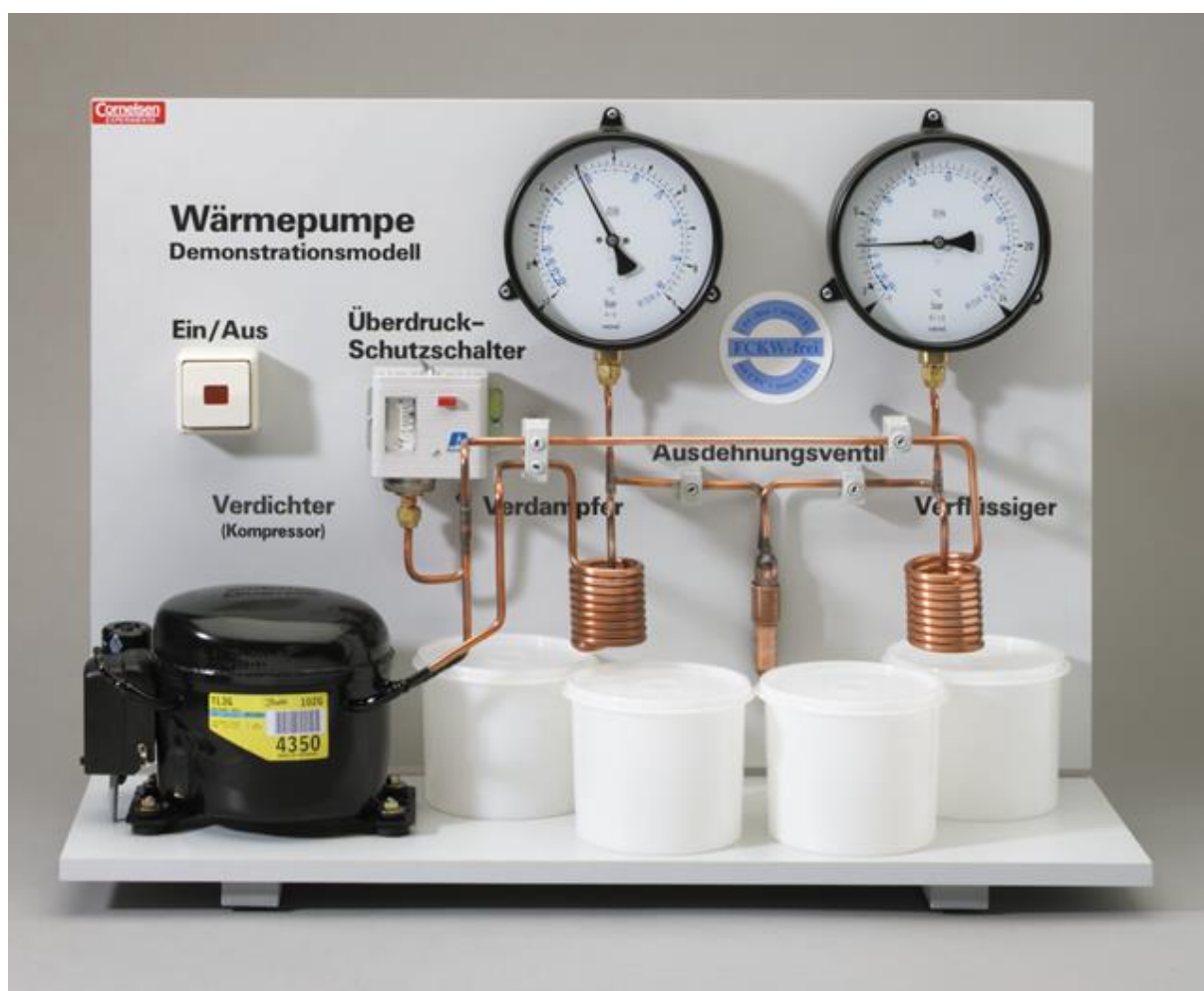


Manual til laboratorieøvelse

Varmepumpe



Teori

Energi og arbeid

Arbeid er et mål på bruk av krefter og har symbolet W . Energi er et mål på lagret arbeid – det vil si at energi kan omsettes til arbeid, altså til bruk av krefter. Energi har symbolet E . Enheten for arbeid og for energi er J (joule), men vi bruker også ofte den gammeldagse enheten Wh (watt-timer). For å gjøre forvirringen total er det vanlig å bruke symbolet Q når energien er varme. Varme er "Energitransport som skyldes en temperaturgradient." Q har de samme enhetene som energi og arbeid, dvs. J eller Wh.

