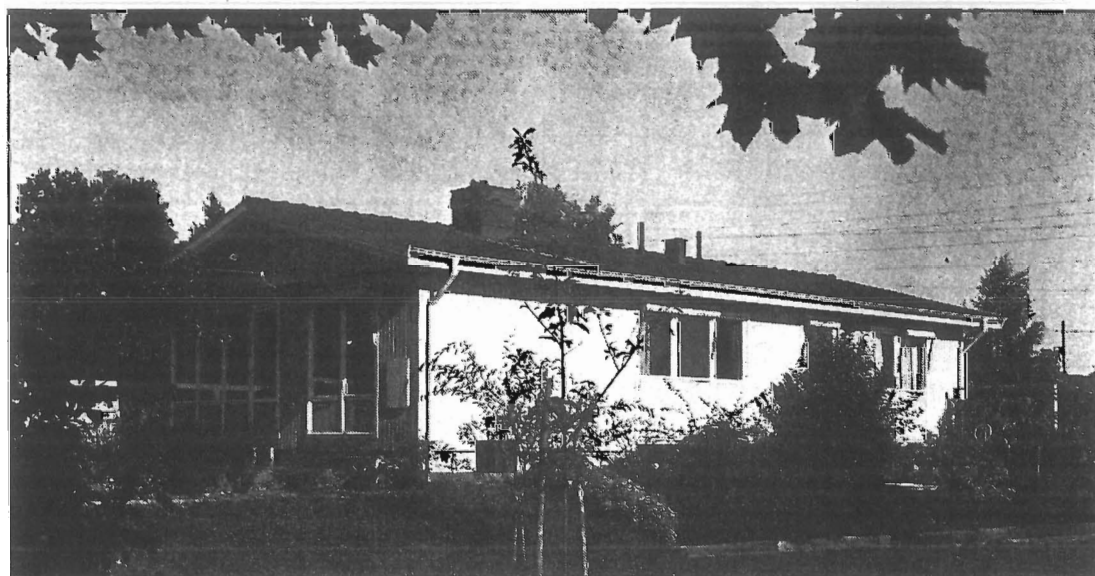
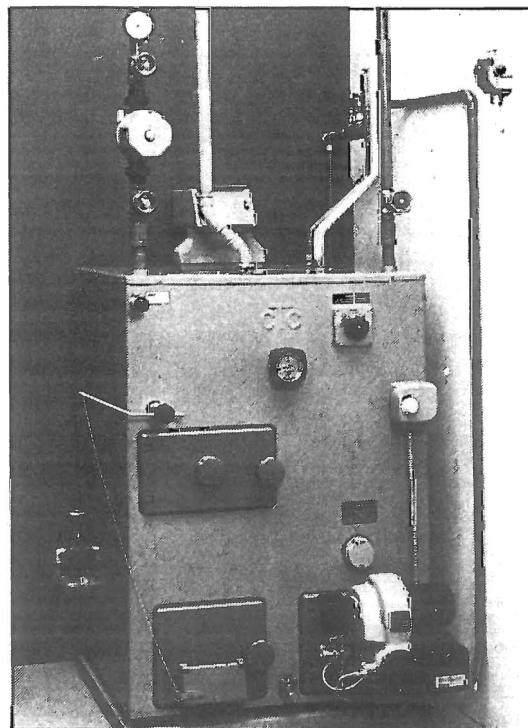
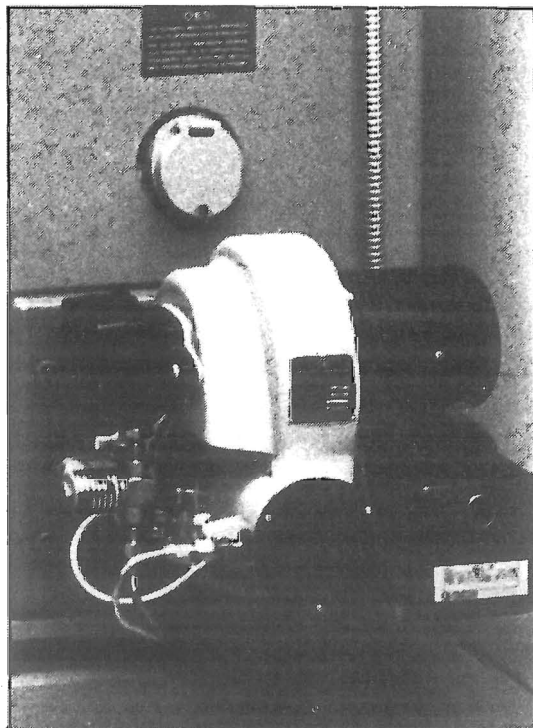


