



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ "ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΕΣ"
ΔΙΔΑΣΚΩΝ: Κ.Χ. ΓΙΑΝΝΑΚΟΓΛΟΥ, Καθηγητής ΕΜΠ
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ 2023-2024 /

Η παράδοση εργασίας (homework) είναι υποχρεωτική για τη συμμετοχή στην εξέταση του μαθήματος. Όσοι έχουν παραδώσει εργασία σε προηγούμενο εξάμηνο προσμετράται ο βαθμός εργασίας που ήδη έχουν. Αν αποφασίσουν να ξανακάνουν την εργασία, θα μετρήσει ο νέος βαθμός και θα «ξεχαστεί» ο παλιός. Κατά την παράδοση μπορείτε να επιλέξετε: (α) "τυπική" παράδοση ή, αναλόγως της ζήτησης και των χρονικών περιθωρίων, (β) παράδοση με εξέταση-συζήτηση επί της εργασίας με τον διδάσκοντα για αυξημένη συμμετοχή της εργασίας στον τελικό βαθμό σας. Περισσότερα για την παράδοση, θα βρείτε «εγκαιρώς» στην ιστοσελίδα του μαθήματος. Δεν χρειάζεται να δακτυλογραφείτε την έκθεση που θα παραδώσετε. Μια χειρόγραφη, αλλά καλογραμμένη-διαβάσιμη, τεχνική έκθεση (scanned, μειώστε όμως το μέγεθος του αρχείου-χρησιμοποιήστε το iloverpdf, αν δεν έχετε κάτι άλλο) είναι αρκετή.

DEADLINES: Ανεξάρτητα του τρόπου παράδοσης:

- Όσοι παραδώσουν το θέμα το αργότερο μέχρι την προπαραμονή (μέχρι τις 23:59) της επίσημης ημερομηνίας εξέτασης μπορούν να συμμετάσχουν στις εξετάσεις της ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ εξεταστικής περιόδου του 2023-24.
- Για την ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΗ εξεταστική, η αντίστοιχη προθεσμία είναι η προπαραμονή της πρώτης ημέρας της εξεταστικής περιόδου, ανεξαρτήτως της ημέρας που θα εξεταστεί το μάθημα των ΘΣ.

"Προπαραμονή" της Δευτέρας ή Τρίτης νοείται η προηγούμενη Παρασκευή. Στην ιστοσελίδα του μαθήματος μπορείτε να βρείτε οποιαδήποτε μελλοντική διευκρίνιση (ή, ενδεχομένως, διορθώσεις) επί του θέματος.

[K1], [K2], [K3] είναι οι τελευταίοι τρεις ακέραιοι του Αριθμού Μητρώου σας στη Σχολή (αντιπροτελευταίος, προτελευταίος και τελευταίος ακέραιος, αντίστοιχα).

Εργασίες χωρίς απάντηση σε όλα τα ερωτήματα δεν γίνονται αποδεκτές. Δώστε, καθαρά, στο εξώφυλλο της εργασίας σας τις τιμές των [K1], [K2] και [K3] που χρησιμοποιήσατε.

Όλες οι παραδόσεις εργασιών γίνονται στο Helios. Διαβάστε το προηγούμενο κείμενο ώστε να χειριστείτε μεγάλα αρχεία. Καθεμιά/καθένας παραδίνει ΕΝΑ ΑΡΧΕΙΟ (pdf – ενώστε εσείς σε ένα PDF ότι έχετε: σκαναρισμένα χειρόγραφα, σχήματα σε ΗΥ, κώδικες κλπ), με το όνομά σας στην πρώτη σελίδα. Μην ξεχάσετε να βάλετε πινακοποιημένα τα τελικά αποτελέσματα σε κάθε άσκηση.

Οι μη-αποδεκτές εργασίες ανακοινώνονται στην ιστοσελίδα του μαθήματος.

Άσκηση Α

Σε αεριοστρόβιλο μηχανικής ισχύος απλής ατράκτου εισέρχεται αέρας με 1 bar και $282+[K1]$ K. Τα δύο εργαζόμενα μέσα είναι τέλεια αέρια, ο μὲν αέρας με τα γνωστά γ και R, το δε καυσαέριο με $\gamma=1.33$ και το ίδιο R με τον αέρα. Θα συμβολίζουμε με 1, 2, 3 και 4 την είσοδο και έξοδο του συμπιεστή, την είσοδο και έξοδο στο στρόβιλο, αντίστοιχα. Σε κάθε περίπτωση από όσες εξεταστούν παρακάτω: (α) στο θάλαμο καύσης οι απώλειες ολικής πίεσης είναι $(0.03+[K2]/120)$ bar, (β) η έξοδος του εργαζόμενου μέσου από τη συνολική διάταξη γίνεται στην πίεση εισόδου του αέρα σε αυτόν, (γ) συμπιεστής (C) και στρόβιλος (T) λειτουργούν με πολυτροπικούς βαθμούς απόδοσης, ίσους με 0.805 (C) και 0.835 (T), (δ) η παροχή καυσαερίου είναι το άθροισμα της παροχής αέρα και της παροχής καυσίμου (ε) θερμοκρασία στην είσοδο του στρόβιλου (θέση 3) είναι σταθερά ίση με $1460+3[K2]-[K3]$ K, (ζ) λόγος πίεσης του συμπιεστή είναι $9+0.05[K2]$. Προσέξτε: δεδομένα που δίνονται σε κάποιο από τα παρακάτω ερωτήματα αφορούν μόνο το

