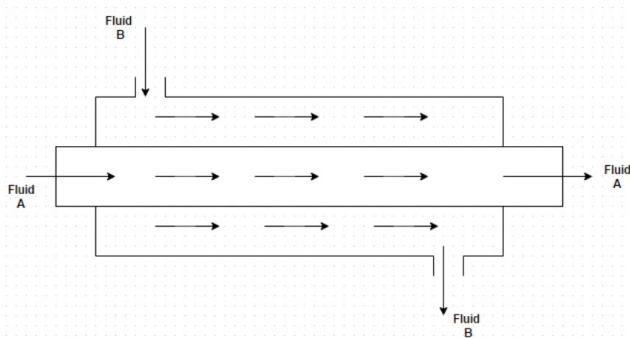


Øving 11

Hvilken strømningstype er dette? // Which type of flow arrangement is this?



- Parallel strøm

En kondensator blir brukt til å kondensere eksos med strømningsrate 25 kg/min fra en dampturbin. Eksosstrømmen er mettet damp ved et trykk på 0,13 bar. Kjølevannet i rørene kommer inn ved 20°C. All dampen blir kondensert og kondensatet er mettet vann. Temperaturen til kjølevannet ved utgangen er 5°C mindre enn kondensattemperaturen. Hvis vi antar et samlet varmeoverføringsområde på 12 m², bestem massen til det kjølevannet som er sirkulert. Varmekapasiteten til vann er 4,19 kJ/kgK.

Egenskaper til mettet damp og vann: / Properties of saturated steam and water:

Temperature (°C)	Vapor Pressure (kPa)	Specific Volume (m ³ /kg)		Enthalpy (kJ/kg)		Entropy (kJ/kg · K)	
		Liquid	Sat'd Vapor	Liquid	Sat'd Vapor	Liquid	Sat'd Vapor
0.01	0.6113	0.0010002	206.136	0.00	2501.4	0.0000	9.1562
3	0.7577	0.0010001	168.132	12.57	2506.9	0.0457	9.0773
6	0.9349	0.0010001	137.734	25.20	2512.4	0.0912	9.0003
9	1.1477	0.0010003	113.386	37.80	2517.9	0.1362	8.9253
12	1.4022	0.0010005	93.784	50.41	2523.4	0.1806	8.8524
15	1.7051	0.0010009	77.926	62.99	2528.9	0.2245	8.7814
18	2.0640	0.0010014	65.038	75.58	2534.4	0.2679	8.7123
21	2.487	0.0010020	54.514	88.14	2539.9	0.3109	8.6450
24	2.985	0.0010027	45.883	100.70	2545.4	0.3534	8.5794
25	3.169	0.0010029	43.360	104.89	2547.2	0.3674	8.5580
27	3.567	0.0010035	38.774	113.25	2550.8	0.3954	8.5156
30	4.246	0.0010043	32.894	125.79	2556.3	0.4369	8.4533
33	5.034	0.0010053	28.011	138.33	2561.7	0.4781	8.3927
36	5.947	0.0010063	23.940	150.86	2567.1	0.5188	8.3336
40	7.384	0.0010078	19.523	167.57	2574.3	0.5725	8.2570
45	9.593	0.0010099	15.258	188.45	2583.2	0.6387	8.1648
50	12.349	0.0010121	12.032	209.33	2592.1	0.7038	8.0763
55	15.758	0.0010146	9.568	230.23	2600.9	0.7679	7.9913
60	19.940	0.0010172	7.671	251.13	2609.6	0.8312	7.9096
65	25.03	0.0010199	6.197	272.06	2618.3	0.8935	7.8310
70	31.19	0.0010228	5.042	292.98	2626.8	0.9549	7.7553
75	38.58	0.0010259	4.131	313.93	2635.3	1.0155	7.6824
80	47.39	0.0010291	3.407	334.91	2643.7	1.0753	7.6122
85	57.83	0.0010325	2.828	355.90	2651.9	1.1343	7.5445
90	70.14	0.0010360	2.361	376.92	2660.1	1.1925	7.4791
95	84.55	0.0010397	1.9819	397.96	2668.1	1.2500	7.4159
100	101.35	0.0010435	1.6729	419.04	2676.1	1.3069	7.3549