Verkningsgraden ofta missvisande: Använd hellre energiproduktivitet

Begreppet energiproduktivitet bör användas flitigare som mått på ett energisystems effektivitet, anser Anders Grufman. Detta begrepp utgör kvoten mellan det som energisystemet i verkligheten bidrar till att producera och åtgången av energi för denna "produktion". Måttet ger ofta en korrektare bild än verkningsgraden av t ex ett värmesystems effektivitet i ett hus. I förlängningen av denna diskussion ligger frågan om olika energiformers kvalitéer.



Beroende på vilket avgränsat energisystem man väljer – hela härden, pannan eller huset – blir verkningsgraden helt olika, t ex 95, 70 respektive 0 %. Det vanliga begreppet verkningsgrad är därför ett ofta svårhanterat mått på ett energisystems effektivitet.



I bland annat Hannes Alfvéns artikel "Vet våra politiker vad energi innebär?" (DN 21/9 1975) talas om värmepumpar med en verkningsgrad av 200 %. Den som vet att vi

inte kan "tillverka" energi reagerar givetvis inför verkningsgradstal överstigande 100%. Siffran 200 % ger dock i grunden inte uttryck för en ny fysikalisk sanning – eftersom

vi vet att aggregatet erhåller energin från den omgivande luften – utan för en ekonomisk sanning: Den produkt som vi levererar från värmepumpen, värmeenergi, och den

prissatta energi som vi betalar för står i relationen två till ett.

Om man inräknar de totala energimängderna som förs till luftpumpen så kanske verkningsgraden stannar vid, låt oss säga, 70 %.

Den maximala verkningsgraden, 100 %, vilar orubbligt på termodynamikens lagar.

Det faktum att det existerar uppgifter om 200 % verkningsgrad tyder på att verkningsgradsbegreppet, som eljest skulle ha sprängt sitt eget existensområde, begagnas inte bara vid t ex energibalansberäkningar utan även som ekonomiskt effektivitetsmått. Som sådant ligger det inget orimligt i talet 200 %.

Mäter verkningsgraden verkliga effektiviteten?

Ett effektivitetskriterium ger oss svar på t ex frågan, vilken produktionsmetod som är bäst att använda.

Vid utvärdering av energisystem träffar vi på flera effektivitetskriterier, men allra vanligast är verkningsgraden. Den verkningsgrad som endast tar hänsyn till energiflödena är dock bara ett partiellt effektivitetsmått, dvs det inkluderar inte alla inverkanseffektorer i analysen t ex kapitalkostnader. För att verkningsgraden skall vara ett adekvat urvalskriterium måste vi göra övriga faktorer likvärdiga i en analys. Detta begränsar givetvis verkningsgradsbegreppets tillämpning, även om man ofta av praktiska skäl bortser från inverkan av övriga faktorer.

