

Exercice 1

De l'air traverse un conduit. L'état d'air et son nombre de mach sont spécifiés ($T=373,2^\circ\text{K}$, $P=200\text{kPa}$, $Ma=0,8$). Si on considère que l'air est un gaz parfait de chaleur spécifique constante (à la température ambiante sont $R_s=0.287\text{ kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K}$ et $\gamma=1.4$), calculer :

- 1°)-La vitesse et la masse volumique de l'air à l'entrée
- 2°)-La température, la pression et la masse volumique totale à l'entrée

Exercice 2

Un étage de compresseur à air travail avec une pression de 1bar et 25°C qui nécessite un travail à l'entrée de 17kJ/kg avec un rendement isentropique de 0,9. La vitesse d'entrée et de sortie de l'air sont les mêmes. Assumant que les propriétés de l'air sont inchangées pendant sa traversée de l'étage du compresseur.

- 1°)-Tracer le diagramme enthalpique en indiquant les valeurs statique et totale ?
- 2°)- Calculer la pression de sortie de l'étage ?

On donne $C_p=1,01\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$, $\gamma=1,4$ pour un gaz parfait à 20°C

Exercice 3

De la vapeur à $p_1=6000\text{kPa}$ et $T_1=400^\circ\text{C}$ détendue d'une façon adiabatique à travers une turbine à vapeur à une pression $p_3=60\text{kPa}$ avec une efficacité isentropique de 90%.

- 1°)-Tracer l'allure du diagramme d'enthalpie de la turbine (états statique et totales) ?
- 2°)-Calculer le titre de vapeur à la sortie ?
- 3°)-Calculer le travail idéal et réel développé si on néglige la variation d'énergie cinétique ?

On donne à partir des tables thermodynamique pour (6000kPa , 400°C) on a $h_1=3177,0\text{kJ/kg}$, $S_1=6,5404\text{kJ/kgK}$ et pour 60 kPa on a ($h_f = 359,79\text{kJ/kg}$, $h_{fg} = 293,11\text{kJ/kg}$, $S_f=1,145\text{kJ/kgK}$, $S_g=7,5314\text{kJ/kgK}$)

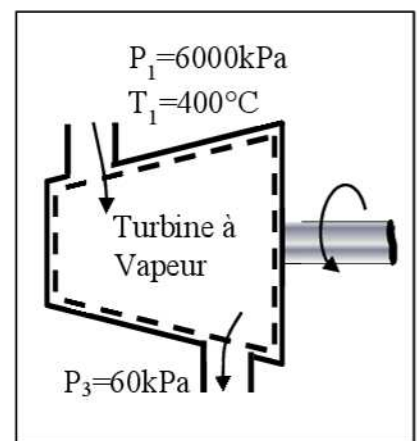


Fig.1-Turbine à Vapeur

Solution de l'exercice n°1

1°)-La vitesse et la masse volumique de l'air à l'entrée

La vitesse du son en air aux conditions spécifiques est : $a = \sqrt{\gamma r T} = \sqrt{1,4 \cdot 0,287 \cdot 373,2 \cdot 1000} = 387,2 \text{ m/s}$

La vitesse et la masse volumique de l'air à l'entrée :

$$C = M \cdot a = 0,8 \cdot 387,2 = 310 \text{ m/s}$$

$$\rho = \frac{P}{R_s T} = \frac{200}{0,287 \cdot 373,2} = 1,867 \text{ kg/m}^3$$

2°)-La température, la pression et la masse volumique totale à l'entrée

$$T_0 = T \left[1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right] = 373,2 \left(1 + \frac{(1,4 - 1)(0,8)^2}{2} \right) = 421 \text{ K}$$

$$P_0 = P \left(\frac{T_0}{T} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 200 \left(\frac{421}{373,2} \right)^{\frac{1,4}{1,4 - 1}} = 305 \text{ kPa}$$

$$\rho_0 = \rho \left(\frac{T_0}{T} \right)^{\frac{1}{\gamma - 1}} = 1,867 \left(\frac{421}{373,2} \right)^{\frac{1}{1,4 - 1}} = 2,52 \text{ kg/m}^3$$

Solution de l'exercice n°2

1°)- le diagramme enthalpique en indiquant les valeurs statique et totale (voir Figure 2) :

2°)- Calculer la pression de sortie de l'étage ?

► Le travail de l'entrée est spécifique et puisque la vitesse d'entrée est égale à celle de sortie $V_1 = V_3$ donc :

$$W_A = h_3 - h_1 = 17 \text{ kJ/kg}$$

► L'air est considéré comme parfait donc : $C_p = 1,01 \text{ kJ/kg.K}$

$$C_p \Delta T = \Delta h \Rightarrow \Delta T = \frac{\Delta h}{C_p}$$

$$\Rightarrow T_3 - T_1 = \frac{17}{1,01} = 16,83 \text{ K}$$

► L'efficacité du compresseur d'un gaz parfait peut être exprimée en températures :

$$\eta = \frac{h_{3s} - h_1}{h_3 - h_1} = \frac{T_{3s} - T_1}{T_3 - T_1} = 0,9$$

$$\Rightarrow T_{3s} - T_1 = 0,9(T_3 - T_1) = 15,15 \text{ K}$$

► Pour une compression isentropique : $\frac{T_{3s}}{T_1} = \left(\frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}$

