

Institutionen för ingenjörsvetenskap

TENTAMEN

Kurs Energiteknik

Delkurs

Kurskod FY01XG

Högskolepoäng för tentamen 3.5 hp

Datum 2026-03-05

Skrivtid 14:15 – 19:30

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!

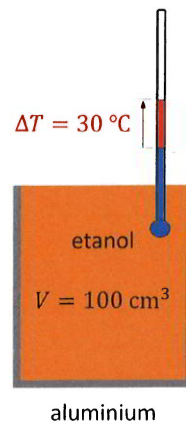
Antal sidor totalt 6 (med 12 uppgifter)

1. Värmeutvidgning. (2p)

En aluminiumbehållare med volymen $V = 100 \text{ ml}$ är helt fylld, precis upp till kanten, med etanol. Om temperaturen ökas med $\Delta T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, hur mycket etanol rinner över?

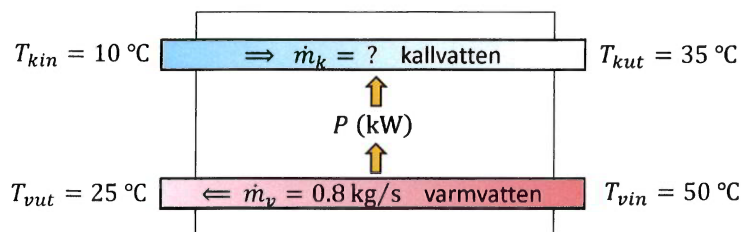
Värmeutvidgningskoefficienterna är

$$\begin{cases} \alpha_{\text{Al}} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1} & \text{aluminium} \\ \beta_{\text{etanol}} = 1.12 \cdot 10^{-4} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1} & \text{etanol} \end{cases}$$



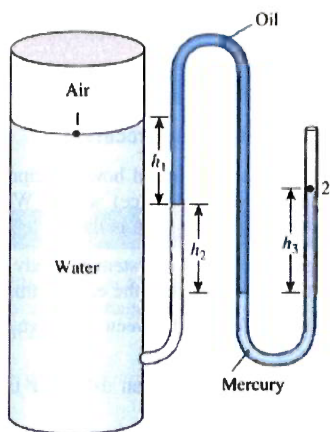
2. Värmeväxlare. (3p)

I en värmeväxlare är varmvattenflödet $\dot{m}_k = 0.8 \text{ kg/s}$ enligt figuren. Specifika värmekapaciteten för vatten är $c = 4.2 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$



- Om varmvattnets in- resp. uttemperatur är $T_{vin} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ och $T_{vut} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, hur stor effekt $|P|$ lämnar varmvattnet ifrån sig?
- Om värmeväxlaren är helt isolerad och kallvattnets ut- resp. in-temperatur är $T_{kut} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ resp. $T_{kin} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, hur stort är då kallvattenflödet \dot{m}_k ?

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

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

$$\text{olja: } \rho_o = 850 \text{ kg/m}^3$$

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

Räkna med $g = 10 \text{ N/kg}$ och bestäm övertrycket $p_1 - p_2$ i tanken, om höjderna är $h_1 = 0.2 \text{ m}$, $h_2 = 0.3 \text{ m}$ och $h_3 = 0.46 \text{ m}$.

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

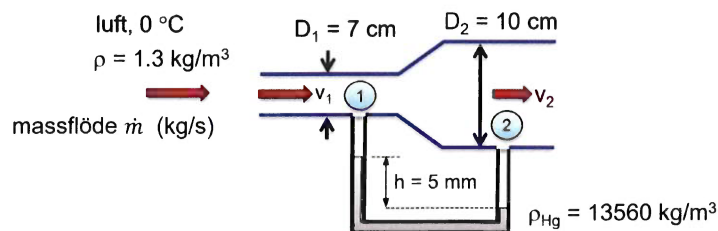
En varm sommardag är den relativa luftfuktigheten $R_{LF} = 29\%$. På natten, då temperaturen har sjunkit till $T_s = 10^\circ\text{C}$, så börjar dagg att fällas ut.

Vad var då temperaturen T på dagen?

(Avrunda till 2 decimaler vid beräkningen.)

5. Bernoulli. (6p)

Luft med densiteten 1.3 kg/m^3 strömmar genom två rörsektioner med diametrarna 7 cm resp. 10 cm. En kvicksilvermanometer ($\rho_{\text{Hg}} = 13560 \text{ kg/m}^3$) visar höjdskillnaden $h = 5 \text{ mm}$ enl. fig. Räkna med $g = 10 \text{ N/kg}$.

