

## *VARMEPUMPE*

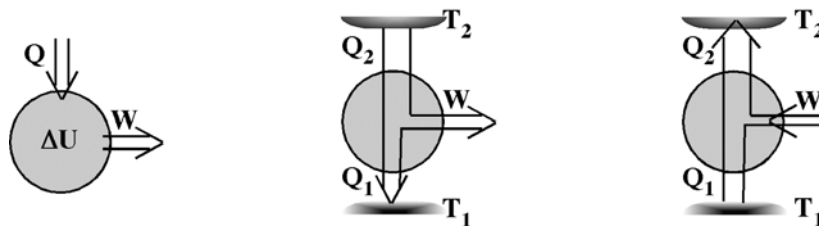
I denne oppgaven skal vi se på hvordan varmepumpen virker og måle dens karakteristiske størrelser under bruk.

### INNLEDNING

Varmepumpen et eksempel på hvordan vi utnytter termodynamiske prinsipper til å forbedre hverdagen. Varmepumpen kan beskrives som et modifisert kjøleskap hvor vi ikke er primært interessert i avkjølingseffekten men isteden benytter den varmen som kjøleskapet avgir. Tanken om å bruke termodynamiske prinsipper til oppvarming er ikke ny, dette ble foreslått for over 150 år siden. Basisteknologien er heller ikke ny ettersom industrielle kjølesystemer har vært i bruk siden 1850 og kjøleskap for forbrukere ble vanlige rundt 1930. Overskudd av billig elektrisk og fossil energi i sammenheng med dyr kjøleteknologi gjorde imidlertid at varmepumpen inntil ganske nylig ikke var interessant for vanlige forbrukere. Dette har endret seg nærmest i løpet av de siste årene og varmepumpen er i dag meget aktuell som strømsparende element hvor man trekker varmeenergi fra et vannreservoar, fra jorden eller fra luften og bruker denne energien til å varme opp boliger. Det geniale ligger i at man bruker termodynamiske prinsipper til å ta varme fra et kaldt (i forhold til inneluften) medium og deretter bruke denne varmen å vedlikeholde en høyere temperatur i et annet medium.

### Teoretisk bakgrunn

Selve grunnloven for termodynamikken – termodynamikkens 1.lov om energiens bevaring- er vist på figur 1a.



a)

*Figur 1.*

Her kommer en varmemengde  $Q$  inn i et system som utfører et arbeid  $W$ . All varmemengde blir imidlertid ikke omdannet til arbeide i det en del går over til en økning av indre energi  $\Delta U$ . Den 1.hovedsetning i termodynamikken sier nå at for enhver prosess der varme tilføres og arbeid utføres på et system, vil den totale tilførte energien være lik økningen av systemets indre energi. Det vil si at:

$$Q = \Delta U + W \quad (1)$$

Figur en høy temperatur  $T_2$ , produserer arbeidet  $W$  og gir i tillegg fra seg en mindre varmemenge  $Q_1$  ved en lav temperatur  $T_1$ .

En viktig faktor når vi omtaler systemer som er basert på varmekraft er virkningsgraden til prosessen, det vil si hvor mye nytte får vi ut i forhold til kostnaden til det vi putter inn i prosessen.

Virkningsgraden  $\eta$  for en varmekraftmaskin er derfor definert som:

$$\eta = W/Q_2 = (\text{nytte/kostnad}) \quad (2)$$

På figur 1c viser vi energiflyten i et **kjøleskap** eller en **varmepumpe**.

I kjøleskapet bruker vi energi  $W$  til å fjerne en varmemengde  $Q_1$  fra skapet som har temperatur  $T_1$ . Varmen  $Q_2$  avgis til romluften med temperatur  $T_2$ . For å få effektiv kjøling bør naturligvis  $Q_1$  være så stor som mulig i forhold til den anvendte energi og vi definerer en **kjølefaktor**  $\eta_R$  (subskript R står her for refrigerator):

$$\varepsilon (= \eta_R) = Q_1/W = (\text{nytte / kostnad}) \quad (3a)$$

For varmepumpen gjør vi egentlig det samme, idet vi her bruker den tilførte energien  $W$  til å trekke varmen  $Q_1$  fra et rimelig kjølig medium ved temperatur  $T_1$  (f.eks. havvann eller uteluft) og overføre den som varme  $Q_2$  til et varmere medium ved temperatur  $T_2$  (inneluft). Her er vi interessert i at  $Q_2$  blir så stor som mulig og **effekt faktoren**  $\eta_{HP}$  (subskript HP står her for **H**eat **P**ump) for varmepumpen blir:

$$\varepsilon (= \eta_{HP}) = Q_2/W = (\text{nytte/kostnad}) \quad (3b)$$

Den praktiske virkningsgraden for en varmeprosess som drives mellom to temperaturer  $T_1$  og  $T_2$  er avhengig av mange faktorer, men det kan vises at for en varmepumpe kan den aldri bli høyere enn:

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{T_2}{\Delta T} \quad (4)$$

Denne relasjonen er utpreget teoretisk og urealistisk, men tendensen viser det beklagelige faktum at luft-luft varmepumpene vil miste effektivitet når kuldegradene virkelig setter inn, mens vann-luft (vann) fremdeles vil være effektive ettersom temperaturen i et stort vannreservoar som regel endrer seg forholdsvis lite i løpet av vinteren.

## Entalpi

Når vi analyserer bestemte typer termodynamiske prosesser, spesielt i kraftproduksjon og kjøling, støter vi ofte på kombinasjonen  $U + pV$  der  $U$  = indre energi,  $p$  = trykk og  $V$  = volum. Denne kombinasjonen blir gjerne definert som en ny variabel kalt **entalpi** **H**. Entalpien er dermed definert som:

$$H = U + pV \stackrel{\text{def.}}{\Rightarrow} \Delta H = \Delta U + p\Delta V \quad (5)$$

Den siste relasjonen gjelder for en **isobar** prosess hvor trykket er konstant. Ved bruk av 1.hovedsetning (1) kan vi videre skrive den siste ligningen som:

$$\Delta H = \Delta U + W = Q$$

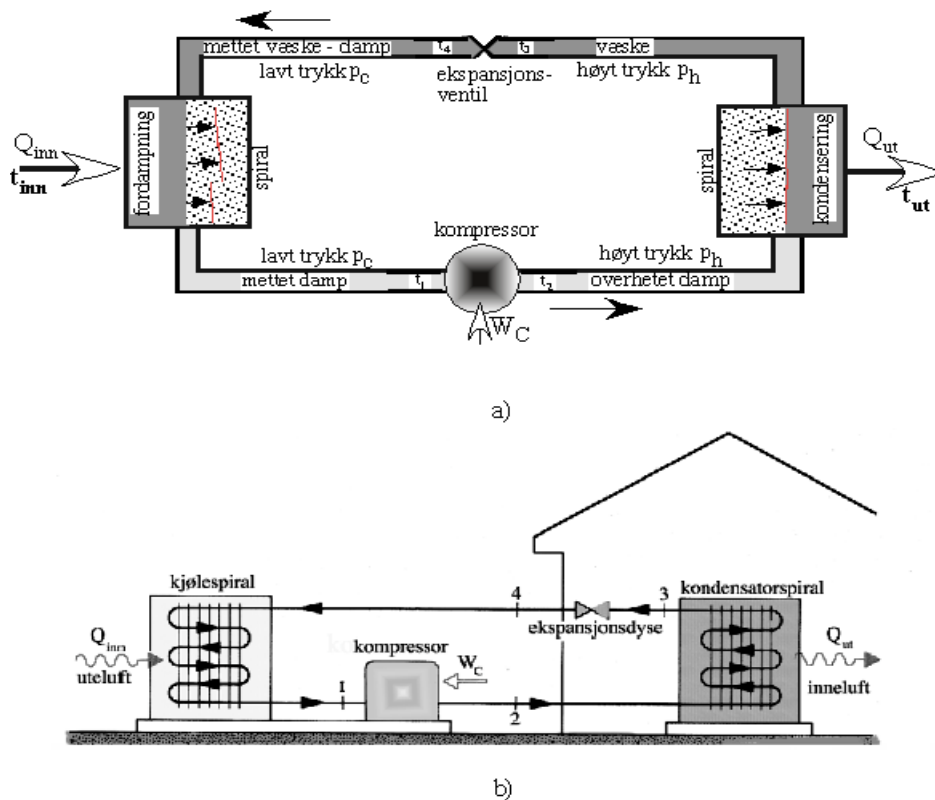
Nødvendig varme for ulike termodynamiske prosesser (smeltevarme, kondensasjonsvarme etc.) oppgis gjerne med  $\Delta H$  fordi slike prosesser er antatt å skje ved konstant trykk  $p$  (= 1 atmosfære). Det må igjen understrekes at entalpien ikke er noen ny egenskap, den representerer bare hensiktsmessig kombinasjon av fundamentale størrelser.