αντίστοιχο ερώτημα.

Ζητούμενα:

(A1) Αν η καθαρή ισχύς που αυτή η διάταξη αποδίδει στην έξοδο της είναι $1050+40*[K2]$ kW, και η παροχή μάζας του καυσαερίου ισούται με 102% της παροχής αέρα, ποια η παροχή μάζας αέρα και ο θερμοκός βαθμός απόδοσης του αεριοστροβίλου; Ποιοι οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης συμπιεστή & στροβίλου και η θερμογόνος δύναμη του καυσίμου;

(A2) Με σκοπό να παράξουμε την ίδια καθαρή ισχύ με αυτήν του (A1) με οικονομία καυσίμου, η διάταξη ενισχύεται με ανακόμιση θερμότητας των καυσαερίων. Συμβολίστε με 6 την έξοδο θερμού ρεύματος από τον εναλλάκτη θερμότητας που προκαλεί την ανακόμιση θερμότητας και με 5 την είσοδο του αέρα στο θάλαμο καύσης. Έτσι το θερμό ρεύμα στον εναλλάκτη είναι το $4 \rightarrow 6$ και το ψυχρό ρεύμα είναι το $2 \rightarrow 5$. Και τα δύο ρεύματα στον εναλλάκτη έχουν απώλειες ολικής πίεσης ίσες με 0.05bar. Ο εναλλάκτης έχει βαθμό εκμετάλλευσης $\eta_{exch}=0.79$ (ορίζεται ως το πηλίκο της θερμότητας που λαμβάνει το ψυχρό ρεύμα προς αυτήν που θα λάμβανε αν στην έξοδο του θερμού ρεύματος η θερμοκρασία ταυίζονταν με αυτή στην είσοδο του ψυχρού ρεύματος). Η θερμογόνος δύναμη του καυσίμου είναι ίδια με το (A1). Σχολιάστε/ποσοτικοποιήστε την οικονομία καυσίμου και υπολογίστε την παροχή μάζας αέρα που τώρα διακινείται.

(A3) Επανερχόμαστε στο ερώτημα (A1) και αναλύουμε περαιτέρω τον αξονικό πολυβάθμιο συμπιεστή. Αν σε κάθε βαθμίδα του η αύξηση ολικής θερμοκρασίας είναι ίδια και δεν μπορεί να ξεπερνά τους 32 K, βρείτε το πλήθος των βαθμίδων, γνωρίζοντας ότι κάθε βαθμίδα έχει την ίδια ποιότητα αεροθερμοδυναμικού σχεδιασμού. Δημιουργήστε έναν πίνακα με τιμές ολικής πίεσης και ολικής θερμοκρασίας σε όλες τις θέσεις πριν-μεταξύ-μετά τις/των βαθμίδες/ων. Προσαρμόστε «έξυπνα» το συμβολισμό των θέσεων ($0 \rightarrow N$, όπου N το πλήθος βαθμίδων)

(A4) Κάντε ότι και στο (A3) αν το όριο των 32 K ισχύει και πάλι για όλες τις βαθμίδες, αλλά αυτές έχουν ίδιο λόγο πίεσης αντί για ίδια αύξηση ολικής θερμοκρασίας. Σχολιάστε διαφορές (A3) και (A4).

Σε κάθε εξεταζόμενη περίπτωση κάντε σκίτσο της διάταξης και θερμοδυναμικό διάγραμμα. Πινακοποιήστε τα αποτελέσματα όλων των ερωτημάτων.

Άσκηση Β

Ακτινικός συμπιεστής με οπισθοκλινή πτερύγια στην πτερωτή του και με διαχύτη χωρίς πτερύγια, λειτουργεί σε συνθήκες αναφοράς, αναρροφώντας αέρα απευθείας από το περιβάλλον χωρίς να παρεμβάλλονται οδηγά πτερύγια. Έχει τα εξής γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά:

Στη θέση 1:

- Διατομή που καθορίζεται από ακτίνες ποδός (45 mm) και κεφαλής (140 mm)
- Ταχύτητα πτερωτής ($13950+10*[K1]$) RPM.

