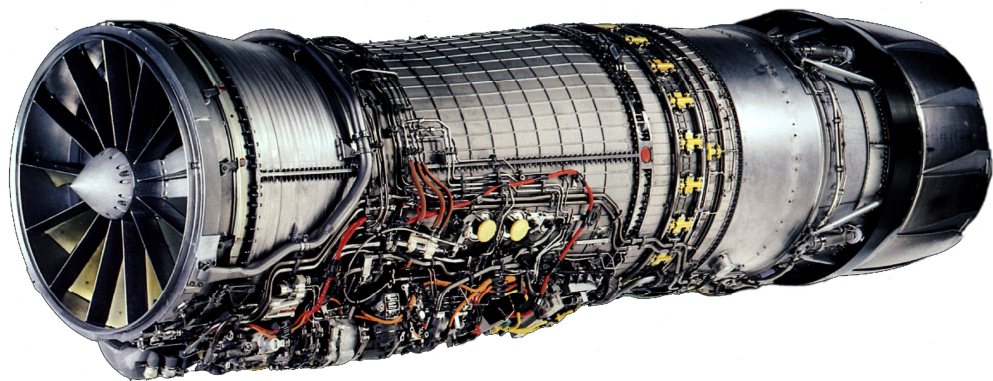




**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ & ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ**

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ
ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΩΝ**

Π. ΚΟΥΤΜΟΣ



ΠΑΤΡΑ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛΙΔΑ
1	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1.2
1.1 ΑΝΟΙΧΤΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	1.6
1.2 ΣΥΖΕΥΞΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ	1.8
1.3 ΚΛΕΙΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	1.9
1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΩΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΠΛΑΝΩΝ	1.10
1.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΝΟΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΚΙΝΗΤΗΡΑ	1.11
2	
ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΝ	2.2
2.1 ΚΥΚΛΟΙ ΙΣΧΥΟΣ	2.3
2.1.1 Απλός ιδανικός κύκλος	2.3
2.1.2 Κύκλος με εναλλάκτη	2.6
2.1.3 Κύκλος με αναθέρμανση	2.7
2.1.4 Κύκλος με αναθέρμανση και εναλλάκτη	2.8
2.1.5 Κύκλοι με ενδιάμεση ψύξη μεταξύ των συμπίεστών	2.8
2.1.6 Συμπεράσματα	2.8
2.1.7 Μέθοδοι υπολογισμού απωλειών	2.9
2.1.8 Ιδιότητες λίμνασης	2.10
2.1.9 Απόδοση συμπίεστη και στροβίλου	2.12
2.1.10 Απώλειες πίεσης	2.18
2.1.11 Αποτελεσματικότητα εναλλάκτη	2.19
2.1.12 Μηχανικές απώλειες	2.20
2.1.13 Μεταβολή της ειδικής θερμότητας	2.20
2.1.14 Λόγος καυσίμου/αέρα. Απόδοση καύσης και απόδοση κύκλου	2.22
2.2 ΚΥΚΛΟΙ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΩΣΗ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ	2.24
2.2.1 Κριτήρια λειτουργικής απόδοσης	2.24
2.2.2 Απόδοση τμημάτων εισαγωγής (intake) και ακροφυσίου εξαγωγής (nozzle)	2.28
2.2.3 Ο κινητήρας Turbofan	2.35
2.2.4 Ο κινητήρας Turboprop	2.38