Med fortegnkonvensjonen i figur 1a) vil vi ha:

Fordampningsvarme:  $Q = \Delta H > 0$  ( varme inn i systemet)

Kondensasjonsvarme:  $Q = \Delta H < 0$  ( varme ut av systemet)

### Varmepumpens oppbygging:



Figur 2.

a) Prinsippskisse av varmepumpe, b) konstruksjonen av en luft til luft varmepumpe.

Den prinsipielle oppbyggingen av varmepumpen er vist på figur 2a. Virkemåten er basert på at et kjølemedium vekselvis fordamper og kondenserer. Hvilke krav vi må stille til dette kjølemediet vil bli behandlet til slutt.

La oss først se litt på fordampningen (kokingen). Ved vanlig koking tilføres det varme som driver kokingen, men her er det **endringer i trykket** som driver prosessen.

Ved hjelp av en ekspansjonsventil (dyse) **reduserer** vi væsketrykket til under dampens metningstrykk og dermed koker (fordamper) væsken og går over i gassform (damp). Den nødvendige varme  $Q_{inn}$  tas fra omgivelsene, dvs. fra luften eller fra vannet. Deretter bruker vi kompressoren til å **øke** trykket igjen, dermed kondenserer dampen til væske igjen og varme  $Q_{ut}$  frigjøres til omgivelsene som nå er inneluften.

Oppbyggingen av en luft-luft varmepumpe til boligoppvarming er vist på figur 2b. Her brukes en kraftig vifte (ikke vist på figuren) til å føre store luftmengder med uteluft over kjølespiralen (et bedre navn er fordampningsspiral – kjølespiral henger igjen fra kjøleterminologien).

Varmeinnholdet i denne luften blir brukt til å koke (fordampe) kjølemediet. Kompressoren øker trykket og den overopphetedede dampen føres inn i huset hvor den kondenserer i kondensatorspiralen med følgende varmeavgivelse. Denne spiralen er plassert foran en vifte som sender den oppvarmete luften inn i rommet.

Til slutt understreker vi igjen forskjellene mellom koking og kondensering i dagliglivet og i varmepumpen:

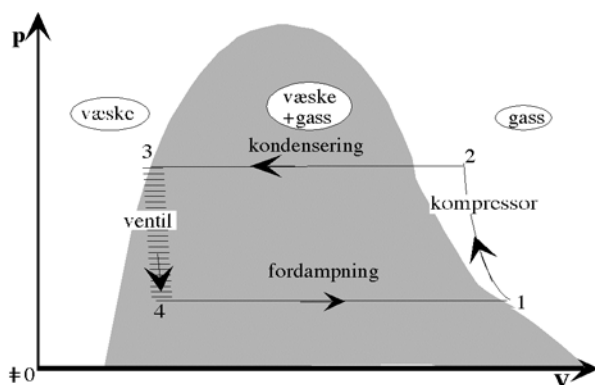
I dagliglivet: koking av en væske skjer ved at varme tilføres mens lufttrykket holdes konstant rundt atmosfæretrykk(en isobar oppvarming)

I varmepumpen: koking skjer ved at **trykket reduseres** til under damptrykket ved en gitt temperatur. Det klassiske eksempel på dette er at vi vil få vann i en tett beholder til å koke ved romtemperatur ved å pumpe ut luften over vannet. Vann vil koke ved ca.  $+83^{\circ}\text{C}$  ved 0.5 atmosfærer som tilsvarer 5000m.o.h, mens det vil koke ved ca.  $+30^{\circ}\text{C}$  ved 0.05 atmosfærer som tilsvarer litt over 20000m.o.h. Den aktuelle kjølemediet vi skal benytte i denne oppgaven koker rundt  $-30^{\circ}\text{C}$  ved en atmosfære.

I dagliglivet: kondensering skjer ved å trekke ut varme (senke temperaturen i damp med påfølgende dogging) igjen ved konstant (atmosfære)trykk.

