



ΜΠ 229: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

ΑΣΚΗΣΕΙΣ # 9

Αφροδίτη Παπαδοπούλου
Δρ. Χημικός Μηχανικός
afpapadopoulou@isc.tuc.gr

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ 9.1:

Αζωτο (N_2) εισέρχεται με σταθεροποιημένη ροή σε ακροφύσιο με ταχύτητα 50 m/s, πίεση 400 kPa και θερμοκρασία 177°C, και εξέρχεται με πίεση 50 kPa και ταχύτητα 350 m/s. Οι απώλειες θερμότητας από το ακροφύσιο προς το περιβάλλον θερμοκρασίας 27°C είναι 3.0 kJ/kg. Να υπολογιστούν: (α) η θερμοκρασία στην έξοδο και (β) η παραγωγή εντροπίας σε kJ/kgK. Θεωρήστε το άζωτο ως ιδανικό αέριο με μεταβλητές ειδικές θερμότητες.

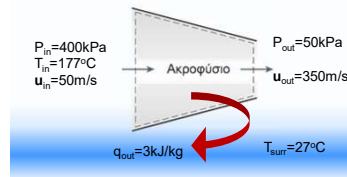
ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ 9.1:

Δεδομένα

$u_{in}=50$ m/s
 $P_{in}=400$ kPa
 $T_{in}=177^\circ\text{C}$
 $P_{out}=50$ kPa
 $u_{out}=350$ m/s
Άζωτο (N_2):
Ιδανικό Αέριο
 $T_{surr}=27^\circ\text{C}$
 $q_{out}=3$ kJ/kg
Μεταβλητές $c_p, c_v \Rightarrow$ Πίνακας IG N2 (A18)



Παραδοχές

- Σταθεροποιημένη ροή $\dot{m}_{in}=\dot{m}_{out}=\dot{m}$ $E_{in}=E_{out}$ α) $T_{out}=?$
- Αμελητέα μεταβολή δυναμικής ενέργειας $\Delta E_s \approx 0$ β) $s_{gen}=?$
- Δεν μεταφέρεται έργο $W=0$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ 9.1:

1ος Θερμοδυναμικός Νόμος

$$\Delta H + \Delta E_{k,in} + \Delta E_{s,in} = Q - W$$

$$\Delta H + \Delta E_{k,in} = Q \quad : m \Rightarrow$$

$$\Delta h + \frac{1}{2}\Delta u^2 = q$$

$$(h_{out}-h_{in}) + \frac{1}{2}(u_{out}^2 - u_{in}^2) = q$$

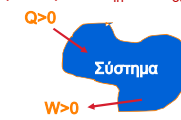
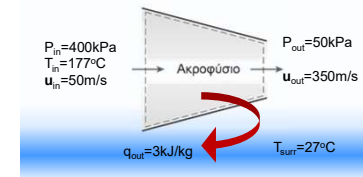
Εφόσον $h=f(T)$,

Χρειάζεται να προσδιορίσουμε τα h_{in} και h_{out}

Για το h_{in} : Πίνακας Ιδανικού Αερίου IG N2 (A18)

Για το h_{out} : Επίλυση της εξίσωσης του 1ου Θ.Ν.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Όταν χρησιμοποιούμε τον 1ο Θ.Ν., χρειαζόμαστε και τη σύμβαση θετικού/αρνητικού έργου & θερμότητας



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ 9.1:

Δεδομένα

$$T_{in}=177^{\circ}\text{C} \quad T_{in}=450\text{K}$$

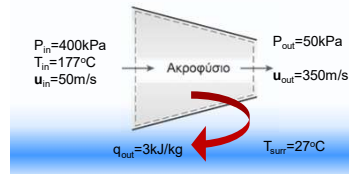
$$T_{surr}=27^{\circ}\text{C} \quad T_{surr}=300\text{K}$$

Αζωτο (N_2):
Ιδανικό Αέριο

Πίνακας (A1)

$$M_r=28.013 \text{ kg/kmol}$$

$$R=0.2968 \text{ kJ/kg K}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

Ideal-gas (IG Model) properties of nitrogen (N2) (A-18)

