

Föreläsningsanteckningar om ENERGIKVALITET mm

Energiresurser

Carnotprocessen

Energikvalitet – exergi

Några räkneexempel

Två olika sätt att betrakta avdunstning

Några begrepp:

Helmholtz energi, entalpi, Gibbs energi

Senare

Hållbar utveckling

Vi kommer nu att knyta ihop det som vi lärt oss i termodynamiken med en diskussion om HÅLLBAR UTVECKLING.

Naturresurserna kan grovt indelas i energi, material, livsmedel och vatten.

Dessa resurser är kopplade till varandra.

I den här kursen väljer vi att fokusera på energin. Skälen till att lyfta ut energin är att det är en fysikalisk fråga, den anknyter till termodynamiken och energiproblematiken är mycket aktuell i dagens samhälle.

Energitillgångarna är ändliga och användningen av energi leder till miljöpåverkan.

Oljan finns i begränsade mängder och när vi använder den förädlade oljan, i form av bensin eller diesel i våra bilar, alstras det oundvikligen utsläpp som påverkar miljön, som luftföroreningar eller växthusgaser. Kombinationen av begränsade tillgångar, miljöpåverkan, ökande befolkning och krav på ökad materiell standard leder till ett dilemma. Vi vill behålla en hög materiell standard och vi bör också ge möjlighet för framtida generationer att leva på goda villkor.

De senaste åren har framför allt utsläppen av koldioxid vid förbränning av fossila bränslen lyft upp energiresursfrågan till något centralt, både på nationell och global nivå.

Två frågor står i centrum:

- Vilka energikällor eller energislag skall vi använda för att tillgodose energibehoven?
- Hur skall vi använda energin?

Vilka energikällor finns det?

En indelning är i icke-förnybara och förnybara.

Till de icke-förnybara hör kol, olja, naturgas, uran. Till de förnybara hör sol, vind, vattenkraft och biomassa.

Vilken mix av energikällor eller energislag som väljs beror på en lång rad faktorer, såsom ekonomi, nationella tillgångar, tradition och fysikalisk - tekniska mm.

Vi kommer alltså här att uppehålla oss vid de fysikalisk-tekniska faktorerna.

"System" innebär generellt någon avgränsad mängd materia i form av gas, vätska, fast ämne eller en kombination av dessa. I energisammanhang är vi mest intresserade av system som en liter bensin, en liter etanol, ett kg uran, luftmassan som blåser med viss hastighet mot ett vindkraftverk etc.

Energien i systemet behöver som regel omvandlas så att den kan utföra något praktiskt. Det kan röra sig om värma ett hus, driva en bil, få hissen att gå upp och ner eller vispa grädde med elvispen.

Omvandlingen eller överföringen av energi ger en slutprodukt som i princip bara är arbete eller värme. Arbete och värme (värmeenergi) är energi under transport.

Det kan vara lite svårt att få en känsla för hur mycket 404 TWh egentligen är.

Ett litet räkneexempel kan ge en uppfattning om storleksordningen.

Antag att du, när nyårsklockorna ringer, sätter på alla fyra plattorna på elspisen på maximal effekt.

Plattorna är normalt på 1000-1500 W, vi räknar med ett genomsnitt på 1300 W, och för de fyra plattorna blir det då en effekt på 5200 W.

Låt dessa plattor stå på hela året, utan avbrott.

Antag vidare att landets nio millioner invånare gör precis likadant.

Den totala energi som alla dessa plattor behöver under ett år blir 404 TWh.

Man kan förstå diskutera om detta är mycket eller lite energi, men när du skall betala elräkningen finner du nog att det är ganska mycket.

Energiläget i Sverige och världen.

SVERIGE

Energianvändningen i Sverige uppgick 2007 till 404 TWh (terawattimmar).

1 TWh = 10^{12} Wh = 10^9 kWh.

Energitillförsel var 624 TWh och skillnaden på 220 TWh gick bort olika förluster.

Tillförsel av energi

Fossila bränslen	38% (Olja 32%, kol 5%, gas 2%)
Förnybar energi	30% (främst vattenkraftproducerad el)
Kärnkraft	31%

Användning av energi

Bostäder, service	35 %
Transporter	26 %
Industri	31 %

VÄRLDEN

Världens energitillförsel är ca 100 000 TWh.

Sverige står således för 0,6% (624TWh) av denna energi. Eftersom v
utgör 0,13% av jordens befolkning använder varje svensk 4-5 gånge
mer energi än den genomsnittliga världsmedborgaren.

Tillförsel av energi

Fossila bränslen 80% (Olja 33 %, kol 26 %, gas 21 %)

Förnybar energi 13 %

Kärnkraft 6 %

Användning av energi

Bostäder, service 37%

Transporter 28%

Industri 26%

Carnotprocessen igen.

