

Institutionen för ingenjörsvetenskap

TENTAMEN

Kurs Energiteknik

Delkurs

Kurskod FY01XG

Högskolepoäng för tentamen 3,5 hp

Datum 2026-01-15

Skriftid 8:15 – 12:30

Ansvarig lärare Ola Nyqvist

Berörda lärare

Hjälpmedel/bilagor Bifogad formelsamling, egen räknare.

Övrigt Tentamen omfattar 12 uppgifter.

- Anvisningar
- ☐ Ta nytt blad för varje lärare
 - ☒ Ta nytt blad för varje ny fråga (deluppgifter kan vara på samma blad)
 - ☒ Skriv endast på en sida av papperet.
 - ☒ Skriv namn och personnummer på samtliga inlämnade blad.
 - ☒ Numrera lösbladen löpande.
 - ☒ Använd inte röd penna.
 - ☒ Markera med kryss på omslaget vilka uppgifter som är lösta.

Poänggränser Max.poäng: 72 p

U: 0 – 27 p

3: 28 – 42 p

4: 43 – 57 p

5: 58 – 72 p

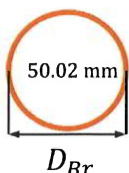
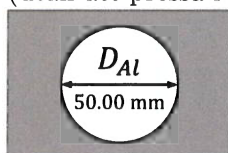
Skrivningsresultat bör offentliggöras inom 18 arbetsdagar

Lycka till!

Antal sidor totalt 5 (med 12 uppgifter)

1. Värmeutvidgning. (2p)

En glidlagerbana av brons med ytterdiametern $D_{Br} = 50.02 \text{ mm}$ ska monteras i ett aluminiumblock, där lagerhålet är $D_{Al} = 50.00 \text{ mm}$. Hur mycket måste man sänka bronslagerbanans temperatur för att få den på plats? (utan att pressa i den ...)

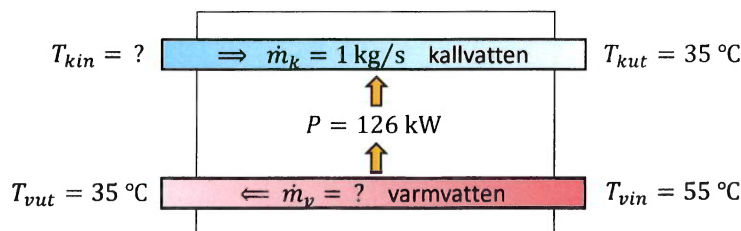


Värmeutvidgningskoefficienterna är

$$\begin{cases} \alpha_{Br} = 19 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1} & \text{brons} \\ \alpha_{Al} = 24 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1} & \text{aluminium} \end{cases}$$

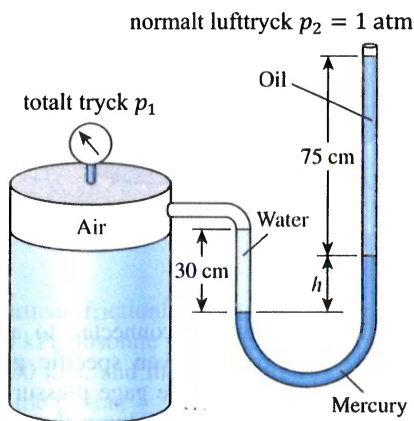
2. Värmeväxlare. (3p)

I en värmeväxlare är kallvattenflödet $\dot{m}_k = 1 \text{ kg/s}$ och effekten $P = 126 \text{ W}$ enligt figuren. Specifika värmekapaciteten för vatten är $c = 4.2 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C}$



- Om kallvattnets uttemperatur är $T_{kut} = 35 \text{ °C}$, vilken är då intemperaturen T_{kin} ?
- Om värmeväxlaren är helt isolerad och varmvattnets in- resp. uttemperatur är $T_{vin} = 55 \text{ °C}$ resp. $T_{vut} = 35 \text{ °C}$, hur stort är då varmvattenflödet $\dot{m}_v$?

3. Tryckvandring. (3p)



Trycket p_1 i en tank mäts med en manometer enligt figuren. Över den öppna delen är det normalt lufttryck $p_2 = 1 \text{ atm}$. Densiteterna är

$$\text{vatten: } \rho_v = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{olja: } \rho_o = 790 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{kviksilver: } \rho_{Hg} = 13600 \text{ kg/m}^3$$

Räkna med $g = 10 \text{ N/kg}$ och bestäm totala trycket p_1 om kvicksilvrets höjd $h = 50 \text{ cm}$.

