

Energi og varme

Energiformer, varmeoverføring og termodynamikkens lover

KM10 – Energi og ressurser

■ James Joule og ølbryggerens termometer

I 1843 utførte bryggerisønnen James Prescott Joule et møysommelig eksperiment: han fikk en fallende vekt til å rotere et padlehjul i et isolert kar med vann og målte temperaturstigningen. Igjen og igjen. Konklusjonen var klar: mekanisk arbeid ble omdannet til varme i et fast forhold.

Joule fastslo at 4,18 joule mekanisk arbeid tilsvarer 1 kalori varme – en forbløffende nøyaktig bestemmelse av det mekaniske varmekvivalentet. Hans arbeid la grunnlaget for termodynamikkens første lov: energibevaring. Energi kan ikke skapes eller ødelegges, bare omdannes. Da Joule var på bryllupsreise i Sveits, målte han temperaturen øverst og nederst i Shar-fossen for å kontrollere teorien – ifølge anekdoten fullt godkjent av bruden.

Energibegrepet

Energi er evnen til å utføre arbeid. Det er en skalær størrelse (kun størrelse, ikke retning) og måles i joule (J). Energi finnes i mange former og kan omdannes mellom formene, men den totale mengden energi i et lukket system er konstant – **energiebevaringsloven**.

Tabell 1: Energiformer og omdanning

Energiform	Formel/symbol	Eksempel	Kan omdannes til
Kinetisk (bevegelse)	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	Rullende ball, vind	Varme (friksjon), elektrisk (generator)
Potensiell (tyngde)	$E_p = mgh$	Vann i dam, løftet lodd	Kinetisk ved fall
Termisk (varme)	$Q = mc\Delta T$	Varmt vann	Mekanisk (dampmaskin), elektrisk
Kjemisk	Bindingsenergi	Batteri, mat, drivstoff	Termisk, elektrisk, mekanisk
Elektrisk	$E = U \cdot I \cdot t$	Strøm i ledning	Lys, varme, mekanisk
Kjerne (nukleær)	$E = mc^2$	Uran i reaktor	Termisk → elektrisk
Strålingsenergi	$E = hf$	Sollys	Elektrisk (solcelle), kjemisk (fotosyntese)

Varme og temperatur

Temperatur er et mål på gjennomsnittlig kinetisk energi per partikkel i et stoff. **Varme** er energi som overføres mellom legemer pga. temperaturdifferanse – fra varm til kald. Det er viktig å skille: temperatur er en tilstandsverdi, varme er en prosess. Vann ved 100°C har høyere temperatur enn bål; men et bål har mer total energi.

Varmekapasiteten til et stoff sier hvor mye energi som kreves for å øke temperaturen med 1°C. **Spesifikk varmekapasitet (c)** er energien per kg per grad: $Q = mc\Delta T$. Vann har svært høy $c = 4186 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ – det er grunnen til at havet regulerer kystklima og at vann er ideelt som kjølevæske.

Tabell 2: Spesifikk varmekapasitet for ulike stoffer

Stoff	Spesifikk varmekapasitet c [J/(kg·K)]	Relativ til vann
Vann	4186	1,00 (referanse)
Jern	450	0,11
Aluminium	900	0,21
Kobber	386	0,09
Bly	128	0,03
Luft	1006	0,24
Is	2090	0,50

■ Perpetuum mobile – maskinen som ikke kan finnes

I hundrevis av år har oppfinnere prøvd å lage perpetuum mobile – en maskin som produserer mer energi enn den forbruker, eller som går evig uten tilføring av energi. Det europeiske patentkontoret avviser automatisk søknader om perpetuum mobile.

Likevel strømmer de inn: vannhjul som pumper sin egen tilførsel, magneter som trekker metall i evig sirkelbevegelse, hjul med eksentrumsvekt. Alle feiler. Termodynamikkens første lov (energibevaring) sier at ingen maskin kan gi fra seg mer energi enn den tar inn. Termodynamikkens andre lov sier enda mer: ingen maskin kan omdanne termisk energi fullstendig til mekanisk arbeid. En motor vil alltid tape noe energi som varme – virkningsgraden er alltid under 100%.