Et pour une température 20°C on a $\gamma = 1,4$

$$\frac{P_3}{P_1} = \left(\frac{298 + 15,15}{298} \right)^{\frac{1,4}{0,4}} = 1,19$$

$\Rightarrow$ la pression de sortie de l'étage est : $P_3 = 1,19 \cdot P_1 = 1,19 \text{ bar}$

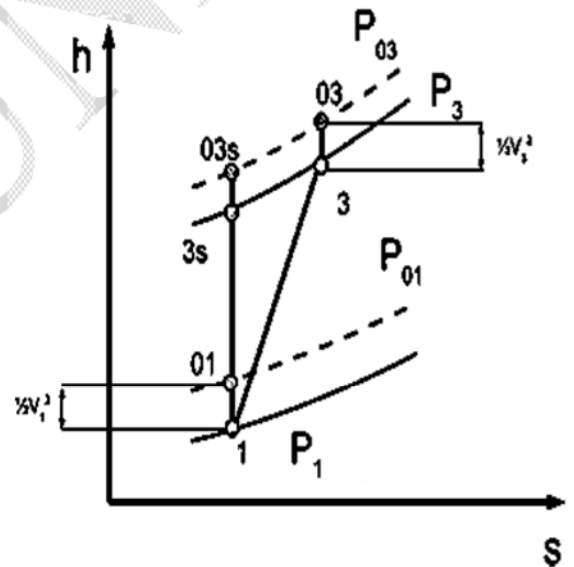


Fig.2-Diagramme h-s de compression

Solution de l'exercice n°3

1°)-L'allure du diagramme d'enthalpie de la turbine (états statique et totales) :

2°)-Le titre de vapeur :

$$x_3 = \frac{s_3 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6,5404 - 1,1451}{7,5314 - 1,1451} = 0,8448$$

3°)-Pour obtenir la valeur d'enthalpie à la sortie :

$$\begin{aligned} h_{3s}(60) &= h_f + x_3 * h_{fg} \\ &= 359,79 + 0,8448 * 2293,11 \\ &= 2297,0 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

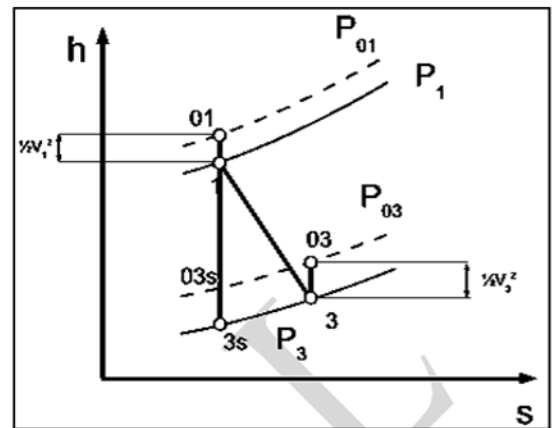


Fig.3-Diagramme h-s de détente

Le travail isentropique développé est :

$$W_s = (h_1 - h_{3s}) = (3177 - 2297) = 880 \text{ kJ/kg}$$

Le travail réel développé est :

$$W_r = (h_1 - h_3) = \eta_s (h_1 - h_{3s}) = 0,9880 = 792 \text{ kJ/kg}$$

T (°C)	v (m³/kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
p = 60 bar				
276.62	0.03244	2589.3	2783.9	5.8886
280	0.03317	2604.7	2803.7	5.9245
320	0.03874	2719.0	2951.5	6.1830
360	0.04330	2810.6	3070.4	6.3771
400	0.04739	2892.7	3177.0	6.5404
440	0.05121	2970.2	3277.4	6.6854
480	0.05487	3045.3	3374.5	6.8179

p bar	T °C	$v_f \cdot 10^3$ m³/kg	v_g m³/kg	u_f kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kg K	s_g kJ/kg K
0.60	85.92	1.0330	2.7351	359.73	2488.8	359.79	2652.9	1.1451	7.5314
0.70	89.93	1.0359	2.3676	376.56	2493.8	376.64	2659.5	1.1917	7.4793
0.80	93.48	1.0385	2.0895	391.51	2498.1	391.60	2665.3	1.2327	7.4342
0.90	96.69	1.0409	1.8715	405.00	2502.0	405.09	2670.5	1.2693	7.3946
1.00	99.61	1.0431	1.6958	417.30	2505.5	417.40	2675.1	1.3024	7.3592

Fig.4- Tables thermodynamiques pour la vapeur d'eau

A partir de la table thermodynamique ou le diagramme de Mollier : $h_1=3177,0 \text{ kJ/kg}$ (6000kPa, 400°C) et $S_1=6,5404 \text{ kJ/kgK}$ et en menant isentropiquement $S_1=S_3$ jusqu'à 60kPa ($S_f=1,1451 \text{ kJ/kgK}$, $S_g=7,5314 \text{ kJ/kgK}$)