4. Luftfuktighet. (3p)

Mättnadstryck (koktryck) för vatten och kvicksilver

$t / ^\circ\text{C}$	Vatten/kPa	Kvicksilver/Pa
-30	0,0381	$0,64 \cdot 10^{-3}$
-20	0,103	$2,41 \cdot 10^{-3}$
-15	0,165	$4,52 \cdot 10^{-3}$
-10	0,260	$8,08 \cdot 10^{-3}$
-5	0,401	$14,3 \cdot 10^{-3}$
0	0,610	$24,7 \cdot 10^{-3}$
5	0,872	$40,7 \cdot 10^{-3}$
10	1,23	$65 \cdot 10^{-3}$
15	1,70	0,103
20	2,34	0,160
25	3,17	0,246
30	4,24	0,370
35	5,64	0,553
40	7,37	0,810
50	12,3	1,69
60	19,9	3,37
70	31,2	6,43
80	47,3	11,9
90	70,1	21,1
100	101,3	36,4
110	143,2	61,0
120	198,4	99,4
130	270,0	158,1

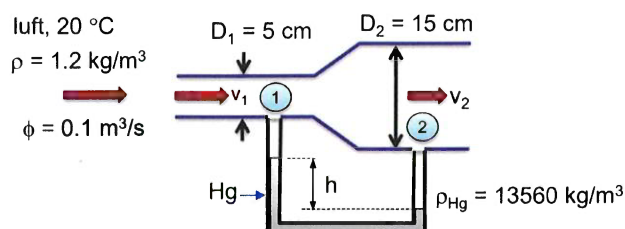
En viss dag då temperaturen är $T = 5 ^\circ\text{C}$, så är den relativa luftfuktigheten $R_{LF} = 46 \%$.

Vad är då daggpunkten T_s ?

(Avrunda till 3 decimaler vid beräkningen.)

5. Bernoulli. (6p)

Luft med densiteten 1.2 kg/m^3 strömmar genom två rörsektioner med diametrarna 5 cm resp. 15 cm. Volymflödet är $\phi = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ och en kvicksilvermanometer ($\rho_{\text{Hg}} = 13560 \text{ kg/m}^3$) visar tryckskillnaden med höjden h enl. fig.

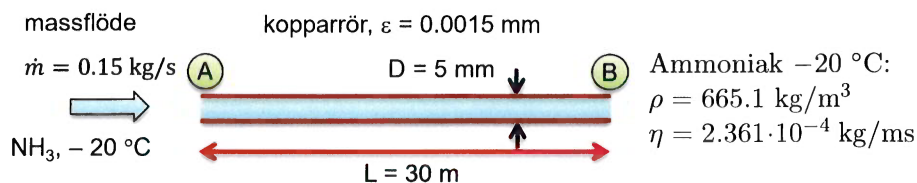


Antag att det är förlustfritt rätt igenom ($h_L = 0$) och beräkna:

- hastigheterna v_1 och v_2 i resp. rör,
- tryckskillnaden mellan rörsektionerna,
- höjden h i kvicksilvermanometern.

6. Friktion i rör. (6p)

Flytande ammoniak med temp. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ flödar med massflödet $\dot{m} = 0.15\text{ kg/s}$ i ett $L = 30\text{ m}$ långt horisontellt kopparrör med diametern $D = 5\text{ mm}$. Massflödet är stationärt och för koppar är skrovligheten $\epsilon = 0.0015\text{ mm}$.



Utöver rörfriktionen har vi engångsförlusterna

A: Röringång : $K_L = 0.5$

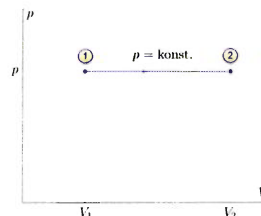
B: Rörutlopp : $K_L = \alpha$ med $\begin{cases} \alpha = 1.05 \text{ vid turbulent strömning resp.} \\ \alpha = 2 \text{ vid laminär strömning} \end{cases}$

Beräkna höjdförlusten h_L .