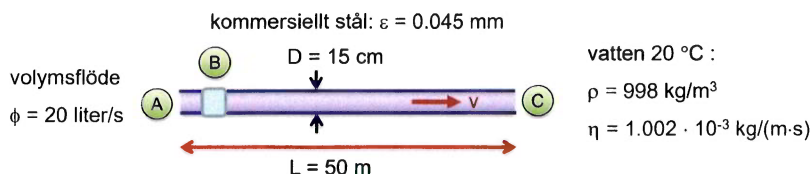


Antag att det är förlustfritt rätt igenom ($h_L = 0$) och beräkna:

- tryckskillnaden mellan rörsektionerna,
- hastigheterna v_1 och v_2 i resp. rör,
- massflödet \dot{m} .

6. Friktion i rör. (6p)

Vatten med temperaturen $20\text{ }^\circ\text{C}$ flödar med volymsflödet $\phi = 20$ liter/s i ett $L = 50$ m långt horisontellt stålrör med diametern $D = 15$ cm. Flödet är stationärt och för kommersiellt stål är skrovligheten $\epsilon = 0.045$ mm.



Utöver rörfriktionen har vi engångsförlusterna

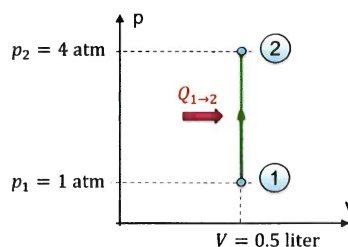
- A: Röringång : $K_L = 0.5$
 B: Ventil : $K_L = 0.45$
 C: Rörutlopp : $K_L = \alpha$ med $\begin{cases} \alpha = 1.05 \text{ vid turbulent strömning resp.} \\ \alpha = 2 \text{ vid laminär strömning} \end{cases}$

Beräkna höjdförlusten h_L . (Räkna med $g = 10$ N/kg.)

7. 1:a Huvudsatsen, molar värmekapacitet för idealgas. (6p)

Luften i en cylinder värms vid konstant volym $V = 0.5$ liter från trycket $p_1 = 1$ atm till $p_2 = 4$ atm. Starttemperaturen är $T_1 = 27\text{ }^\circ\text{C}$.

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

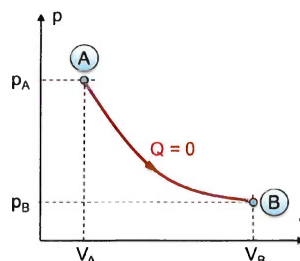


Luften behandlas som en 2-atomig idealgas med $f = 5$ frihetsgrader och molmassan $M = 28.9$ g/mol. (1 liter = 10^{-3} m³, 1 atm = 101.3 kPa)

8. Arbete, adiabatisk process. (6p)

Luften i en cylinder expanderar snabbt (så att $Q = 0$) från $V_A = 100$ cm³ till $V_B = 850$ cm³. Starttrycket är $p_A = 20$ atm och starttemperaturen är $T_A = 706$ K.

- Hur stort är trycket p_B i punkt B ?
- Vad blir temperaturen T_B i punkt B ?
- Hur stort arbete W_{AB} uträttar luften i cylindern vid expansionen från V_A till V_B ?

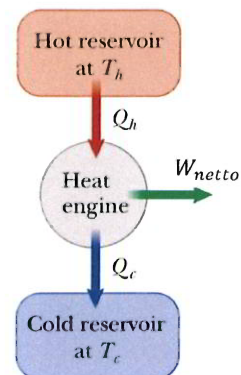


Luften behandlas som en 2-atomig idealgas med $f = 5$ frihetsgrader och molmassan $M = 28.9$ g/mol. (1 cm³ = 10^{-6} m³, 1 atm = 101.3 kPa)

9. Kretsprocesser - värmemaskin. (6p)

En viss värmemaskin har verkningsgraden $\eta = 0.4$ och uträttar under en cykel arbetet $W = 500 \text{ J}$.

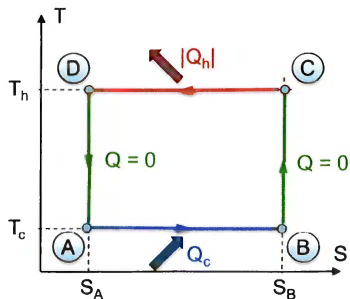
- Hur stort är det tillförda värmets Q_h till maskinen under en cykel?
- Hur mycket spillvärme $|Q_c|$ dumpas under en cykel?
- Om $T_h = 273 \text{ °C}$ och $T_c = 0 \text{ °C}$, vad är då maskinens högsta möjliga teoretiska verkningsgrad η_C ?



