

Sammanfattning av Gunnar Ohléns bok *Statistisk Termodynamik*.

## 1 Värmemaskiner

### 1.1 Värmemotor

För att driva en värmemotor krävs en **temperaturdifferens**.

För vidare diskussioner behövs begreppet **värmereservoar**. Det är en kropp som kan ta upp eller ge ifrån sig värme utan att dess egna temperatur ändras. M.h.a en konstant temperatur  $T_0$  i en reservoar så får man dess entropiändring av:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad \Rightarrow \quad \Delta S = \frac{Q}{T_0}$$

Genom att ha två stycken värmereservoarer, en varm och en kall, och använda naturens förkärlek för balans så strömmar värme från den varma till den kalla reservoaren. Mitt i denna ström tar man sedan på något sätt tillvara på rörelsen.

Det finns **cykliska värmemaskiner** där maskinen efter en cykel är tillbaka i samma tillstånd som i början. Eller **kontinuerliga värmemaskiner** där maskinens *inre tillstånd* är samma hela tiden.

Under en cykel eller en godtyckligt vald tidsperiod för en kontinuerligt arbetande värmemaskin lämnar en värmemängd  $q_h$  den varma reservoaren som har en temperatur  $T_h$ . Samtidigt når en värmemängd  $q_l$  den kalla reservoaren med temperatur  $T_l$ . Under samma tid utför värmemaskinen ett arbete  $w$ .

**Första huvudsatsen** ger då:

$$q_h = q_l + w \tag{1}$$

Då värmeströmningen är en irreversibel process (vi ser ju inte värme gå naturligt från kalla områden till varma?) så måste entropiändringen  $\Delta S_{total}$  vara större än 0. Då värmemotorn kommer tillbaka till samma tillstånd sker det ingen entropiändring i motorn. (*Kom ihåg konventionen att värme sätts positiv när det tillförs systemet*).

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{varm} + \Delta S_{kall} = -\frac{q_h}{T_h} + \frac{q_l}{T_l} \geq 0 \tag{2}$$

För att beräkna verkningsgraden av en värmemaskin tittar vi på det nyttiga arbetet vi får ut  $w$  och den energi vi måste ta  $q_h$ :

$$\eta = \frac{w}{q_h}$$

I t.ex. en bensinmotor betalar vi bensin som används som en varm reservoar (men det är inte riktigt en reservoar... ;).

Med ekvation 1 och 2 får vi:

$$\frac{q_l}{q_h} = \frac{T_l}{T_h} + \frac{T_l}{q_h} \cdot \Delta S$$
$$\eta = \frac{q_h - q_l}{q_h} = 1 - \frac{q_l}{q_h}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_l}{T_h} + \frac{T_l}{q_h} \cdot \Delta S$$

$$\Delta S = 0 \Rightarrow \eta_{carnot} = 1 - \frac{T_l}{T_h} \quad (3)$$

Vi vet att för en **reversibel process** är  $\Delta S = 0$ , det innebär att en helt **reversibel värmemotor** skulle ha den högsta verkningsgraden.

## 2 Värmepump och kylmaskin

En **värmepump** tar värme ifrån en kall kropp och lämnar ifrån sig värmen till en varm kropp. Övergången sker inte naturligt, som den gör i värmemotor, utan det krävs ett arbete för att flytta värmen. En kylmaskin fungerar på precis samma sätt, fast istället för att ta till vara på den varma kroppen så är det den kalla kroppen man är intresserad av - för att kyla något så tar man värme ifrån det.

För t.ex. husuppvärmning tar man energi från omgivningen och *lyfter* upp energin till en högre temperatur som man sedan för in i huset.

För att mäta effektiviteten hos en värmepump så tittar man på den värme man får ut till den varma kroppen,  $q_h$ , och den energi man måste använda för att *lyfta* upp den,  $w$ . Detta kallas för **värmefaktor**:

$$\eta_+ = \frac{q_h}{w}$$

Den **första huvudsatsen** ger att energin bevaras, vilket innebär att:  $q_l + w = q_h$  och enligt den **andra huvudsatsen**, samt vetenskapen om att högst verkningsgrad kommer då  $\Delta S = 0$ , får vi:

$$\Delta S = 0 = -\frac{q_l}{T_l} + \frac{q_h}{T_h} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{q_l}{q_h} = \frac{T_l}{T_h}$$

$$(\eta_+)_{max} = \frac{q_h}{w} = \frac{q_h}{q_h - q_l} = \frac{1}{1 - \frac{q_l}{q_h}} = \frac{1}{1 - \frac{T_l}{T_h}} = \frac{T_h}{T_h - T_l}$$

Vid beräkning av verkningsgrad för t.ex. en värmepump så får man tänka att man inte kan räkna med inomhus- kontra utomhustemperatur. Utan snarare får man räkna med köldmediets temperatur och temperaturen på värmebäraren i elementen.