7. Arbete, 1:a Huvudsatsen. (6p)

Luften i en cylinder expanderar vid konstant tryck $p = 20\text{ atm}$ från volymen $V_1 = 80\text{ cm}^3$ till $V_2 = 160\text{ cm}^3$. Starttemperaturen är $T_1 = 227\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Hur stort arbete uträttar luften ?
- Vad blir temperaturen T_2 i punkt 2 ?
- Beräkna ändringen i inre energi ΔU .
- Hur mycket värme $Q_{1 \rightarrow 2}$ tillförs ?

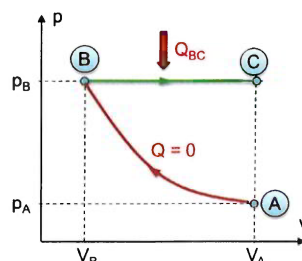


Luften behandlas som en 2-atomig idealgas med $f = 5$ frihetsgrader och molmassan $M = 28.9\text{ g/mol}$. ($1\text{ cm}^3 = 10^{-6}\text{ m}^3$, $1\text{ atm} = 101.3\text{ kPa}$)

8. Molar värmekapacitet för idealgas, adiabatisk process. (6p)

Luften i en cylinder komprimeras snabbt (så att $Q = 0$) till $\frac{1}{5}$ av sin startvolym $V_A = 1\text{ liter}$. Starttrycket är $p_A = 1\text{ atm}$ och starttemperaturen är $T_A = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Hur stort är trycket p_B i punkt B ?
- Vad blir temperaturen T_B i punkt B ?
- Hur mycket värme Q_{BC} tillförs när gasen i cylindern expanderar vid konstant tryck p_B tillbaka till startvolymen V_A ?

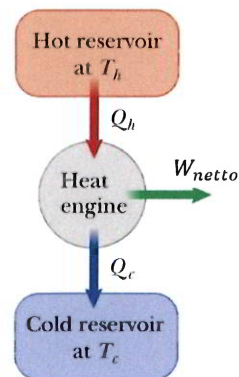


Luften behandlas som en 2-atomig idealgas med $f = 5$ frihetsgrader och molmassan $M = 28.9\text{ g/mol}$. ($1\text{ liter} = 10^{-3}\text{ m}^3$, $1\text{ atm} = 101.3\text{ kPa}$)

9. Kretsprocesser - värmemaskin. (6p)

I en viss värmemaskin tillförs värmes $Q_h = 800 \text{ J}$ under en cykel. Samtidigt dumpas spillvärmes $|Q_c| = 500 \text{ J}$.

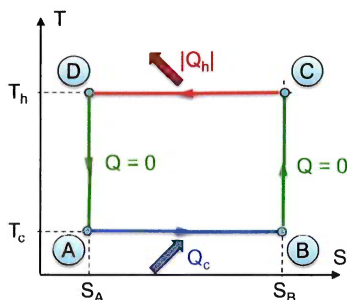
- Hur stort nettoarbete W_{netto} uträttas maskinen under en cykel ?
- Vad är maskinens verkningsgrad η ?
- Om $T_h = 227^\circ\text{C}$ och $T_c = -23^\circ\text{C}$, vad är då maskinens högsta möjliga teoretiska verkningsgrad η_C ?



10. Carnotprocessen - värmepump/kylmaskin. (8p)

En ideal Carnotvärmepump tar värme Q_c vid temperaturen $T_c = -5^\circ\text{C}$ och lämnar värme $|Q_h|$ vid temperaturen $T_h = 25^\circ\text{C}$ enl. fig.

Vid processen $A \rightarrow B$ är ändringen i entropi $\Delta S = S_B - S_A = 10 \text{ J/K}$.



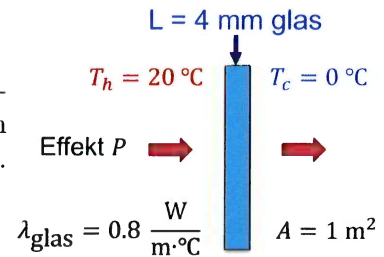
- Bestäm värmefaktorn V_f .
- Hur mycket värme $|Q_h|$ lämnar värmepumpen till rummet under en cykel ?
- Bestäm nettoarbetet $|W|$ som uträttas under en cykel på värmepumpen.
- Vad blir maskinens köldfaktor K_f , om den istället används som kylmaskin ?