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

En ideal Carnotkylmaskin tar värme Q_c vid temperaturen $T_c = -33 \text{ °C}$ och lämnar värme $|Q_h|$ vid temperaturen $T_h = 7 \text{ °C}$ enl. fig.

Vid processen $C \rightarrow D$ är ändringen i entropi $\Delta S = S_D - S_C = -25 \text{ J/K}$.



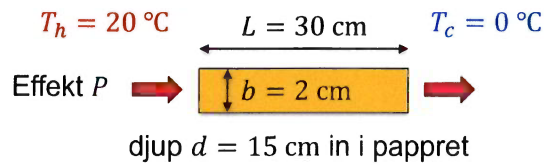
- Bestäm köldfaktorn K_f .
- Hur mycket värme Q_c tar kylmaskinen från kylutrymmet under en cykel?
- Bestäm nettoarbetet $|W|$ som uträttas under en cykel på kylmaskinen.
- Vad blir värmefaktorn V_f om maskinen istället används som värmepump?

11. Värmeledning: trä- och plastskivor. (8p)

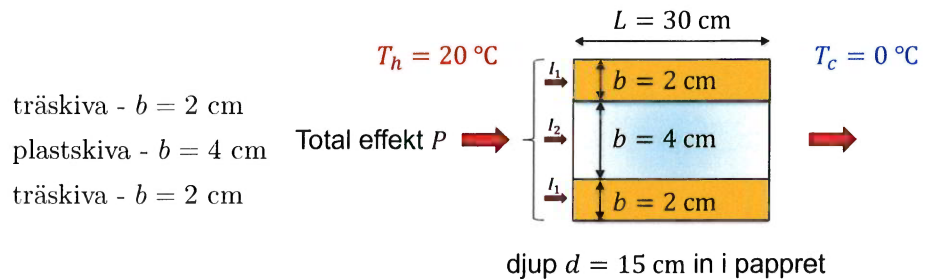
Lite användbara data:

Värmeledningsförmåga λ	Material	λ (W/m·K)
	Trä	0.1
	Plast	0.2

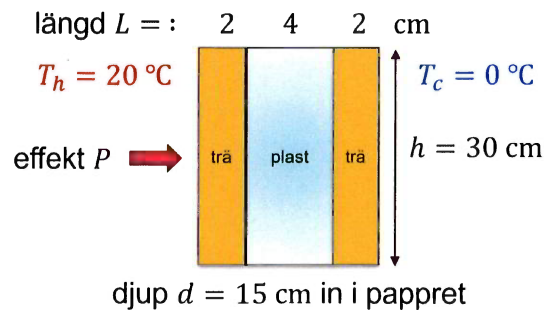
- a) Beräkna effekten P som strömmar genom en träskiva med längden $L = 30$ cm, bredden $b = 2$ cm och djupet $d = 15$ cm (in i pappret) om temperaturskillnaden är $\Delta T = 20$ °C.



- b) Beräkna effektiva värmeledningsförmågan λ_{eff} för en $L = 30$ cm lång och $b = 4$ cm bred plastskiva omgiven av två lika långa, $L = 30$ cm, och $b = 2$ cm breda träskivor. Alla tre skivorna har djupet $d = 15$ cm in i pappret.



- c) Beräkna totala värmeeffekten P som strömmar genom skivorna i b)-uppgiften ovan vid en temperaturskillnad på $\Delta T = 20$ °C.
- d) Hur stor effekt P strömmar genom skivorna om man istället lägger dem i serie? (Samma givna data som i b)- och c)-uppgifterna ovan.)



12. Ottocykeln. (15p)

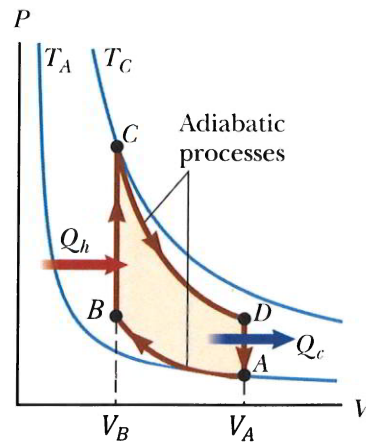
I de flesta bilar sitter en bensindriven 4-taktsmotor, där man med en gnista från ett tändstift får en snabb förbränning. Detta ger hög temperatur och högt tryck och ett arbete utträttas då gasen sen expanderar. Verkningsgraden för Ottomotorn beror på kompressionsförhållandet V_A/V_B och den arbetar enligt följande processer:

$A \rightarrow B$: Adiabatisk kompression.