I varmepumpen: kondenseringen skjer ved å **øke damptrykket** til over metningstrykket ved en gitt temperatur

### pV-diagram for varmepumpens syklus

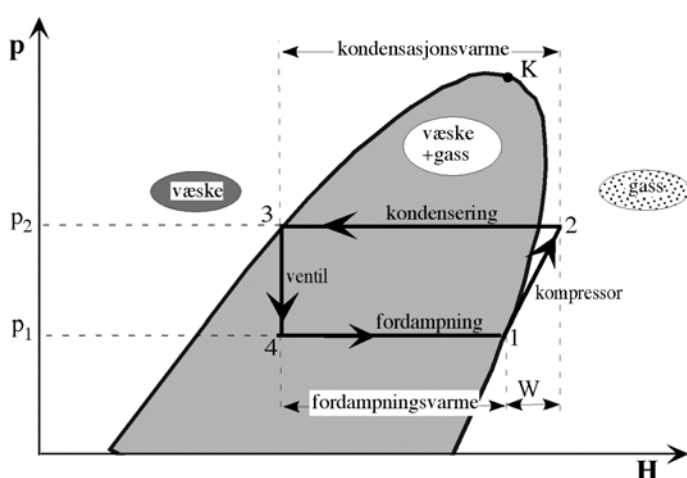


Figur 3  
Trykk-volum (p-V) diagram for varmepumpe

Vi skal først vise hvordan varmepumpens termodynamikk fremstilles som funksjon av trykk og volum, figur 3. Legg merke til at vi her bare ser på den delen av diagrammet for kjølemediet som er interessant for prosessen slik at her representerer ikke origo nullpunktet hverken for trykket eller volumet. Hvis vi ønsker å få med mest mulig av ekstremal-områdene må vi tegne i log-p-skala, dette gjøres nesten alltid i tekniske datablad.

Den grå "haugen" som kommer opp på midten representerer området hvor væske og damp kan sameksistere. Til venstre for området er kjølemediet i væskeform, mens den til høyre er i gassform. I tilstand 2 er kjølevæske i dampform. Dampen kondenseres langs 2 - 3, fordampningsvarme avgis og i tilstand 3 er alt kjølemediet i væskeform. Langs 3 - 4 synker trykket og en del av væsken fordampes. Denne delen av prosessen er ikke reversibel (som antydning med en stipling), men ettersom vi vet begynnelse- og sluttverdier til trykk og volum betyr dette ikke noe. Systemet ekspanderer deretter langs 4 - 1 under konstant trykk og mesteparten av mediet er da fordampnet ved tilførsel av varmemengde. Dampen komprimeres til slutt langs 1 - 2. Temperaturen øker og eventuelt resterende væske fordampes.

### Syklus fremstilt i p-H-diagram



Figur 4  
Trykk - entalpi (p-H) - diagram for varmepumpe

Vi vil først vise syklusen i et forenklet p-H-diagram i figur 4.

Før vi går løs på selve syklusen kan vi knytte noen kommentarer til selve diagrammet. Som for pV-diagrammet så viser det grå område hvor kjølemediet forekommer som en blanding av væske og gass (damp). Innenfor dette området kan det trekkes kurver for konstant relativ andel av damp – dette er ikke gjort her men vil finnes på diagrammet på Figur 5. Grenselinjen som avgrenser området til venstre er kurven for mettet væske eller **kokepunktlinjen**. Til venstre for denne linjen forekommer mediet bare som væske. Grenselinjen til høyre representerer **doggpunktlinjen**. Til høyre for

