverk blir den erforderliga exergin 248 PJ som vattenkraft.

Kärnbränsle (U-235) och bränslen som olja används också för att göra elektricitet. Denna omvandling sker i kondenskraftverk och kraftvärmeverk. Ett kraftvärmeverk ger förutom elektriciteten även fjärrvärme genom så kallat mottryck. I diagrammet ser vi hur detta flöde av fjärrvärme (10 PJ) går till värmeutflödet för bostäder och offentliga lokaler. Vi ser också av diagrammet att endast en tredjedel av kärnbränslet omvandlas till elektricitet, resten går förlorat vid själva omvandlingen. I kraftverk, kondenskraftverk och kraftvärmeverk är förlusterna omkring 60%.

Elektricitetsproduktionen var 1980 91 respektive 38 PJ från kärnbränslen och bränslen. Härtill kommer förluster på grund av egenförbrukning vid elproduktion inklusive förluster i krafttransformatorer och pumpning i pumpkraftverk enligt ovan. Den totala

produktionen av elektrisk energi blir sålunda 340 PJ år 1980, varav 2 PJ är nettoimporterad elektricitet. Av denna produktion används 307 PJ. Resten 33 PJ, går förlorad som lednings- och anpassningsförluster på sin väg till konsumenterna.

Järnmalm

För Sverige är omsättningen av malm helt dominerad av järnmalm. Svensk järnmalm håller i genomsnitt en järnhalt av ca 60 viktprocent och består vanligen av skapatitjärnmalm. Järnet är kemiskt bundet till syre med kemisk beteckning Fe_3O_4 (magnetit).

Den svenska järnmalmsproduktionen var 1980 26.9 Mton. Om vi antar att all denna malm är magnetitjärnmalm fås att malmen representerar en total exergimängd av 14 PJ.

Den svenska järnproduktionen var 1980 3.5 Mton. Grovt sett representerar detta alltså en exergimängd av 24 PJ. För att producera detta järn har åtgått 5.7 Mton malm, vilket motsvarar 3 PJ, 34 PJ elektricitet och 77 PJ kol, koks och andra bränslen.

Kärnbränsle

Exergiinnehållet i kärnbränsle (anrikad uran) kan uppskattas på basis av hur mycket värme som frigörs i en reaktor för en viss mängd producerad elektricitet. Vid en termisk verkningsgrad på 32% blir exergin 284 PJ.

Kemiska bränslen

De vanligaste bränslena i Sverige är råolja, oljeprodukter, stenkol och koks. Införseln av dessa varor motsvarar år 1980 totalt 1140 PJ.

Bränslen används inom den kemiska industrin som materialråvara, 18 PJ olja och 20 PJ elektricitet omvandlas till ca 30 PJ gummi, plast etc. Den kemiska industrin är sålunda ett exempel på hur en traditionell energiråvara som olja används som material. Det förbrukade materialet kan sedan användas som energiråvara. Detta gäller naturligtvis många andra "förbrukade" material som trä och papper.

Transportsystemet tar som vi ser av diagrammet en stor del av bränsleinfödet (237 PJ). Bensin och olja omvandlas till transportarbete i bilar, bussar och lastbilar. Omkring 10% av bränslets exergiinnehåll används för att driva ett motorfordon (ca 1 ton stål) framåt. Res-

ten går förlorat eller används för att slita ut avgassystem, motor och däck på fordonet.

Av de tidigare redovisade användningsområdena återstår 33 PJ till oljeraffinaderier, 36 PJ användes för utrikes sjöfart och 419 PJ för direkt omvandling till värme för bostäder och andra lokaler och 167 PJ till produktion av elektricitet och värme i värmekraftverk och kraftvärmeverk och 60 PJ för värmeproduktion etc inom industrin. Nederst i diagrammet har vi så den största omvandlingen, bränslen, elektricitet, solvärme och fjärrvärme till värme. Denna omvandling är uppdelad mellan industri och bostäder samt offentliga lokaler. Här sker som vi ser stora förluster. I en vanlig oljepanna utnyttjas mindre än 5% av bränslet för att göra värme. Hälften av den importerade oljan går till värmeproduktion. Exergiinnehållet i värme bestäms av värmets temperatur genom sambandet som tecknades av Carnot redan 1824, se tidigare artikel.