Στη θέση 2:

- Η τοπική γωνία μετάλλου του πτερυγίου έχει μέτρο ίσο με 3 μοίρες
- Η ακτίνα είναι 200mm.

Στη θέση 3:

- Η ακτίνα είναι διπλάσια αυτής της θέσης 2, και το πλάτος καναλιού είναι ίσο με 13.35 mm.
- Η ακτινική ταχύτητα ισούται με αυτήν της θέσης 2.

Ακόμη δίνονται:

- Ο λόγος πίεσης (όλης) της βαθμίδας ίσος με 2.077 όταν η παροχή μάζας είναι $(5.27+0.01*[K2])$ kg/sec
- Ο βαθμός απόδοσης ολικές-προς-στατικές συνθήκες (όλης) της βαθμίδας $\eta_{t-s,C} = \frac{T_3 - T_{t1}}{T_3 - T_{t1}}$ είναι ίσος με 0.89

- Στην πτερωτή, η μεταβολή της εντροπίας είναι ίση με $0.016875C_p$
- Η πτερωτή έχει 21 πτερύγια
- Στον διαχύτη, η μεταβολή στατικής πίεσης είναι $(38000+[K2]*40)$ Pa.

(B1) Βρείτε τα στατικά θερμοδυναμικά μεγέθη και τον απόλυτο αριθμό Mach στη θέση 1. Υπολογίστε και σχεδιάστε τα τρίγωνα ταχυτήτων στο πόδι και στο κεφάλι.

(B2) Υπολογίστε και σχεδιάστε το τρίγωνο ταχυτήτων στη θέση 2. Στην ίδια θέση υπολογίστε τα ολικά και στατικά μεγέθη της ροής, αλλά και τον απόλυτο και σχετικό αριθμό Mach.

(B3) Στην έξοδο του διαχύτη, υπολογίστε όσα ολικά και στατικά θερμοδυναμικά αλλά και κινηματικά μεγέθη μπορείτε.

Άσκηση Γ

Η άσκηση αφορά επαναληπτική βαθμίδα αξονικού συμπιεστή με σταθερή αξονική ταχύτητα και γραμμική ταχύτητα περιστροφής δια μέσου της. Στην κινητή και τη σταθερή πτερώγωση εφαρμόζεται ο κανόνας de Haller για τη μέγιστη επιβράδυνση, αλλά με (δικό σας!) όριο την τιμή $0.68+[K1]/200$.

(Γ1) Δημιουργήστε διάγραμμα, με οριζόντιο άξονα τον βαθμό αντίδρασης r , κατακόρυφο άξονα τον συντελεστή φόρτισης Ψ , το οποίο να περιέχει, για κάθε τιμή του συντελεστή παροχής Φ (διαλέξτε εσείς λ.χ. 5 λογικές τιμές του Φ), δύο καμπύλες (άρα, αν διαλέξετε 5 τιμές του Φ , θα φτιάξετε τελικά 10 καμπύλες). Η μία καμπύλη θα είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που ικανοποιούν οριακά το (δικό σας) κριτήριο de Haller για την κινητή πτερώγωση. Όμοια, η άλλη καμπύλη είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που ικανοποιούν οριακά το αντίστοιχο κριτήριο για τη σταθερή πτερώγωση. Χρησιμοποιήστε διαφορετικά χρώματα για να ξεχωρίζουν.

(Γ2) Σημειώστε με διαφορετικό χρώμα (καλύτερα σε ένα επόμενο σχήμα που θα περιέχει και τις προηγούμενες καμπύλες) για κάθε τιμή του Φ την κρίσιμη καμπύλη (θα αποτελείται από τμήματα των δύο επιμέρους καμπυλών) που ικανοποιεί και τα δύο κριτήρια. Δείξτε την αποδεκτή και τη μη-αποδεκτή του διαγράμματος.

(Γ3) Φτιάξτε αντίστοιχα σχήματα που θα δίνουν τις αντίστοιχες τιμές για τις γωνίες ροής.

(Γ4) Τέλος σε ένα άλλο διάγραμμα, αντί για το συντελεστή παροχής (ως ελεύθερη παράμετρο), χρησιμοποιήστε λχ τη γωνία εισόδου α_1 .

Για τα προηγούμενα ερωτήματα, εξηγήστε πως δουλέψατε για να προκύψει κάθε διάγραμμα, με ποιες σχέσεις, δώστε τον τρόπο που λύσατε τις εξισώσεις. Διαλέξτε μόνοι σας τα (λογικά) όρια τιμών για τις εμπλεκόμενες ποσότητες.