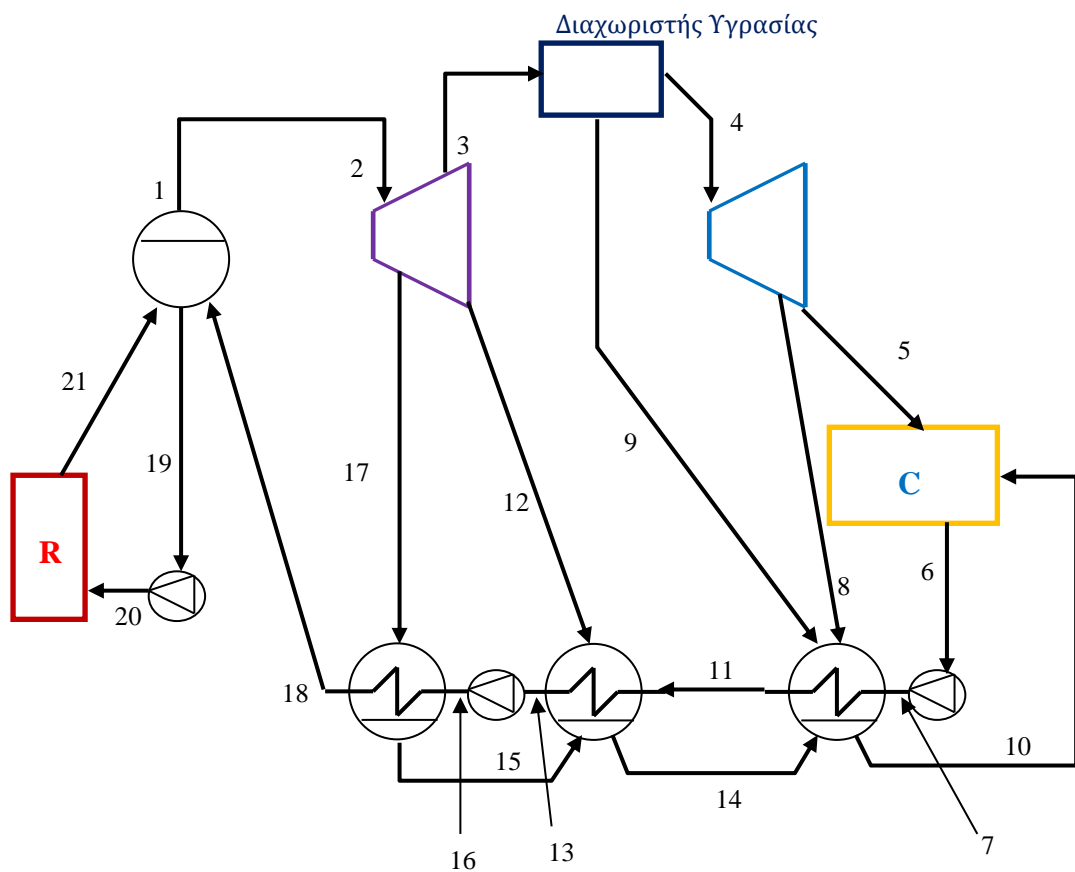


Δίδεται το διάγραμμα ενός **σταθμού πυρηνικής ενέργειας**. Η **θερμική ισχύς** του αντιδραστήρα (**R**) είναι **157 MW**. Τα στοιχεία, από μετρήσεις σε διάφορες θέσεις του διαγράμματος, δίδονται στον ακόλουθο πίνακα.:

Θέση	Παροχή (kg/s)	Πίεση (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	Στήλη αποτελεσμάτων	
1	75,6	7240	Κεκορ. ατμός		$h_1 =$	
2	75,6	6900		2765		
3	62,874	345		2517		
4		310			$h_4 =$	$x_4 =$
5		7		2279		$\dot{W}_{T2} =$
6	75,6	7	33		$h_6 =$	$\dot{W}_{p\ 6-7} =$
7		415		140		
8	2,772	35		2459		
9	4,662	310		558		
10		35	34			$\dot{m}_{10} =$
11	75,6	380	68			
12	8,064	345		2517		$\dot{W}_{T1} =$
13	75,6	330				
14				349		$\dot{m}_{14} =$
15	4,662	965	139	584		
16	75,6	7930		565		
17	4,662	965		2593		
18	75,6	7580		688		
19	1368,0	7240	277		$h_{19} =$	$\dot{W}_{pR} =$
20	1368,0	7410		1221		
21	1368,0	7310			$h_{21} =$	$x_{21} =$