Härledning av processens verkningsgrad:

- 1 → 2 isoterm T_h
- 2 → 3 adiabat
- 3 → 4 isoterm T_L
- 4 → 1 adiabat

$$e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{nRT_h \ln \frac{V_2}{V_1} + nRT_L \ln \frac{V_4}{V_3}}{nRT_h \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

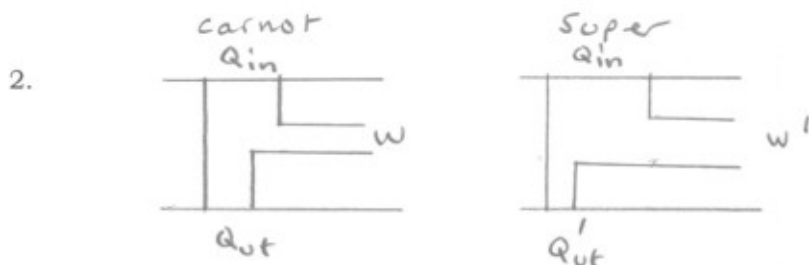
$$\left. \begin{array}{l} \text{men } P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \\ P_2 V_2^\gamma = P_3 V_3^\gamma \\ P_3 V_3^\gamma = P_4 V_4^\gamma \\ P_4 V_4^\gamma = P_1 V_1^\gamma \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} V_2^{\gamma-1} \cdot V_4^{\gamma-1} = \\ = V_3^{\gamma-1} \cdot V_1^{\gamma-1} \\ \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \end{array}$$

$$\Rightarrow e = \frac{T_h - T_L}{T_h}$$

Finns det någon bättre värmemaskin än Carnotmaskinen? Nej.
Två bevis som båda bygger på termodynamikens andra huvudsats:

$$\begin{aligned} 1. \quad \frac{T_h - T_L}{T_h} &= \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \Rightarrow Q_1 T_h - Q_1 T_h = Q_1 T_h - Q_2 T_h \\ \Rightarrow Q_1 T_L &= Q_2 T_h \Rightarrow \frac{Q_1}{T_h} = \frac{Q_2}{T_L} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \frac{Q_1}{T_h} - \frac{Q_2}{T_L} = 0 \quad \text{el.} \quad \Delta S = 0$$



Låt supermaskinen driva Carnot maskinen som körs som en värmepump

$$\begin{array}{lll} \text{sätt } Q_{in} = 5 \text{ J} & W = 3 \text{ J} & Q_{out} = 2 \text{ J} \\ & W' = 4 \text{ J} & Q'_{out} = 1 \text{ J} \end{array}$$

Om vi nu låter supermaskinen driva Carnot maskinen
Får vi en netto transport av värme på $2 - 1 = 1 \text{ J}$ från
den heta reservoaren. Endast 3 J av de 4 J som en super-
mask. nettoarbete behövs för detta. $\Rightarrow \Leftarrow$

Hur definierar man energikvalitet?

Det finns en rad olika sätt att betrakta energikvalitet. Följande exempel ger en bra bild av vad det handlar om.

Antag att vi har ett litermått fyllt med vatten m som befinner sig vid en temperatur T som är strax under 100 grader Celsius. Hur mycket energi har det gått åt för att öka temperaturen hos vattnet från nollgradigt vatten till temperaturen T ?

$$Q = m c \Delta T = m 4180 \cdot 100 = m 4,18 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Genom att ta sätta denna mängd vatten på ett lastbilsflak och köra iväg, så att den får ett tillskott rörelseenergi som är lika med Q . Hur fort måste vi då köra lastbilen?

$$Q = \frac{1}{2} m v^2 = m 4,18 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Detta ger en fart som är 914 m/s !!!

Man behöver inte ha så mycket fantasi för att förstå att det går att utnyttja i energin ett kilogram som kommer farande med 914 m/s betydligt bättre än en liter vatten i vattenkokaren hemma i köket som just är på väg att koka upp.

Hur mycket arbete kan man utvinna ur en värmereservoar som befinner sig vid 100 grader Celsius? Ja, det beror dels på i vilken omgivning som behållaren befinner sig i och dels vilken typ av värmemaskin vi har till vårt förfogande. Rent intuitivt förstår man att en behållare med temperaturen 100 grader är mer värd på en smällkall sydpol än mitt i en glödhet Saharaöken.

Carnotmaskinen är en teoretisk värmemaskin som aldrig går att realisera, men vi använder dess verkningsgrad för att definiera hur mycket energi vi kan utvinna ur vår värmereservoar.