0,13 bar

Linear regresjon

$$\Rightarrow T_{sat} = 1,47 \cdot p + 31,89$$

$$p = 13 \text{ kPa} \Rightarrow T_{sat} = 51^\circ\text{C}$$

$$h_{fg} = h_{vap} - h_{liq} = -\Delta H_{mp}$$

$$p = 12,349 \text{ kPa} \Rightarrow h_{fg} = 2382,77$$

$$\Rightarrow p = 15,758 \text{ kPa} \Rightarrow h_{fg} = 2370,67$$

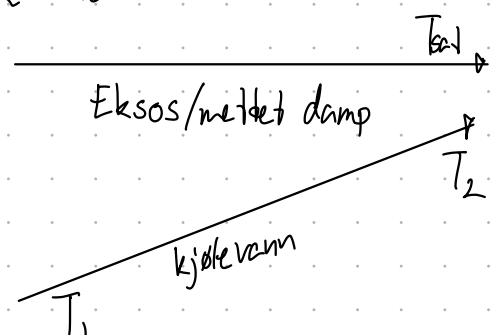
$$\text{Regresjon} \Rightarrow h_{fg} = 2379,47 \text{ kJ/kg}$$

$$T_2 = T_{sat} - 5 = 46$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(51 - 46) - (51 - 20)}{\ln\left(\frac{51 - 46}{51 - 20}\right)} = 14,25$$

$$\dot{q} = \dot{m}_{kj\ddot{o}levann} (T_2 - T_1) \cdot C_{p,w}$$

$$\dot{q} = \dot{m}_{eksos} \cdot h_{fg}$$



Setter $\dot{q} = q \Rightarrow \dot{m}_{\text{kjølevann}} \cdot c_p \cdot \Delta T = m_{\text{eksos}} \cdot h_{fg}$

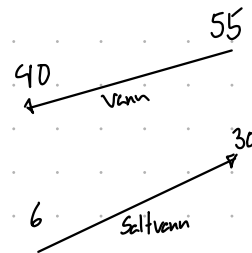
$$\dot{m}_{\text{kjølevann}} = \frac{25 \text{ kg/min} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot 2371,47 \text{ kJ/kg}}{4,19 \text{ kJ/kg} \cdot 26 \text{ K}} = 9,1 \text{ kg/s}$$

En mettet saltvannsløsning-løsning blir varmet fra 6°C til 30°C i en motstrøms varmeveksler. Det varme vannet går inn ved 55°C og går ut ved 40°C. Vannets strømningsrate er 0,25 kg/s og den totale varmeoverføringskoeffisienten er 900 W/m²K. Hvor stort varmevekslerareal er nødvendig?

$$\dot{q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T = 0,25 \text{ kg/s} \cdot 4,19 \text{ kJ/kg} \cdot (55 - 40) \text{ K} = 15,7 \text{ kW}$$

$$\Delta T_{\text{lm}} = \frac{(40 - 6) - (55 - 30)}{\ln \frac{40 - 6}{55 - 30}} = 29,27 \text{ K}$$

$$\dot{q} = U \cdot A \cdot \Delta T_{\text{lm}} \Rightarrow A = \frac{\dot{q}}{U \cdot \Delta T_{\text{lm}}} = \frac{15,7 \text{ kW}}{900 \text{ W/m}^2 \text{K} \cdot 29,27 \text{ K}} = 0,6 \text{ m}^2$$



For fordampere og kondensatorer, ved de gitte betingelsene, er forskjellen i logaritmisk gjennomsnittstemperatur for parallel strømning:

- Lik motstrøm

Ved bedriften hvor du er ansatt oppstår et behov for å varme 30 tonn olje pr. time fra 20°C til 100°C. Til oppvarming har man mettet damp ved 165°C til disposisjon. Bedriften har ledig en mangelers rørvarmeveksler med kobberør med indre diameter 20 mm. Det er 80 rør i parallell og hvert rør er 10m langt. Du gjør noen forsøk ved å pumpe olje gjennom rørene, og finner at når konveksjonskoeffisienten fra indre rørvegg til olje beregnes etter Dittus-Boelter's ligning (gitt under), får du en total varmeoverføringskoeffisient gjennom kondensfilmen og selve rørveggen på 6400 W/m²K basert på indre røroverflate.