**A)** Αν ο διαχωριστής υγρασίας είναι πλήρως μονωμένος, υπολογίστε την ειδική ενθαλπία  $h_4$  και την ξηρότητα του ατμού  $x_4$  στη θέση 4 (Εφαρμόστε Α' Θεσμ. Νόμο & Εξίσωση Συνέχειας). (2.0)

**B)** Υπολογίστε την ισχύ [kW] του στροβίλου χαμηλής πίεσης  $\dot{W}_{T2}$  και του στροβίλου υψηλής πίεσης  $\dot{W}_{T1}$  (Εφαρμόστε Α' Θεσμ. Νόμο). (2.0)

**Γ)** Υπολογίστε την ειδική ενθαλπία  $h_{21}$  και την ξηρότητα του ατμού  $x_{21}$  στην έξοδο του αντιδραστήρα (R) – θέση 21. (2.0)

**Δ)** Υπολογίστε την ειδική ενθαλπία  $h_1$  την ειδική ενθαλπία  $h_{19}$  και την ισχύ της αντλίας του αντιδραστήρα  $\dot{W}_{pR}$  [kW]. (2.0)

**Ε)** Υπολογίστε την ισχύ [kW] της αντλίας μεταξύ των θέσεων 6 και 7 ( $\dot{W}_{p\ 6-7}$ ). (1.0)

**Ζ)** Υπολογίστε την ειδική ενθαλπία  $h_6$  στη θέση 6 και την παροχή μάζας στις θέσεις 10 και 14 (Α' Θεσμ. Νόμος & Εξίσωση Συνέχειας). (1.5)

Όπου χρειαστεί, θα κάνετε γραμμικές παρεμβολές.

Οι μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας θεωρούνται αμελητέες.

<b>ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΚΕΚΟΡΕΣΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΕΣΕΩΝ)</b>							
Temp	Pressure	Specific Volume	Internal Energy	Specific Enthalpy	Specific		Phase
C	MPa	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	Entropy	Quality	
					kJ/kg/K		
24,08	0,003	0,001003	101	101	0,3545	0	Saturated Liquid
24,08	0,003	45,67	2409	2546	8,578	1	Saturated Vapor
28,96	0,004	0,001004	121,4	121,4	0,4226	0	Saturated Liquid
28,96	0,004	34,8	2415	2554	8,475	1	Saturated Vapor
32,88	0,005	0,001005	137,8	137,8	0,4763	0	Saturated Liquid
32,88	0,005	28,19	2420	2561	8,395	1	Saturated Vapor
40,29	0,0075	0,001008	168,8	168,8	0,5763	0	Saturated Liquid
40,29	0,0075	19,24	2431	2575	8,251	1	Saturated Vapor
45,81	0,01	0,00101	191,8	191,8	0,6492	0	Saturated Liquid
45,81	0,01	14,67	2438	2585	8,15	1	Saturated Vapor
127,4	0,25	0,001067	535,1	535,3	1,607	0	Saturated Liquid
127,4	0,25	0,7187	2537	2717	7,053	1	Saturated Vapor
130,6	0,275	0,00107	548,6	548,9	1,641	0	Saturated Liquid
130,6	0,275	0,6573	2541	2721	7,021	1	Saturated Vapor
133,5	0,3	0,001073	561,1	561,4	1,672	0	Saturated Liquid
133,5	0,3	0,6058	2544	2725	6,992	1	Saturated Vapor
136,3	0,325	0,001076	572,9	573,2	1,701	0	Saturated Liquid
136,3	0,325	0,562	2546	2729	6,965	1	Saturated Vapor
138,9	0,35	0,001079	583,9	584,3	1,727	0	Saturated Liquid
138,9	0,35	0,5243	2549	2732	6,94	1	Saturated Vapor
141,3	0,375	0,001081	594,4	594,8	1,753	0	Saturated Liquid
141,3	0,375	0,4914	2551	2736	6,917	1	Saturated Vapor
143,6	0,4	0,001084	604,3	604,7	1,777	0	Saturated Liquid
143,6	0,4	0,4625	2554	2739	6,896	1	Saturated Vapor
264	5	0,001286	1148	1154	2,92	0	Saturated Liquid
264	5	0,03944	2597	2794	5,973	1	Saturated Vapor
275,6	6	0,001319	1205	1213	3,027	0	Saturated Liquid
275,6	6	0,03244	2590	2784	5,889	1	Saturated Vapor
285,9	7	0,001351	1258	1267	3,121	0	Saturated Liquid
285,9	7	0,02737	2580	2772	5,813	1	Saturated Vapor
295,1	8	0,001384	1306	1317	3,207	0	Saturated Liquid
295,1	8	0,02352	2570	2758	5,743	1	Saturated Vapor
303,4	9	0,001418	1350	1363	3,286	0	Saturated Liquid

