

Den svenska energi- och materialomsättningen

För att exemplifiera exergibegreppets betydelse inom resursräkenskap beskrivs här resursomsättningen i det svenska samhället. En mer fullständig beskrivning av detta återfinns i rapporten "The Exergy Conversion in the Swedish Society", rapport nr 80-1, Forskningsgruppen för fysisk Resursteor, Chalmers tekniska högskola, 412 96 Göteborg.

Av Göran Wall, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg

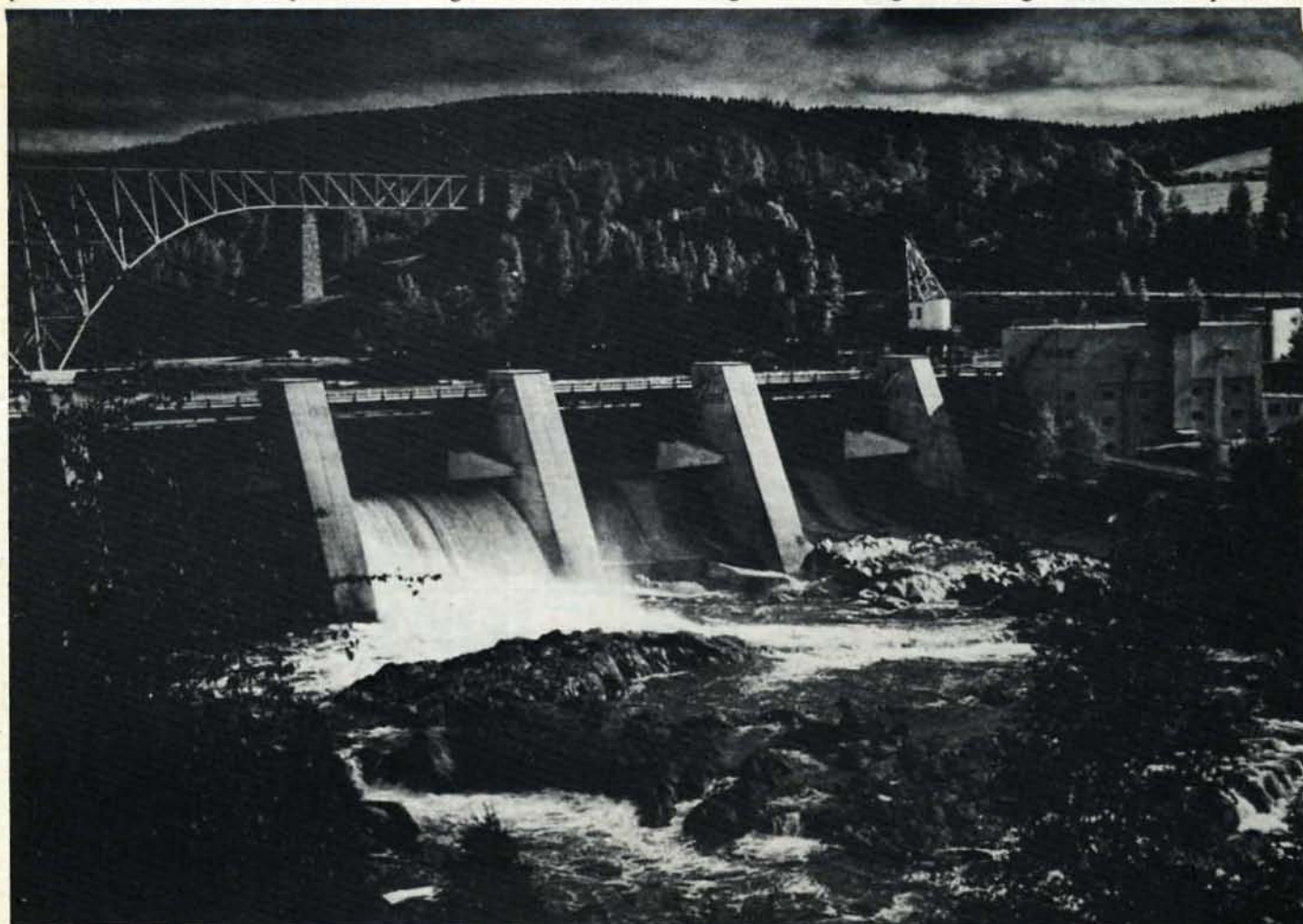
För att få ett kvantitativt mått på energin som också tar hänsyn till kvaliteten, har man infört följande definition:

Exergin (= den "nyttiga" energin) hos ett system i en viss omgivning är den mängd energi av högsta kvalitet (t ex arbete) som maximalt kan utvinnas ur systemet i denna omgivning.

Exergi kan även användas som ett mått på materialresurser. För att på ett åskåd-

ligt sätt demonstrera detta har jag valt att redovisa energi- och materialomsättningen i det svenska samhället år 1975 i termer av exergi, se figur 1. Flödena av energi- och materialresurser går från vänster till höger i diagrammet. Bredden på flödena ges av deras exergiinnehåll och anges i PJ/år. 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. Vissa undantag från denna

regel finns — som användning av solvärme, mottrycksproducerad fjärrvärme och elektricitet för bostadsuppvärmning och transportarbete (SJ). 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 repre-
sente-



ras av de ofyllda boxarna. De i samhället efterfrågade resurserna återfinns som utflöden till höger i diagrammet.

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 eldnings säsongen, som vi ser längst ner till höger i diagrammet. Ett söderfönster släpper in omkring 7 MJ/m² och dygn under eldnings säsongen i Stockholm. Genom lämplig reglering med fönsterluckor kan ett söderfönster härigenom motsvara ett mindre värmeelement.

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

Den svenska nettoavverkningen av skog 1975 uppskattas till ca 430 PJ.

Den största delen av avverkningen, 200 PJ, går till trävaruindustrin. 1975 levererades därifrån 94 PJ virke, 61 PJ bi-

produkter till massaindustrin och 14 PJ biprodukter som brännved. 200 PJ virke, levereras till massafabrikerna, varav 61 PJ avfall från trävaruindustrin. Tillsammans förbrukar massafabrikerna och pappersbruken 280 PJ av den avverkade skogen. Härav återfinns 60 PJ som massa och 86 PJ som papper i slutprodukterna. Då skog sågas till virke görs endast förluster genom spill och sågspån. Denna förlust är 31 PJ 1975. Pappersmassatillverkningen är mycket exergislösande. Detta beror framför allt på värmebehovet vid kokning av träflis. Ca 130 PJ av den skördade skogen åtgår för denna värmeproduktion. Tillsammans med 105 PJ bränslen ger denna förbränning mindre än 60 PJ värme och ca 10 PJ elektricitet, som används inom skogsindustrin. Inom trä- och massaindustrin åtgår dessutom 53 PJ elektricitet. Exerginnehållet i slutprodukterna, som består av trä, massa och papper, är 250 PJ.

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.