Antag att vi har en värmereservoar som håller temperaturen 100 grader Celsius och som befinner sig i en omgivning där temperaturen är 0 grader Celsius

$$e_{\text{Carnot}} = T_h - T_l / T_h = 373 - 273 / 373 = 100 / 373 = 0,268 = 27\%$$

Vi kommer i fortsättningen att använda denna enkla definition på energikvalitet eller exergi.

1. Jämför följande två uppvärmningssystem för en bostad:

- i. Bostaden är uppvärmd av direktverkande elektriska radiatorer och energianvändningen är 20 MWh/år.
- ii. Bostaden värms till rumstemperatur av vattenburen värme från en fjärrvärmecentral i vilken solvärme och spillvärme utnyttjas. Vattentemperaturen är 40 grader Celsius.

Hur stor är skillnaden i förbrukning av exergi mellan de två systemen på ett år?

Lösning:

- i) Elektricitet har kvalitetsfaktorn 1 och all "energiförbrukning" (egentligen energispridning) är förbrukning av exergi. ΔE_W
 $\therefore \Delta E_W = \Delta E = 20 \text{ MWh/år}$

- ii) Energikvaliteten hos det 40-graddiga vattnet (313-graddiga i kelvinskalan) när det befinner sig i en omgivning där temperaturen är 20 grader färdig ges av

$$\frac{T_1 - T_c}{T_1} = \frac{\Delta T}{T_1} = \frac{20}{313}$$

För att värma upp bostaden går det fortfarande åt 20 MWh/år men exergiförbrukningen är nu bara hälften

$$\frac{20}{313} \cdot 20 \text{ MWh}$$

skillnaden ges av

$$\left(1 - \frac{20}{313}\right) 20 \text{ MWh} = \underline{\underline{18,7 \text{ MWh}}}$$

2. En kropp, med massan m , värmekapacitivet c och temperaturen T_1 befinner sig i en omgivning med temperaturen $T_0 < T_1$. Beräkna exergin i detta system.

Lösning: Vi använder omgivningen som kylare i en Carnotprocess. Observera att temp. hos kroppen minskar medan värmemaskinen arbetar. Det arbete som utträffas då kroppens temperatur är T ges av:

$$dW = mc(-dT) \frac{T - T_0}{T} = -mc dT \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$$

$$\Rightarrow W = \int dW = -\int_{T_1}^{T_0} mc dT + mc \int_{T_1}^{T_0} \frac{dT}{T} =$$

$$= mc(T_1 - T_0) + mc \ln \frac{T_0}{T_1} =$$

$$= mc T_0 \left[\frac{T_1 - T_0}{T_0} - \ln \frac{T_1}{T_0} \right]$$

siffror $t_1 = 100^\circ\text{C}$ $t_0 = 20^\circ\text{C}$

$$\Rightarrow T_1 = 373\text{K} \quad T_0 = 293\text{K}$$

$$\Rightarrow W = mc \cdot 293 \left[\frac{373 - 293}{293} - \ln \frac{373}{293} \right] =$$

$$= mc \cdot 293 \left[\frac{80}{293} - \ln \frac{373}{293} \right] = mc \cdot 9,27$$

$m = 1\text{kg}$ $c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$ $\Rightarrow W = \underline{\underline{38741\text{J}}}$

3. Uppvärmningssystem med värmemaskin kombinerad med en värmepump.

Fall I: En bränslehard har temperaturen $T_1 = 2000 \text{ K}$ och ger en värmemängd Q_1 till en bostad med temperaturen $T = 293 \text{ K}$ genom direkt uppvärmning.

Fall II: Antag att värmemängden Q_1 i stället driver en värmemaskin för vilken utomhusmiljön med $T_0 = 273 \text{ K}$ används som kylare. Maskinen driver en värmepump som från samma omgivning pumpar in värme i huset.

Hur mycket effektivare är det senare värmesystemet än det förra? Gör en uppskattning av det ideala fallet.

Lösning:

Fall 1: Vi idealiserar och bortser från eventuella förluster, dvs $Q_2 = Q_1$

Fall 2: För värmemaskinen är den ideala verkningsgraden (Carnot)

$$\eta = \left(\frac{W}{Q_1} \right)_{\max} = \frac{T_1 - T_0}{T_1} = \frac{2000 - 273}{2000} = 0,86$$

För värmepumpen är den ideala värmefaktorn

$$e_{\text{cop}} = \left(\frac{Q_2}{W} \right)_{\max} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{293}{293 - 273} = 14,7$$

$$\Rightarrow \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)_{\max} = 14,7 \cdot 0,86 = 12,6$$

Svar: 12,6 ggr mer effektivt