303,4	9	0,02048	2558	2742	5,677	1	Saturated Vapor
311,1	10	0,001452	1393	1408	3,36	0	Saturated Liquid
311,1	10	0,01803	2544	2725	5,614	1	Saturated Vapor
318,1	11	0,001489	1434	1450	3,429	0	Saturated Liquid
318,1	11	0,01599	2530	2706	5,553	1	Saturated Vapor

### ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ

0 °C=273,15 K

$$p\bar{v} = \bar{R}T, \quad \bar{R} = \bar{R} / M, \quad pV = n\bar{R}T, \quad pV = mRT, \quad pv = RT, \quad \bar{R}=8.3145 \text{ J}/(\text{mole K}) \quad \rho = 1/v$$

$$\frac{dm_{OA}}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} \quad \frac{dm_{OA}}{dt} = \oint_E \rho c_n dE \quad \dot{m} = \oint_E \rho c_n dE$$

$$e = u + c^2/2 + gZ \quad h_t = h + c^2/2 + gZ \quad \text{Τεχνικό έργο: } w = - \int_{in}^{out} v dp$$

### Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος για ανοικτά συστήματα:

$$\frac{dE_{OA}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \oint_E h_t d\dot{m} = \dot{Q} - \dot{W} + \oint_E (h + \frac{1}{2}c^2 + gZ) d\dot{m}$$

$$\frac{dE_{OA}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum h_{t,in} \dot{m}_{in} - \sum h_{t,out} \dot{m}_{out}$$

### Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος για ανοικτά συστήματα (Μόνιμη κατάσταση - μόνιμη ροή):

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \quad \dot{Q} + \sum h_{t,in} \dot{m}_{in} = \sum h_{t,out} \dot{m}_{out} + \dot{W}$$

### Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος για κλειστό σύστημα, υπό μορφή ρυθμού μεταβολής:

$$\frac{dS_{O.E.}}{dt} = \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{IAP}$$

### Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος για ανοικτό σύστημα, υπό μορφή ρυθμού μεταβολής:

$$\frac{dS_{O.E.}}{dt} = \sum \dot{m}_{in} s_{in} - \sum \dot{m}_{out} s_{out} + \sum \frac{\dot{Q}_{O.E.}}{T} + \dot{S}_{IAP} \quad \text{ή} \quad \frac{dS_{O.E.}}{dt} \geq \sum \dot{m}_{in} s_{in} - \sum \dot{m}_{out} s_{out} + \sum \frac{\dot{Q}_{O.E.}}{T}$$

### Ομοιόμορφη Κατάσταση - Ομοιόμορφη Ροή:

$$\frac{dm_{OA}}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} \quad \int_0^t \frac{dm_{OA}}{dt} dt = (m_2 - m_1)_{OA} \quad (m_2 - m_1)_{OA} = m_{in} - m_{out}$$

$$\frac{d}{dt} [m h_t]_{OA} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum h_{t,in} \dot{m}_{in} - \sum h_{t,out} \dot{m}_{out}$$

$$[m_2 h_{t2} - m_1 h_{t1}]_{OA} = Q - W + \sum h_{t,in} m_{in} - \sum h_{t,out} m_{out}$$

$$S = (1-x) S_F + x S_G \quad h = (1-x) h_F + x h_G \quad u = (1-x) u_F + x u_G \quad v = (1-x) v_F + x v_G$$

$$S = S_F + x S_{FG} \quad h = h_F + x h_{FG} \quad u = u_F + x u_{FG} \quad v = v_F + x v_{FG}$$

$$S_{FG} = S_G - S_F \quad h_{FG} = h_G - h_F \quad u_{FG} = u_G - u_F \quad v_{FG} = v_G - v_F$$

**ΚΑΛΗ ΕΠΙΤΥΧΙΑ!**

## Λύσεις

A.

Από τον Πίνακα των δεδομένων έχουμε:

Θέση 3:

$$\begin{aligned}\dot{m}_3 &= 62,874 \text{ kg/s} \\ p_3 &= 345 \text{ kPa} \\ h_3 &= 2517 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Θέση 4:

$$\begin{aligned}\dot{m}_4 &= ? \text{ kg/s} \\ p_4 &= 310 \text{ kPa} \\ h_4 &= ? \text{ kJ/kg} \\ x_4 &= ?\end{aligned}$$

Θέση 9:

$$\begin{aligned}\dot{m}_9 &= 4,662 \text{ kg/s} \\ p_9 &= 310 \text{ Pa} \\ h_9 &= 558 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Εφαρμόζουμε τον **Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο** για ανοικτά συστήματα για μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και μόνιμη ροή, σε όγκο ελέγχου που περιβάλλει τον **Διαχωριστή Υγρασίας**. Η ροή είναι **άεργη** και **αδιαβατική** (χωρίς δηλαδή πρόσδοση ή αφαίρεση έργου και θερμότητας). Αμελούμε τις μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας μεταξύ εισόδων και εξόδων στον συγκεκριμένο όγκο ελέγχου.