Beregn varmemengde som må overføres (kW). Oppgi svaret som ett heltall.

$$\dot{m} = \frac{30 \cdot 1000 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} = \frac{25}{3} \text{ kg/s}$$

$$\Delta T = (100 - 20) = 80 \text{ K}$$

$$\dot{q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T = \frac{25}{3} \text{ kg/s} \cdot 2,1 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot 80 \text{ K} = 1400 \text{ kW}$$

Varmegjennomgangskoeffisient (henført til indre røroverflate)

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{(r_2 - r_1)A_i}{(k_A A_o)} + \frac{A_i}{(h_o A_o)}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{2\pi L r_1 (r_2 - r_1)}{(k_A 2\pi L \ln(\frac{r_2}{r_1}))} + \frac{2\pi L r_1}{(h_o 2\pi L r_2)}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_1 \ln(\frac{r_2}{r_1})}{(k_A)} + \frac{r_1}{(h_o r_2)}}$$

hvor $\frac{1}{\frac{r_1 \ln(\frac{r_2}{r_1})}{(k_A)} + \frac{r_1}{(h_o r_2)}} = 6400 \text{ W/Km}^2$

Dittus-Boelter's ligning

$$N_{Nu} = 0,023 N_{Re}^{0,8} N_{Pr}^{0,4}$$

Egenskapene til oljen ved 60°C

Viskositet	1.5	cP = 10 ⁻³ Pa.s
Sp. Varmekapasitet	2.1	kJ/kgK
Tetthet	900	Kg/m ³
Termisk konduktivitet	0.14	W/mK

Se oppgavetekst i oppgave 5. Beregn varmegjennomgangstallet (gjennom kondensfilmen, selve rørveggen og oljen), U_i , basert på indre diameter. Oppgi svaret som ett heltall.

$$\Rightarrow U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{6400 \text{ W/Km}^2}}$$

$$\text{Fart: } V = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A} = \frac{25/3 \text{ kg/s}}{900 \text{ kg/m}^3 \cdot 80 \cdot (\frac{20}{2} \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi} = 0,3684 \text{ m/s}$$

$\uparrow$ $\uparrow$
 ρ $A_{\text{rør}}$
 $\# \text{ rør}$

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = 4421$$

$$N_{Pr} = \frac{\mu \cdot C_p}{k} = \frac{45}{2}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow N_{Nu} &= 0,023 N_{Re}^{0,8} \cdot N_{Pr}^{0,4} \\ &= 0,023 \cdot 4421^{0,8} \cdot \left(\frac{45}{2}\right)^{0,4} \\ &= 65,92 \end{aligned}$$

$$N_{Nu} = \frac{h_i \cdot D}{k} \Rightarrow h_i = \frac{N_{Nu} \cdot k}{D} = \frac{65,92 \cdot 0,14}{20 \cdot 10^{-3}} = 461,44 \text{ W/Km}^2$$

Dermed:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{461,44} + \frac{1}{6400}} = 430,4 \text{ W/Km}^2$$

Se oppgaveteksten i oppgave 5. Hvilken temperatur kreves på damp siden for å tilfredsstille oppvarmingskravet? Oppgi svaret som ett heltall i °C, men uten å skrive inn enheten.

$$\Delta T_{lm} = \frac{Q}{U_i \cdot A} = \frac{1400 \cdot 10^3 \text{ W}}{430,4 \text{ W/Km}^2 \cdot \underset{\substack{\uparrow \\ \# \text{ rør}}}{80} \cdot \underset{\substack{\uparrow \\ L \text{ rør}}}{10 \text{ m}} \cdot \underset{\substack{\uparrow \\ D \text{ rør}}}{\pi \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}}} = 64,7^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{damp} - 20) - (T_{damp} - 100)}{\ln \left(\frac{T_{damp} - 20}{T_{damp} - 100} \right)} = \frac{80}{\ln \left(\frac{T_{damp} - 20}{T_{damp} - 100} \right)} = 64,7^\circ\text{C}$$

import solver

$$\Rightarrow T_{damp} = 132,7^\circ\text{C}$$

Se oppgaveteksten i oppgave 5. Kan du faktisk bruke varmeveksleren?

$$T_{damp} = 132,7^\circ\text{C}, T_{\text{tilgjengelig damp}} = 165^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow T_{damp} < T_{\text{tilgjengelig damp}}$$

Ja, den kan brukes

Se oppgaveteksten i oppgave 5. Under forsøkene viser det seg at det etter hvert vil avsette seg et kullbelegg på innsiden av rørene. Beleggets tykkelse vokser med en hastighet på 0.25 mm pr. uke, og dets termiske konduktivitet er målt til 0.7 W/Km. Hvor stor temperaturdifferanse (ΔT_{lm}) er nødvendig etter 3 uker?