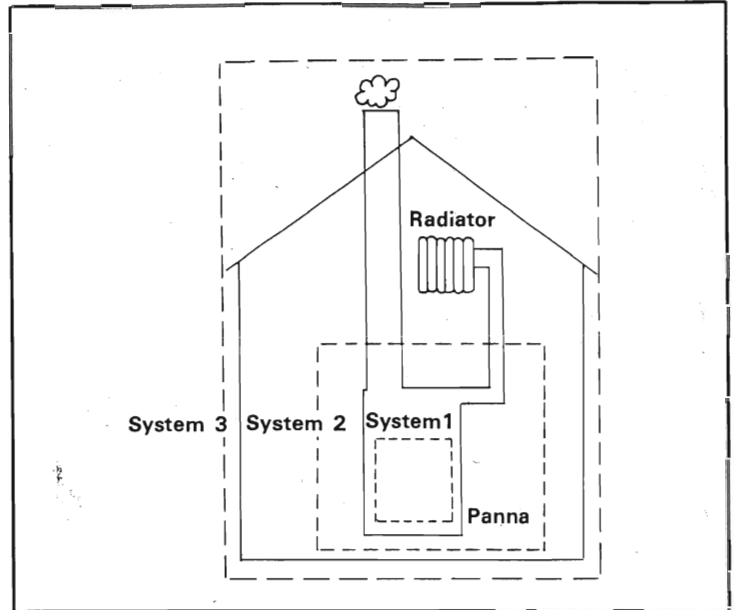
Det räcker emellertid inte med att vara medveten om att verkningsgraden är ett partiellt mått. Verkningsgraden definieras som kvoten mellan nyttiggjord och tillförd energi. Problemen i samband med användningen av verkningsgraden som effektivitetsmått är att även kunna precisera vad som är nyttiggjord energi och vad som är tillförd energi.

När man talar om vad som är tillförd energi, är det viktigt att slå fast att vi inkluderar i ett effektivitetsresonemang endast de produktionsfaktorer som har ett pris. Övriga faktorer, som t ex energin i luften, är gratis och kan således inte vara med och påverka en effektivitetskalkyl, ty med en viss given produktion kan vi använda i princip hur mycket "luftenergi" som helst, utan att kostnaderna för denna produktionsfaktor påverkas. Påverkas inte kostnaderna, påverkas inte heller effektiviteten.

Avgränsning av systemet är en kritisk fråga

Det andra problemet hänger samman med definitionen av nyttiggjord energi. Om vi mekaniskt tillämpar ett verkningsgradsresonemang på t ex ett hus som värms upp av en värmepanna, blir problemet

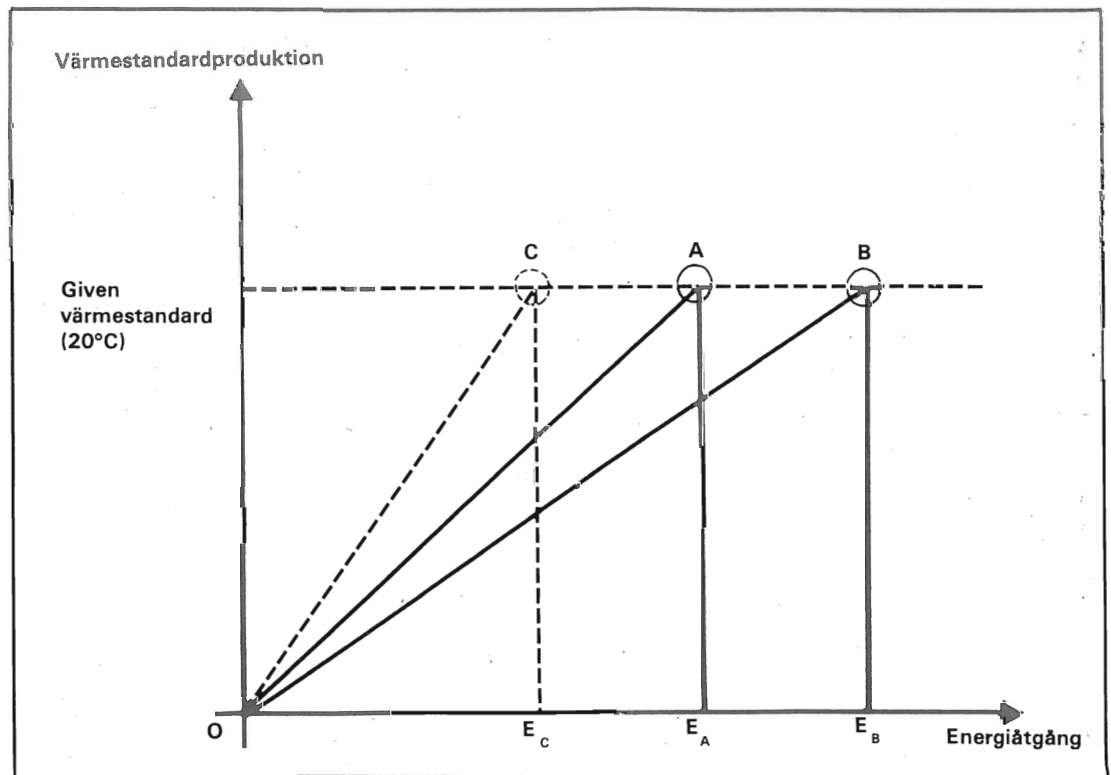
Mått för verkningsgrad svår bemästrat effektivitetsmått