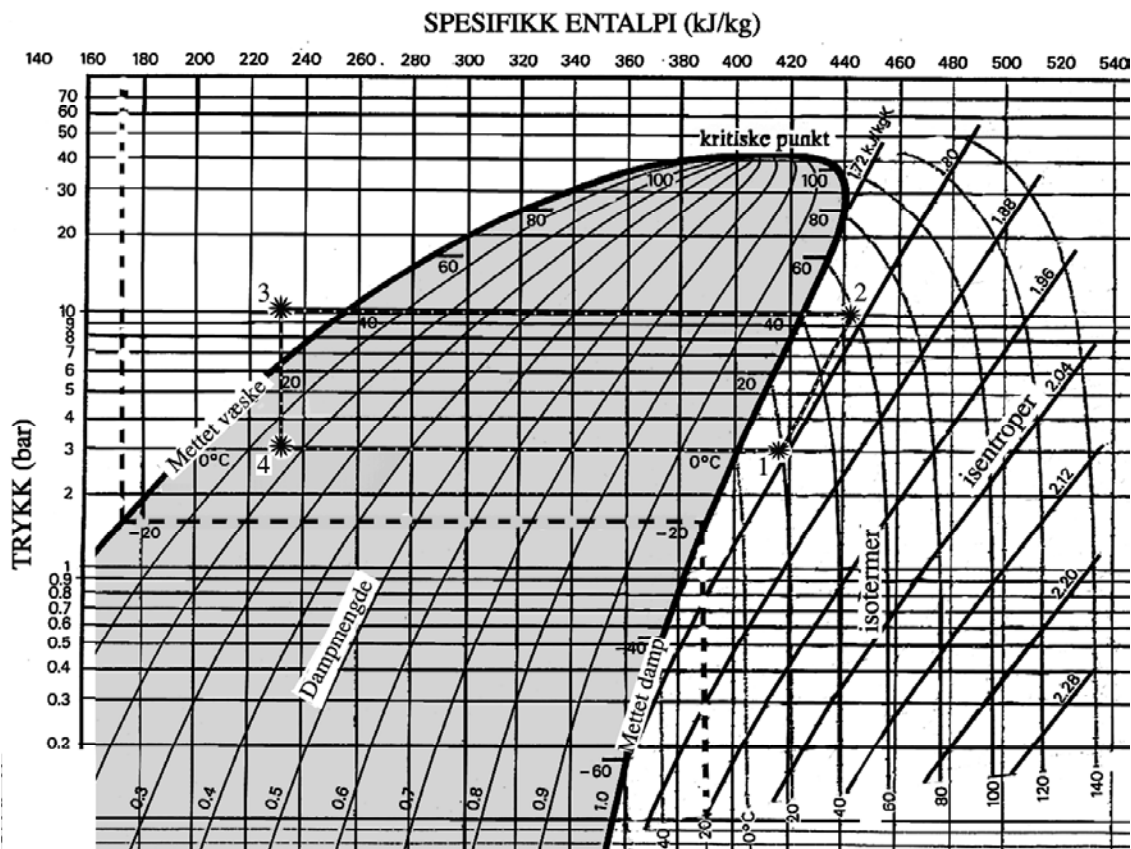
denne linjen eksisterer mediet bare i gassfase. Kokepunkt og doggpunktlinjene møtes i det kritiske punktet K – over dette punktet blir gass og væske samme tilstand.

Syklusen 1 - 2 - 3 - 4 er tegnet inn i diagrammet med piler som angir retningen av prosessen. Vi ser at syklusen blir ganske enkel i dette diagrammet. Den ligger mellom to isobarer  $p_1$  og  $p_2$  (de to horisontale linjene) og overgangen skjer ved en såkalt isentrop 1 -> 2 og en isentalp 3 -> 4. Betegnelse isentrop og isentalp skal vi komme tilbake til.

Punkt 1 tilsvarer tilstanden til dampen like før den blir komprimert, dvs. ved inngangen til kompressoren. Punkt 2 er tilstanden i væsken umiddelbart etter komprimeringen. Punktene 3 og 4 er tilstandene like før - og etter strupingen. Ettersom H representerer energi kan vi finne energibidragene i prosessen å lese av langs H-aksen. Kondensasjonsvarmen leses av mellom 2 - 3, fordampningsvarmen mellom 4 - 1. Tilført energi  $W_C$  i kompressoren finnes ved å gå fra 1 - 2 langs H-aksen.

Vi skal nå gjøre oss kjent med den type entalpidiagram som brukes i praksis og hvordan målinger plottes inn i slike diagram. Diagrammet som er vist på figur 5 er en litt forenklet versjon av det kommersielle entalpi-diagrammet for kjølemediet R-134a som anvendes i vår varmepumpe. Dette diagrammet finner dere på nest siste side av oppgaveteksten. I forhold til det kommersielle

diagrammet har vi fjernet et kurvesett (isokorene) som er uaktuelt i denne oppgaven. I tillegg er halvparten av isentropene fjernet.



Figur 5  
log-p - H diagram med typiske målepunkter \* inntegnet

Først litt kommentarer til selve diagrammet:

Som det fremgår av navnet er trykket  $p$  fremstilt i en logaritmisk skala – på utsnittet ser vi at skalaverdiene går fra ca. 80 bar – et meget høyt trykk, rundt 30 ganger trykket i en bilslange – til 0,08 bar som omtrent er lufttrykket i 15000 meters høyde. En *isobar* vil være representert med en horisontal linje.

