

# Kaskadkoppling av industriella processer

av Civ. ing. Leif Andersson, Projektenheten för energiteknik, STU

Om man en kall vinterdag vispar ägg med en elektrisk visp omvandlar vispen elenergi till mekanisk energi. Med hjälp av den mekaniska energin får vi ägget vispat och mekanisk energi omvandlas därvid till värme som bidrar till uppvärmning av huset. Den el vi tar ut används alltså två gånger, först för att vispa ägget sen för att värma huset. Att på detta sätt sammankoppla flera processer så att de kan använda samma energi kallas för kaskadkoppling av processer.

Vi kan, om vi vill, betrakta mekanisk energi och elenergi som energiformer med mycket hög "temperatur". Att vi kan använda denna energi för vispningen och för uppvärmningen beror på att dessa båda processer ligger i olika "temperaturområden".

Om vi låter en viss energimängd  $E_0$  genomlöpa en serie processer behöver vi beskriva energiomvandlingarna så att vi kan se hur processerna måste ordnas för att vi skall få önskat resultat. Vilken process måste ligga först, vilken skall ligga därefter, skulle vi kunna få in någon process däremellan?

För att beskriva förloppet kan vi skriva energin som en produkt av två faktorer  $S$  och  $T$  som vi kan kalla entropi och temperatur. Om vi följer en konstant energimängd  $E_0$  genom en processkedja och inte delar upp  $E_0$  i olika delar gäller då hela tiden att  $ST = E_0$  d v s  $ST$  förblir konstant. När  $T$  minskar ökar alltså  $S$ . Vi kan rita upp  $T$  som funktion av  $S$  i ett  $T$ - $S$  diagram.

Termodynamikens andra huvudsats säger att alla energiomvandlingar spontant går åt höger i detta diagram. Eftersom vi följer en konstant energimängd måste alla omvandlingar ske längs hyperbeln  $T = E_0/S$  en förflyttning åt höger innebär då att  $T$  minskar. Vi kan nu utgå från energi ( $E_0$ ) med hög temperatur  $T_0$  och låg entropi  $S_0$ . Genom att låta temperaturen sjunka och entropin öka kan vi utnyttja denna energi för att driva två processer som utnyttjar temperaturfallen  $\Delta T_A$  resp  $\Delta T_B$ . När temperaturen fallit till  $T_1$  är denna energi fortfarande lika

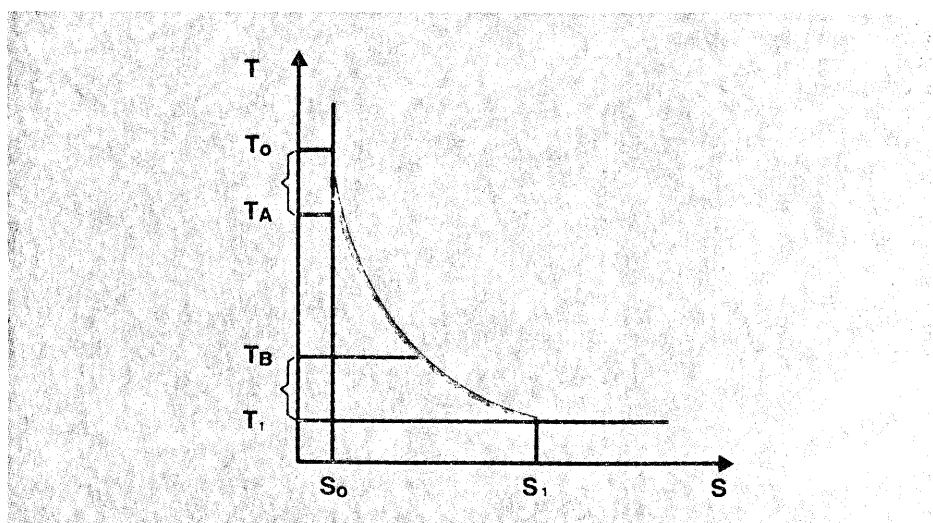
stor ( $E_0$ ) men eftersom vi enligt andra huvudsatsen inte kan få en spontan omvandling åt andra hållet är energin nu oanvändbar för dessa processer.

Vi ser i detta diagram tydligt att det finns ett stort outnyttjat temperaturfall mellan  $\Delta T_A$  och  $T_B$ . Där kan vi lägga in ytterligare processer som vi då får med "på köpet".

Att man på detta sätt skall kombinera processer verkar ju självklart om vi har brist på energi med hög temperatur och låg entropi (brist på energi vid omgivningstemperatur har vi naturligtvis inte utan problemet är en brist på omvandlingsbar energi). Varför gör man inte så i större utsträckning? Svaret är naturligtvis att det finns andra skäl att driva varje process för sig. Process A kanske lämpar

sig för kaskadkoppling med process B men av regionalpolitiska skäl vill man inte lägga fabrikena i närheten av varandra. Om man sammankopplar process A med process B och får ett driftstopp i process A kan man få problem även i B. Om efterfrågan på den vara man tillverkar i A minskar kan det bli problem att hålla igång B o s v. Kaskadkoppling är speciellt intressant i Sverige genom att de industrigrenar som här i landet användes i särklass mest energi är järn och stål samt massa och papper, d v s en högttemperaturindustri och en lågtemperaturindustri. Men att samlokalisera pappersbruk med stålverk innebär naturligtvis en rad problem.

De allvarliga hindren för en ökad användning av kaskadkoppling är alltså att vi saknar goda metoder att distribuera tillgänglig entropiökning (d v s outnyttjade temperaturfall) i tid och rum. Här finns alltså ett mycket viktigt forskningsområde. De vinster man kan göra genom att lösa detta är emellertid betydande. Vi kan t ex ha 3 processer med verkningsgraden 70%. Vi kan naturligtvis försöka öka verkningsgraden till 100% men om vi i stället kunde kaskadkoppla dem skulle ju "verkningsgraden" inte bli 100% utan  $3 \times 70 = 210\%$ .



När energimängden  $T_0 S_0$  vid fallande temperatur och ökande entropi omvandlas till den lika stora energimängden  $T_1 S_1$  utnyttjas temperaturfallet  $\Delta T_A$  för en process och temperaturfallet  $\Delta T_B$  för en annan process.