2η Πρόοδος Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής 27 Σεπτεμβρίου 2016

ΘΕΜΑ 1 (10 μονάδες)

Σε συνδυασμένο κύκλο αέριο-ατμο-στροβίλου ισχύος 100 MW, με λόγο πιέσεων του πρώτου 20, ο αέρας εισέρχεται στο συμπιεστή στους 300 Κ και εξέρχεται από το θάλαμο καύσης στους 1400 Κ. Μετά τον αεριο-στρόβιλο, τα αέρια θερμαίνουν τον ατμό του δεύτερου κύκλου στους 500 oC και 10 ΜΡα και εγκαταλείπουν τον εναλλάκτη στους 450 Κ. Αν η πίεση στον συμπυκνωτή είναι 10 kPa και οι αδιαβατικές αποδόσεις της αντλίας, του συμπιεστή και των δύο στροβίλων είναι 90 %, να υπολογιστούν οι μαζικές παροχές αέρα και ατμού και η θερμική απόδοση του συνδυασμένου κύκλου.

Αεριοστρόβιλος

Κ. 1: **h1 = 300,19 kJ/kg αέρα**, Pr1 = 1,386

Κ. 2: Pr2 = Pr1\*(P2/P1) = 1,386\*20 = 27,72

h2s = 702,52 + (713,27–702,52)\*(27,72–27,29)/(28,80–27,29) = **705,58 kJ/kg αέρα**

win,s = h2s – h1 = 705,58 – 300,19 = **405,39 kJ/kg αέρα**

win = win,s/0,9 = **450,43 kJ/kg αέρα (1)**

h2 = h1 + win = 300,19 + 450,43 = **750,62 kJ/kg αέρα (1)**

Κ. 3: **h3 = 1515,42 kJ/kg αέρα**, Pr3 = 450,5

Κ. 4: Pr4 = Pr3\*(P4/P3) = 450,5/20 = 22,53

h4s = 659,84 + (670,47–659,84)\*(22,53–21,86)/(23,13–21,86) = **665,41 kJ/kg αέρα**

wout,s = h3–h4s = 1515,42–665,41 = **850,01 kJ/kg αέρα**

wout = 0,9\*850,01 = **765,01 kJ/kg αέρα**

h4 = h3 – wout = 1515,42 – 765,01 = **750,41 kJ/kg αέρα (1)**

Κ. 5 (μετά τον εναλλάκτη): **h5 = 451,80 kJ/kg αέρα**

wnet,gt = wout – win = 765,01 – 450,43 = **314,58 kJ/kg αέρα (1)**

qin = h3 – h2 = 1515,42 – 750,62 = **764,80 kJ/kg αέρα**

qst = h4 – h5 = 750,41 – 451,80 = **298,61 kJ/kg αέρα** (θερμότητα που παρέχεται στον 2ο κύκλο) **(1)**

Ατμοστρόβιλος

Κ. 1: **h1 = 191,83 kJ/kg ατμού**, v1 = 0,001010 m3/kg ατμού

win,s = v1\*(P2 – P1) = 0,001010\*(10000 – 10) = **10,09 kJ/kg ατμού**

win = win,s/0,9 = **11,21 kJ/kg ατμού**

Κ. 2: h2 = h1 + win = 191,83 + 11,21 = **203,04 kJ/kg ατμού**

Κ. 3: **h3 = 3373,70 kJ/kg ατμού**, s3 = 6,5966 kJ/kg ατμού Κ

qst = 298,61 kJ/kg αέρα = h3 – h2 = 3373,7 – 203,04 = **3170,66 kJ/kg ατμού**

λ = 298,61/3170,66 = **0,094 kg ατμού / kg αέρα** **(1)**

Κ. 4: s3 = s4 = x4\*s4g + (1 – x4)\*s4f ⬄x4 = (s4 – s4f)/(s4g – s4f) =

= (6,5966 - 0,6493)/(8,1502 – 0,6493) = **0,79**

h4s = 0,79\*2584,70 + 0,21\*191,83 = **2082,20 kJ/kg ατμού**

wout,s = h3–h4s = 3373,70–2082,20 = **1291,50 kJ/kg ατμού**

wout = 0,9\*1291,50 = **1162,35 kJ/kg ατμού**

wnet,st = 1162,35 – 11,21 = **1151,14 kJ/kg ατμού** ή 1151,14 \* 0,094 = **108,21 kJ/kg αέρα (1)**

Συνδυασμένος κύκλος

wnet,cc = wnet,gt + wnet,st = 314,58 + 108,21 = **422,79 kJ/kg αέρα**

ηth = wnet,cc/qin = 422,79/764,80 = 0,55 ή **55 %** **(1)**

Wgt = 100\*(314,58/422,79) = 74,41 MW mg = 74410/314,58 = **236,5 kg αέρα / sec**

Wst = 100\*(108,21/422,79) = 25,59 MW ms = 25590/1151,14 = **22,23 kg αέρα / sec (1)**

ΘΕΜΑ 2 (10 μονάδες)