① När verkningsgraden används som effektivitetsmått kan den avse flera olika system. I ett hus kan man t ex välja tre olika systemavgränsningar (streckade linjer): härden (1), hela pannan (2) och hela huset (3).

mer uppenbart. Verkningsgraden refererar till ett avgränsat energisystem till vilket vi för en viss mängd energi per tidsenhet och från vilket det strömmar lika mycket energi (vi bortser från värmeackumuleringen). Eftersom värmesystemet i huset

kan avgränsas på flera olika sätt kan vi också räkna ut flera olika verkningsgrader, dvs vid olika definitioner av ett system blir måttet på vad som är nyttiggjord energi olika. Eftersom all energi strömmar igenom huset är nyttiggjord energi inte det samma som lagrad energi, som fal-



② Figuren belyser vilka antaganden som måste göras för att kunna använda verkningsgraden som effektivitetsmått i fallet med husuppvärmning.

Linjen OA visar vilken värmestandard vi erhåller vid olika energigång i ett värmesystem A, under antagande av linjärt samband mellan värmeleverans och standard. (Antagandena om linearitet är gjorda för att förenkla resonemanget.) Värmesystemet antas ha samma linjära relation mellan värmeleverans och värmestandard som system A, men med större förluster i t ex pannan. Detta betyder att energigången för system B (linje OB) blir högre. Om vi däremot förbättrar t ex isoleringen i huset kommer den (linjära) relationen mellan energileverans och värmestandardproduktion för system B att förändras så starkt att energigången (E_C) totalt sjunker under E_A . Detta system (C) blir då effektivare än system A, trots att verkningsgraden i system C är lägre. Det korrekta effektivitetsmålet är här således energiförbrukningen, och inte verkningsgraden.

let är t ex i reduktionsprocesser vid stältillverkning (endoterma processer).

En systemavgränsning består av själva härden, en annan av hela pannan och en tredje av huset. ① Gör vi en verkningsgradsanalys på minsta systemet, härden, kan vi notera att verkningsgraden är på ett ungefär 95 %, dvs det mesta av energin övergår i form av värme till olika värmeupptagande ytor. Härden nyttiggör således den kemiskt bundna energin när den omvandlar den till värme i olika former. I systemet med hela pannan levererar vi en viss mängd värme till radiatorerna. Dividerar vi denna nyttiggjorda energi med den tillförda blir verkningsgraden t ex 70 %. Om till sist hela huset betraktas vet vi att all tillförd energi lämnar huset (om inte temperaturen ökar i det). Den energi som lämnar huset blir givetvis inte nyttiggjord om inte kråkorna inkluderas i analysen. Verkningsgraden i det tredje fallet blir 0 %, dvs allt blir förluster.

Vi har således tre verkningsgrader för samma energiflöde (vilket är en följd av giltigheten i termodynamikens andra huvudsats), men vi har ingen entydig vägledning om vilken avgränsning av värmesystemet som kan ge en korrekt effektivitetsanalys.

Problemen i samband härmed beror på att en effektivitetsjämförelse förutsätter avgränsningar av ett ekonomiskt system, medan verkningsgradsmåttet avser ett tekniskt system. I den mån dessa systems avgränsningar och mått kan fås att sammanfalla är verkningsgradsmåttet ett adekvat effektivitetsmått.