Vi bruker ofte begrepene arbeid og energi litt om hverandre siden de er så nært beslektet. Her i denne laboratoriemanualen vil vi ofte bruke "energi" også der vi strengt tatt snakker om "arbeid". Noen vanlige former for energi er

- kjemisk energi (for eksempel bensin, rapsolje, dynamitt, mat)
- kinetisk energi (bevegelsesenergi, for eksempel i vind)
- potensiell energi (stillingsenergi, for eksempel i vannbassenger i fjellet)
- elektrisk energi (strøm/spenning, for eksempel fra en generator)
- elektromagnetisk energi (for eksempel lys fra sola eller varmestråling fra en vedovn)
- termisk energi (varmeenergi, for eksempel i varmtvann).

Ofte snakker vi også om mekanisk energi. Det er et samleuttrykk for kinetisk energi og potensiell energi.

Vi sier ofte at vi "produserer" eller "bruker" energi. Det er ikke bokstavelig talt riktig siden vi vet at energi ikke kan oppstå eller forsvinne, den kan bare skifte form. Når vi sier at et vannkraftverk *produserer* 1 kWh elektrisk energi mener vi egentlig at kinetisk energi (fra vannet) omformes til 1 kWh elektrisk energi. Når vi sier at vi *bruker* 1 kWh elektrisk energi til oppvarming mener vi egentlig at elektrisk energi omformes til 1 kWh termisk energi.

Når det gjelder energiforsyningen i samfunnet, bruker vi også energienhetene med det vi kaller prefikser, for eksempel k (kilo = tusen), M (mega = million), G (giga = milliard), T (terra = tusen milliarder) og P (peta = million milliarder). Sammenhengen er:

$$1 \text{ Wh (wattimer)} = 3,6 \text{ kJ (kilojoule)}$$

$$1 \text{ kWh (kilowattimer)} = 3,6 \text{ MJ (megajoule)}$$

$$1 \text{ GWh (gigawattimer)} = 3,6 \text{ TJ (terrajoule)}$$

$$1 \text{ TWh terrrawattimer} = 3,6 \text{ PJ (petajoule)}$$

Eksempel 1

En norsk elev trenger ca 10 MJ energi per dag (bioenergi = mat). Vi ser fra tabellen at det er litt mindre enn 3 kWh. ($3 \text{ kWh} = 3 \cdot 3,6 \text{ MJ} = 10,8 \text{ MJ}$)

Effekt

Effekt har symbolet P og er et mål for hvor fort arbeid utføres eller hvor fort energi skifter fra en form til en annen. Det vil si at vi finner effekten når vi dividerer arbeidet på den tiden arbeidet tar, eller dividerer energien på den tiden omformingen pågår. For energi kan vi formulere det slik:

$$\text{effekt} = \text{energi} / \text{tid} \quad (P = W/t) \quad (1)$$

Enheten for effekt er W (watt). Vi bruker også ofte kW (kilowatt) og MW (megawatt). Watt er en sammensatt enhet for Joule/sekund. Vi har altså at $W = J/s$.

NB: Her er det dessverre lett å blande sammen W som er enheten for effekt med W som er symbolet for arbeid. Pass alltid på at du vet hvilken W du bruker.

Eksempel 2

For skoleeleven finner vi effekten fra den kjemiske energien hun spiser slik:

$$\begin{aligned} P &= \frac{W}{t} \\ &= \frac{10 \text{ MJ}}{1 \text{ døgn}} \\ &= \frac{10^6 \text{ J}}{1 \text{ døgn} \cdot 24 \text{ h/døgn} \cdot 3600 \text{ s/h}} \\ &= \frac{10^6 \text{ J}}{86\,400 \text{ s}} \\ &= 116 \text{ W} \end{aligned}$$