3	ΟΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ	
	Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ	3.2
3.1	ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ	3.2
3.2	Η ΜΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΗ ΡΟΗ ΣΕ ΔΥΟ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	3.8
3.3	ΟΙ ΑΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ	3.13
4	Η ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΡΟΗ	4.2
4.1	Η ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΙΣΕΝΤΡΟΠΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΡΟΗ	4.2
4.2	ΚΑΘΕΤΑ ΚΡΟΥΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ	4.4
4.3	ΤΑ ΠΛΑΓΙΑ ΚΡΟΥΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ	4.6
4.4	ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΡΟΗ ΣΕ ΣΥΓΚΛΙΝΟΝ ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ	4.7
5	ΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΑ ΜΕΡΗ	5.2
5.1	Η ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ (ROTOR) ΚΑΙ ΡΕΥΣΤΟΥ	5.2
5.2	Η ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΥ EULER	5.4
5.3	Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ	5.6
6	ΘΕΩΡΙΑ ΠΤΕΡΥΓΩΣΕΩΝ	6.2
6.1	ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΤΕΡΥΓΩΣΗΣ	6.2
6.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΡΟΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΠΤΕΡΥΓΩΣΗ	6.6
6.3	ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΤΕΡΥΓΩΣΕΩΝ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ	6.6
6.4	ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΤΕΡΥΓΩΣΕΙΣ (ΑΞΟΝΙΚΟΥ) ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	6.14
6.5	ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΡΟΕΣ ΚΑΙ ΛΟΙΠΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	6.22
7	ΑΚΤΙΝΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ	7.2
7.1	ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΚΑΙ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗΣ ΔΙΝΗΣ	7.3
7.2	ΤΟ ΑΜΕΣΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	7.8
7.3	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ	7.9

8	ΟΙ ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ / ΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ	8.2
8.1	ΤΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ	8.2
8.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	8.2
8.3	ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΚΤΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	8.5
8.4	ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	8.8

9	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΑΛΑΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ	9.2
9.1	ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΘΑΛΑΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ	9.2
9.1.1	Απαιτήσεις απόδοσης λειτουργίας θαλάμου καύσης αεριοστροβίλου	9.2
9.1.2	Βασικά χαρακτηριστικά εξέλιξης και σχεδιασμού των θαλάμων καύσης (Θ/Κ)	9.2
9.1.3	Κατηγορίες θαλάμων καύσης και τα σχετικά τους πλεονεκτήματα	9.3
9.2	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΘΑΛΑΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ	9.5
9.2.1	Διαχύτης	9.5
9.2.2	Γεωμετρίες διαχύτη	9.5
9.2.3	Περιοχές λειτουργίας διαχυτών	9.6
9.2.4	Παράμετροι λειτουργίας διαχυτών	9.6
9.2.5	Υπολογισμός χαρακτηριστικών λειτουργίας διαχυτών	9.7
9.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΑΕΡΟΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΘΑΛΑΜΟΥ ΚΑΥΣΗΣ – ΕΚΤΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΧΥΤΗ – ΗΤΟΙ : ΤΟΥ ΦΛΟΓΟΣΩΛΗΝΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ	9.7
9.3.1	Υπολογισμός των διαμέτρων	9.7
9.3.2	Η ροή στα δακτυλιοειδή διάκενα και διαμέσου των οπών του φλογοσωλήνα	9.9
9.3.3	Η αεροδυναμική του στροβιλιστή (swirler)	9.10
9.4	Η ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ (INTERMEDIATE) ΖΩΝΗ ΚΑΙ Η ΖΩΝΗ ΑΡΑΙΩΣΗΣ (DILUTION ZONE)	9.12
9.5	ΟΡΙΑ ΕΥΣΤΑΘΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΝΑΥΣΗΣ ΚΑΥΣΤΗΡΑ	9.13

10	ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ	10.2
10.1	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΣΕ ΑΝΤΟΧΗ	10.2
10.2	Η ΨΥΧΟΜΕΝΗ ΒΑΘΜΙΔΑ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	10.4
10.3	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΤΑΘΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ	10.10

11	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ	11.2
11.1	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ	11.2
11.2	ΕΚΤΟΣ ΣΧΕΔΙΣΜΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	11.5
11.3	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΑΕΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	11.8
	11.3.1 Λειτουργία αερογεννήτριας συζευγμένης με ελεύθερο στρόβιλο ισχύος	11.10
	11.3.2 Λειτουργία εκτός σημείου σχεδιασμού στροβιλοκινητήρα (αερογεννήτριας συζευγμένης με προωστικό ακροφύσιο)	11.14