Ytterligare ett exempel visar hur svårbemästrat verkningsgradsmåttet kan bli som effektivitetsmått. Om vi antar att strålningsförlusterna från pannan, som räknas som en verkningsgradsförlust i systemet med bara pannan, i verkligheten bidrar till att värma upp huset medger inget av föregående fall att vi säger något om en pannas överlängdenhet över den andra, inte ens ur energisynpunkt. Vi kan naturligtvis inkludera denna ytterligare energimängd i analysen och få ett nytt verkningsgradsmått. Men om vi dessutom vet att denna strålningsenergi inte är lika "nyttig" som den som går ut i radiatorerna genom att hälften av energin går rakt ut genom en vägg och den andra hälften värmer upp luften i huset, skall vi då anse hälften av energin som nyttiggjord och hälften som förlust och få ett ytterligare verkningsgradsmått?

Verkningsgradsbegreppet är alltså svårhanterat som effektivitetsmått, men trots detta används begreppet med växlande framgång i energidebatten, kanske mer än något annat, av både politiker, naturvetare och samhällsvetare. Användningen av verkningsgradsmåttet underlättas om man försöker knyta

samman det "tekniska systemet" med det "ekonomiska systemet".

Ett alternativt mått: produkt/energiåtgång

Vi har snuddat vid några begrepp som kan hjälpa till att knyta samman de två "systemen".

Det första är *produkt* och det andra är *energiåtgång*. Med produkt menar vi en vara eller tjänst som har ett pris högre än noll och med energiåtgång menar vi den prissatta (knappa) energi som vi tillför för att producera produkten. Om det endast går åt energi för att producera en produkt, t ex värme, består effektivitetsmålet av relationen mellan vad vi erhåller och vad vi uppoffrar, dvs produkten "värme i huset" dividerad med energiåtgången.

Vi kan således undvika att använda begreppet "nyttiggjord" energi, vilket är ett mångtydigt begrepp, och i stället skapa ett mått på vad som produceras, t ex *värmestandard*. Således vid en viss given värmestandard karakteriseras här effektivitetskriteriet av kostnadsminimum. ②

Om vi antar att vi skall jämföra två värmeanläggningars effektivitet (de kostar lika mycket i inköp och har lika lång livslängd) så väljer vi den som har den lägsta driftskostnaden vid en viss given värmestandard. Denna värmestandard är analog med produktionsnivån i t ex ett verkstadsföretag. Lägsta driftskostnaden erhålls i den anläggning som har den lägsta energiåtgången (om vi antar lika energipriser till respektive anläggning).

De lägsta energiåtgångstalen (kostnadsminimum) uppstår sannolikt (men inte nödvändigtvis) i den anläggning som har den högsta verkningsgraden. En eventuell avvikelse från detta förväntade förhållande kan bero på t ex värmedistributions-systemens olika utformning.

Skall vi utnyttja oljan effektivt skall vi således inte nödvändigtvis maximera verkningsgraden i en värmeanläggning. Relationen mellan de två effektivitetsmåten kan vara komplicerad, men man kan med enkla antaganden byta det ena måttet, som är välkänt och flitigt använt, mot det andra som är mindre använt men kanske korrektere.

Ekonomerna talar om energiproduktivitet

Det mått som här angivits, dvs kvoten mellan den producerade "mängden" och åtgången av energi, kallas i andra sammanhang för *energiproduktivitet*. Vid användningen av energiproduktivitetsmålet söker vi således uttrycket i täljaren, "värmestandardproduktionen". Det kan vara svårt att mäta, men som någon känd vetenskapsman har sagt, så är det bättre att ha ett osäkert mått på den rätta variabeln än ett säkert mått på den felaktiga.

Om det finns en fix relation mellan tillförseln av radiatorvärme till fastigheten och "värmestandardproduktionen" så är uttrycket för värmeleveransen ett adekvat "produktionsmått" för värmesystemet. Värmeleveransen är således endast ett mått på produkten från värmesystemet, värmestandard. Kvoten mellan produktionen (mätt som energileverans, eller nyttiggjord värme) och tillförd energi blir i detta fall identisk med verkningsgraden för värmesystemet.