$B \rightarrow C$: Isokor uppvärmning.

$C \rightarrow D$: Adiabatisk expansion.

$D \rightarrow A$: Isokor avkylning.



Härled och beräkna Ottocykelns verkningsgrad om $\frac{V_A}{V_B} = 10$
(Gasen (=bensin-luftblandningen) = en tvåatomig idealgas med $f = 5$.)

Formelsamling - Energiteknik FY01XG

Längdutvidgning

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

Volymutvidgning

$$\Delta V = \beta \cdot V \cdot \Delta T \quad \text{Vi kan använda } \beta \approx 3\alpha \text{ för fasta material.}$$

Uppvärmning/avkylning

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad \text{där } \Delta T = T_{\text{slut}} - T_{\text{start}} \quad (\text{för fasta och flytande material.})$$

Smältvärme

$$Q_s = l_s \cdot m$$

Ångbildningsvärme

$$Q_a = l_a \cdot m$$

Medeleffekt

$$P = \frac{W}{t}$$

(momentan-) Effekt

$$P = \frac{dW}{dt} \quad \text{även betecknad } \dot{W}, \text{ en prick motsv. tidsderivatan.}$$

Effekt i värmeväxlare

$$P = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Tryck

$$p = \frac{F}{A}$$

Normalt lufttryck

$$p_0 = 1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kPa} = 760 \text{ mmHg} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ bar}$$

Vätsketryck

$$p_v = \rho \cdot g \cdot h$$

Totalt tryck

$$p = p_{\text{luft}} + \rho \cdot g \cdot h$$

Arkimedes princip

Lyftkraft $F = m_v \cdot g$ där $m_v = \rho_v \cdot V =$ undanträngda vätskans massa.

Ideal gas

$$pV = NkT \quad k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{st})$$

$$pV = nRT \quad R = 8.3145 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

$$R = k \cdot N_A \quad N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ st/mol}$$

$$\text{Antal mol} \quad n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$$

Molmassan M (g/mol) = atommassan i u.

$$\text{Gasens densitet} \quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \quad (\text{kg}/\text{m}^3)$$

$$\text{Partikeldensitet} \quad n_0 = \frac{N}{V} = \frac{p}{kT} \quad (\text{st}/\text{m}^3)$$

Några standardprocesser för innesluten ($n = \text{konst.}$) idealgas:

Process	Definition	Samband
Isokor	$V = \text{konst.}$	$p/T = \text{konst.}$
Isobar	$p = \text{konst.}$	$V/T = \text{konst.}$
Isoterm	$T = \text{konst.}$	$p \cdot V = \text{konst.}$
Adiabat	$S = \text{konst.}$	$p \cdot V^\gamma = \text{konst.} \quad (Q = 0)$

Barometriska höjdformeln

$$h = \frac{p_0}{\rho_0 g} \ln \frac{p_0}{p}$$

Partialtryck

Totalt tryck $p = p_1 + p_2 + \dots = \sum$ (de ingående gasernas partialtryck).

Relativ luftfuktighet

$$R_{LF} = \frac{p_{\text{vattenånga}}}{p_{\text{mättnad}}}$$

Molekylradie

$$r = \sqrt[3]{\frac{3b}{16\pi N_a}}$$

van der Waals ekvation - reala gaslagen

$$\left(p + a \frac{n^2}{V^2}\right) \cdot (V - nb) = nRT$$

Kritisk punkt

$$\text{volym } V_K = 3nb$$

$$\text{temperatur } T_K = \frac{8a}{27Rb}$$

$$\text{tryck } p_K = \frac{a}{27b^2}$$

Clausius-Clapeyrons ekvation

$$\text{specifikt ångbildningsvärme } l_a = \frac{dp}{dT} \cdot (V_{\text{gas}} - V_{\text{vätska}}) \cdot \frac{T}{m}$$

$$\text{för idealgas: } l_a = \frac{dp}{dT} \cdot \frac{RT^2}{Mp}$$

$$\text{ångtryckskurva: } p = Ae^{-Ml_a/RT}$$

$$\text{specifikt smältvärme } l_s = \frac{dp}{dT} \cdot (V_{\text{vätska}} - V_{\text{fast}}) \cdot \frac{T}{m}$$