Merk at tid, som har symbolet t , har enheten sekund (s). Hvis vi bruker h (timer) som enhet for tid må vi huske at

$$h = 3600 \text{ s}$$

Vi ser at sammenhengen (1) mellom effekt og energi også kan formuleres slik:

$$\text{energi} = \text{effekt} \cdot \text{tid} \quad (W = Pt)$$

Kokepunkt og faseoverganger

At vann fryser til is ved $0 \text{ }^\circ\text{C}$ og koker ved $100 \text{ }^\circ\text{C}$ er kjente fakta. Noen vil tillegge at dette gjelder for rent vann ved 1 atmosfæres trykk. Dette fordi kokepunktet er lavere ved lavere lufttrykk. På toppen av Galdhøpiggen vil kokepunktet til vann være omkring $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Likeledes vil kokepunktet bli høyere ved høyere trykk. Kokepunkt er en stoffegenskap og vil være forskjellig for ulike stoffer, som f.eks.

Nitrogen	$-195,8 \text{ }^\circ\text{C}$
Ammoniakk	$-33,35 \text{ }^\circ\text{C}$
Etanol (sprit)	$78 \text{ }^\circ\text{C}$
Jern	$2\,861 \text{ }^\circ\text{C}$

Når temperaturen i et stoff når kokepunktet vil det skje en faseovergang ved at stoffet går over fra væskeform til gassform. For å fordampe 1 kg av et stoff trengs det en gitt mengde energi som vi kaller **latent varme for fordamping** eller **fordampingsvarme**. For at en væske skal fordampe trengs det relativt mye energi. For å fordampe 1 kg etanol trengs det 879 kJ, og for 1 kg vann 2 257 kJ. Latent varme for fordamping av etanol og vann er dermed henholdsvis 879 kJ/kg og 2 257 kJ/kg. Mens faseovergangen pågår (f.eks væsken koker) vil temperaturen være konstant i væsken som koker. Først når all væsken er fordampet (til gass) vil temperaturen i gassen stige.

Når en gass avgir varme vil temperaturen synke inntil gassen når temperaturen som er kokepunktet for gassen. Ved kokepunktet vil gassen kondensere, altså gå over til væskeform. Når gassen kondenserer vil den avgi en mengde energi tilsvarende latent varme for fordamping. Så energien som gikk med til å fordampe væsken vil i kondenseringen bli avgitt.

Varmekapasitet

Varmekapasitet er et mål på hvor mye energi/varme som skal til for å varme opp et stoff. Som regel snakker vi om *spesifikk varmekapasitet*, det vil si hvor mye energi/varme som skal til for å varme opp 1 kg av et stoff 1 °C. Symbolet for spesifikk varmekapasitet er c . Enheten er J/(kg°C).

Spesifikk varmekapasitet for vann er 4180 J per kilo og per °C. Det trengs altså 4,18 kJ varme for å varme opp 1 kg vann 1 °C. Det kan vi også skrive slik:

$$c_{\text{vann}} = 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$$

Eksempel 3

I en kjele skal 2 liter vann varmes opp fra 15 °C til 65 °C. Vi har altså 2 kg vann (tettheten til vann er 1000 kg/m³) som skal varmes opp 50 °C.

Energien som da må tilføres er:

$$E = 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C}) \cdot 2 \text{ kg} \cdot 50 \text{ }^\circ\text{C} = 418 \text{ kJ}$$

Merk at når vannet avkjøles avgir det nøyaktig den samme energien som skulle til for å varme det opp. Det betyr at vannet som ble varmet opp i kjelen vil avgi den termiske energien sin til omgivelsene om vannet får kjøle seg ned til 15 °C igjen.

Når vi skal beregne energien E som trengs for å varme opp vann (eller energien som avgis når vann avkjøles) kan vi altså bruke denne formelen:

energien = spesifikk varmekapasitet · masse · temperaturendring

$$E = c_{\text{vann}} m \Delta T \tag{4}$$

der c_{vann} er den spesifikke varmekapasiteten til vann, m er massen til vannet og ΔT er temperaturendringen.

Varmepumpekretsen

Varmepumpekretsen, som vi også kan kalle kjølekretsen, transportkretsen, kjøleskapkretsen mm., er en krets som kan transportere energi fra et sted til et annet ved å manipulere kokepunkt. Stoffet som transporterer energien kaller vi kjølemediet.

