

Afleveringsopgave 5 – Termodynamik

Noah Rahbek Bigum Hansen

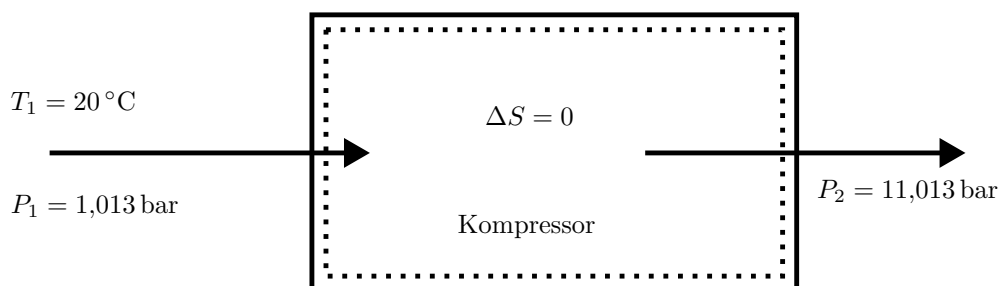
6. Marts 2025

Opgave 6.3

Et tryklufsanlæg med en stempelkompressor komprimerer 0,1 kg/s tør atmosfærisk luft fra 20 °C ved atmosfæretrykket (1,013 bar(a)) til arbejdsluft ved 10 bar(o). Gassen kan betragtes som en idealgas. Følgende data er givet:

- Kompressor, $\eta_s = 0,70$
- Kompressor, $\eta_{mek} = 0,98$
- Motor, $\eta_m = 0,95$
- Netspænding, 400 V
- $\cos \phi = 0,95$

1. Bestem temperaturen i [°C] for kompressionen, hvis denne foregår isentropisk.



Figur 1: Systemskitse af kompressoren

I EES er indskrevet de relevante størrelser (trykket før- og efter kompressionen samt temperaturen før). Derudover er entropien til både start- og sluttilstanden fundet inden betingelsen om at disse er ens er skrevet ind. Dette er gjort som:

```

P[1]=1,013 [bar]
T[1]=20 [C]
P[2]=10 [bar] + 1,013 [bar]

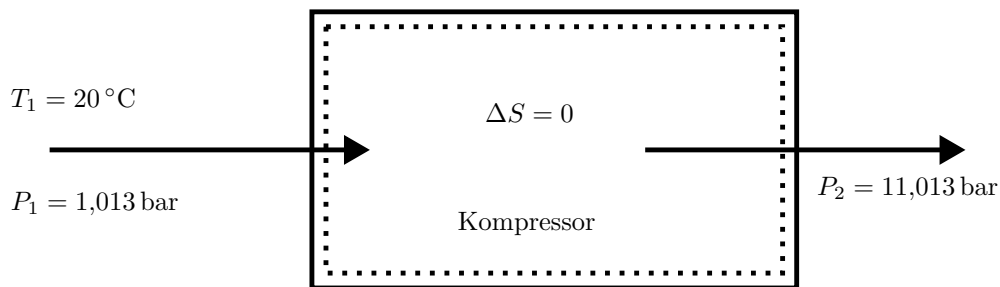
s[1] = entropy(Air_ha; T=T[1]; P=P[1])
s[2] = entropy(Air_ha; T=T[2]; P=P[2])

s[2] = s[1]

```

På baggrund af det ovenstående har EES bestemt $T_2 = 301,8^\circ\text{C}$.

2. Bestem det tekniske arbejde i [kW] for kompressoren.



Figur 2: Systemskitse af kompressoren

Idet processen er isentropisk må det ligeledes gælde at den er adiabatisk. Idet vi også ser bort fra kinetisk og potentiel energi i luften reduceres formelen for det tekniske arbejde til (Formel 5.1.12 i bogen)

$$w_{t,\text{isen}} = h_2 - h_1.$$

Dette er gjort i EES som:

```

P[1]=1,013 [bar]
T[1]=20 [C]
P[2]=10 [bar] + 1,013 [bar]

s[1] = entropy(Air_ha; T=T[1]; P=P[1])
s[2] = entropy(Air_ha; T=T[2]; P=P[2])

s[2] = s[1]

h[1] = enthalpy(Air_ha; T=T[1]; P=P[1])
h[2] = enthalpy(Air_ha; T=T[2]; P=P[2])

w_tisen = h[2] - h[1]