Friktionskraft i vätska

$$F = \eta \cdot A \cdot \frac{dv}{dy}$$

Reynolds tal

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\eta} \quad \begin{cases} Re < 2300 & \text{laminärt} \\ Re > 4000 & \text{turbulent} \end{cases}$$

Volymflöde

$$\phi = \frac{dV}{dt} = A \cdot v$$

Massflöde:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \quad \left(\dot{V} \equiv \frac{dV}{dt} \right)$$

Bernoullis ekvation

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g y_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g y_2$$

Venturirör

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho v_1^2}{2} \cdot \left(\left[\frac{A_1}{A_2} \right]^2 - 1 \right)$$

Torricellis teorem

$$\text{utströmningshastighet } v_2 = \sqrt{2gy_1}, \quad v_1 \approx 0, y_2 = 0$$

Skruvade bollar

$$\text{avlänkningskraft } F = 2\pi\rho r^3 v\omega \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{uppåt vid underskruv} \\ \text{neråt vid överskruv} \end{array} \right.$$

Luftmotstånd

$$F = C \cdot \frac{\rho v^2}{2} \cdot A$$

Poiseuilles lag

$$\text{Laminärt flöde i rör } \phi = \frac{\pi R^4}{8\eta} \cdot \frac{(p_1 - p_2)}{L}$$

Effektbalans:

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{ut}} \quad \Leftrightarrow$$

$$\dot{Q} + \sum_{\text{in}} \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i \right) = \dot{W} + \sum_{\text{ut}} \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i \right)$$

Energiekvationen på "höjdform":

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

$$\text{Korrektionsfaktorn } \alpha = \begin{cases} 1.05 & \text{turbulent strömning} \\ 2 & \text{laminär strömning} \end{cases}$$

Pumpeffekt:

$$\dot{W}_{\text{pump}} = \dot{m}gh_{\text{pump}} \quad \dot{W}_{\text{pump}} = \dot{V} \cdot \Delta p_{\text{pump}} \quad \text{verkningsgrad: } \eta = \dot{W}_{\text{pump}} / P_{\text{betald}}$$

Höjdförlust i rör, totalt:

$$h_L = \left(f \frac{L}{D} + \sum K_L \right) \frac{v^2}{2g}$$

Tryckförlust i rör:

$$\Delta p_L = \rho g h_L$$

Friktionskoefficient f

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

$$\text{Laminärt flöde: } f = \frac{64}{Re}$$

Rörelseenergi per molekyl

$$\langle W_{\text{kin}} \rangle_{\text{en}} = \frac{3}{2} \cdot kT$$

Inre energi i idealgas

$$U = \frac{f}{2} \cdot NkT = \frac{f}{2} \cdot nRT \quad f = \text{antal frihetsgrader}$$

Ändring av inre energi i idealgas

$$\Delta U = \frac{f}{2} \cdot Nk\Delta T = \frac{f}{2} \cdot nR\Delta T \equiv n \cdot C_V \cdot \Delta T$$

1:a Huvudsatsen:

$$\Delta U = Q - W \quad (\text{" infinitesimalt "}: dU = dQ - dW)$$

Arbete (som gasen uträttar)

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV \quad (dW = p \cdot dV)$$

Några standardprocesser för idealgas:

Process	Definition	Arbete
Isokor	$dV = 0$	$W = 0$
Isobar	$dp = 0$	$W = p \cdot \Delta V$
Isoterm	$dT = 0$	$W = nRT \ln V_2/V_1 \quad (= Q, \Delta U = 0)$
Adiabat	$dS = 0$	$W = -\Delta U \quad (Q = 0)$

Molar värmekapacitet, idealgas

Konstant volym: $C_V = \frac{f}{2}R \quad (J/\text{mol}\cdot\text{K}) \quad \text{värme } Q = nC_V \cdot \Delta T$

Konstant tryck: $C_p = \left(\frac{f}{2} + 1\right)R \quad (J/\text{mol}\cdot\text{K}) \quad \text{värme } Q = nC_p \cdot \Delta T$

Samband: $C_p = C_V + R$
 $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = 1 + \frac{2}{f}$

$C = M \cdot c$ med molmassan M och specifik värmekapacitet c (J/kg·K)

vätskor och fasta ämnen: $c_p \approx c_v$

fasta ämnen: $C_V = C_p \equiv C = 3R = 24.9 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ Dulong-Petits lag