Om vi nu vill tillämpa detta på uppvärmning av bostäder, måste vi också ta hänsyn till att omgivningstemperaturen ändras med årstiderna. Nettoflödet av exergi för den svenska bostadsuppvärmningen kan då beräknas till 0.05 multiplicerat med den tillförda värmemängden (energin). Detta medför att exergiinnehållet för repsektive värmefflöde blir: solvärme 1 PJ, fjärrvärme 2 PJ, elvärme 2 PJ och värme från bränslen 14 PJ. Siffran för värme från bränslen inkluderar också andra energiförluster (ca 35%) som varma rökgaser.

Låt oss nu se på följande resurskedja: kärnbränsle — elektricitet — värme i diagrammet. Vid omvandlingen kärnbränsle — elektricitet tillvaratas ca 30% av kärnbränslets exergiinnehåll. Följer vi sedan elektricitetsflödet ner till elvärme genom ett elektriskt motstånd (kortslutning) omvandlas endast 5% av exergin i elektriciteten till värme. Den totala omvandlingen till värme utnyttjar alltså endast 1.5% av kärnbränslets exergiinnehåll. (Härtill kommer också att endast en bråkdel av kärnbränslets totala exergiinnehåll utnyttjas i dagens kärnkraftverk. Dvs nettoutbytet är alltså egentligen mycket mindre.) Omvandlingen bränsle (olja) — elektricitet — värme är något bättre, 2.0%. En bra kakelugn, som visserligen bara kan omvandla ved till värme, har ungefär 1% exergiverkningsgrad. Den använder dock en förnybar resurs. Slutsatsen blir alltså att elektricitet ej bör användas för direktverkande elvärme. I stället bör man använda en värmepump och förbättra omvandlingen elektricitet värme till över 15% eller allra helst spara genom energihushållningsåtgärder som bättre isolering. Det finns naturligtvis många fler resurskedjor att diskutera i

diagrammet. Elvärme blir dock tyvärr allt vanligare, trots att den innebär ett ökat resursslöseri.

Andra naturliga exergiflöden underhåller också samhället genom en mer indirekt funktion. De renar vatten, luft och jord och lagrar tungmetaller och sulfider. En grov uppskattning av vad den naturliga luft- och vattenreningen kan betyda i termer av exergi per år i Sverige ger som resultat ca 2 PJ/år, vilket är för litet för att åskådliggöras i diagrammet i figur 2. Emellertid skulle samma rening med industriella metoder kosta många gånger mer både exergemässigt och ekonomiskt.

Av det totala resursinflödet av energi och material i det svenska samhället år 1980 på 2 540 PJ utnyttjades endast 20% eller 500 PJ. Denna förlust kan minskas betydligt genom aktiv resurshushållning på alla nivåer i samhället. (Om vi endast ser till användningen av kommersiella energiresurser blir effektiviteten sämre, ca 14%).

För att under lång tid upprätthålla ett samhälles resursomsättning måste samhällets resursbas nästan helt utgöras av naturliga flöden och flöden som fångas in och omformas av fonder på jorden. Som vi klart ser av det svenska samhällets resursomsättning år 1980 är detta inte alls fallet. Vi befinner oss alltså i en i längden ohållbar situation.

Analys av detta slag ger alltså kunskap om hur effektivt och hur balanserat ett samhälle är när det gäller att hushålla med naturresurserna. Sådan kunskap kan avslöja var tekniska och andra förbättringar bör sättas in, samt hur besparingsåtgärder bör prioriteras. Att på detta sätt jämföra olika samhällen på jorden och att studera det internationella systemet blir också av fundamentalt intresse, om vi på allvar vill medverka till en solidarisk resursfördelning.

I den avslutande artikeln kommer jag att med utgångspunkt från detta presentera olika idéer till hur samhället skulle kunna lösa sin resurshushållning på ett effektivare och mänskligare sätt.

Fotnot: Göran Walls avhandling kan beställas genom insättning av 100 kr på pg 50 70 42-0.

I nästa nummer

Ett resurssnålt hus och samhälle