T	h	u	s ⁰	T	h	u	s ⁰
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol * K)	K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol * K)
400	11640	8313	200,071	800	23714	17062	220,907
410	11932	8522	200,794	810	24027	17292	221,298
420	12225	8732	201,499	820	24342	17524	221,684
430	12518	8942	202,189	830	24658	17756	222,067
440	12811	9152	202,863	840	24974	17989	222,447
450	13105	9363	203,523	850	25292	18224	222,822
460	13399	9574	204,170	860	25610	18459	223,194
470	13693	9784	204,803	870	25928	18694	223,562
480	13988	9996	205,424	880	26248	18931	223,927
490	14285	10210	206,033	890	26568	19168	224,288
500	14581	10423	206,630	900	26890	19406	224,647
510	14876	10635	207,216	910	27210	19643	225,002
520	15172	10848	207,792	920	27532	19882	225,353
530	15469	11062	208,358	930	27854	20121	225,701
540	15766	11275	208,914	940	28178	20362	226,047

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ 9.1:

Από Πίνακα A18

Για $T = 450 \text{ K}$

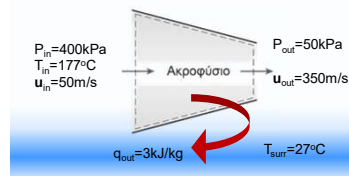
$$h_{in}=13105 \text{ kJ/kmol}$$

$$s_{in}^0=203.503 \text{ kJ/(kmol K)}$$

$$h_{out}=h_{in}-\frac{1}{2}(u_{out}^2 - u_{in}^2) + q \Rightarrow$$

$$h_{out}=\frac{13105 \text{ kJ}}{28.013 \text{ kg}} - \frac{1}{2000}(350^2 - 50^2) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + (-3) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow h_{out}=404.82 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{out}=404.82 \text{ kJ/kg} * 28.013 \text{ kg/kmol} \Rightarrow h_{out}= 11340 \text{ kJ/kmol}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

Ideal-gas (IG Model) properties of nitrogen (N2) (A-18)

T	h	u	s ⁰	T	h	u	s ⁰
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol * K)	K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol * K)
300	8723	8424	191,682	700	20604	14783	216,756
310	9014	8645	192,638	710	20912	15008	217,192
320	9306	8865	193,562	720	21220	15233	217,624
330	9597	9084	194,459	730	21529	15459	218,059
340	9888	9303	195,328	740	21839	15686	218,472
350	10180	9522	196,173	750	22149	15913	218,889
360	10471	9741	196,995	760	22460	16140	219,301
370	10763	9960	197,794	770	22772	16369	219,709
380	11055	10179	198,572	780	23085	16599	220,113
390	11347	10398	199,331	790	23398	16829	220,512
400	11640	8313	200,071	800	23714	17062	220,907
410	11932	8522	200,794	810	24027	17292	221,298
420	12225	8732	201,499	820	24342	17524	221,684
430	12518	8942	202,189	830	24658	17756	222,067
440	12811	9152	202,863	840	24974	17989	222,447


ΑΣΚΗΣΗ 9.1:

Από Πίνακα A18

 Για $h_{out} = 11340 \text{ kJ/kmol}$

T	h	u	s^0
380	11055	7895	198,572

? 11340 ?

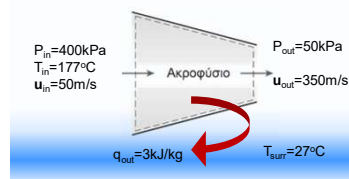
390 11347 8104 199,331

$$T_{out} = 380 \text{ K} + \frac{11340 - 11055}{11347 - 11055} \cdot (390 - 380) \text{ K} \Rightarrow$$

$$T_{out} = 389.8 \text{ K}$$

$$s^0_{out} = 198.572 + \frac{11340 - 11055}{11347 - 11055} \cdot (199.331 - 198.572) \text{ kJ/kmol K} \Rightarrow$$

$$s^0_{out} = 199.313 \text{ kJ/kmol K}$$


ΑΣΚΗΣΗ 9.1:

Από Πίνακα A18

$$s^0_{in} = 203.503 \text{ kJ/(kmol K)}$$

$$s^0_{out} = 199.313 \text{ kJ/(kmol K)}$$

Ισοζύγιο εντροπίας:

Ισοζύγιο: Είσοδος + Παραγωγή – Έξοδος = Συσσώρευση

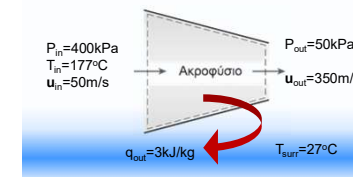
$$S_{in} + S_{gen} - (S_{out} + \frac{Q_{out}}{T_{surr}}) = \Delta S_{cv}$$

$$m s_{in} + m s_{gen} - (m s_{out} + \frac{m q_{out}}{T_{surr}}) = m \Delta s_{cv}$$

$$s_{in} + s_{gen} - (s_{out} + \frac{q_{out}}{T_{surr}}) = \Delta s_{cv}$$

 Σταθεροποιημένη ροή $\Rightarrow \Delta s_{cv} = 0$

$$s_{gen} = (s_{out} - s_{in}) + \frac{q_{out}}{T_{surr}}$$


ΑΣΚΗΣΗ 9.1:

Από Πίνακα A18

$$s^0_{in} = 203.503 \text{ kJ/(kmol K)}$$

$$s^0_{out} = 199.313 \text{ kJ/(kmol K)}$$

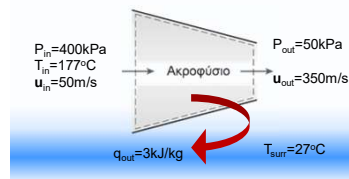
$$s_{gen} = (s_{out} - s_{in}) + \frac{q_{out}}{T_{surr}}$$

$$s_{out} - s_{in} = s^0_{out} - s^0_{in} - R \ln \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) =$$

$$(199.313 - 203.503) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol K}} - 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \ln \left(\frac{50 \text{ kPa}}{400 \text{ kPa}} \right) \Rightarrow$$

$$s_{out} - s_{in} = 0.46760 \text{ kJ/kg K}$$

$$s_{gen} = (s_{out} - s_{in}) + \frac{q_{out}}{T_{surr}} = 0.46760 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} + \frac{3 \text{ kJ/kg}}{300 \text{ K}} \Rightarrow \boxed{s_{gen} = 0.47760 \text{ kJ/kg K}}$$


ΑΣΚΗΣΗ 9.2:

Αέριο υδρογόνο (H_2) διέρχεται από στραγγαλιστική βαλβίδα με αρχική πίεση 200 kPa και θερμοκρασία 60 °C. Ποσότητα θερμότητας 2 kJ/kg χάνεται από το υδρογόνο προς περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας 20 °C και πίεσης 100 kPa. Η εντροπία του υδρογόνου αυξάνεται κατά 0.1 kJ/(kg K) στη βαλβίδα. Να υπολογιστούν (α) η πίεση και η θερμοκρασία στην έξοδο και (β) η παραγωγή εντροπίας κατά τη διάρκεια αυτής της διεργασίας. Θεωρήστε το υδρογόνο ιδανικό αέριο με σταθερές ειδικές θερμότητες.

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ 9.2:

Δεδομένα

$$P_{in}=200\text{kPa}$$

$$T_{in}=60^\circ\text{C}$$

$$T_{surr}=20^\circ\text{C}$$

$$q_{out}=2\text{ kJ/kg}$$

Υδρογόνο (H_2):
Ιδανικό Αέριο

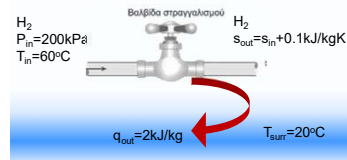
Σταθερές $c_p, c_v \Rightarrow$ Πίνακας (A2α)

Παραδοχές

- Σταθεροποιημένη ροή $\dot{m}_{in}=\dot{m}_{out}=\dot{m}$ $E_{in}=E_{out}$
- Αμελητέα μεταβολή δυναμικής ενέργειας $\Delta E_s \approx 0$
- Αμελητέα μεταβολή κινητικής ενέργειας $\Delta E_k \approx 0$
- Δεν μεταφέρεται έργο $W=0$

$$\alpha) T_{out}=? P_{out}=?$$

$$\beta) s_{gen}=?$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ 9.2:

Ισοζύγιο Ενέργειας

$$H_{in} + E_{k,in} + E_{s,in} + Q_{in} + W_{in} = H_{out} + E_{k,out} + E_{s,out} + Q_{out} + W_{out}$$

$$H_{in} = H_{out} + Q_{out} \quad : \dot{m}$$

$$h_{in} = h_{out} + q_{out} \Rightarrow (h_{out} - h_{in}) = -q_{out} \Rightarrow$$

$$c_p(T_{out} - T_{in}) = -q_{out} \Rightarrow$$

$$T_{out} = T_{in} - \frac{q_{out}}{c_p}$$

Πίνακας (A2α) :