Oppgi svaret som ett heltall i °C, men uten å skrive inn enheten.

$$N_y \quad r = r_0 = 10 \cdot 10^{-3} - 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 9,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Får ny } A_{\text{rør}} = 80 \cdot \pi \cdot (9,25 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 = 0,0215 \text{ m}^2$$

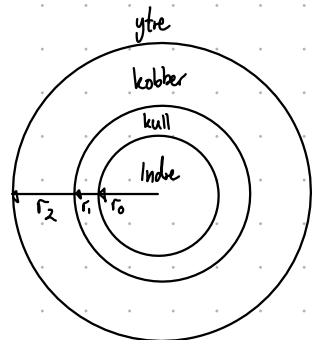
totalt tverrsnittsareal

$$A_i = 80 \cdot \pi \cdot 2(9,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}) \cdot 10 \text{ m} = \frac{74}{5} \pi = 46,50 \text{ m}^2$$

||

totalt indre

varmeoverføringsareal



Finnes U_i :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{r_1 - r_0}{k_c \cdot A_{k,0}} + \frac{r_2 - r_1}{k_A \cdot A_{k,1}} + \frac{1}{h_o A_o}$$

↑
 k_{kull}

U_i : "per A_i "

$$\Rightarrow \frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + \frac{(r_1 - r_0) A_i}{k_c \cdot A_{k,0}} + \frac{(r_2 - r_1) A_i}{k_A \cdot A_{k,1}} + \frac{A_i}{h_o A_o}$$

↑
 k_{kull}

Har ny $A_i \Rightarrow$ må relatere gammel og ny.

Se bilde i tidligere spm.

$$= \frac{r_0 \cdot \ln \frac{r_1}{r_0}}{k_c}$$

$$\frac{(r_2 - r_1) A_{i, \text{gammel}}}{k_A \cdot A_{k,1}} + \frac{A_{i, \text{gammel}}}{h_o A_o} = \frac{1}{6400}$$

$$A_{i, \text{gammel}} = 2\pi L r_1$$

$$A_i = 2\pi L r_0$$

Løsning: $\therefore \frac{A_i}{A_{i, \text{gammel}}} = \frac{r_0}{r_1}$, gir "nytt" uttrykk likt det vi trenger

$$\Rightarrow \frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + \frac{r_0 \cdot \ln \frac{r_1}{r_0}}{k_c} + \frac{r_0 / r_1}{6400}$$

$$V_{ny} = \frac{25/3}{900 \cdot A_{\text{rør}}} = 0,4306 \text{ m/s}$$

$$N_{Re} = \frac{2(9,25 \cdot 10^{-3}) \cdot 900}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 4779,4$$

N_{Pr} er likt

$$\Rightarrow N_{Nu} = 0,023 \cdot 4779,4^{0,8} \cdot \left(\frac{46}{2}\right)^{0,4} = 70,16$$

$$h_i = \frac{N_{Nu} \cdot k}{D} = \frac{70,16 \cdot 0,14}{2 \cdot 9,25 \cdot 10^{-3}} = 531 \text{ W/Km}^2$$

$$\Rightarrow \frac{1}{U_i} = \frac{1}{531} + \frac{9,25 \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{10}{9,25}\right)}{0,7} + \frac{9,25/10}{6400} = 3,058 \cdot 10^{-3}$$

$$\Rightarrow U_i = 327 \text{ W/Km}^2$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{Q}{U_i \cdot A_i} = \frac{1400 \cdot 10^3 \text{ W}}{327 \text{ W/Km}^2 \cdot 46,50 \text{ m}^2} = 92^\circ\text{C}$$

← °C og K er ikke så viktig for ΔT_{lm}

Se oppgaveteksten til oppgave 5. Kan du kjøre varmeveksleren 3 uker før det er nødvendig å rense rørene?

$$\Delta T_{lm, maks} = \frac{(165 - 20) - (165 - 100)}{\ln\left(\frac{165 - 20}{165 - 100}\right)} = 99,7^\circ\text{C}$$