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_9 h_9 \Rightarrow$$

$$h_4 = \frac{\dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_9 h_9}{\dot{m}_4} \Rightarrow$$

$$h_4 = \frac{62,874 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 2517 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 4,662 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 558 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{\dot{m}_4} \Rightarrow$$

$$h_4 = \frac{158.253,858 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2.601,396 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{\dot{m}_4} \Rightarrow$$

$$h_4 = \frac{155.652,462 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{\dot{m}_4}$$

Για να υπολογίσουμε την άγνωστη  $\dot{m}_4$  θα εφαρμόσουμε **Εξίσωση της Συνέχειας** στον ίδιο όγκο ελέγχου γύρω από τον **Διαχωριστή Υγρασίας**.

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_9 \Rightarrow$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_3 - \dot{m}_9 \Rightarrow$$

$$\dot{m}_4 = 62,874 \text{ kg/s} - 4,662 \text{ kg/s} \Rightarrow$$

$$\dot{m}_4 = 58,212 \text{ kg/s}$$

Αντικαθιστούμε την  $\dot{m}_4$  στον Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο και έχουμε:

$$h_4 = \frac{155.652,462 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{58,212 \text{ kg/s}} \Rightarrow$$

$$h_4 = 2.673,89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε την ξηρότητα του ατμού στη θέση 4:

$$p_4 = 310 \text{ kPa} = 0,31 \text{ MPa}$$

Χρησιμοποιούμε τον **Πίνακα Κεκορεσμένης Κατάστασης** και εφαρμόζουμε γραμμική παρεμβολή για να υπολογίσουμε πρώτα την ειδική ενθαλπία του κεκορεσμένου ατμού και του κεκορεσμένου υγρού και στη συνέχεια την ξηρότητα για τη δεδομένη κατάσταση 4.

Temp	Pressure	Specific Volume	Internal Energy	Specific Enthalpy	Specific		Phase
					Entropy	Quality	
C	MPa	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
133,5	0,3	0,001073	561,1	561,4	1,672	0	Saturated Liquid
133,5	0,3	0,6058	2544	2725	6,992	1	Saturated Vapor
136,3	0,325	0,001076	572,9	573,2	1,701	0	Saturated Liquid
136,3	0,325	0,562	2546	2729	6,965	1	Saturated Vapor

Για

$$p' = 0,3 \text{ MPa}, \quad h'_F = 561,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad h'_G = 2.725 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$p'' = 0,325 \text{ MPa}, \quad h''_F = 573,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad h''_G = 2.729 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$p = 0,31 \text{ MPa}, \quad h_F = ? \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad h_G = ? \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\frac{h_{F,4} - h'_F}{h''_F - h'_F} = \frac{p - p'}{p'' - p'} \Rightarrow$$

$$\frac{h_{F,4} - 561,4}{573,2 - 561,4} = \frac{0,31 - 0,3}{0,325 - 0,3} \Rightarrow$$

$$\frac{h_{F,4} - 561,4}{11,8} = \frac{0,01}{0,025} \Rightarrow$$

$$h_{F,4} = (4,72 + 561,4) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow$$

$$h_{F,4} = 566,12 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\frac{h_{G,4} - h'_{G}}{h''_{G} - h'_{G}} = \frac{p - p'}{p'' - p'} \Rightarrow$$

$$\frac{h_{G,4} - 2.725}{2.729 - 2.725} = \frac{0,31 - 0,3}{0,325 - 0,3} \Rightarrow$$

$$\frac{h_{G,4} - 2.725}{4} = \frac{0,01}{0,025} \Rightarrow$$

$$h_{G,4} = (1,6 + 2.725) \frac{kJ}{kg} \Rightarrow$$

$$h_{G,4} = 2.726,6 \frac{kJ}{kg}$$

Οπότε:

$$h_4 = h_{F,4} + x_4 (h_{G,4} - h_{F,4}) \Rightarrow$$

$$h_4 - h_{F,4} = x_4 (h_{G,4} - h_{F,4}) \Rightarrow$$

$$\frac{h_4 - h_{F,4}}{h_{G,4} - h_{F,4}} = x_4 \Rightarrow$$

$$x_4 = \frac{2.673,89 - 566,12}{2.726,6 - 566,12} = \frac{2.107,77}{2.160,48} \Rightarrow$$

$$x_4 = 0,9756$$

**B.**

Για τους δύο ατμοστροβίλους εφαρμόζουμε, στους αντίστοιχους όγκους ελέγχου, τον **Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο** για ανοιχτά συστήματα μόνιμης ροής και μόνιμης κατάστασης λειτουργίας. Η ροή θεωρείται αδιαβατική. Αμελούμε τις μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας μεταξύ εισόδων και εξόδων στον κάθε όγκο ελέγχου.