Inre energin för idealgas igen:

För alla processer gäller:
$$\begin{cases} U = nC_V \cdot T \\ \Delta U = nC_V \cdot \Delta T \\ dU = nC_V \cdot dT \end{cases}$$

Adiabatisk process

$$\begin{array}{ll} pV^\gamma = \text{konstant} & \text{process } 1 \rightarrow 2: p_1V_1^\gamma = p_2V_2^\gamma \\ TV^{\gamma-1} = \text{konstant} & \text{process } 1 \rightarrow 2: T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1} \\ p^{1-\gamma}T^\gamma = \text{konstant} & \text{process } 1 \rightarrow 2: p_1^{1-\gamma}T_1^\gamma = p_2^{1-\gamma}T_2^\gamma \end{array}$$

Kretsprocess

$$\Delta U = 0 \Rightarrow W_{\text{netto}} = Q_{\text{netto}}$$

$$W_{\text{netto}} = \oint p \cdot dV = \sum W_{i \rightarrow j}, \text{ summan av alla delprocessers arbeten.}$$

$$Q_{\text{netto}} = Q_{\text{in}} - |Q_{\text{ut}}|$$

Verkningsgrad

$$\eta = \frac{W_{\text{netto}}}{Q_{\text{in}}} = 1 - \frac{|Q_{\text{ut}}|}{Q_{\text{in}}}$$

Carnotverkningsgrad

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{kall}}}{T_{\text{varm}}} \quad \left(\eta_C = 1 - \frac{T_c}{T_h} \text{ har vi kört med} \right)$$

Stirlingprocessen

$$W_{\text{netto}} = nR(T_1 - T_2) \ln r \quad \text{kompansionsförhållande } r = \frac{V_2}{V_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad T_1 = T_{\text{varm}} \text{ resp. } T_2 = T_{\text{kall}} \quad (\text{för en "regenerativ Stirlingcykel"})$$

Kylmaskin

$$\text{Köldfaktor definition: } K_f = \frac{Q_{\text{in}}}{|W_{\text{netto}}|} \quad \left(= \frac{Q_c}{|W_{\text{in}}|} \right)$$

$$\text{Köldfaktor idealt: } K_f = \frac{T_{\text{kall}}}{T_{\text{varm}} - T_{\text{kall}}} \quad \left(K_{fC} = \frac{T_c}{T_h - T_c} \right)$$

$$|W_{\text{netto}}| + Q_{\text{in}} = |Q_{\text{ut}}| \quad (|W_{\text{in}}| + Q_c = |Q_h|)$$

Värmepump

$$\text{Värmefaktor definition: } V_f = \frac{Q_{\text{ut}}}{W_{\text{netto}}} \quad \left(= \frac{|Q_h|}{|W_{\text{in}}|} \right)$$

$$\text{Värmefaktor idealt: } V_f = \frac{T_{\text{varm}}}{T_{\text{varm}} - T_{\text{kall}}} \quad \left(V_{fC} = \frac{T_h}{T_h - T_c} \right)$$

$$|W_{\text{netto}}| + Q_{\text{in}} = |Q_{\text{ut}}| \quad (|W_{\text{in}}| + Q_c = |Q_h|)$$

Entropi

$$\Delta S = \int \frac{dQ}{T} \geq 0 \quad dS \geq \frac{dQ}{T} \quad \text{reversibelt: } dS = \frac{dQ}{T}$$

Några standardprocesser för idealgas:

Process	Definition	Entropiändring
Adiabat	$dQ = 0$	$\Delta S = 0$
Isoterm	$dT = 0$	$\Delta S = Q/T$
Isokor	$dV = 0$	$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = nC_V \ln T_2/T_1$
Isobar	$dp = 0$	$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = nC_p \ln T_2/T_1$

2:a huvudsatsen

För ett isolerat system är $\Delta S \geq 0$ $\left\{ \begin{array}{l} > 0 \text{ irreversibel process} \\ = 0 \text{ reversibel process} \\ < 0 \text{ omöjlig process} \end{array} \right.$