Får en nødvendig $\Delta T_{lm} < \Delta T_{lm, maks}$

$\Rightarrow$ Ja, det er mulig

Du har en varmeveksler med varmeoverførende flate $A = 4 \text{ m}^2$. Det er beregnet at for det formål du ønsker å bruke varmeveksleren så kan det totale varmgjennogangstallet estimeres til å være $U = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det er vann som skal kjøres med vann. Massestrøm varm side er $m_h = 1 \text{ kg/s}$ og på kald side $m_k = 0,5 \text{ kg/s}$. Varmekapasiteten for vann er $4,19 \text{ kJ/kgK}$.

Inngangstemperaturene for henholdsvis varmt og kaldt vann er $T_h = 90^\circ\text{C}$ og $T_k = 10^\circ\text{C}$. Du bruker ren motstrømsdrift.

Hvis du bruker NTU-metoden, hva er verdien til NTU? Oppgi svaret ditt med to desimaler.

Fra vedlegg:

$$\left. \begin{aligned} C_h &= m_h \cdot c_{ph} = 1 \text{ kg/s} \cdot 4,19 \text{ kJ/kgK} = 4190 \text{ W/K} \\ C_c &= m_k \cdot c_{pc} = 0,5 \text{ kg/s} \cdot 4,19 \text{ kJ/kgK} = 2095 \text{ W/K} \end{aligned} \right\} \Rightarrow C_{min} = C_c = 2095 \text{ W/K}$$

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}} = \frac{500 \cdot 4}{2095} = 0,95$$

Hva blir utgangstemperaturen til den kalde strømmen? Oppgi svaret i °C, som ett heltall og uten benevning. // What is the temperature of the cold water stream at the outlet? Give your answer in °C, as an integer and without units.

$$\frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{C_c}{C_H} = 0,5, NTU = 0,95$$

Fra graf: $\epsilon \approx 0,54$

$$q = \epsilon C_{\min} (T_{h, \text{inn}} - T_{c, \text{inn}})$$

$$q = 0,54 \cdot 2095 (90 - 10) = 90504 \text{ W}$$

$$q = C_c (T_{c, \text{ut}} - T_{c, \text{inn}})$$

$$90504 = 2095 \cdot (T_{c, \text{ut}} - 10)$$

$$T_{c, \text{ut}} = 10 + \frac{90504}{2095}$$

$$T_{c, \text{ut}} = 53,2^\circ \text{C}$$

Hva blir utgangstemperaturen til den varme strømmen? Oppgi svaret i °C, som ett heltall og uten benevning. // What is the temperature of the hot water stream at the outlet? Give your answer in °C, as an integer and without units.

$$q = C_h (T_{h, \text{inn}} - T_{h, \text{ut}})$$

$$90504 = 4190 (90 - T_{h, \text{ut}})$$

$$T_{h, \text{ut}} = 90 - \frac{90504}{4190}$$

$$T_{h, \text{ut}} = 68,4^\circ \text{C}$$

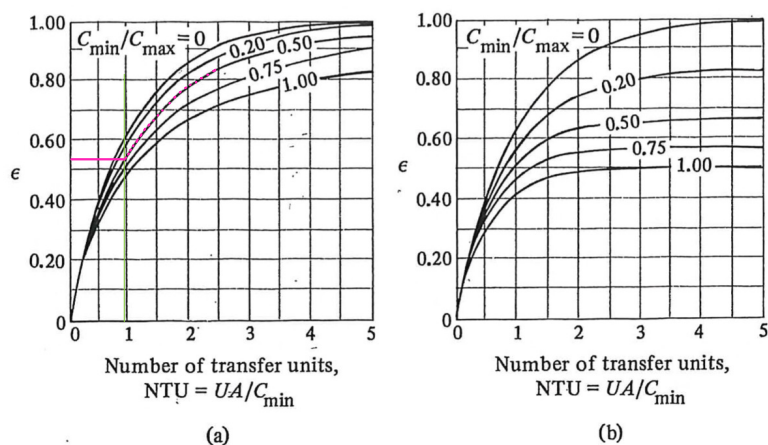


FIGURE 4.9-7. Heat-exchanger effectiveness ϵ : (a) counterflow exchanger, (b) parallel flow exchanger.