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν σύγγραμμα ‘Πανεπιστημιακών Παραδόσεων’ απευθύνεται κατ’αρχήν στους φοιτητές του τμήματος Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών αλλά και σε οποιονδήποτε ενδιαφέρεται να γνωρίσει την θεωρία, τις αρχές σχεδιασμού και τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των αεριοστροβίλων και των επί μέρους συστημάτων τους. Ο πλήρης σχεδιασμός, εγκατάσταση, λειτουργία και συντήρηση ενός πολύπλοκου συστήματος όπως ο αεριοστροβίλος απαιτεί σύνθεση γνώσεων από ένα ευρύ φάσμα πεδίων όπως π.χ. ρευστοθερμοδυναμική, χημεία, στοιχεία μηχανών, συστήματα ελέγχου, στοχαστικές μεθόδους, αντοχή υλικών κλπ. Το παρόν σύγγραμμα ‘Πανεπιστημιακών Παραδόσεων’ περιορίζεται κυρίως στον αεροθερμοδυναμικό σχεδιασμό του συστήματος που αποτελεί και ένα από τα πλέον κρίσιμα τμήματα της σχεδιαστικής διαδικασίας και λειτουργίας. Στην παρούσα μορφή του αλλά και μέσω της συνεχούς εξέλιξης και συμπλήρωσης του σύμφωνα με τις τεχνολογικές προόδους το σύγγραμμα αυτό μπορεί να αποτελέσει κατάλληλη αναφορά και για μεταπτυχιακό κύκλο σπουδών.

Τέλος κάθε υπόδειξη θα είναι ευπρόσδεκτη για την περαιτέρω βελτίωση του παρόντος συγγράμματος ‘Πανεπιστημιακών Παραδόσεων’.

Ο συγγραφέας

28 Ιανουαρίου 2008

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Cohen, H, Rogers, GFC and Saravanamuttoo, HIH "Gas Turbine Theory" Longman, 1972
- Dixon, SL "Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery" Pergamon, 1978
- Horlock, JH "Axial Flow Compressors" Butterworth, 1973
- Horlock, JH "Axial Flow Turbines" Butterworth, 1973
- Lefebvre, AH "Gas Turbine Combustion" Hemisphere, 1983
- Smith, I, ed. "Combustion in Advanced Gas Turbine Systems" Pergamon, 1968
- "The Aerothermodynamics of Gas Turbine Engines" AFAPL-TR-78-52
- Hawthorne, WR and Olson, WT, eds. "Design and Performance of Gas Turbine Power Plants" Oxford UP, 1960
- Boyce, MP "Gas Turbine Engineering Handbook", 2nd ed. Gulf Professional Publishing, Butterworth-Heinemann, 2002
- Stodola, A "Steam and Gas Turbines" 6th ed., Peter Smith, New York, 1945
- Lichty, IC "Combustion Engine Processes" McGraw Hill, 1955
- "The Jet Engine" Rolls-Royce plc, 1987
- Γούλιος, ΓΒ "Στροβιλοκινητήρες" Αθήνα, 1980
- Ρακόπουλος, Κ "Αρχές Βιομηχανικών Αεριοστροβίλων", 2^η έκδοση, Φούντας, 2001
- "Lecture Notes On Gas Turbine Combustion" Lecture Course, Von Karman Institute, 1989
- Koutmos, P and McGuirk, JJ "Flow in a Gas Turbine Combustor: A Benchmark Experimental Study", Exp . in Fluids, 7, 344-354
- Koutmos, P and McGuirk, JJ "Turbofan Forced Mixer-Nozzle Temperature and Flow Field Modelling" Int . Jnl . of Heat and Mass Transfer, 32, 1141-1153
- Κλουδά, ΣΤ "Αεριοστροβίλοι" ΑΔΣΕΝ, Ίδρυμα Ευγενίδου, 1982
- Δανιήλ, ΓΦ "Κινητήριες Μηχανές" Ίδρυμα Ευγενίδου, 1979