För en hel cykel är $\Delta S_{\text{cykel}} = 0$

Kvalitet:

$$x = \frac{h - h_f}{h_{fg}} \quad h = h_f + x \cdot h_{fg} \quad h_{fg} = h_g - h_f$$

$$s = s_f + x \cdot s_{fg} \quad s_{fg} = s_g - s_f$$

Entalpi:

$$H = U + pV \quad (\text{kJ})$$

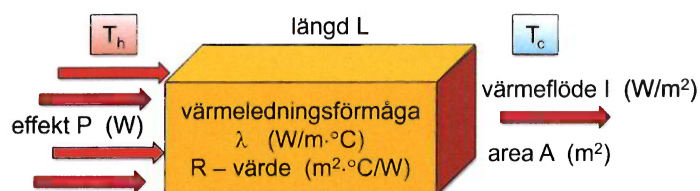
$$h = u + p\nu = u + \frac{p}{\rho} \quad (\text{kJ/kg})$$

$$dH = mc_p dT = nC_p dT \quad (\text{alla processer})$$

1:a huvudsatsen: $\Delta h = q + |w|$ (kJ/kg)

tillfört värme $q > 0$, avgivet värme $q < 0$, yttre arbete $|w|$ på systemet.

Värmeledning.



Effekt:

$$P = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (\text{W})$$

Konstant temperaturgradient: $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{T_h - T_c}{L} = I \cdot A \quad (\text{W})$

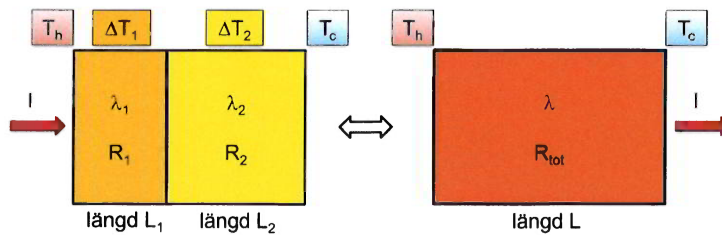
Värmefflöde: (boken har beteckningen I , vi körde med q)

$$I = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{L} = \frac{\Delta T}{R} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) \quad \Delta T = T_h - T_c$$

R- värde:

$$R = \frac{L}{\lambda} \quad \left(\frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{W}} \right)$$

Seriekoppling:



Beräkna R_1 och R_2 och sen: $R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 \quad \left(\frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{W}} \right)$

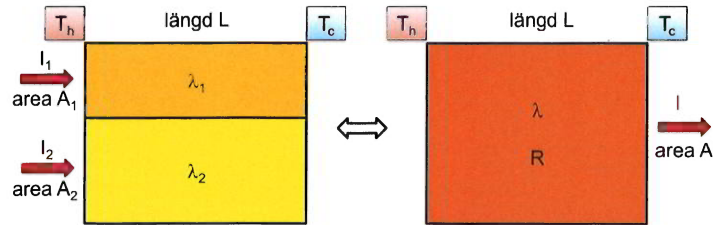
effektiv värmeledningsförmåga: $\lambda = \frac{L}{R_{\text{tot}}} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

samma värmefflöde: $I = \frac{\Delta T_1}{R_1} = \frac{\Delta T_2}{R_2} = \frac{\Delta T}{R_{\text{tot}}} \quad \left(= \lambda \cdot \frac{\Delta T}{L} \right) \Rightarrow$

temperaturskillnaderna: $\Delta T_1 = \frac{R_1}{R_{\text{tot}}} \cdot \Delta T$ och $\Delta T_2 = \frac{R_2}{R_{\text{tot}}} \cdot \Delta T$

Flera ger på samma sätt: $R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum R_i$

Parallellkoppling:



effektiv värmeledningsförmåga: $\lambda = \frac{A_1}{A} \cdot \lambda_1 + \frac{A_2}{A} \cdot \lambda_2$ $A = A_1 + A_2$

motsvarande R - värde: $R = \frac{L}{\lambda}$ $\left(I = \frac{\Delta T}{R} = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{L} \right)$

effekt som strömmar genom A : $P = I \cdot A = I_1 \cdot A_1 + I_2 \cdot A_2$

Flera ger på samma sätt: $\lambda_{\text{eff}} = \frac{A_1}{A} \cdot \lambda_1 + \frac{A_2}{A} \cdot \lambda_2 + \dots + \frac{A_n}{A} \cdot \lambda_n = \frac{1}{A} \cdot \sum A_i \cdot \lambda_i$

Värmeledning i cirkulärt rör

$P = 2\pi\lambda L \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln R_2/R_1}$ radiellt utåt från T_1 vid R_1 till T_2 vid R_2 .

Värmeövergång

effekt $P = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$ värmeövergångstal α ($\Leftrightarrow R$ -värde: $R = 1/\alpha$.)