Om vi vill göra en jämförelse mellan t ex två värmesystem finns det alltså två sätt att se vilket som är mest effektivt. Antingen studerar man verkningsgraden direkt och gör antaganden om relationen mellan värmeutflöde och "värmestandardproduktion", eller också studerar man bara energiåtgången vid en viss given värmestandard.

Energiproduktiviteten har stor likhet med verkningsgradsmåttet, som emellertid har ett snävare tillämpningsområde. Ingenjörer och ekonomer använder ovannämnda begrepp i många olika sammanhang. Naturvetare tenderar att oftare tala om verkningsgraden, medan ekonomer hellre talar om energiproduktivitet. I de flesta fall då det rör

sig om energileveranser är uttrycken utbytbara mot varandra. Verkningsgradsmåttet påvisar dock alltid de potentiella energibesparingar som finns i ett givet energisystem, vilket inte energiproduktivitetsmålet nödvändigtvis gör.

Värmepumpar och oljepannor har olika energiproduktivitet. Värmepumpens energiproduktivitet är ca 2,5 ggr högre än oljepannans, dvs det går åt 2,5 ggr mindre prissatt energi för att producera en given värmekomfort. För att göra detta konstaterande behöver vi inte spränga vår teoretiska begreppsapparat. ■

Mer att läsa:

Allvén, H: *Vet våra politiker vad energi innebär?* Artikel i DN 1975-09-21.

Carlsson, B, & Josefsson, M: *Industrins energiförbrukning, analys och prognos fram till 1985*. IUI 1974.

Ruist, E: *Industriföretagets produktionseffektivitet, några mätningmetoder*. IUI 1960.



Anders Grufman
civilingenjör KTH M 70,
civilingenjör DHS, arbetar med frågor om energianvändning och teknisk utveckling vid Industriens Utredningsinstitut.

Energiproduktiviteten visar den bättre värmestandarden

Följande räkneexempel kan belysa användbarheten av begreppen verkningsgrad och energiproduktivitet. Tabellen visar att en analys av energiproduktiviteten ger en samlad bild över hur energiförbrukningen i olika fastigheter förändrats över tiden till följd av samtliga de förbättringar som påverkar värmebalansen i en fastighet, dvs förändringar i både pannverkningsgrader och isolering. Siffrorna i tabellen approximerar verkliga förhållanden.

Eftersom pannverkningsgraden i det moderna bostadsbeståndet är endast 7 % högre än i det gamla, förklaras större delen (58 % = 65 - 7 %) av den minskade energiförbrukningen per producerad "enhet" värmestandard med att man infört bättre isolering.

Om vi skulle installera de bättre pannorna i de gamla bostäderna skulle energiproduktiviteten där bli 2,14 årskvadratmeter lägenhetsyta per MWh, dvs 7 % högre än för närvarande. Genom att således endast studera verkningsgraderna skulle vi i det ena fallet endast förklara 10 % av förändringen i energiproduktiviteten, därför att relationen mellan energileverans från pannan och värmestandardproduktion förändrats i kalkylen. I det andra fallet, om vi endast byter panna mellan fastigheterna, förklarar vi hela förändringen i energiproduktiviteten med förändringen i pannverkningsgraden. Observera emellertid att själva definitionen av pannverkningsgraden påverkas om värmepannan flyttas ur det hus som värms upp. Strålningsförlusterna kan ju i ett sådant fall inte "nyttiggöras". Energiproduktiviteten förändras i ett sådant fall, men inte definitionen av begreppet.

Grova jämförelsevärden för 1975 av energiproduktivitet och pannverkningsgrad i olika gamla fastigheter.

Fastigheternas byggnadsår	Energiproduktivitet = "värmestandardproduktion" per energienhet Årskvadratmeter lägenhetsyta/MWh	Ökning av energiproduktivitet	Pannverkningsgrad	Ökning av pannverkningsgrad
		%		%
1942	2,0	—	0,84	—
1961	3,3	65	0,90	7