```

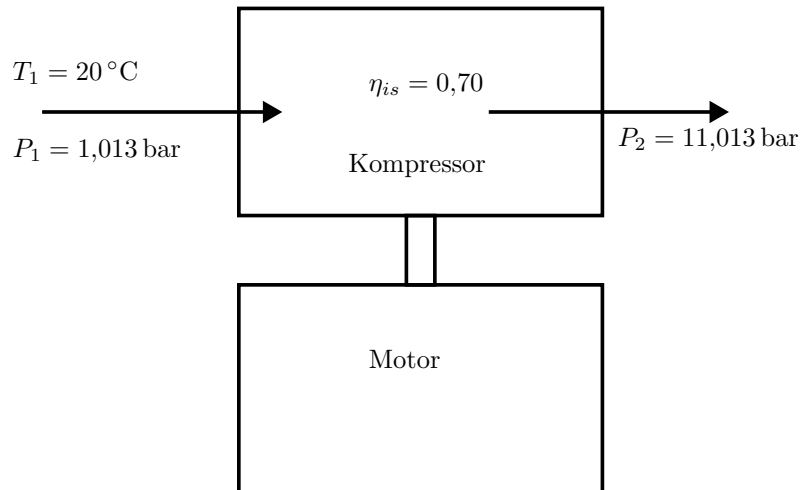
Her giver EES et specifikt indre arbejde (som er lig det tekniske arbejde, da processen er adiabatisk) på $w_{t,\text{isen}} = 287,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$. For at omregne fra et specifikt arbejde til en effekt multipliceres dette blot med masse-

strømmen som

$$\dot{W}_{t,isen} = w_{t,isen} \cdot \dot{m} = 287,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 28,75 \text{ kW}.$$

altså er det tekniske arbejde for kompressoren $\dot{W}_{t,isen} = 28,75 \text{ kW}$.

3. Bestem akseleffekten i [kW].



Figur 3: Systemskitse af kompressoren og motoren

Der gælder, at den isentropiske virkningsgrad η_{is} er forholdet mellem det isentropiske (dvs. reversible og adiabatisk) arbejde $\dot{W}_{t,isen}$ og det egentlige arbejde for maskinen \dot{W}_i . I vores tilfælde er den reversible og adiabatisk del af arbejdet fundet som det tekniske arbejde ovenfor og det egentlige arbejde \dot{W}_i er akseleffekten vi ønsker at finde i denne delopgave. Vi har

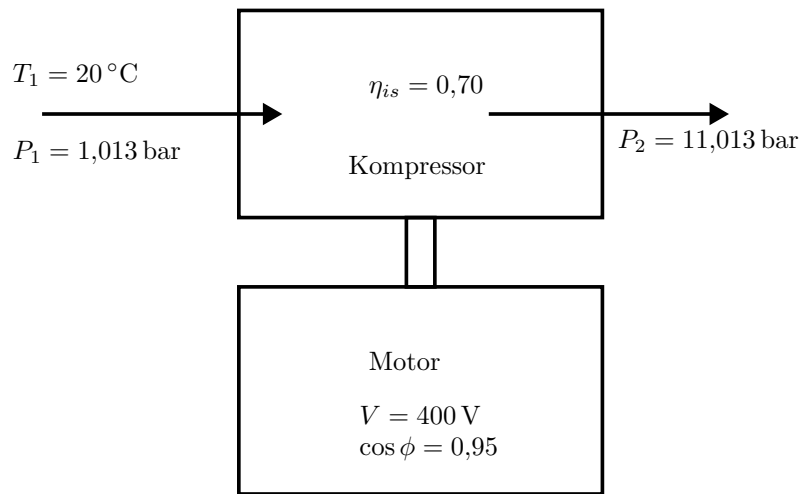
$$\eta_{is} = \frac{\dot{W}_{t,isen}}{\dot{W}_i} \implies \dot{W}_i = \frac{\dot{W}_{t,isen}}{\eta_{is}}.$$

I opgaven får vi oplyst at $\eta_{is} = 0,7$ for kompressoren. Derfor får vi

$$\dot{W}_i = \frac{28,75 \text{ kW}}{0,7} = 41,0 \text{ kW}.$$

Altså er akseleffekten for kompressoren $\dot{W}_i = 41,0 \text{ kW}$.

4. Bestem eleffekt i [kW] til drivmotoren samt strømstyrken i [A] i hver leder til motoren.



Figur 4: Systemskitse af kompressoren og elmotoren

Fra bogen har vi formelen

$$P_{el} = \frac{\dot{W}_i}{\eta_{mek}\eta_m}.$$

Indsættes kendte størrelser kan el-effekten findes som

$$P_{el} = \frac{41,0 \text{ kW}}{0,98 \cdot 0,95} = 44 \text{ kW}.$$

Fra bogen ved vi også, at effekten P_{el} kan findes som

$$P_{el} = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \cos \phi.$$

Heri kan strømstyrken isoleres som

$$I = \frac{P_{el}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi} = \frac{44 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,95} = 66,85 \text{ A}.$$

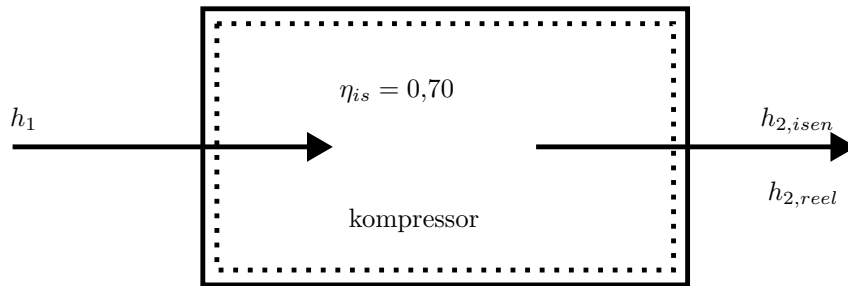
5. Bestem den reelle temperatur i [$^\circ\text{C}$] efter kompressoren.