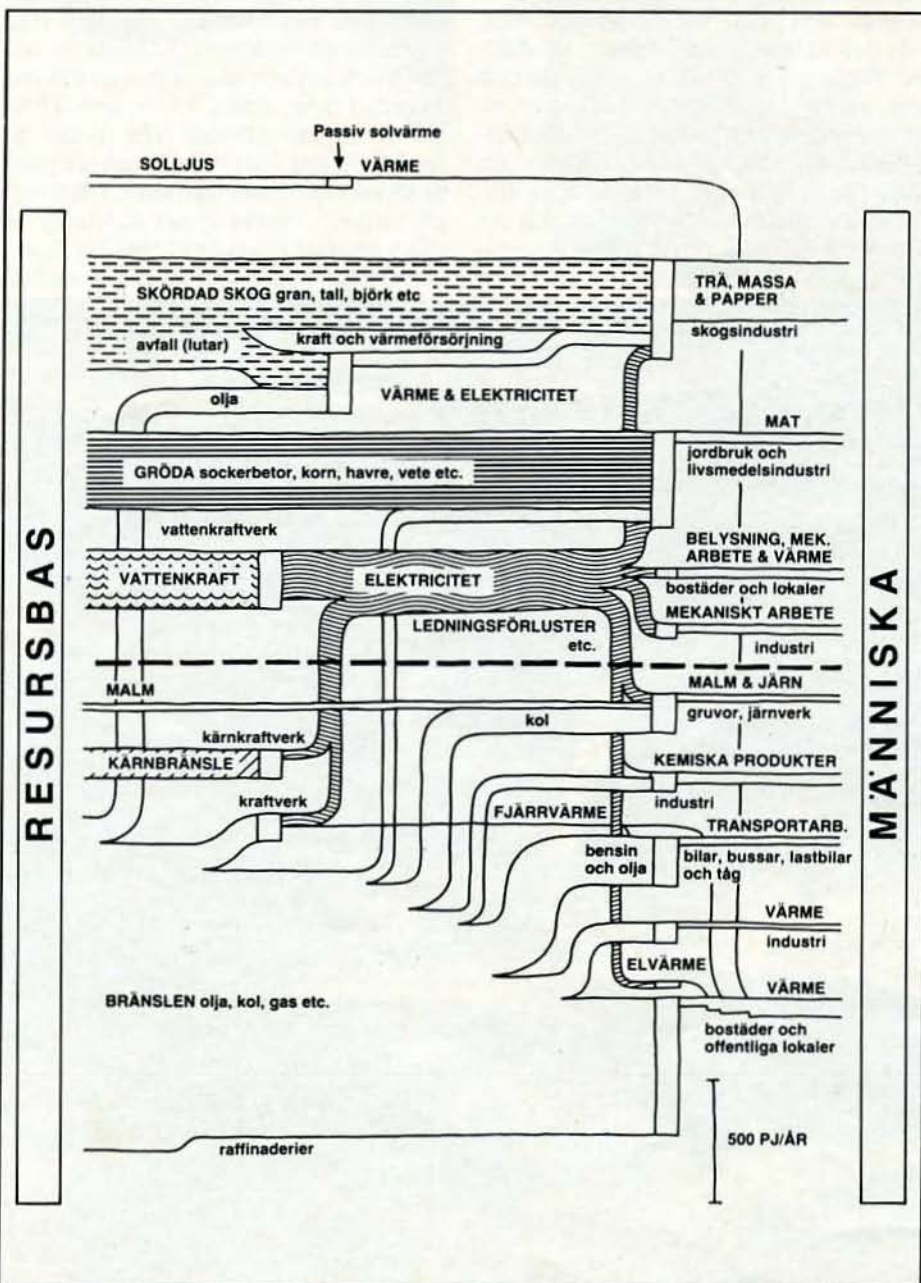
Det totala exerginnehållet i växtodlingens produkter är 105 PJ. Hårtill kommer uppskattningar för foder och avfall, ca 200 PJ. Den totala grödan är alltså ca 300 PJ/år. Inom jordbruket och livsmedelsindustrin omsätts förutom gröda även bränsle (31 PJ) och elektricitet (3 PJ) för maskiner och uppvärmning. Slutproduktionen inom denna sektor är mat. Ett dagligt intag av 2 850 kcal per person motsvarar en årlig omsättning av 36 PJ för hela landet.

Vattenkraft är nästa omvandling i diagrammet. Av vattenkraft gör vi elektricitet. Elektriciteten används som vi sett tidigare inom skogsindustrin och vid livsmedelsproduktion. Dessutom används elektriciteten för belysning, hushållsström etc (64 PJ). Inom verkstadsindustrin används mycket elektricitet (54 PJ) för att driva maskiner, dvs för mekaniskt arbete (ca 36 PJ). Återstoden av elektriciteten går till malm- och järnindustrin (36 PJ), kemisk industri (21 PJ), transporter (7 PJ) och elvärme (22 PJ).