Värmestrålning

absolut svart kropp	$P_{\text{ideal}} = \sigma \cdot A \cdot T^4$	$\sigma = 5.6705 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
godtycklig kropp	$P_{\text{ut}} = e \cdot P_{\text{ideal}} = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$	emissionstal e
Wiens förskjutningslag:	$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{m}$	
absorberad effekt	$P_{\text{abs}} = a \cdot P_{\text{in}}$	absorptionsfaktor a

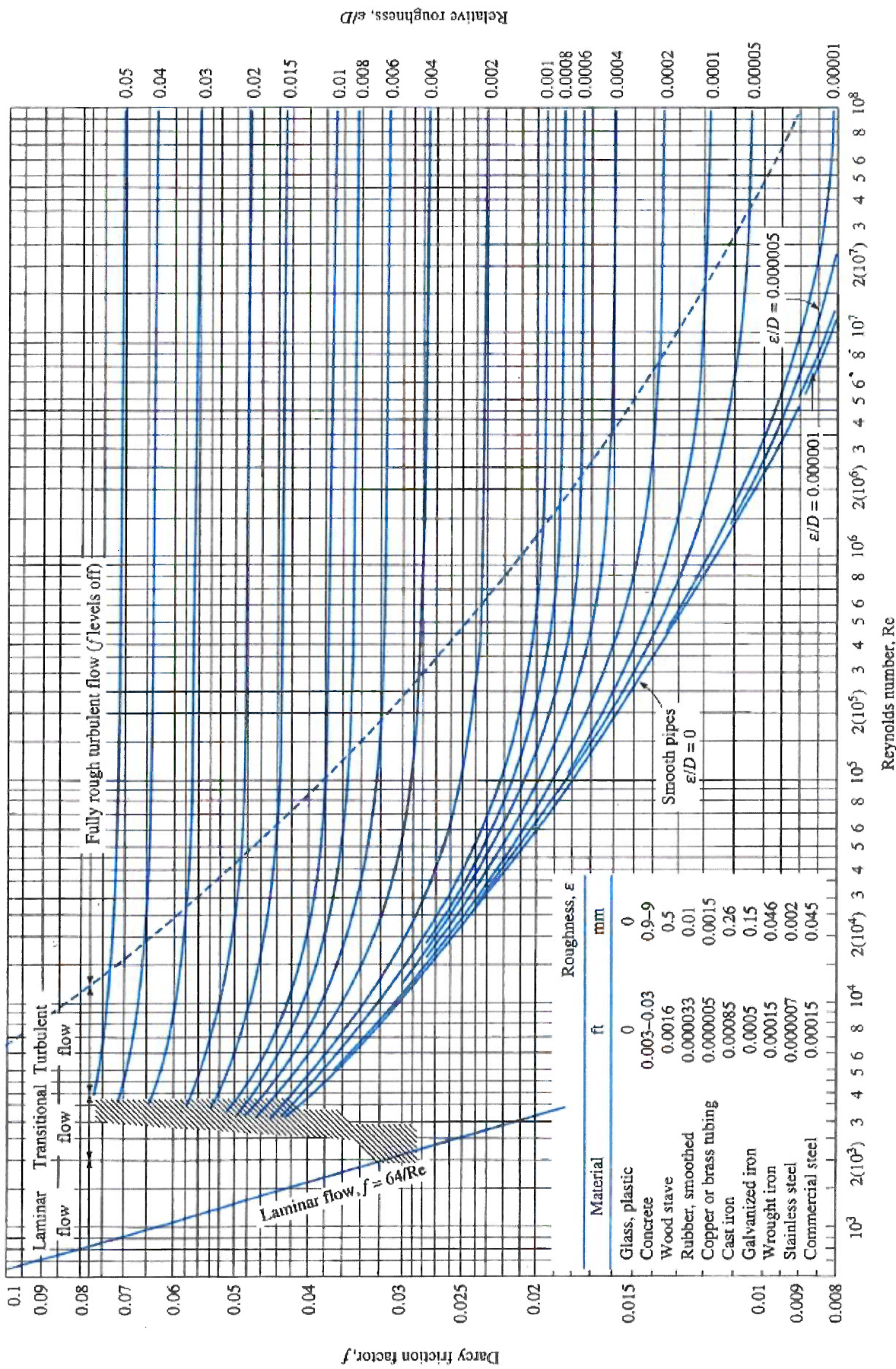


FIGURE A-27

The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular pipes for use in the head loss relation $\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2}$. Friction factors in the turbulent flow are evaluated from the Colebrook equation $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\sum/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$.