Varmeoverføring

Varme overføres på tre måter:

Ledning (konduktivitet)

Varme ledes gjennom et materiale ved at atomer/molekyler vibrasjonsbevegelse smitter over på naboene. Metaller leder godt fordi frie elektroner transporterer energi effektivt. Isolatorer (tre, glass,

luft i luftlommer) leder dårlig. Termisk ledningsevne λ (W/(m·K)): kobber ≈ 400 , stål ≈ 50 , glass ≈ 1 , tre $\approx 0,15$, luft $\approx 0,025$.

Konveksjon

Konveksjon er varmetransport via fluidbevegelse (væske eller gass). Varmt fluid stiger (lavere tetthet), kjølt fluid synker – naturlig konveksjon. Havarstøm på Jorda (Golfstrøm), havbrise og vindmønstre er alle drevet av konveksjon på global skala. Tvungen konveksjon brukes i radiatorer, kjølevæskesystemer og vifteovner.

Stråling (emisjon)

Alle legemer med temperatur over absolutt nullpunkt sender ut elektromagnetisk stråling. Varmestråling avhenger av temperaturen: Stefan-Boltzmanns lov sier $P = \epsilon \sigma AT^4$ (effekten øker med fjerde potens av temperaturen). En kropp ved 300 K (27°C) sender ut primært infrarødt lys; solen (5778 K) sender ut synlig lys og UV.

Termodynamikkens lover

1. lov: Energibevaring

$\Delta U = Q - W$. Indre energi i et system øker lik tilført varme minus utført arbeid. Energi kan aldri skapes eller ødelegges – bare omdannes. Konsekvens: virkningsgraden til en motor er alltid $\leq 100\%$ (praktisk: langt lavere).

2. lov: Entropi

Varmeprosesser er irreversible: varme strøm alltid fra varm til kald, aldri spontant den andre veien. Entropien (uordenen) i et isolert system øker alltid. En Carnot-maskin er den teoretisk mest effektive varmemaskin; effektivitet $\eta = 1 - T_{\text{kald}}/T_{\text{varm}}$ (Kelvin). Ingen reell motor kan nå Carnot-grensen.

Tabell 3: Virkningsgrad for ulike energiomdannere

Kilde	Typisk virkningsgrad	Begrensende faktor
Kullkraftverk	35–40%	Carnot-grense, varmetap
Gasskraftverk (CCGT)	55–60%	Kombinert syklus forbedrer
Bensinmotor	25–30%	Friksjon, varmeutslipp
Dieselmotor	35–45%	Høyere kompresjon
Elektrisk motor	85–95%	Kobber- og jernmotstander
LED-lyspære	80–90%	Noe varmetap
Solcelle (silisium)	20–25%	Bandgap-begrensning

■ Forsøk 1: Kalorimetri – bestemm spesifikk varmekapasitet

Mål: Måle spesifikk varmekapasitet til metall ved å blande kaldt vann og varmt metall.

Utstyr: Kalorimeter (termosflaske), termometer, metallbit (aluminium eller kobber), kokende vann, vekt.

Fremgangsmåte:

- Vei metallbiten. Kok den i vann i 10 minutter ($T_{\text{metall}} \approx 100^{\circ}\text{C}$).
- Mål nøyaktig: masse kaldt vann (m_v), starttemperatur vann (T_v).
- Overfør raskt metallbiten til kalorimeteret. Mål likevektstemperaturen (T_f).
- Energibevaring: $m_m \times c_m \times (100 - T_f) = m_v \times 4186 \times (T_f - T_v)$
- Løs for c_m . Sammenlign med tabellverdi.

Forventet resultat: $c_{\text{aluminium}} \approx 900 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$. Feil skyldes varmetap til kalorimeter og luft.

■ Forsøk 2: Varmeledning i metaller

Mål: Sammenligne varmeledningsevne til kobber, aluminium og tre.

Utstyr: Stenger av kobber, aluminium og tre (like dimensjoner), stearinlys, voksbit, stoppeklokke.