Kjølemediet

Kjølemediet er et stoff som har lavt kokepunkt ved normalt trykk. Disse stoffene vil være gasser ved romtemperatur og atmosfæretrykk. De ulike kjølemediene har en kode gitt som R-xxx der x er tall. Tallene kan også være etterfulgt av en bokstav. Eksempler er R-134a, R-717 og R-600a. De fleste kjølemedier er mer eller mindre kompliserte forbindelser, men også kjente stoffer kan være kjølemedier (Ammoniakk (R-717), CO₂ (R-744)).

Tidligere (fram til midten av 1990-årene) var klor-fluor-karbon (KFK) forbindelser vanlig brukt som kjølemedium. Disse viste seg imidlertid å være svært skadelig for ozonlaget, og ble forbudt å bruke som kjølemedium. Selv om svært få varmepumpekretser inneholder slike stoffer i dag skal alltid varmepumper, kjøleskap, fryserer mm. leveres til godkjent mottak når det avhendes.

Kompressoren

Kompressoren er en enhet som ved hjelp av tilført energi komprimerer/øker trykket i gasser. Kompressoren i varmepumpekretsene som vi har i husene våre er drevet av strøm og øker trykket i kjølemediet som er i gassform når det suges inn i kompressoren. Kompressoren gjør et arbeid på kjølemediet. Strømmen som tilføres kompressoren er derfor arbeidet som tilføres varmepumpekretsen.

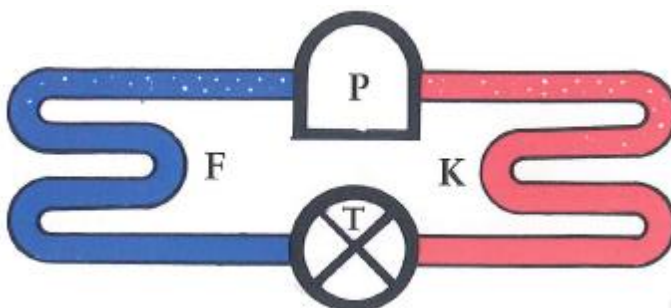
Varmevekslerene

I mange systemer skal varme overføres fra et medium til et annet uten at de skal blandes eller komme i kontakt med hverandre. I slike tilfeller brukes varmevekslere. Dette er gjerne enheter som har stort overflateareal i forhold til volum. Typisk er varmevekslere hvor varme skal overføres mellom væske og gass. Her vil vannet pumpes igjennom rør som slynger seg fram og tilbake. I tillegg er det ofte tynne metallplater festet på rørene for å gi stor overflate. Radiatoren på en bil er en typisk varmeveksler. Her skal varmen fra motoren avgis til lufta omkring bilen ved hjelp av kjølevæska.

Varmepumpekretsen

Nå er det på tide å se på hvordan de ulike komponentene sammen kan transportere varme fra et område til et annet. Forklaringen baserer seg på at kretsen er en varmepumpe som frakter varme utenfra og inn i et hus.

Vi kan starte ved **kompressoren** (P på figuren). Kjølemediet i gassform og med lav temperatur (kokepunktet eller litt over) suges inn i kompressoren som øker trykket og temperaturen på gassen. Samtidig heves kokepunktet til kjølemediet. Kompressoren tilføres et arbeid, W i form av elektrisk strøm.



Figur 1: Varmepumpekretsen
Fra: E. Otherholm, Varmepumper, Einar forlag 2003.

Gassen med høyt trykk, temperatur og kokepunkt beveger seg til varmeveksleren som er plassert inne i huset (K på figuren). Siden kjølemediet nå har høyere temperatur enn lufta i huset vil kjølemediet avgi varme til huset. Temperaturen i kjølemediet vil da synke til kokepunktet (som nå er høyere enn temperaturen i huset) og gassen vil kondensere til væske. Da vil den latente fordampingsvarmen bli avgitt i varmeveksleren. Varmeveksleren hvor dette skjer blir kalt **kondensatoren**.

Kjølemediet i væskeform (og gjerne også noe gass som ikke er kondensert) renner så til **trykkreduksjonsventilen** (T på figuren) hvor trykket, temperaturen og kokepunktet synker. Kjølemediet i væskeform vil nå ha en temperatur rett under kokepunktet til kjølemediet.