Den isentropiske virkningsgrad kan defineres som

$$\eta_{is} = \frac{h_{2,isen} - h_1}{h_{2,reel} - h_1} \implies h_{2,reel} = h_1 + \frac{h_{2,isen} - h_1}{\eta_{is}}.$$

Efter at den reelle entalpi til slutttilstanden er fundet kan den reelle temperatur til slutttilstanden findes i EES vha. et stofdatakald. Dette er gjort som:

```
P[1]=1,013 [bar]
T[1]=20 [C]
P[2]=10 [bar] + 1,013 [bar]
```



Figur 5: Systemskitse af kompressoren

```

s[1] = entropy(Air_ha; T=T[1]; P=P[1])

s[2] = entropy(Air_ha; T=T[2]; P=P[2])

s[2] = s[1]

h[1] = enthalpy(Air_ha; T=T[1]; P=P[1])
h[2] = enthalpy(Air_ha; T=T[2]; P=P[2])

eta_s = 0,7

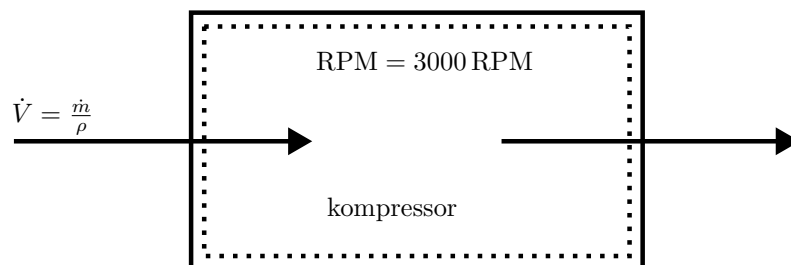
h_real[2] = h[1] + (h[2] - h[1])/eta_s

T_reel[2]=temperature(Air_ha;P=P[2];h=h_real[2])

```

Til dette giver EES $T_{reel,2} = 417,8^\circ\text{C}$.

6. Hvor stor slagvolumen har stempelkompressoren, hvis den kører med 3000 omdrejninger/minut. (Stofværdier (C_p, κ) skal antages ikke konstante dvs. afhængige af temperatur og tryk – brug entalpier eller middelværdier for C_p, κ)



Figur 6: Systemskitse af kompressoren

For at finde slagvolumenet af stempelkompressoren vil vi først bestemme volumenstrømmen der flyder ind i kompressoren. Her gælder generelt formelen:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}.$$

Idet det antages at kompressoren kun har et stempel må det gælde at denne volumenstrøm skal deles ud på alle kompressorens omdrejninger. Vi har altså

$$V_{slag} = \frac{\dot{V}}{\text{RPM}}.$$

Dette er regnet i EES vha. følgende kode:

```
P[1]=1,013 [bar]
T[1]=20 [C]
m_dot[1] = 0,1 [kg/s]

rho[1] = density(Air_ha;T=T[1];P=P[1])
V_dot[1] = m_dot[1]/rho[1]

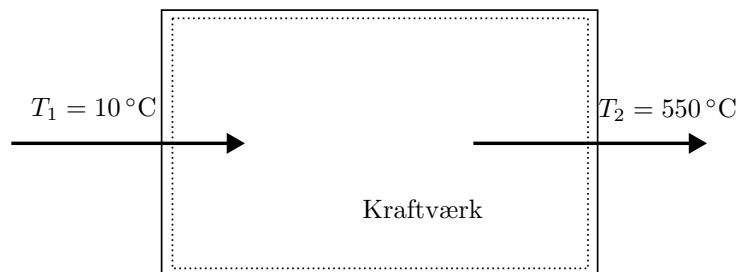
RPM[1] = 3000 [RPM]
RPS[1] = 50 [RPS]

V_slag[1] = V_dot[1]/RPS[1]
```

Her giver EES outputtet $V_{slag,1} = 0,00166 \text{ m}^3 = 1,66 \text{ L}$.

Opgave 6.7

Definer og bestem den højest opnåelige termiske virkningsgrad for et kraftværk som har en damptemperatur på 550°C . Kondenseringsvarmen køles med udeluft. Vejrudsigten siger blæst og dagtemperatur på 10°C .



Figur 7: Systemskitse for kraftværket

Den højest opnåelige termiske virkningsgrad for et kraftværk kan findes vha. formelen for den termiske virkningsgrad for en Carnot-arbejdsproducerende maskine der virker i samme temperaturinterval. Denne er generelt givet som

$$\eta_{th,C} = 1 - \frac{T_L}{T_H}.$$

Hvis vi sætter kendte størrelser ind fås

$$\eta_{th,C} = 1 - \frac{283 \text{ K}}{823 \text{ K}} = 0,656.$$

Altså er den højest opnåelige termiske virkningsgrad for et kraftværk, der arbejder i det nævnte temperaturinterval $\eta_{th,C} = 0,656 = 65,6\%$.