

Pumpleistung der KDT –

Einfluss der Enthalpiedifferenz der Flüssigkeit im Verdampfer und Kondensator auf die Radien

Die Gesamtdrucke im Kondensator und im Verdampfer sind gleich und diese setzen sich aus geodätischen und Gasdruck zusammen.

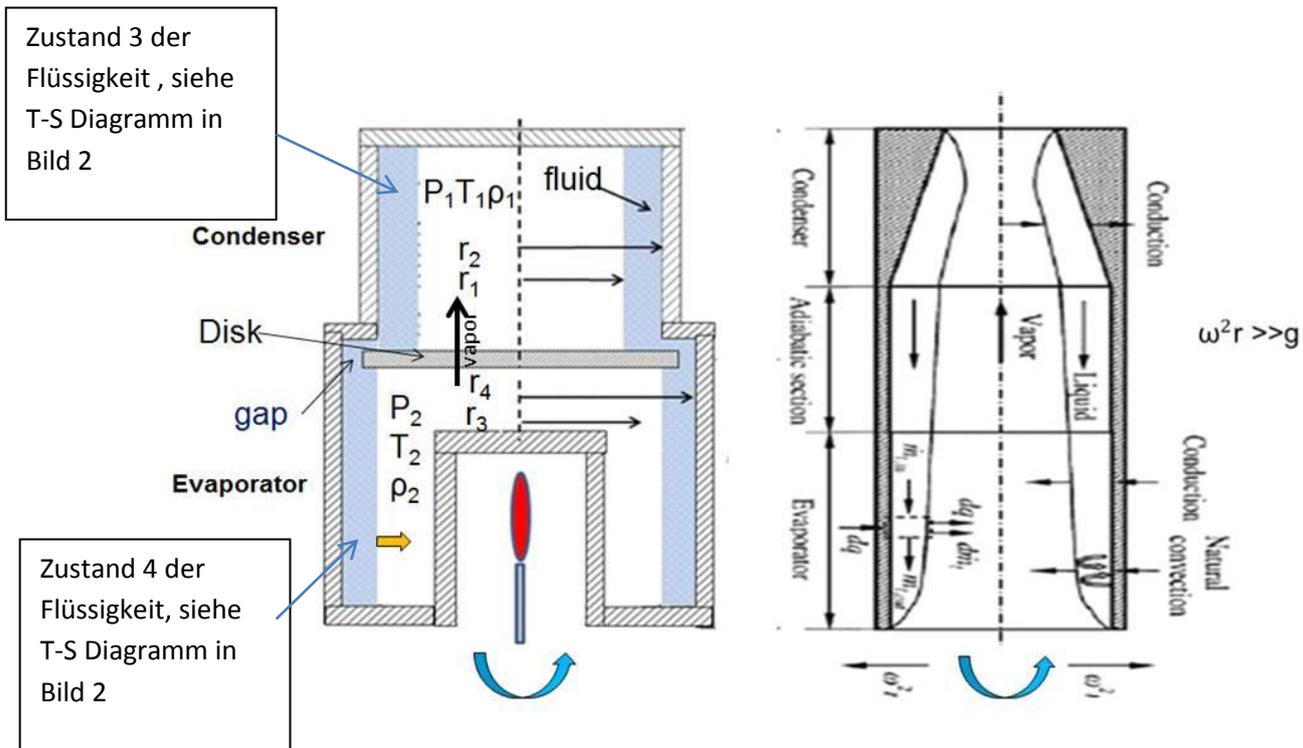


Bild 1: Vergleich der KDT mit Rotating Heat Pipe

Betrachtung des Drucks: $dp = \rho \omega^2 r dr$.