Kjølemediet kommer så til varmeveksleren som er plassert utendørs. Kjølemediet er nå kaldere enn omgivelsene utendørs. Varme vil derfor strømme fra omgivelsene og til kjølemediet. Varmeenergien vil her fordampe væsken til gass. Varmeenergien som tilføres vil altså bli lagret som latent fordampingsvarme i gassen. Varmeveksleren hvor dette skjer blir kalt **Fordamperen**.

Gassen blir så sugd til kompressoren hvor trykket igjen økes, og vi er rundt hele varmepumpekretsen.

Nå skal vi se på hvordan vi finner ut hvor god varmepumpa vår er.

Varmefaktoren

Vi er selvfølgelig interessert i "hvor god" varmepumpa vår er. Dette angir vi ved varmfaktoren (η) som er forholdet mellom avgitt varme, og arbeidet brukt av kompressoren.

$$\eta = \frac{\text{Avgitt varme}}{W}$$

Der W er arbeidet som tilføres kompressoren. Siden vi ikke er så interessert i varmen vi henter utenfra utelater vi denne. Varmen som hentes gjennom fordamperen kaller vi Q_k (k for kald)(Q_c på engelsk) og varmen som avgis gjennom kondensatoren kalles for Q_v (v for varm)(Q_h på engelsk). Formelen for varmfaktoren til en varmepumpe blir da:

$$\eta_{\text{varmepumpe}} = \frac{Q_v}{W}$$

Varmefaktoren eller ytelseskoeffisienten, η brukes for varmepumpekretser hvor avgitt energi er større enn tilført energi (som du betaler for). På engelsk kalles varmfaktoren for COP – coefficient of performance).

For varmepumper som brukes i bolighus er det vanlig med en varmfaktor på 3 – 5, altså at du får 3 – 5 ganger så mye varmeenergi som den elektriske energien som brukes for å drive kompressoren.

Forhåndsoppgaver

1. En varmepumpe har 1,5 liter vann rundt kondensatoren. I løpet av 10 minutter varmes dette vannet opp fra 13 °C til 45 °C. Kompressoren bruker 120 W strøm
 - a) Hvor mye energi er tilført vannet?
 - b) Hvor mye elektrisk energi har kompressoren brukt i løpet av disse 10 minuttene?
 - c) Hva er varmefaktoren til denne varmepumpa?

Laboratorieoppgaver

Dere skal i denne øvelsen bruke en demonstrasjonsvarmepumpe som henter varme fra et begerglass med vann og avgir til et annet begerglass med vann.

Framgangsmåte

1. Gjør dere kjent med varmepumpen. Vær sikker på at dere finner igjen de forskjellige komponentene i varmepumpekretsen.
2. Vei begerglassene og noter massene i måleskjemaet på siste side.
3. Fyll begerglassene med passe mengde vann. Vannet skal dekke spiralene, men samtidig skal ikke begerglassene bli helt fulle.
4. Vei begerglassene med vann og noter massene.
5. Sett begerglassene på plass under spiralene.
6. Mål temperaturen i begge begerglassene.
7. Start varmepumpa samtidig som dere starter stoppeklokka.
8. For hvert minutt i 5 minutter noterer dere:
 - a. Temperatur i begge begerglassene
 - b. Elektrisk effekt (W) som brukes av kompressoren
9. Stopp varmepumpa.

Beregninger

1. Hvor mye varme er tilført vannet på kondensatorsiden?
2. Hvor mye elektrisk energi brukte kompressoren?
3. Hva er varmefaktoren for denne varmepumpen?

Hvis du har tid besvarer du følgende spørsmål:

4. Hvor mye energi er hentet fra fordampersiden?
5. Forklar svaret i 4. i forhold til hva du har beregnet tidligere.
6. Hvorfor er varmefaktoren for denne varmepumpa såpass lav?

Måleskjemaer

Kondensator:

Vekt begerglass: _____ kg

Begerglass med vann: _____ kg

Starttemperatur: _____ °C

Tid etter start:	Temperatur:
1 minutt	
2 minutter	
3 minutter	
4 minutter	
5 minutter	

Fordamper:

Vekt begerglass: _____ kg

Begerglass med vann: _____ kg

Starttemperatur: _____ °C

Tid etter start:	Temperatur:
1 minutt	
2 minutter	
3 minutter	
4 minutter	
5 minutter	

Tilført effekt:

Tid etter start:	Effekt (W)
1 minutt	
2 minutter	
3 minutter	
4 minutter	
5 minutter	