1975 var produktionen av elektricitet genom vattenkraft 207 PJ. Om vi antar att omvandlingsförlusterna från lägesenergin i dammen till den levererade elektriciteten från kraftverket är 15% blir den erforderliga exergin 244 PJ.

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 (6 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 procent.

Elektricitetsproduktionen var 1975 45



Figur 1. Omsättningen av exergi i det svenska samhället år 1975.

Total resursoomsättning ca 2 600 PJ eller 320 GJ/person. Nettoutbyte 520 PJ eller 65 GJ/person.

respektive 40 PJ från kärnbränslen och bränslen. Härtill kommer förluster på grund av egenförbrukning vid elproduktion inklusive förluster i krafttransformatorer och pumpning i pumpkraftverk. Den totala produktionen av elektrisk energi blir sålunda 295 PJ år 1975, varav 3 PJ netto är importerad elektricitet. Av denna produktion används 260 PJ. Resten går förlorad som lednings- och anpassningsförluster på sin väg till konsumenten.

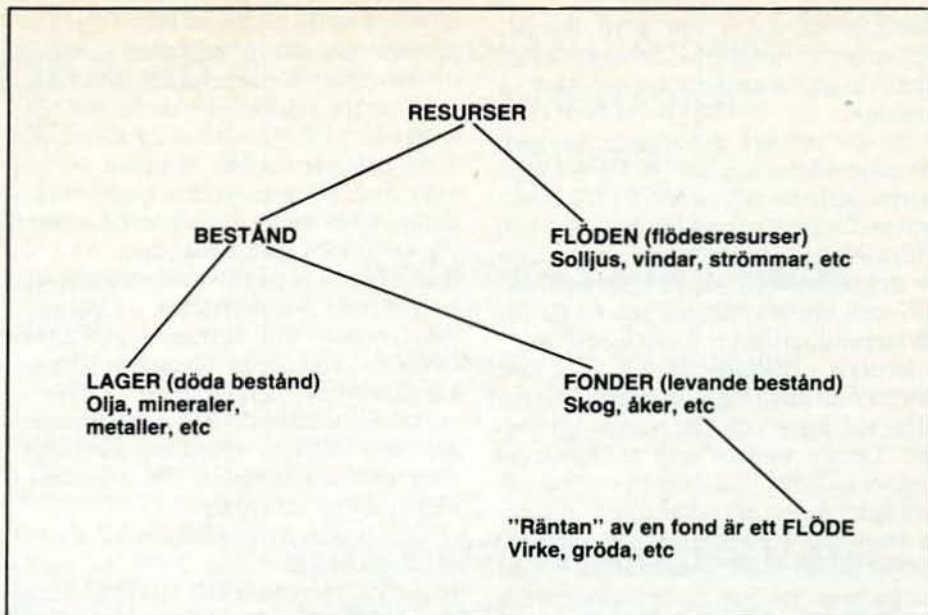
För Sverige är omsättningen av malmer helt dominerad av järnmalm. Svensk järnmalm håller i genomsnitt en järnhalt av ca 60 viktsprocent och består vanligen av skapatitjärnmalm med kemisk beteckning Fe_3O_4 (magnetit).

Den svenska järnmalmsproduktionen var 1975 ca 31 Mton. Om vi antar att all denna malm är magnetitjärnmalm fås att malmen representerar en total exergimängd av 18 PJ.

Den svenska järnproduktionen var 1975 ca 6 Mton. Grovt sett representerar detta alltså en exergimängd av 41 PJ. För att producera detta järn har åtgått ca 10 Mton malm, vilket motsvarar 6 PJ, och 36 PJ elektricitet och 110 PJ kol, koks och andra bränslen.

