**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10.**

**Θέμα εξετάσεων**

Σε συνδυασμένο κύκλο αέριο-ατμο-στροβίλου, με λόγο πιέσεων του πρώτου 20, αέρας στους 300 Κ εισέρχεται στο συμπιεστή με παροχή 100 kg/sec και εξέρχεται από το θάλαμο καύσης στους 1200 Κ. Μετά τον αεριο-στρόβιλο, τα αέρια θερμαίνουν τον ατμό του δεύτερου κύκλου στους 400 oC και 10 ΜΡα και εγκαταλείπουν τον εναλλάκτη στους 400 Κ. Αν η πίεση στον συμπυκνωτή είναι 10 kPa και οι ισεντροπικές αποδόσεις της αντλίας, του συμπιεστή και των δύο στροβίλων είναι 90 %, να υπολογιστεί η παραγόμενη ισχυς και η θερμική απόδοση του συνδυασμένου κύκλου.

**Αεριοστρόβιλος**

Κ. 1: Τ1 = 300 Κ και από τον Πίνακα Αέρα: **h1 = 300,19 kJ/kg αέρα**, Pr1 = 1,386

Κ. 2: Αρχικά ο συμπιεστής θεωρείται ισεντροπίκος οπότε:

Pr2/ Pr1 = P2/P1 ⬄ Pr2 = Pr1\*(P2/P1) = 1,386\*20 = 27,72

Για την τιμή αυτή του Pr2, με γραμμική παρεμβολή από τον Πίνακα Αέρα βρίσκεται η ενθαλπία στην Κ2 αν ο συμπιεστής ήταν ισεντροπικός:

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

Αν ο συμπιεστής ήταν ισεντροπικός, το καταναλισκόμενο ισεντροπικό έργο θα ήταν:

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

Για τον πραγματικό (μη-ισεντροπικό) συμπιεστή το καταναλισκόμενο πραγματικό έργο βρίσκεται από την ισεντροπική του απόδοση:

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

Και η πραγματική ενθαλπία στην Κ2 (για πραγματικό συμπιεστή) είναι:

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

Κ. 3: Τ3 = 1200 Κ και από τον Πίνακα Αέρα: h3 = 1277,79 kJ/kg αέρα, Pr3 = 238,0

Κ. 4: Αρχικά ο στρόβιλος θεωρείται ισεντροπίκος οπότε:

Pr4/ Pr3 = P4/P3 ⬄ Pr4 = Pr3\*(P4/P3) = 238/20 = 11,9

Για την τιμή αυτή του Pr4, από τον Πίνακα Αέρα βρίσκεται η ενθαλπία στην Κ4 αν ο στρόβιλος ήταν ισεντροπικός: h4s = 555,74 kJ/kg αέρα

Αν ο στρόβιλος ήταν ισεντροπικός, το παραγόμενο ισεντροπικό έργο θα ήταν:

wout,s = h3–h4s = 1277,79-555,74 = 722,05 kJ/kg αέρα

Για τον πραγματικό (μη-ισεντροπικό) στρόβιλο το παραγόμενο πραγματικό έργο βρίσκεται από την ισεντροπική του απόδοση:

**wout = 0,9\*722,05 = 649,85 kJ/kg αέρα**

Και η πραγματική ενθαλπία στην Κ4 (για πραγματικό στρόβιλο) είναι:

h4 = h3 – wout = 1277,79-649,85 = 627,94 kJ/kg αέρα

Κ. 5: Τ5 = 400 Κ και από τον Πίνακα Αέρα: h5 = 400,98 kJ/kg αέρα

Συνολικά για τον αεριοστρόβιλο:

wnet,gt = wout – win = 649,85-450,43 = **199,42 kJ/kg αέρα**

qin = h3 – h2 = 1277,79-750,62 = **527,17 kJ/kg αέρα**



**Ατμοστρόβιλος**

Κ. 6: Κορεσμένο υγρό στην πίεση του συμπυκνωτή, οπότε από πίνακα κορεσμένου ατμού:

h6 = 191,83 kJ/kg ατμού v6 = 0,001010 m3/kg ατμού

Για ισεντροπική αντλία το καταναλισκόμενο ελάχιστο έργο είναι:

win,s = v6\*(P7 – P6) = 0,001010\*(10000 – 10) = 10,09 kJ/kg ατμού

Για την πραγματική αντλία το πραγματικό καταναλισκόμενο έργο βρίσκεται από την ισεντροπική της απόδοση: **win = win,s/0,9 = 11,21 kJ/kg ατμού**