$$P_{a1} + \int_{P(r_1)}^{P(r_4)} dp = P_{a2} + \int_{P(r_3)}^{P(r_4)} dp \quad (1)$$

$$P_{a1} + \int_{r_1}^{r_4} \rho_1 \omega^2 r dr = P_{a2} + \int_{r_3}^{r_4} \rho_2 \omega^2 r dr$$

$$P_{a2} - P_{a1} = \int_{r_1}^{r_4} \rho_1 \omega^2 r dr - \int_{r_3}^{r_4} \rho_2 \omega^2 r dr = \frac{1}{2} \rho_1 \omega^2 (r_4^2 - r_1^2) - \frac{1}{2} \rho_2 \omega^2 (r_4^2 - r_3^2)$$

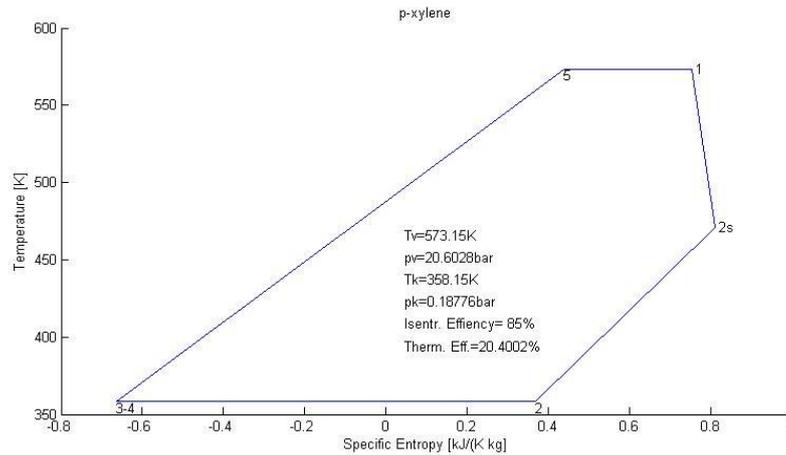
$$P_{a2} - P_{a1} = \frac{1}{2} \rho_1 \omega^2 (r_4^2 - r_1^2) - \frac{1}{2} \rho_2 \omega^2 (r_4^2 - r_3^2)$$

Normiere auf ρ_1 , dadurch wird spezifische Energiedifferenz beschrieben

$$(P_{a2} - P_{a1})/\rho_1 = \frac{1}{2}\omega^2(r_4^2 - r_1^2) - \frac{1\rho_2}{2\rho_1}\omega^2(r_4^2 - r_3^2)$$

Es muss noch die spezifische Enthalpiederhöhung Δh_{ts} berücksichtigt werden. Diese liegt z.B. für Xylol bei ca. 1700J/kg. Somit ergibt sich:

$$(P_{a2} - P_{a1})/\rho_1 + \Delta h_{ts} = \frac{1}{2}\omega^2(r_4^2 - r_1^2) - \frac{1\rho_2}{2\rho_1}\omega^2(r_4^2 - r_3^2) \quad (2)$$



	h[J/kg]	s[J/(K kg)]	T[K]	p[bar]	rho[kg/m^3]	v[m^3/kg]	Vapor	c[m/s]	a[m/s]	Mach	Visk. [Pa s]
State 1	406.0845	0.7554	573.1500	20.6028	72.7553	0.0137	0	50	0	0	
State L	392.8133	0.7554	555.9101	13.4351	40.4357	0.0247	1	163.2813	163.2813	1	
State 2s	260.6792	0.8107	470.8258	0.1878	0.5116	1.9546	1	536.3452	195.4914	2.7436	
State 2	77.9248	0.3694	358.1500	0.1878	0.6761	1.4791	1	0	170.7370	0	
State 3	-290.6857	-0.6598	358.1500	0.1878	784.1439	0.0013	0	0	935.7171	0	
State 4	-288.9951	-0.6623	358.1500	20.6028	786.7951	0.0013	0	0	957.1371	0	
State 5	224.3027	0.4382	573.1500	20.6028	475.2592	0.0021	0	0	238.4791	0	

Bild 2: Der Übergang der Zustände von 3->4 wird in einem Kraftwerk von Pumpen durchgeführt. In der KDT wird die Pumpleistung durch das rotierende System aufgebracht. Die Indizes 3 und 4 entsprechen für die Flüssigkeit den verwendeten Indizes 1 und 2, die sich auf den Verdampfungsraum und den Kondensationsraum beziehen.