Andra vanliga bränslen

De vanligaste bränslena i Sverige är råol-



Figur 2. Klassificering av resurser.

ja, oljeprodukter, stenkolk och koks. Införseln av dessa varor motsvarar år 1975 totalt 1370 PJ.

Bränslen används inom den kemiska industrin som materialråvara. 65 PJ olja och 21 PJ elektricitet omvandlas till 43 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 bränsleinflödet (200 PJ). Bensin och olja omvandlas till transportarbete i bilar, bussar och lastbilar. Omkring 10% av bränslets exergiinnehåll används för att driva ett

VISSTE DU,

att **OCTOPUS*** värmepumpar under det gångna året värmer ytterligare 25 000 m² lägenhetsyta? Och detta enbart i Stockholm, Mariestad och Trelleborg!

Under de senaste två åren har dessutom över 200 000 m² villayta övergått till att värmas med **OCTOPUS***

Ring oss för offert: 040-756 45



OCTOPUS

ENERGI AB

Ingår i Statsföretagsgruppen • Medlem av Svenska Värmepumpsföreningen (SVEP)

NU VET JAG!

Skicka information så att jag också hinner med!

Jag har villa med.....m³ olja
 flerbildsfastighet

Namn:

Adress:

Telefon:

Till: OCTOPUS ENERGI AB, S Tullgatan 4 A, 211 40 Malmö

ST 3/84

motorfordon (ca 1 ton järn) framåt. Resten går förlorat eller används för att slita ut avgassystem, motor och däck på fordonet.

Av de tidigare redovisade användningsområdena återstår 36 PJ till oljeraffinaderierna och ca 586 PJ för direkt omvandling till värme för bostäder och andra lokaler och 115 PJ till produktion av elektricitet och värme i värmekraftverk och kraftvärmeverk och 86 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 värmens temperatur genom sambandet:

$$E = \frac{T - T_0}{T} \cdot Q$$

Q anger värmemängden och T anger dess absoluta temperatur. T är omgivningens absoluta temperatur. Faktorn $(T - T_0)/T$ kallas också Carnotfaktorn.

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 bostadsuppvärm-

ningen kan då beräknas till 0,05 multiplicerat med den tillförda värmemängden (energin). Detta medför att exergiinnehållet för respektive värme flöde blir: solvärme 1 PJ, fjärrvärme 2 PJ, elvärme 1 PJ och värme från bränslen 19 PJ. Siffrorna för värme från bränslen inkluderar också andra rena energiförluster (ca 35%) som varma rökgaser.

Låt oss nu se på följande resurskedja: kärnbränsle — elektricitet — värme i diagrammet. Vid omvandlingen kärnbränsle — elektricitet tillvaratas 30% av kärnbränslets exergiinnehåll. Följer vi sedan elektricitetsflödet ner till elvärme genom 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 3% av kärnbränslets totala exergiinnehåll utnyttjas i dagens kärnkraftverk. Dvs nettoutbytet är alltså egentligen ca 0,5 promille.) 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. Slutsatsen blir alltså att elektricitet ej bör användas som elvärme. Istället bör man använda en värmepump och förbättra omvandlingen elektricitet — värme till över 30% eller allra helst spara genom energihushåll-

ningsåtgärder. Det finns naturligtvis många fler resurskedjor att diskutera i diagrammet. Elvärme blir dock tyvärr allt vanligare, trots att den innebär ett enormt resursslöseri.

Av det totala resursinflödet av energi och material i det svenska smahället år 1975 på ca 2 600 PJ utnyttjades endast 20% eller drygt 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 något sämre, ca 12%.

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 1975 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. □□□

Sprøyttestøping av tekniske plastartikler

- Eget formverksted
- Egen produktutviklingsavd.
- 13 topp moderne støpemaskiner
- Rask levering
- Lave priser
- Topp kvalitet
- Be om vårt pristilbud



tretten
produkter as

Telefon 062-76 412. Telex nr. 72383 - Plast n. 2635 Tretten.