Για τον ατμοστροβίλο χαμηλής πίεσης έχουμε από τον Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο:

$$\dot{m}_4 h_4 = \dot{m}_8 h_8 + \dot{m}_5 h_5 + \dot{W}_{T2} \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{T2} = \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_5 h_5$$

Εφαρμόζουμε **Εξίσωση Συνέχειας** στον αντίστοιχο όγκο ελέγχου:

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_8 + \dot{m}_5 \Rightarrow$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_4 - \dot{m}_8 \Rightarrow$$

$$\dot{m}_5 = 58,212 \frac{kg}{s} - 2,772 \frac{kg}{s} \Rightarrow$$

$$\dot{m}_5 = 55,44 \frac{kg}{s}$$

Αντικαθιστώντας στον Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο προκύπτει:

$$\dot{W}_{T2} = 58,212 \frac{kg}{s} 2.673,89 \frac{kJ}{kg} - 2,772 \frac{kg}{s} 2459 \frac{kJ}{kg} - 55,44 \frac{kg}{s} 2279 \frac{kJ}{kg} \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{T2} = 22.488,38 \text{ kW}$$

Για τον ατμοστρόβιλο υψηλής πίεσης έχουμε από τον Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο:

$$\dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_{17} h_{17} + \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_{12} h_{12} + \dot{W}_{T1} \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{T1} = \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_{17} h_{17} - \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_{12} h_{12} \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{T1} = 75,6 \frac{kg}{s} 2765 \frac{kJ}{kg} - 4,662 \frac{kg}{s} 2593 \frac{kJ}{kg} - 62,874 \frac{kg}{s} 2517 \frac{kJ}{kg} - 8,064 \frac{kg}{s} 2517 \frac{kJ}{kg} \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{T1} = (209.034 - 12.088,566 - 158.253,858 - 20.297,088) \text{ kW} \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{T1} = 18.394,49 \text{ kW}$$

Γ.

Θέση 21:

Από τον πίνακα δεδομένων έχουμε:

$$\dot{m}_{21} = 1368,0 \frac{kg}{s}$$

$$p_{21} = 7310 \text{ kPa} = 7,31 \text{ MPa}$$

$$\dot{m}_{20} = 1368,0 \frac{kg}{s}$$

$$h_{20} = 1221 \frac{kJ}{kg}$$

Εφαρμόζουμε τον **Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο** για ανοικτά συστήματα, μόνιμης ροής μόνιμης κατάστασης λειτουργίας, σε όγκο ελέγχου που περιβάλλει τον αντιδραστήρα. Αμελούμε τις μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας μεταξύ εισόδων και εξόδων στον όγκο ελέγχου.

$$\dot{m}_{20} h_{20} + \dot{Q}_R = \dot{m}_{21} h_{21} \Rightarrow$$

$$h_{21} = \frac{\dot{m}_{20} h_{20} + \dot{Q}_R}{\dot{m}_{21}} = h_{20} + \frac{\dot{Q}_R}{\dot{m}_{21}} \Rightarrow$$

$$h_{21} = 1221 \frac{kJ}{kg} + \frac{157.000 \text{ kW}}{1368,0 \frac{kg}{s}} \Rightarrow$$

$$h_{21} = 1335,77 \frac{kJ}{kg}$$

Χρησιμοποιούμε τον **Πίνακα Κεκορεσμένης Κατάστασης** και εφαρμόζουμε γραμμική παρεμβολή για να υπολογίσουμε πρώτα την ειδική ενθαλπία του κεκορεσμένου ατμού και του κεκορεσμένου υγρού και στη συνέχεια την ξηρότητα για τη δεδομένη κατάσταση 21.

Temp	Pressure	Specific Volume	Internal Energy	Specific Enthalpy	Specific Entropy	Specific Quality	Phase
C	MPa	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
285,9	7	0,001351	1258	1267	3,121	0	Saturated Liquid
285,9	7	0,02737	2580	2772	5,813	1	Saturated Vapor
295,1	8	0,001384	1306	1317	3,207	0	Saturated Liquid
295,1	8	0,02352	2570	2758	5,743	1	Saturated Vapor

Για

$$p' = 7 \text{ MPa}, \quad h'_F = 1.267 \frac{kJ}{kg}, \quad h'_G = 2.772 \frac{kJ}{kg}$$

$$p'' = 8 \text{ MPa}, \quad h''_F = 1.317 \frac{kJ}{kg}, \quad h''_G = 2.758 \frac{kJ}{kg}$$

$$p_{21} = 7,31 \text{ MPa}, \quad h_F = ? \frac{kJ}{kg}, \quad h_G = ? \frac{kJ}{kg}$$

$$\frac{h_{F,21} - h'_F}{h''_F - h'_F} = \frac{p_{21} - p'}{p'' - p'} \Rightarrow$$

$$\frac{h_{F,21} - 1.267}{1.317 - 1.267} = \frac{7,31 - 7}{8 - 7} \Rightarrow$$

$$\frac{h_{F,21} - 1.267}{50} = \frac{0,31}{1} \Rightarrow$$

$$h_{F,21} = (1.267 + 15,5) \frac{kJ}{kg} \Rightarrow$$

$$h_{F,21} = 1282,5 \frac{kJ}{kg}$$

$$\frac{h_{G,21} - h'_G}{h''_G - h'_G} = \frac{p_{21} - p'}{p'' - p'} \Rightarrow$$

$$\frac{h_{G,21} - 2.772}{2.758 - 2.772} = \frac{7,31 - 7}{8 - 7} \Rightarrow$$

$$\frac{h_{G,21} - 2.772}{-14} = \frac{0,31}{1} \Rightarrow$$

$$h_{G,21} = (2.772 - 4.34) \frac{kJ}{kg} \Rightarrow$$

$$h_{G,21} = 2767,66 \frac{kJ}{kg}$$

Οπότε:

$$h_{21} = h_{F,21} + x_{21} (h_{G,21} - h_{F,21}) \Rightarrow$$

$$h_{21} - h_{F,21} = x_{21} (h_{G,21} - h_{F,21}) \Rightarrow$$

$$\frac{h_{21} - h_{F,21}}{h_{G,21} - h_{F,21}} = x_{21} \Rightarrow$$

$$x_{21} = \frac{1335,77 - 1282,5}{2767,66 - 1282,5} = \frac{53,27}{1.485,16} \Rightarrow$$

$$x_{21} = 0,036$$

**Δ.**

Εφαρμόζουμε τον **Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο** για ανοικτά συστήματα, μόνιμης ροής μόνιμης κατάστασης λειτουργίας, σε όγκο ελέγχου που περιβάλλει την αντλία του αντιδραστήρα. Η ροή θεωρείται αδιαβατική. Αμελούμε τις μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας μεταξύ εισόδου και εξόδου στον όγκο ελέγχου.

$$\dot{W}_{pR} = \dot{m}_{20} h_{20} - \dot{m}_{19} h_{19}$$

Από εξίσωση συνέχειας ισχύει:

$$\dot{m}_{20} = \dot{m}_{19}$$

Οπότε:

$$\dot{W}_{pR} = \dot{m}_{20} (h_{20} - h_{19}) \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{pR} = 1368 \frac{kg}{s} \left( 1221 \frac{kJ}{kg} - h_{19} \right) \Rightarrow$$

Θέση 1:

$$p_1 = 7240 \text{ kPa} = 7,24 \text{ MPa}$$

(κεκορεσμένος ατμός)

Χρησιμοποιούμε τον πίνακα κεκορεσμένης κατάστασης για να υπολογίσουμε την ειδική ενθαλπία στη θέση 1. Θα κάνουμε αναγκαστικά γραμμική παρεμβολή μεταξύ των δύο κοντινότερων σημείων πάνω στην καμπύλη του κεκορεσμένου ατμού.

Temp	Pressure	Specific Volume	Internal Energy	Specific Enthalpy	Specific		Phase
C	MPa	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	Entropy	Quality	
285,9	7	0,001351	1258	1267	3,121	0	Saturated Liquid
285,9	7	0,02737	2580	2772	5,813	1	Saturated Vapor

295,1	8	0,001384	1306	1317	3,207	0	Saturated Liquid
295,1	8	0,02352	2570	2758	5,743	1	Saturated Vapor

Για

$$p' = 7 \text{ MPa}, \quad h'_G = 2.772 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$p'' = 8 \text{ MPa}, \quad h''_G = 2.758 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$p_1 = 7,24 \text{ MPa}, \quad h_1 = ? \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\frac{h_1 - h'_G}{h''_G - h'_G} = \frac{p_1 - p'}{p'' - p'} \Rightarrow$$

$$\frac{h_1 - 2.772}{2.758 - 2.772} = \frac{7,24 - 7}{8 - 7} \Rightarrow$$

$$\frac{h_1 - 2.772}{-14} = \frac{0,24}{1} \Rightarrow$$

$$h_1 = (2.772 - 3,36) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow$$

$$h_1 = 2768,64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Εφαρμόζουμε τον **Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο** για ανοικτά συστήματα, μόνιμης ροής μόνιμης κατάστασης λειτουργίας, σε όγκο ελέγχου που περιβάλλει τον **συλλέκτη** στην έξοδο του αντιδραστήρα. Η ροή θεωρείται αδιαβατική. Αμελούμε τις μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας μεταξύ εισόδου και εξόδου στον όγκο ελέγχου.

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_{19} h_{19} = \dot{m}_{21} h_{21} + \dot{m}_{18} h_{18} \Rightarrow$$

$$h_{19} = \frac{\dot{m}_{21} h_{21} + \dot{m}_{18} h_{18} - \dot{m}_1 h_1}{\dot{m}_{19}} \Rightarrow$$

$$h_{19} = \frac{1368 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 1335,77 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 75,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 688 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 75,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 2768,64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{1368 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} \Rightarrow$$

$$h_{19} = \frac{1.827.333,36 \text{ kW} + 52.012,8 \text{ kW} - 209.309,184 \text{ kW}}{1368 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} \Rightarrow$$

$$h_{19} = 1.220,79 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση, προκύπτει:

$$\dot{W}_{pR} = 1368 \frac{kg}{s} \left( 1.221 \frac{kJ}{kg} - 1.220,79 \frac{kJ}{kg} \right) \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{pR} = 287,28 \text{ kW}$$

**E.**

Θέση 6:

$$p_6 = 7 \text{ kPa} = 0,007 \text{ MPa}$$

$$T_6 = 33 \text{ }^\circ\text{C}$$

Από τον πίνακα κεκορεσμένης κατάστασης βρίσκουμε ότι για την πίεση 0,0075 MPa στην κατάσταση του κεκορεσμένου νερού η θερμοκρασία είναι 40,29 °C. Για να βρούμε τη θερμοκρασία στην πίεση 0,007 MPa θα κάνουμε γραμμική παρεμβολή.

Temp	Pressure	Specific Volume	Internal Energy	Specific Enthalpy	Specific		Phase
					Entropy	Quality	
C	MPa	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
32,88	0,005	0,001005	137,8	137,8	0,4763	0	Saturated Liquid
32,88	0,005	28,19	2420	2561	8,395	1	Saturated Vapor
40,29	0,0075	0,001008	168,8	168,8	0,5763	0	Saturated Liquid
40,29	0,0075	19,24	2431	2575	8,251	1	Saturated Vapor

Για

$$p' = 0,005 \text{ MPa}, \quad T'_F = 32,88 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p'' = 0,0075 \text{ MPa}, \quad T''_F = 40,29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_6 = 0,007 \text{ MPa}, \quad T_F = ? \text{ }^\circ\text{C}$$

Συνεπώς:

$$\frac{T_F - T'_F}{T''_F - T'_F} = \frac{p_6 - p'}{p'' - p'} \Rightarrow$$

$$\frac{T_F - 32,88 \text{ }^\circ\text{C}}{40,29 \text{ }^\circ\text{C} - 32,88 \text{ }^\circ\text{C}} = \frac{0,007 \text{ MPa} - 0,005 \text{ MPa}}{0,0075 \text{ MPa} - 0,005 \text{ MPa}} \Rightarrow$$

$$\frac{T_F - 32,88 \text{ }^\circ\text{C}}{7,41 \text{ }^\circ\text{C}} = \frac{0,002 \text{ MPa}}{0,0025 \text{ MPa}} = 0,8 \Rightarrow$$

$$T_F = 32,88 \text{ }^\circ\text{C} + 5,928 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow$$

$$T_F = 38,808 \text{ }^\circ\text{C}$$

Η θερμοκρασία  $T_F$  του κεκορεσμένου νερού για πίεση  $p_6$  είναι μεγαλύτερη της θερμοκρασίας  $T_6$ . Συνεπώς η κατάσταση 6 αντιστοιχεί σε υπόψυκτο υγρό (νερό). Συνεπώς, ο ειδικός όγκος θα ληφθεί προσεγγιστικά από την καμπύλη του κεκορεσμένου υγρού για την ίδια θερμοκρασία (την  $T_6$ ). Εκτελούμε πάλι γραμμική παρεμβολή, αλλά τώρα για τη θερμοκρασία στη θέση 6 για να υπολογίσουμε τον ειδικό όγκο στη θερμοκρασία  $T_6$  για κεκορεσμένο νερό.

Για

$$v' = 0,001005 \text{ m}^3/\text{kg}, \quad T'_F = 32,88 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$v'' = 0,001008 \text{ m}^3/\text{kg}, \quad T''_F = 40,29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$v_6 = ? \text{ m}^3/\text{kg}, \quad T_6 = 33 \text{ }^\circ\text{C}$$

Συνεπώς:

$$\frac{T_6 - T'_F}{T''_F - T'_F} = \frac{v_6 - v'}{v'' - v'} \Rightarrow$$

$$\frac{33 - 32,88}{40,29 - 32,88} = \frac{v_6 - 0,001005}{0,001008 - 0,001005} \Rightarrow$$

$$\frac{0,12}{7,41} = \frac{v_6 - 0,001005}{0,000003} \Rightarrow$$

$$v_6 = 0,00100505 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Η ισχύς της αντλίας υπολογίζεται από το αντίστοιχο ειδικό τεχνικό έργο (θεωρώντας σταθερή πυκνότητα) ως:

$$\dot{W}_{p\ 6-7} = \dot{m}_6 v_6 (p_7 - p_6) \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{p\ 6-7} = 75,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 0,00100505 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} (415 \text{ kPa} - 7 \text{ kPa}) \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{p\ 6-7} = 75,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 0,00100505 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} (415 \text{ kPa} - 7 \text{ kPa}) \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{p\ 6-7} = 31 \text{ kW}$$

**ΣΤ.**

Από τον πίνακα των δεδομένων έχουμε:

$$h_7 = 140 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Εφαρμόζουμε τον **Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο** για ανοικτά συστήματα, μόνιμης ροής μόνιμης κατάστασης λειτουργίας, σε όγκο ελέγχου που περιβάλλει την αντλία 6-7. Η ροή θεωρείται αδιαβατική. Αμελούμε τις μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας μεταξύ εισόδου και εξόδου στον όγκο ελέγχου της αντλίας.

$$\dot{m}_6 h_6 + \dot{W}_{p\ 6-7} = \dot{m}_7 h_7 \Rightarrow$$

$$h_6 = \frac{\dot{m}_7 h_7 - \dot{W}_{p\ 6-7}}{\dot{m}_6} \Rightarrow$$

$$h_6 = h_7 - \frac{\dot{W}_{p\ 6-7}}{\dot{m}_6} \Rightarrow$$

$$h_6 = 140 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - \frac{31 \text{ kW}}{75,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} \Rightarrow$$

$$h_6 = 140 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - \frac{31 \text{ kW}}{75,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} \Rightarrow$$

$$h_6 = 139,59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Έχουμε βρει ότι:

$$\dot{m}_5 = 55,44 \frac{kg}{s}$$

Εφαρμόζουμε **εξίσωση συνέχειας** στον συμπυκνωτή (Condenser):

$$\dot{m}_5 + \dot{m}_{10} = \dot{m}_6 \Rightarrow$$

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_6 - \dot{m}_5 \Rightarrow$$

$$\dot{m}_{10} = 75,6 \frac{kg}{s} - 55,44 \frac{kg}{s} \Rightarrow$$

$$\dot{m}_{10} = 20,16 \frac{kg}{s}$$

Εφαρμόζουμε **εξίσωση συνέχειας** στο **συλλέκτη** μετά τη **θέση 7**:

$$\dot{m}_8 + \dot{m}_9 + \dot{m}_{14} = \dot{m}_{10} \Rightarrow$$

$$\dot{m}_{14} = \dot{m}_{10} - \dot{m}_8 - \dot{m}_9 \Rightarrow$$

$$\dot{m}_{14} = 20,16 \frac{kg}{s} - 2,772 \frac{kg}{s} - 4,662 \frac{kg}{s} \Rightarrow$$

$$\dot{m}_{14} = 12,726 \frac{kg}{s}$$

Στήλη αποτελεσμάτων	
$h_1 = 2768,64 \frac{kJ}{kg}$	
$h_4 = 2.673,89 \frac{kJ}{kg}$	$x_4 = 0,9756$
	$\dot{W}_{T2} = 22.488,38 kW$
$h_6 = 139,59 \frac{kJ}{kg}$	$\dot{W}_{p\ 6-7} = 31 kW$
	$\dot{m}_{10} = 20,16 \frac{kg}{s}$
	$\dot{W}_{T1} = 18.394,49 kW$
	$\dot{m}_{14} = 12,726 \frac{kg}{s}$

$h_{19} = 1.220,79 \frac{kJ}{kg}$	$\dot{W}_{pR} = 287,28 kW$
$h_{21} = 1335,77 \frac{kJ}{kg}$	$x_{21} = 0,036$