Material Properties of Perfect Gases (PG-Model) (at 300 K) (A-2α)						
Substance	Formula	Molar Mass	Gas constant	Spec. Heat at Const. Press.	Spec. Heat t at Const. Vol.	Spec. Heat Ratio
GAS		M, kg/kmol	R, kJ/kg · K	c _p , kJ/kg · K	c _v , kJ/kg · K	k
Hydrogen	H ₂	2,016	4,1240	1,4307	1,0183	1,405

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ 9.2:

$$T_{out} = T_{in} - \frac{q_{out}}{c_p}$$

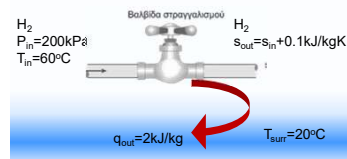
$$T_{out} = 60^\circ\text{C} - \frac{2\text{ kJ/kg}}{1.4307\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}}$$

$$T_{out} = 58.6^\circ\text{C}$$

$$\Delta s_{H_2} = s_{out} - s_{in} = c_p \ln\left(\frac{T_{out}}{T_{in}}\right) - R \ln\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) =$$

$$1.4307 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \ln\left(\frac{58.6+273}{60+273}\right) - 4.124 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \ln\left(\frac{P_{out}}{200\text{kPa}}\right) = 0.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \Rightarrow$$

$$P_{out} = 194.9\text{kPa}$$

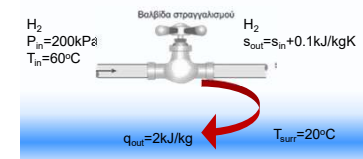


ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ 9.2:

$$s_{gen} = \Delta s_{H_2} + \left(\frac{q_{out}}{T_{surr}}\right) = 0.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} + \left(\frac{2}{293}\right) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \Rightarrow$$

$$s_{gen} = 0.1068\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ 9.3:

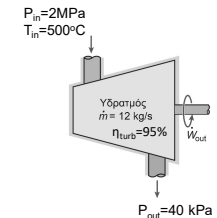
Υδρατμός εισέρχεται σε αδιαβατικό στρόβιλο με πίεση 2 MPa και θερμοκρασία 500 °C και ρυθμό 12 kg/s και εξέρχεται στα 40 kPa. Ο στρόβιλος λειτουργεί με ισεντροπική απόδοση 95%. Να υπολογιστεί η ισχύς του στρόβιλου και η ογκομετρική παροχή του στην έξοδο.

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ 9.3:

Δεδομένα

$P_{in}=2\text{MPa}$
 $T_{in}=500^\circ\text{C}$
 $P_{out}=40\text{kPa}$
 $\dot{m}_{in}=12\text{ kg/s}$
 Υδρατμός = Ατμός Νερού
 $\eta_{turb}=95\%$



Παραδοχές

- Σταθεροποιημένη ροή $\dot{m}_{in}=\dot{m}_{out}=\dot{m}=12\text{ kg/s}$
- Αμελητέα μεταβολή κινητικής ενέργειας
- Αμελητέα μεταβολή δυναμικής ενέργειας
- Αδιαβατικός στρόβιλος $Q=0$

$$E_{in}=E_{out}$$

$$\Delta E_k \approx 0$$

$$\Delta E_g \approx 0$$

a) $W=?$
 b) $V_{out}=?$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ 9.3:

Αρχικά, υπολογίζουμε την **ισεντροπική** διεργασία

Με βάση την **ισεντροπική απόδοση** υπολογίζουμε την **πραγματική ισχύ** παραγωγής του στρόβιλου καθώς και τις **ακριβείς συνθήκες εξόδου**.

Από την **άσκηση 8.1** (ίδιες συνθήκες εισόδου/εξόδου αλλά ισεντροπικός στρόβιλος), έχουμε

Είσοδος

$P_{in}=2\text{MPa}$
 $T_{in}=500^\circ\text{C}$
 Υπέρθερμος Ατμός H_2O

$$\Rightarrow h_{in} = 3467.6 \text{ kJ/kg}$$

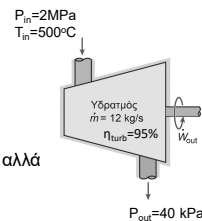
Έξοδος

$P_{out}=40\text{ kPa}$
 Μίγμα κ. υγρού & ατμού

$$\Rightarrow x_{out,s} = 0.964$$

$$h_{out,s} = 2553.3 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W}_{out,s} = 10972 \text{ kW}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ 9.3:

Η **ισεντροπική απόδοση** είναι 95%, άρα

$$\eta_{turb} = \frac{W_a}{W_s} \Rightarrow W_a = \eta_{turb} W_s$$

$$\dot{W}_{out,a} = 0.95 \cdot 10972 \text{ kW}$$

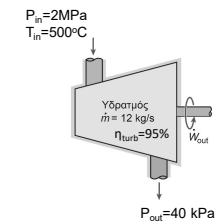
$$\dot{W}_{out,a} = 10423.4 \text{ kW}$$

Έξοδος

$P_{out}=40\text{ kPa}$, Κατάσταση?

$$W_a = m (h_{in} - h_{out,a}) \Rightarrow h_{out,a} = h_{in} - \frac{W_a}{\dot{m}} \Rightarrow h_{out,a} = 3467.6 - \frac{10423.4}{12}$$

$$h_{out,a} = 2598.98 \text{ kJ/kg}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΤΜΟΥ 2 - ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ Η₂O (Α-5)

Πίεση	Θερμοκρασία κορεσμού	Ειδικός όγκος		Ειδική εσωτερική ενέργεια				Ειδική ενθαλπία				Ειδική εντροπία	
		Κορεσμένου υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξ.ατμ.	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξ.ατμ.	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξ.ατμ.	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου ατμού
P	T _{sat}	v _l	v _g	u _l	u _g	u _g	h _l	h _g	h _g	s _l	s _g	s _g	s _g
[kPa]	[°C]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/(kg·K)]	[kJ/(kg·K)]	[kJ/(kg·K)]	[kJ/(kg·K)]
1.0	6.97	0.001000	129.21	29.30	2355.70	2385.0	29.30	2484.90	2514.2	0.1059	8.8697	8.9756	
1.5	13.02	0.001001	87.98	54.71	2338.59	2393.3	54.71	2470.59	2525.3	0.1957	8.6322	8.8279	
2.0	17.50	0.001001	67.00	73.48	2326.02	2399.5	73.48	2460.02	2533.5	0.2607	8.4630	8.7237	
2.5	21.08	0.001002	54.25	88.48	2315.92	2404.4	88.49	2451.51	2540.0	0.3120	8.3312	8.6432	
3.0	24.08	0.001003	45.67	101.04	2307.46	2408.5	101.05	2444.45	2545.5	0.3545	8.2231	8.5776	
4.0	28.96	0.001004	34.80	121.45	2293.75	2415.2	121.46	2432.94	2554.4	0.4226	8.0520	8.4746	
5.0	32.87	0.001005	28.19	137.81	2282.69	2420.5	137.82	2423.68	2561.5	0.4764	7.9187	8.3951	
7.5	40.29	0.001008	19.24	168.78	2261.72	2430.5	168.79	2406.01	2574.8	0.5764	7.6751	8.2515	
10.0	45.81	0.001010	14.67	191.82	2246.08	2437.9	191.83	2392.87	2584.7	0.6493	7.5009	8.1502	
15.0	53.97	0.001014	10.02	225.92	2222.78	2448.7	225.94	2373.16	2599.1	0.7549	7.2536	8.0085	
20.0	60.06	0.001017	7.649	251.38	2205.32	2456.7	251.40	2358.30	2609.7	0.8320	7.0765	7.9085	
25.0	64.96	0.001020	6.204	271.90	2193.20	2463.1	271.93	2346.27	2618.2	0.8931	6.9383	7.8314	
30.0	69.09	0.001022	5.229	289.20	2179.20	2468.4	289.23	2336.07	2625.3	0.9439	6.8247	7.7686	
40.0	75.86	0.001027	3.993	317.53	2159.47	2477.0	317.58	2319.22	2636.8	1.0259	6.6441	7.6700	
50.0	81.32	0.001030	3.240	340.44	2143.46	2483.9	340.49	2305.41	2645.9	1.0910	6.5029	7.5939	
75.0	91.76	0.001037	2.217	384.31	2112.39	2496.7	384.39	2278.61	2663.0	1.2130	6.2434	7.4564	

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ 9.3:

Έξοδος

$$P_{out}=40 \text{ kPa}$$

$$h_{out,a} = 2598.98 \text{ kJ/kg}$$

Πίνακας Α5:

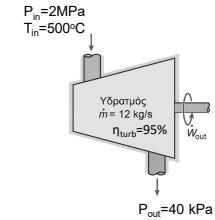
$$h_{f@40kPa} = 317.58 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{g@40kPa} = 2636.8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{f@40kPa} < h_{out,a} < h_{g@40kPa}$$

