

Kapittel 11

Varmetransport i fluider og faste stoffer.

To kjente begreper

- Temperatur

- Varme

Hva representerer disse?

- Temperatur er et mål for molekylers bevegelsesmengde.

Måles i Kelvin, (Celsius, Fahrenheit)

0 bevegelse \rightarrow 0 Kelvin
 $= -273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$

Høy bevegelse \rightarrow høy temp.

Molekylene øker bevegelsen ved tilført varme.

- Med "varme" mener vi egentlig termisk energi
 - Indre energi (egenkap)
 - Tilført varme (prosess)

Indre energi er en egenkap av et stoff.

- Et stoff med en viss temperatur har en viss indre energi.

Inneholder ikke kinetisk eller potensiell (mekanisk) energi.

Ordet "varme" er litt forvirrende. På engelsk har man verbet

to heat = å varme
Og ordet "heat" betyr
i termodynamikken

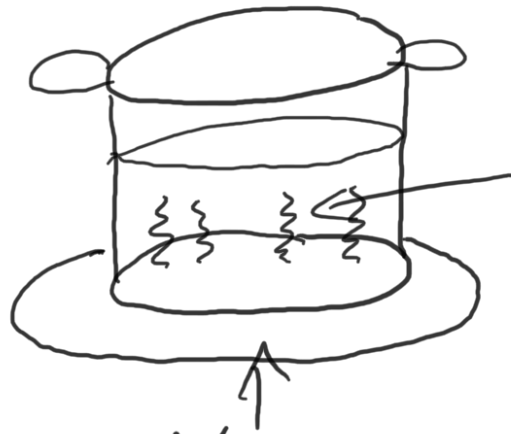
Flux av energi. Transport
av energi fra ett system
til et annet.

"Heat" er ikke en egenenskap
av et stoff. "Warm" er.

På norsk tilfører vi varme
for at det skal bli varmt!

Som sagt - forvirrende!

Tenk på en kjele med vann
som varmes på en kokeplate



Varme

Tilført varme
leder til økt
indre energi.

Vi varmer
vannet så det
blir varmere!

Engelsk: We "heat" the water to
make it "warmer."

Warm - egenkap - indre energi

Norsk

Varme - egenkap - indre energi
og tilført varme (heat)

Vi ser av og til "varmetetthet",
istedenfor indre energi.

Sammenheng

$$\text{Indre energi} = E \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$$

Termodynamikken sier at E er en funksjon av 2 tilstandsvariable. For eksempel

p - trykk

V - volum

S - entropi

T - temperatur

Men man bruker kun relevante tilstander. For eksempel

$$E(T, p) \vee E(T, V)$$

og tilstandene avhenger av hverandre. Økt volumet til en gass og trykket minsker.

I MEK1100 antar vi

$$\bar{E} = \bar{E}(T) \quad - \text{Konstant trykk eller volum}$$

Vi har

$$C_p = \left. \frac{\partial \bar{E}}{\partial T} \right|_{p=\text{konst}}$$

C_p = spesifikk varmekapasitet ved konstant trykk.

Alternativt

$$C_v = \left. \frac{\partial \bar{E}(T)}{\partial T} \right|_{v=\text{konst}}$$

C_p og C_v er så godt som like for væsker (intompressible), men for gasser blir det store forskjeller.

C_p og C_v finnes i oppslagsverk.

		C_p	C_v [$\frac{J}{SK}$]
Vann	25 °C	4,18	4,13
Luft		1,01	0,72

Indre energi kan ikke måles absolutt, så vi ser som regel på endringer ΔE .

Små endringer i temperatur.
Bruk 1 orden Taylor app.

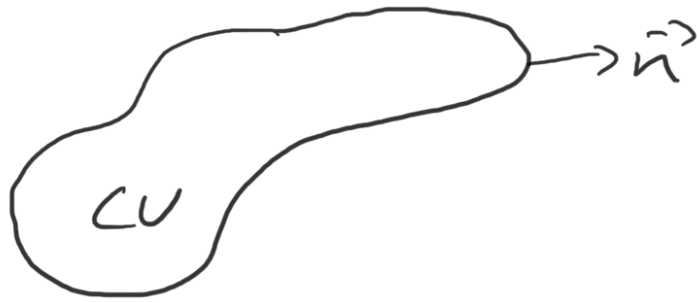
$$\Delta E \approx \frac{\partial E}{\partial T} \Delta T = C \Delta T$$

der $\Delta E = E(T) - E(T_0)$

$$\Delta T = T - T_0$$

T_0 er referansetemp.

Se på et kontrollvolum C_v



Total mengde indre energi i CV

$$\bar{E} = \int_{CV} \rho E(T) dV \quad [J]$$

der ρ er tettheten $[\frac{kg}{m^3}]$

Husk $E: [\frac{J}{kg}]$

Endring i \bar{E} ved en liten endring i temperatur

$$\frac{d\bar{E}}{dT} = \frac{d}{dT} \int_{CV} \rho E(T) dV$$

$$= \int_{CV} \rho \frac{\partial E}{\partial T} dV$$

← Antar ρ -konst

$$= \int_{CV} \rho c \, dV \approx \rho c V$$

Taylor :

$$\Delta \bar{E} = \frac{d\bar{E}}{dT} \Delta T$$

$$\Delta \bar{E} = \Delta T \int_{CV} \rho c \, dV$$

$$\Delta \bar{E} = \underline{\rho c \Delta T V}$$

Antar at
← ρc er konst
i CV

Eksempel

Kostnad ved oppvarming

- Lufting av rom

- Et bad

Vi kan slå opp prisen på elektrisk energi. Per idag

ca 60 øre/kWh

Ute er det ca 10°C , og jeg har ca 25°C inne.

Bytter ut lufta på soverommet som er ca 20m^2 og $2,5\text{m}$ høyt $\Rightarrow V = 50\text{m}^3$

Energi som kreves i [J]

$$\Delta \bar{E} = \rho c \Delta T V$$

$$\rho \approx 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c \approx 0,72 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$\Rightarrow \Delta \bar{E} \approx 0,72 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 15 \text{K} \cdot 50\text{m}^3$$

$$\approx \underline{\underline{650 \text{ kJ}}}$$

$$1 \text{ kWh} = \frac{1 \text{ kJ}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s}$$
$$= \underline{\underline{3600 \text{ kJ}}}$$

$$\Rightarrow \text{Pris} = \frac{650}{3600} \cdot 60 \text{ øre}$$
$$= \underline{\underline{11 \text{ øre}}}$$

Å luft er billig siden luft har lav spesifikk varmekapasitet.

Et badekar har

$$\text{Volum} \sim 2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ m}^3$$

$$c \sim 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$\Delta T \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho \sim 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Rightarrow \Delta \bar{E} \approx 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 30 \text{ K} \cdot 0,5 \text{ m}^3$$

$$\approx 63\,000 \text{ kr}$$

$$\text{Pris} = \frac{63\,000}{3600} \cdot 60$$

$$= 10 \text{ kr og } 50 \text{ øre}$$

Dyrt siden vann har høy varmekapasitet.