*Entalpien* representerer energi og energiinnholdet i kjølemediet øker derfor når vi beveger oss mot høyre i diagrammet og omvendt. Her er energien gitt pr. enhetsmasse av kjølemediet derfor benevnningen kJ/kg. Avgitt eller opptatt energimengde mellom to tilstander er gitt som differansen mellom entalpi-verdiene; f. eks har kjølemediet opptatt ca.  $(415 - 230) \text{ kJ/kg} = 185 \text{ kJ/kg}$  ved å gå fra tilstand 4 til 1 på diagrammet. Innenfor det mørkere arealet eksisterer kjølemediet som en blanding av væske og damp, dampmengden går fra 0 som er mettet væske til 1.0 som er mettet damp. De skrå linjene representerer kurver for konstant dampmengde.

*Isotermene* representerer kurvene for konstant temperatur. En isotherm (eksempel den stiplede – 20°C isothermen i figuren) følger den angitte kurven i gassen til høyre, inne i væske-damp området går isothermen langs en isobar inntil at vi når væskefasen hvor den følger en isoentalp. Forklaring på dette kurveforløpet vil bli gitt i forelesningene.

Den siste kurveskaren i logp-H diagrammet er *isoentropene* som representerer konstant entropi. Det vil føre litt for langt å forklare entropien her, vi bare nevner at når komprimeringen skjer etter en tilnærmet isoentrop betyr det at det ikke tilføres varme, bare arbeide  $W_C$ . På kurven er plottet inn målepunkter merket \* fra et virkelig forsøk med en varmepumpe av vår type. *Merk at avleste verdier på trykkmålerne er relativt ytre lufttrykk, som vi antar er 1,0 atmosfære.* Referert til figur 5 har vi følgende verdier:

$$\begin{aligned}p_c &= 2,0 \text{ bar} + \text{atmosfæretrykket} = 3,0 \text{ bar} \\p_{ht} &= 9,5 \text{ bar} + \text{atmosfæretrykket} = 10,5 \text{ bar} \\T_1 &= +20^\circ\text{C} \text{ (inn på kompressor)} \\T_2 &= +58^\circ\text{C} \text{ (ut av kompressor)} \\T_3 &= +24^\circ\text{C} \text{ (inn på ekspansjonsdyse)} \\T_4 &= +1,5^\circ\text{C} \text{ (ut av ekspansjonsdyse)}\end{aligned}$$

Dessuten:

$$\begin{aligned}T_c &= +2,6^\circ\text{C} \text{ (temperatur i et vannkar hvor varme opptas)} \\T_h &= +30,5^\circ\text{C} \text{ (temperatur i et annet vannkar hvor varme avgis)}\end{aligned}$$

(For å skille mellom tid – og temperatursymboler har vi her brukt T for å indikere temperatur målt i  $^\circ\text{C}$  – normalt skal T brukes om absolutt temperatur målt i K(elvin)).

Referert til figurene 3 og 5 er nå:

**Punkt 1** gitt ved tilstanden til kjølemediet ved inngangen til kompressoren, dvs. der hvor  $+20^\circ\text{C}$  – isoterme krysser 3,0 bar isobaren.

**Punkt 2** er utgangen av kompressoren og er gitt ved kryssing mellom  $+58^\circ\text{C}$  – isoterme og 10,5 bar isobaren. Dette punktet kan også finnes ved å følge isentropen gjennom punkt 1 til kryssing 10,5 bar isobaren.

**Punkt 3** er inngangen til ekspansjonsdysen og er gitt ved kryssing mellom  $+24^\circ\text{C}$  – isoterme og 10,5 bar isobaren.

**Punkt 4** finnes ved å følge isoentalpi-linjen gjennom 3 nedover inntil den krysser 3,0 bar isobaren. I dette punktet skal også isoterme for den målte temperaturen  $+1,5^\circ\text{C}$  finnes og vi ser at det stemmer rimelig bra. Deretter kan vi følge isobaren for 3 tilbake til punkt 1 og vi kan nå tegne opp syklusen ved å trekke rette linjer 2-3, 3-4 og 4-1 samt en linje som går tilnærmet parallelt med isentropen fra 1 til 2.

## APPARATUR

Referert til Figur 6 på neste side leser vi av temperaturene før ( $T_1$ ) og etter ( $T_2$ ) kompressoren, før ( $T_3$ ) og etter ( $T_4$ ) ekspansjonsdysen og i vannbeholderne ( $T_c$ ,  $T_h$ ) på *digitaltermometrene* som er monterte i panelet øverst.