Fremgangsmåte:

- Fest en liten voksbit på enden av hver stang (3 cm fra den kalde enden).
- Hold alle tre stangene over en felles varmekilde (stearinlys) i den andre enden.
- Mål tid til voksen smelter på hver stang.
- Ranger materialer etter ledningsevne. Stemmer det med tabellverdiene?
- Diskuter: hvorfor brukes kobber i elektrisk ledning, men aluminium i kjøleribber?

Forventet resultat: Kobber leder raskest, deretter aluminium, tre er nesten isolator. Praktisk validering av termisk ledningsevne.

■ Forsøk 3: Solvarmekollektoren – konversjon av strålingsenergi

Mål: Måle oppvarmingen av mørke vs. lyse overflater i sollys – illustrere solenergi.

Utstyr: To identiske bokser (papp), en malt svart, en hvit. Termometer i begge, plastfolie som deksel.

Fremgangsmåte:

- Isoler boksene med avispir. Fyll med like mye vann (200 mL).
- Sett begge i direkte sollys (eller sterk lampe). Mål starttemperatur.
- Mål temperaturen hvert 5. minutt i 30 minutter.
- Tegn temperatur-tid-grafer for begge.
- Beregn energi absorbert: $Q = mc\Delta T$. Sammenlign de to boksene.

Forventet resultat: Sort overflate absorberer ~3-5× mer energi enn hvit. Demonstrerer strålingsabsorpsjon og solkollektorprinsippet.

■ Oppgaver

■ Oppgave 1 (basis)

Hva er energibevaring? Gi tre eksempler på energiomdanning i hverdagen.

■ Oppgave 2 (basis)

Hva er forskjellen på varme og temperatur? Forklar med et eksempel.

■ Oppgave 3 (basis)

Forklar de tre metodene for varmeoverføring (ledning, konveksjon, stråling) og gi ett eksempel på hver.

■ Oppgave 4 (middels)

5 kg vann varmes fra 20°C til 80°C. Beregn energien som kreves. ($c_{\text{vann}} = 4186 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$). Hvor mange kilowatttimer er dette, og hva koster det ved 1,20 kr/kWh?

■ Oppgave 5 (middels)

En 1 kg aluminiumsblokk ($c = 900 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$) ved 200°C legges i 2 kg vann ved 20°C. Hva er likevektstemperaturen? (Anta ingen varmetap.)

■ Oppgave 6 (middels)

Forklar termodynamikkens første og andre lov. Hvorfor er det umulig med perpetuum mobile? Hva er Carnot-effektivitet og hva begrenser virkningsgraden til virkelige motorer?

■ Oppgave 7 (avansert)

Et gasskraftverk (CCGT) har varmekilde på 1500°C og kaldside på 50°C. Beregn Carnot-effektiviteten. Hvorfor er den faktiske effektiviteten lavere? Beregn CO₂-utslipp per kWh gitt at naturgass utslipp er 202 g CO₂/kWh ved 100% effektivitet.

■ Oppgave 8 (avansert)

Jorda mottar ca. 1361 W/m² solenergi (solarkonstanten) på toppen av atmosfæren. Beregn total innkommende solenergi til Jorda (radius 6371 km). Hvor mye energi reflekteres (albedo $\approx 0,30$)? Diskuter energibalansen og drivhuseffektens rolle.

■ Oppsummering

Viktige punkter fra dette kapitlet:

- Energi finnes i mange former: kinetisk, potensiell, termisk, kjemisk, elektrisk, kjerne, stråling.
- Energibevaring (1. termodynamiske lov): energi kan ikke skapes eller ødelegges.
- Varme $Q = mc\Delta T$. Spesifikk varmekapasitet c : vann er høyest (4186 J/(kg·K)).
- Tre varmeoverføringsmekanismer: ledning, konveksjon, stråling.
- 2. termodynamiske lov: entropi øker. Varme strøm fra varm til kald. Ingen 100% effektiv motor.
- Carnot-effektivitet: $\eta = 1 - T_{\text{kald}}/T_{\text{varm}}$. Praktiske motorer langt under dette.
- Joule (1843): fastsatte mekanisk varmekvivalent – grunnlaget for termodynamikk.