Κ. 7: h7 = h6 + win = 191,83 + 11,21 = 203,04 kJ/kg ατμού

Κ. 8: Υπέρθερμος ατμός στις συνθήκες της εκφώνησης, από τον αντίστοιχο Πίνακα Υπέρθερμου Ατμού: h8 = 3097,5 kJ/kg ατμού, s8 = 6,2141 kJ/kg ατμού Κ

Κ. 9: Αρχικά θεωρούμε τον στρόβιλο ισεντροπικό (ιδανικό), οπότε s9 = s8 = 6,2141 kJ/kg ατμού Κ. Για την πίεση των 10 kPa, που επικρατεί μετά τον στρόβιλο (η πίεση στον συμπυκνωτή), βλέπουμε ότι αυτή η τιμή εντροπίας βρίσκεται μεταξύ της εντροπίας κορεσμένου υγρού και κορεσμένου ατμού. Οπότε στην έξοδο του ισεντροπικού στροβίλου έχουμε κορεσμένο μίγμα και χρησιμοποιούμε την τιμή s9 =s8 της εντροπίας για υπολογίσουμε την ποιότητα του:

s9 = s8 = x9s\*s9g + (1 – x9s)\*s9f ⬄x9s = (s9 – s9f)/(s9g – s9f)

= (6,2141-0,6493)/(8,1502-0,6493) = 0,74

Από την ποιότητα στην έξοδο του στροβίλου αν ο στρόβιλος ήταν ισεντροπικός, υπολογίζουμε την ενθαλπία στην έξοδο του στροβίλου αν ο στρόβιλος ήταν ισεντροπικός:

h9s = 0,74\*2584,70+0,26\*191,83 = 1962,55 kJ/kg ατμού

Και το έργο αν ο στρόβιλος ήταν ισεντροπικός:

wout,s = h8–h9s = 3097,5-1962,6 = 1134,9 kJ/kg ατμού

Για τον πραγματικό (μη-ισεντροπικό) στρόβιλο το παραγόμενο πραγματικό έργο βρίσκεται από την ισεντροπική του απόδοση:

**wout = 0,9\*1134,9 = 1021,4 kJ/kg ατμού**

Συνολικά για τον ατμοστρόβιλο:

wnet,st = 1021,4-11,21 = 1010,2 kJ/kg ατμού

**Συνδυασμένος κύκλος**

Από τον εναλλάκτη που συνδέει τον κύκλο αεριοστροβίλου (πάνω κύκλος) με τον κύκλο ατμοστροβίλου (κάτω κύκλος), υπολογίζουμε το λόγο παροχής ατμού προς παροχή αέρα:

**Qcomb** = m’air\*(h4 – h5) = m’H2O\*(h8 – h7) ⬄ **λ = mH2O/mair** = (627,94-400,98)/(3097,5-203,04) = **0,078 kgατμού/kgαέρα**

Για να αθροίσουμε το καθαρό έργο που παράγει ο κύκλος του αεριοστροβίλου με το καθαρό έργο που παράγει ο κύκλος του ατμοστροβίλου, θα πρέπει τα δύο αυτά έργα να έχουν τις ίδιες μονάδες. Έτσι, με το λ μετατρέπουμε το έργο του ατμοστροβίλου σε μονάδες **kJ/kg αέρα.**

wnet,cc = wnet,gt + wnet,st =

= (199,42 kJ/kgαέρα) + (0,078 kgνερού/kgαέρα)\*(1010,2 kJ/kgνερού) = **278,22 kJ/kg αέρα**

(wnet,cc = (278,22 kJ/kgαέρα)/(0,078 kgατμού/kgαέρα) = ….. kJ/kgατμού)

Η μόνη θερμότητα που τροφοδοτείται στον συνδυασμένο κύκλο είναι αυτή που τροφοδοτείται στον αεριοστρόβιλο, οπότε το qin του συνδυασμένου κύκλου (combined cycle – cc) έχει υπολογιστεί και έχει μονάδες **kJ/kg αέρα.** Έτσι η θερμική απόδοση του συνδυασμένου κύκλου είναι:

**ηth = wnet,cc/qin** = 278,22/527,17 = 0,528 ή **52,8 %**

Και η ισχύς του συνδυασμένου κύκλου είναι:

W = (100 kgαέρα/sec)\*(278,22 kJ/kgαέρα) = 27822 kJ/sec = **27,8 MW**