To *manometre* ( $P_c$  og  $P_h$ ) for trykkmåling er monterte inn i systemet. Trykket i bar leses av på ytterste skala. Trykket er gitt i forhold til atmosfæretrykket som settes til 1 bar og atmosfæretrykket må legges til når vi skal plote trykket i entalpi-diagrammet. Innenfor trykkskalaen på manometrene har vi temperaturskalaer som viser doggpunktet (eller mettet damp) for angjeldende trykk for forskjellige kjølemedier – vi skal bruke skala som er merket R-134A.

Vannreservoarene (bøttene) står på svingbare hyller – de to spiralene inne i bøttene er vist ved hjelp av digital bildemanipulering. (De to uttakene på sidene av enkelte bøtter kan brukes i tilfelle vi ønsker å kjøre vann kontinuerlig.

Varmepumpen er koplet til nettet via et wattmeter som viser den elektriske effekten som sendes inn. I tillegg kan vi lese av tid, energiforbruk, strøm, spenning og kostnad



**Figur 6**  
**Apparatur for varmepumpeforsøket.**

*Repetisjon av prosessen med henvisning til den aktuelle instrumenteringen:*

**Kompressoren** pumper kjølemediet rundt i kretsløpet. Ved inntaket til kompressoren er kjølemediet i gassform med en temperatur som er omtrent lik temperaturen i rommet. Kjølemediet blir presset sammen i kompressoren slik at temperaturen stiger. Fremdeles i gassform, presses



kjølemediet til **kondensatorspiralen (KS)** hvor den kondenserer og gir fra seg varme til vannreservoaret.

**Filteret** tar bort og kondenserer eventuelle gassrester i kjølemediet som nå er i væskeform.. Strupingen av kretsløpet blir regulert av den termostatstyrte **ekspansjonsventilen** slik at trykk og temperatur i kjølemediet faller passende fra kondensatorsiden til fordampersiden.

I **fordamperspiralen (FS)** fordamper kjølemediet og tar opp varme fra vannet i bøtten. Under fordampningen og passasjen fra fordamper til kompressor varmes kjølemediet opp til omtrent romtemperatur før den ved fullført kretsløp går inn i kompressoren.

Prosessen i varmepumpen reguleres av to kontrollsystemer.

1. Åpningen av ekspansjonsventilen blir kontrollert av temperaturforskjellen mellom temperaturen i kjølemediet ved inngang og utgang fra fordamperen. Kontrolleren er den tynne tråden som dere ser på toppen av ekspansjonsventilen. Denne svært viktige kontrollfunksjonen sikrer at kjølemediet går inn som væske og ut som damp.
2. Trykket på kondensatorsiden blir kontrollert med **regulatoren** slik at kompressoren slås av hvis trykket overstiger 16 bar. Hvis dette skjer vil dere ikke kunne starte kompressoren på nytt før trykket har falt til 9 bar.

*Fra damptrykkurven i figur 5 ser vi at damptrykket vil være ca. 16 bar ved ca. +50°C på kondensatorsiden. Vi kan lett oppnå denne temperaturen hvis vi kjører varmepumpen for lenge eller uten vann i beholderen på kondensatorsiden. Vi bør unngå dette.*

## EKSPERIMENTER

- 1) Fyll vann med rundt  $+15^{\circ}\text{C}$  i begge bøtter og start pumpen når dere er klar til å begynne målingene. Måleskjema er utlagt.

Rør meget godt i bøttene under kjøringen –spesielt i den ”kalde” bøtten hvor det lett kan danne seg is. NB! Hvis dere rører godt vil dere kunne få temperaturer under  $0^{\circ}\text{C}$  i den kalde bøtten, vannet er da underkjølt og straks røringen stopper vil vannet fryse.

- 2) Mål temperaturen i bøttene med 2 minutters mellomrom i minst 20 minutter. Samtidig som bøttemperaturen  $T_c$  og  $T_h$  måles, måles også temperaturene på rørene før og etter kompressor ( $T_1$  og  $T_2$ ), før og etter ventil ( $T_3$  og  $T_4$ ), manometerverdiene  $P_c$  og  $P_h$  og den elektriske effekten  $W$ . Plott temperaturutviklingen i de to bøttene i samme graf.
- 3) Beregn teoretisk og eksperimentell virkningsgrad  $\eta$  ( $\Delta T$ ) etter 2, 10, og 22 minutter fra start gitt ved:

Teoretisk:

$$\eta_c = \frac{T_h}{T_h - T_c} = \frac{T_h}{\Delta T}$$

NB! Her må temperatur angis i (grader) Kelvin.