11. Värmeledning: 1- och 3-glasfönster. (8p)

Lite användbara data:

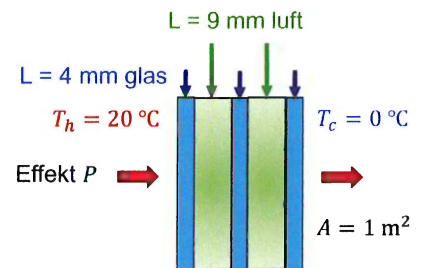
	Material	λ (W/m·K)
Värmeledningsförmåga λ	Glas	0.8
	Luft	0.026

- a) Beräkna effekten P som strömmar genom ett 1-glasfönster med tjockleken $L = 4$ mm och arean $A = 1$ m² om temperaturskillnaden är $\Delta T = 20$ °C.



- b) Beräkna R -värdet för ett treglasfönster som utgörs av, räknat inifrån och ut:

- glasskiva - $L = 4$ mm
- luftlager - $L = 9$ mm
- glasskiva - $L = 4$ mm
- luftlager - $L = 9$ mm
- glasskiva - $L = 4$ mm



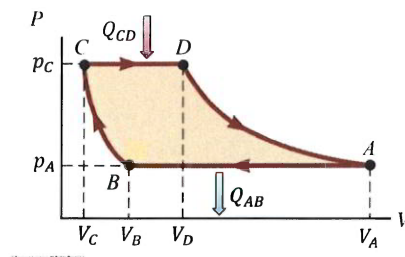
- c) Beräkna värmeeffekten som strömmar genom arean $A = 1$ m² av ett treglasfönster vid en temperaturskillnad på $\Delta T = 20$ °C.
- d) Vad blir temperaturskillnaderna över glasskivorna resp. luftlagren ?

12. Braytoncykeln. (15p)

Gasturbin-motorer används främst inom flygtrafiken (jetmotor) och för elproduktion (driver generator i t.ex. kärnkraftverk). En ideal gasturbin arbetar enl. Braytoncykeln mellan två givna tryck, högt, p_C , resp. lågt, p_A .

Egentligen är det ett strömmande medium i ett gasturbin-system enl. ovan men vi räknar på upphovsmannens "olje-eldade kolvmaskin" (fritt översatt) för en innesluten mängd luft, vilken betraktas som en tvåatomig idealgas. Braytoncykeln utgörs av följande processer:

- $A \rightarrow B$: Isobar kompression.
- $B \rightarrow C$: Adiabatisk kompression.
- $C \rightarrow D$: Isobar expansion.
- $D \rightarrow A$: Adiabatisk expansion.



Härled och beräkna Braytoncykelns verkningsgrad om $T_D = 2.5 \cdot T_A$

Formelblad - Strömningslära FY302G

Energiekvationen:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + h_{\text{pump},u} = \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_{\text{turbin},e} + h_L$$

Energiekvationen (KK beteckning):

$$\frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + h_p = \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_L$$

Bernoullis ekvation: $p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g z_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g z_2$

Pumpeffekt: $\eta_{\text{pump}} \dot{W}_{\text{pump}} = \dot{m} g h_{\text{pump}}$

Pumpeffekt (KK): $\eta_p \dot{W}_p = \dot{m} g h_p = \rho \dot{V} g h_p = \dot{V} \Delta p = v_{\text{avg}} A_c \Delta p$

Hydrauliska diametern: $D_h = \frac{4A_c}{p}$ $D_h = \frac{2ab}{a+b}$ rektangulärt

Reynolds tal: $\text{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{v D}{\nu}$ $\begin{cases} \text{Re} < 2300 & \text{laminärt} \\ \text{Re} > 4000 & \text{turbulent} \end{cases}$

Höjdförlust i rör, totalt: $h_L = \left(f \frac{L}{D} + \sum K_L \right) \frac{v^2}{2g}$

Flöde horisontellt cirkulärt rör: $\dot{V} = \frac{(p_1 - p_2) \pi D^4}{128 \mu L}$

Tryckförlust i rör: $\Delta p_L = \rho g h_L$

Friktionskoefficient f

i) Moody: A-27

ii) Colebrook: $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$

iii) Haaland: $\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1.8 \log \left[\frac{6.9}{\text{Re}} + \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right]$