Bei einem Massenfluss von 0,027 kg/s ergibt sich eine Pumpleistung von $1700\text{J/kg} \cdot 0,027 \text{ kg/s} = \text{ca. } 46 \text{ Watt}$, die vom System erbracht werden können. Dies entspricht ca. 2,5% der angestrebten Wellenleistung von 2kW.

$$(P_{a2} - P_{a1})/\rho_1 + \Delta h_{ts} = \frac{1}{2}\omega^2(r_4^2 - r_1^2) - \frac{1\rho_2}{2\rho_1}\omega^2(r_4^2 - r_3^2) \quad (2)$$

$$2*(P_{a2} - P_{a1})/\rho_1 + \Delta h_{ts} - \omega^2(r_4^2 - r_1^2) = -\frac{\rho_2}{\rho_1}\omega^2(r_4^2 - r_3^2)$$

$$2*(P_{a2} - P_{a1})/\rho_1 + \Delta h_{ts} - \omega^2(r_4^2 - r_1^2) = \frac{\rho_2}{\rho_1}\omega^2(r_3^2 - r_4^2)$$

$$2 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2} (P_{a2} - P_{a1}) / \rho_1 + \frac{\rho_1}{\rho_2} \Delta h_{ts} - \frac{\rho_1}{\rho_2} \omega^2 (r_4^2 - r_1^2) = \omega^2 (r_3^2 - r_4^2)$$

$$2 \cdot (P_{a2} - P_{a1}) / (\omega^2 \rho_2) + \frac{\rho_1}{\omega^2 \rho_2} \Delta h_{ts} - \frac{\rho_1}{\rho_2} (r_4^2 - r_1^2) = (r_3^2 - r_4^2)$$

$$r_3^2 = 2 \cdot (P_{a2} - P_{a1}) / (\omega^2 \rho_2) + \frac{\rho_1}{\omega^2 \rho_2} \Delta h_{ts} - \frac{\rho_1}{\rho_2} (r_4^2 - r_1^2) + r_4^2 \quad (3)$$

Beispielhaftes Einsetzen von Werten in (3) ergibt z.B für p-Xylol bei einer Winkelgeschwindigkeit $\omega = 1000 \text{ rad/s}$ einem $\Delta p = p_2 - p_1$ von 2041220 Pa und Radien $r_1 = 0,120 \text{ m}$, $r_2 = 0,142 \text{ m}$, $r_4 = 0,150 \text{ m}$ sowie Dichten (Fluidprop mit Stanmix) $\rho_1 = 786,79$ und $\rho_2 = 475,25$ und einem Δh_{ts} von 1700 J/kg ein $r_3 = 0,1432 \text{ m}$. Die Zustandsänderung wird in (3) bei der Radienberechnung berücksichtigt.

Schlussfolgerung: Bei geeigneter Wahl der Radien und der Drehzahl, sowie bei gegebener Dichten wird bei kleiner Pumpleistung eine Lösung gefunden, bei der die KDT gleichzeitig pumpt und dichtet!

Man wird ausreichend Arbeitsfluid in das System bringen, so dass sich ein Gleichgewicht einstellt,

Bei einem statischen Kühler muss das Kondensat vom Ruhezustand auf die Geschwindigkeit $r\omega$ beschleunigt werden. Dafür ist eine Leistung von $P = dm/dt \cdot 0,5 \cdot (r\omega)^2$ von $P \sim 0,5 \cdot 0,027 \cdot (0,15 \cdot 900)^2 \text{ Watt} = \text{ca. } 240 \text{ Watt}$ erforderlich. Bei Wasser als Arbeitsfluid mit Massenfluss von 7 g/s nur ca. 50 Watt !