Eksperimentelt:

$$\eta = \frac{Q_2}{W} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T}{P \cdot t} \quad \text{hvor}$$

$c$  er spesifikk varmekapasitet til vann ( $4.18 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ ),  $m$  er massen av vannet og  $\Delta T_h$  er temperaturøkningen i det varme reservoaret i tiden  $t$ .

$P$  er den elektriske effekt inn i varmepumpen og  $t$  er tiden effekten virker.

- 4) Tegn syklusen inn i det vedlagte log-p – H diagrammet med verdiene etter 10 minutter. Bestem  $\eta$  ut i fra forholdet mellom kondenseringsvarme og tilført energi slik det fremkommer på log-p-H diagrammet (se også Figur 4 og Lign.3b). Dere vil få virkningsgrad som er høyere enn den som er målt vesentlig ovenfor noe som skyldes at vi har regnet med at all elektrisk energi blir brukt til å komprimere kjølemediet, mens vi i virkeligheten har tap. Hvordan ser kretsprosessen ut ved start når de to temperaturene er tilnærmet like?
- 5) Kjør varmepumpen i luft (forsiktig) – slå av ved 14 bar.

Spørsmål:

Tegn opp trykk som funksjon av temperatur for mettet damp på enkeltlogaritmisk papir ut i fra verdiene i entalpidiagrammet.

Hva er fordampningsvarmen for kjølemediet ved  $0^{\circ}\text{C}$  og ved  $+40^{\circ}\text{C}$ ?

Hva er kondensasjonsvarmen for kjølemediet ved de samme temperaturer?

**Tillegg A:**

## Krav til kjølemediet.

1. Damptrykk ved romtemperatur 2 - 6 atm. dvs. kokepunktet ved romtemperatur for noen få atmosfærers trykk. Vann- H<sub>2</sub>O - er ubrukelig fordi damptrykk er 70mmHg ved romtemperatur.
2. Høy fordampningsvarme
3. Ikke miljøskadelig

Det finnes mange medier som oppfyller de to første av disse kravene.

R - 717 (Ammoniakk- NH<sub>3</sub>) er egentlig svært optimalt ut i forhold til de første kravene og ble brukt i de første kjølesystemer. Dessverre er ammoniakk giftig og etsende slik at etter noen ulykker ble den forbudt i private anlegg. I industriell kjølesammenheng er fremdeles ammoniakk i bruk.

Freongassene R-12 og R-22 tok deretter over som kjølemedium i mange år og alle var fornøyde inntil skremselspropagandaen om atmosfærens ozonvariasjonen tok knekken på disse mediene. I de senere år er det blitt utviklet flere nye kjølemedium som er vesentlig mindre aggressive. Blant disse er R-134A (CH<sub>2</sub>FCF<sub>2</sub>) som vi skal bruke i denne oppgaven.

Tabell 1 viser egenskapene til noen kjølemedia hvor R- 407C og R- 410A er mest brukt i luft-luft varmpumper i Norge i dag. R-134A er litt dårligere som kjølemedium på grunn av høyere kokepunkt og lavere damptrykk og brukes til formål med middlere kjølekrav som kjøleskap, luftkondisjoneringer i biler etc.

De to nederste media representerer Freon typer som nå ikke lenger tillates brukt.

Navn	Kjemisk formel	Kokepunkt v/1 atmosfære	Varmekapasitet væske (kJ/kgK)	Varmekapasitet damp (kJ/kgK)	Damptrykk (25°C) (kPa)
R-134A	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	-26.5°C	1.42	0.854	662
R-407C	Blanding	-43.6°C	1.54	0.83	1174
R-410A	Blanding	-51.5°C	1.84	0.83	1653
R-22	CHClF <sub>2</sub>	-40.8°C	1.24	0.657	1043
R-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	-21.6°C	0.97	0.617	652

**Tabell 1.**

**De viktigste egenskapene til noen kjølemedia. Blanding betyr at flere kjølemedia er benyttet, f. eks er R-410A satt sammen av like deler R-32 (CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) og R-125 (C<sub>2</sub>F<sub>5</sub>H).**

*Utarbeidet av O.J. Løkberg*