Αέριο μίγμα με κατ’ όγκο σύσταση 60 % Ν2, 10 % Ο2 και 30 % CO2, σε πίεση 1 MPa και θερμοκρασία 1000 K εκτονώνεται μέσω αδιαβατικού στροβίλου στους 300 Κ και τα 100 kPa. Να υπολογιστεί το παραγόμενο ειδικό έργο ανά kg μίγματος. (Μοριακά βάρη, kg/kmol: Ν2: 28, Ο2: 32, CO2: 44)

h', kJ/kmol

T, K N2 O2 CO2

300 8723 8736 9431

1000 30129 31389 42769

ΛΥΣΗ

Γραμμομοριακά κλάσματα: yN2 = 0,6, yO2 = 0,1, yCO2 = 0,3

Μοριακό βάρος μίγματος: Mm = 0,6\*28 + 0,1\*32 + 0,3\*44 = 33,2 kg/kmol

Κλάσματα μάζας: mfN2 = 0,6\*28/33,2 = 0,506

mfO2 = 0,1\*32/33,2 = 0,096

mfCO2 = 0,3\*44/33,2 = 0,398

Γραμμομοριακές ενθαλπίες στην είσοδο: h’N2 = 30129 kJ/kmol

h'O2 = 31389 kJ/kmol

h’CO2 = 42769 kJ/kmol

h’in = 0,6\*30129 + 0,1\*31389 + 0,3\*42769 = 34047 kJ/kmol

Ειδική ενθαλπία στην είσοδο: hin = h’in/Mm = 34047/33,2 = 1025,51 kJ/kg

Γραμμομοριακές ενθαλπίες στην έξοδο: h’N2 = 8723 kJ/kmol

h'O2 = 8736 kJ/kmol

h’CO2 = 9431 kJ/kmol

h’in = 0,6\*8723 + 0,1\*8736 + 0,3\*9431 = 8937 kJ/kmol

Ειδική ενθαλπία στην έξοδο: hout = h’out/Mm =8937/33,2 = 296,18 kJ/kg

Παραγόμενο ειδικό έργο: w = hin – hout = 1025,51 – 296,18 = 756,33 kJ/kg

ΘΕΜΑ 3 (10 μονάδες)

Βιομάζα με κ.β. σύσταση 48,0 % C, 7,2 % H2 και 44,8 % Ο2 τροφοδοτείται σε καυστήρα με παροχή 1 kg/s και καίγεται πλήρως με 100 % περίσσεια αέρα (τόσο η βιομάζα όσο και ο αέρας εισέρχονται στους 25 oC). Η παραγόμενη θερμότητα τροφοδοτείται σε ατμοστρόβιλο με συμπυκνωτή που λειτουργεί στα 10 kPa και υπερθερμαίνει ατμό στους 600 οC και πίεση 10 MPa Αν τα απαέρια του καυστήρα εξέρχονται στους 127 oC και οι ισεντροπικές αποδόσεις αντλίας και στροβίλου είναι 90 %, να υπολογιστεί η παραγόμενη ισχύς του στροβίλου. (η μαζική παροχή ατμού στον ατμοστρόβιλο υπολογίζεται από την παραγόμενη θερμότητα (kJ/s) και τις ειδικές ενθαλπίες του νερού και του ατμού του στροβίλου πριν και μετά τον καυστήρα (kJ/kg νερού)

ΛΥΣΗ

Υπολογισμός παραγόμενης θερμότητας

Βάση 1 kg βιομάζας C: 0,480 kg ή 0,48/12= 0,040 kmole

Η2: 0,072 kg ή 0,072/2= 0,036 kmole

O2: 0,448 kg ή 0,448/32= 0,014 kmole

Θεωρητική καύση: Β/Μ + 0,044 (Ο2 + 3,76 Ν2) = 0,040 CO2 + 0,036 H2O + 0,165 N2

Πραγματική καύση: Β/Μ + 0,088 (Ο2 + 3,76 Ν2) = 0,040 CO2 + 0,036 H2O + 0,044 Ο2 + 0,331 N2

Η θερμοκρασία των απαερίων είναι υψηλότερη ακόμα και από το σημείο δρόσου για 100 % υδρατμό (δηλαδή είναι μεγαλύτερη από τους 100 oC), οπότε καθόλου ατμός δεν συμπυκνώνεται.

q = 0,040\*(-393520+13372-9364)+0,036\*(-241820+13356-9904)+0,044\*(11711-8682)+0,331\*(11640-8669) =

= -23045 kJ/kg βιομάζας = -23045 kJ/s

Ατμοστρόβιλος

Κ1. κορεσμένο νερό v1 = 0,001010 m3/kg h1 = 191,81 kJ/kg

Δ12. wins = 0,00101\*(10000-10) = 10,09 kJ/kg win = 10,090/0,9 = 11,21 kJ/kg

K2. h2 = 191,81+11,21 = 203,02 kJ/kg

K3. h3 = 3625,8 kJ/kg s3 = 6,9045 kJ/kgK

K4s. s4g = 8,1488 kJ/kgK s4f = 0,6492 kJ/kgK xs = (6,9045-0,6492)/(8,1488-0,6492) = 0,834

h4s = 0,834\*2583,9+0,166\*191,81 = 2186,8 kJ/kg

wouts = 3625,8-2186,8 = 1439,0 kJ/kg wout = 0,9\*1439,0 = 1295,1 kJ/kg

wnet = 1295,1-11,21 = 1283,89 kJ/kg

μαζική παροχή νερού στον στρόβιλο: m’ = 23045/(3625,8-203,02) = 6,733 kg/sec

Ισχύς: W’ = 1283,89\*6,733 = 8644.4 kJ/s = 8,64 MW