Κατάσταση: Μίγμα κορεσμένου υγρού και ατμού

$$\text{Ποιότητα: } x_a = \frac{h_{out,a} - h_f}{h_g - h_f} = \frac{2598.98 - 317.58}{2636.8 - 317.58} = 0.983$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΤΜΟΥ 2 - ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ Η₂O (Α-5)

Πίεση	Θερμοκρασία κορεσμού	Ειδικός όγκος		Ειδική εσωτερική ενέργεια				Ειδική ενθαλπία				Ειδική εντροπία	
		Κορεσμένου υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξ.ατμ.	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξ.ατμ.	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξ.ατμ.	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου ατμού
P	T _{sat}	v _l	v _g	u _l	u _g	u _g	h _l	h _g	h _g	s _l	s _g	s _g	s _g
[kPa]	[°C]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/(kg·K)]	[kJ/(kg·K)]	[kJ/(kg·K)]	[kJ/(kg·K)]
1.0	6.97	0.001000	129.21	29.30	2355.70	2385.0	29.30	2484.90	2514.2	0.1059	8.8697	8.9756	
1.5	13.02	0.001001	87.98	54.71	2338.59	2393.3	54.71	2470.59	2525.3	0.1957	8.6322	8.8279	
2.0	17.50	0.001001	67.00	73.48	2326.02	2399.5	73.48	2460.02	2533.5	0.2607	8.4630	8.7237	
2.5	21.08	0.001002	54.25	88.48	2315.92	2404.4	88.49	2451.51	2540.0	0.3120	8.3312	8.6432	
3.0	24.08	0.001003	45.67	101.04	2307.46	2408.5	101.05	2444.45	2545.5	0.3545	8.2231	8.5776	
4.0	28.96	0.001004	34.80	121.45	2293.75	2415.2	121.46	2432.94	2554.4	0.4226	8.0520	8.4746	
5.0	32.87	0.001005	28.19	137.81	2282.69	2420.5	137.82	2423.68	2561.5	0.4764	7.9187	8.3951	
7.5	40.29	0.001008	19.24	168.78	2261.72	2430.5	168.79	2406.01	2574.8	0.5764	7.6751	8.2515	
10.0	45.81	0.001010	14.67	191.82	2246.08	2437.9	191.83	2392.87	2584.7	0.6493	7.5009	8.1502	
15.0	53.97	0.001014	10.02	225.92	2222.78	2448.7	225.94	2373.16	2599.1	0.7549	7.2536	8.0085	
20.0	60.06	0.001017	7.649	251.38	2205.32	2456.7	251.40	2358.30	2609.7	0.8320	7.0765	7.9085	
25.0	64.96	0.001020	6.204	271.90	2193.20	2463.1	271.93	2346.27	2618.2	0.8931	6.9383	7.8314	
30.0	69.09	0.001022	5.229	289.20	2179.20	2468.4	289.23	2336.07	2625.3	0.9439	6.8247	7.7686	
40.0	75.86	0.001027	3.993	317.53	2159.47	2477.0	317.58	2319.22	2636.8	1.0259	6.6441	7.6700	
50.0	81.32	0.001030	3.240	340.44	2143.46	2483.9	340.49	2305.41	2645.9	1.0910	6.5029	7.5939	
75.0	91.76	0.001037	2.217	384.31	2112.39	2496.7	384.39	2278.61	2663.0	1.2130	6.2434	7.4564	

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ 9.3:

Έξοδος

$$P_{out}=40 \text{ kPa}$$

$$x_a = 0.983$$

Πίνακας Α5:

$$v_{f@40kPa} = 0.001027 \text{ m}^3/\text{kg}$$

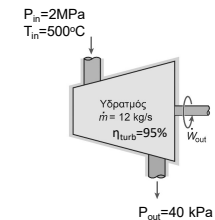
$$v_{g@40kPa} = 3.993 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_{out,a} = v_{f@40kPa} + x_a (v_{g@40kPa} - v_{f@40kPa}) = 0.001027 + 0.983(3.993 - 0.001027) \Rightarrow$$

$$v_{out,a} = 3.925 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{V}_{out} = \dot{m} v_{out,a} = 12 \text{ kg/s} \cdot 3.925 \text{ m}^3/\text{kg} \Rightarrow$$

$$\dot{V}_{out} = 47.1 \text{ m}^3/\text{s}$$





ΑΣΚΗΣΗ 9.3:

