

Δ. Γ. ΠΑΠΑΝΙΚΑΣ

**ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ**

4^η ΕΚΔΟΣΗ

ΠΑΤΡΑ-ΑΘΗΝΑ 2010

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ

ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

4^η έκδοση

Ο ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ
Δ. Γ. Παπανίκας

είναι Διπλωματούχος Μηχανολόγος–Αεροναυπηγός του Πολυτεχνείου Άαχεν, Γερμανίας και αριστοβάθμιος διδάκτωρ αυτού. Ξεκίνησε επιστημονική δράση στο Αεροδυναμικό Ινστιτούτο και την συνέχισε στο Κέντρο Ερευνών Αεροπορίας και Διαστημοπλοΐας Γερμανίας, DLR, σε προγράμματα ροών υψηλής ενέργειας και υπερ-υπερηχητικής διαστημικής πτήσης.

Το 1975 εκλέχθηκε τακτικός καθηγητής Πολυτεχνικής Σχολής στο Πανεπιστήμιο Πατρών και ανέλαβε ως διευθυντής την ανάπτυξη του Εργαστηρίου Μηχανικής των Ρευστών και Εφαρμογών αυτής στο Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, ενώ διετέλεσε επί τετραετία διευθυντής του Ενεργειακού Τομέα. Έχει δημοσιεύσει πάνω από εκατό επιστημονικές εργασίες και εισηγήσεις σε περιοδικά και διεθνή συνέδρια, έχει συγγράψει πέντε βιβλία (Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική, Εφαρμοσμένη Αεροδυναμική, Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Τεχνολογία Φυσικού Αερίου, Αεροδιαστημική Τεχνολογία) και έντεκα πανεπιστημιακά εγχειρίδια αναφερόμενα κυρίως στην ύλη των δώδεκα αυτοτελών μαθημάτων που έχει διδάξει στην Πολυτεχνική Σχολή. Υπήρξε ιδρυτικός σύμβουλος του Κέντρου Τεχνολογίας Αεροπορίας (1979-81) και επιστημονικός υπεύθυνος σε δεκαοκτώ μεγάλα εθνικά και κοινοτικά προγράμματα τεχνολογίας και ανάπτυξης σε θέματα Ενέργειας και Αεροναυπηγικής (1985-2002). Από το 1983 είναι ανελλιπώς μέλος της Επιτροπής Επιστημονικών Εκδόσεων του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας και μέλος επιστημονικών και επαγγελματικών εταιρειών, μεταξύ των οποίων οι Verein Deutscher Ingenieure VDI, American Institute of Aeronautics and Astronautics AIAA, Gesellschaft fuer Angewandte Mathematik und Mechanik GAMM, American Helicopter Society AHS, German Aeronautics Society DGLR. Ως επίτιμο μέλος του Συλλόγου Αεροναυπηγών έχει τύχει της διακρίσεως να εκπροσωπήσει τη χώρα μας στις εκδηλώσεις ‘100 Years of Powered Flight’. Την τριετία 1978-81 ήταν Πρόεδρος του ΤΕΕ Δυτ. Ελλάδας και στο διάστημα 1981-83 Πρόεδρος της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας (ΕΑΒ) και της Ολυμπιακής Αεροπορίας. Υπήρξε μέλος της Εθνικής Αντιπροσωπείας του ΤΕΕ και διετέλεσε Πρόεδρος της Αντιπροσωπευτικής Συνέλευσης Κοινωνικού Ελέγχου (ΑΣΚΕ) της ΔΕΗ. Είναι ιδρυτής και σύμβουλος (1984-2000) του μελετητικού Ινστιτούτου Υπολογιστικής Τεχνολογίας - Σύμβουλοι Μηχανικοί, στο διάστημα 1994-96 ήταν Πρόεδρος του Δ.Σ. της δημόσιας εταιρείας κατασκευών ΕΤΕΚΑ και 1999-2002 μέλος του Δ.Σ. της Περιφερειακής Επιχείρησης Διανομής Φυσικού Αερίου Αττικής.

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ

ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Δημήτρης Γ. Παπανίκας

τ. Καθηγητής και Διευθυντής

Εργαστηρίου Μηχανικής των Ρευστών και Εφαρμογών αυτής

Τμήμα Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών

Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πατρών

ΤΕΤΑΡΤΗ ΕΚΔΟΣΗ

ΠΑΤΡΑ-ΑΘΗΝΑ 2010

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ, 4^η έκδοση

Παπανίκας, Δημήτριος Γ.

Αθήνα 1976, 1980, 2000, 2010

www.papanikas.gr

Καθηγητής Dr.-Ing. Δημήτριος Γ. Παπανίκας

τ. καθηγητής και Διευθυντής

Εργαστηρίου Μηχανικής των Ρευστών & Εφαρμογών Αυτής

Τομέας Ενέργειας, Τμήμα Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών

Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τηλ.& Φαξ 2610997193.

Το βιβλίο περιέχει:

1438 σελίδες, 627 σχήματα, 138 πίνακες και 540 αναφορές βιβλιογραφίας

ISBN 978-960-88598-5-2

Copyright 1976,1980, 2000 2010, Δ. Γ. Παπανίκας

Εκδότης: Φρ. Παπανίκα και Σια, media guru, Εκδοτική Διαφημιστική Ο.Ε., Αχαρνές, Αττική

Εξώφυλλο: Φραντζέσκα Παπανίκα Επιμέλεια κειμένων: Άρτεμις και Φρ. Παπανίκα

Απαγορεύεται η με οποιονδήποτε τρόπο ολική ή μερική αναπαραγωγή ή μετάφραση του βιβλίου αυτού χωρίς την γραπτή άδεια του εκδότη.

APPLIED FLUID MECHANICS, 4nd edition, (in greek)

Papanikas, Dimitris G.

Athens, Greece 1976, 1980, 2000, 2010

www.papanikas.gr

Professor Dr.-Ing. Dimitris G. Papanikas

Former Professor and Director of Fluid Mechanics Laboratory

Department of Mechanical Engineering & Aeronautics

University of Patras, Patras, Greece, Tel. & Fax 2610997193.

This book contains: 1438 pages, 627 figures, 138 tables and 540 cited literature

ISBN 978-960-88598-5-2

Copyright 1976, 1980, 2000, 2010 D. G. Papanikas

Editor: Fr. Papanika Editions, media guru, Acharnes / Athens, Greece

Cover: Franceska Papanika Text design: Artemis and Fr. Papanika

All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any form or by any means without the written permission of the publisher.

Στην οικογένειά μου

- Μαίρη, Φραντζέσκα, Γιώργο, Άρτεμι –

καθώς επίσης

στους συναδέλφους και συνεργάτες κατά τη διάρκεια της
καθηγητικής πορείας μου στην Πολυτεχνική Σχολή και
ειδικότερα στο Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών
Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών.

Με ιδιαίτερη ευχαρίστηση ο συγγραφέας αναγνωρίζει

**την πολύτιμη συνεργασία και συμβολή
του Καθηγητή Πανεπιστημίου
Διονύση Π. Μάργαρη**

στη συγκρότηση της ύλης του βιβλίου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Αναλυτικά περιεχόμενα του κάθε κεφαλαίου υπάρχουν στο πρωτοσέλιδό του.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

1. ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ: ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ
2. ΡΕΥΣΤΑ: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΡΟΪΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ
3. ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ
4. ΑΕΡΟΣΤΑΤΙΚΗ
5. ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ ΣΤΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ
7. ΒΑΣΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ
8. ΡΟΗ ΣΕ ΑΓΩΓΟΥΣ ΚΑΙ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ
9. ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΓΩΓΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ
10. ΙΔΕΩΔΗΣ ΡΟΗ
11. ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΡΟΗ
12. ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΣΤΡΩΤΗΣ ΡΟΗΣ
13. ΤΥΡΒΗ ΚΑΙ ΤΥΡΒΩΔΕΙΣ ΡΟΕΣ
14. ΟΡΙΑΚΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΓΓΕΝΕΙΣ ΡΟΕΣ
15. ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ
16. ΥΠΕΡΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΗ ΡΟΗ
17. ΡΕΥΣΤΟΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΑΚΡΟΦΥΣΙΑ
18. ΡΟΪΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟΝ ΑΕΡΟΔΙΑΣΤΗΜΙΚΟ ΧΩΡΟ
19. ΡΕΥΣΤΟΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ
20. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
21. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Ρευστομηχανική από πολλές δεκαετίες έχει καταλάβει ένα σημαντικό κλάδο στις τεχνολογικές επιστήμες με εφαρμογές, που απαιτούν τη θεώρηση, την ανάλυση και κυρίως τη διαχείριση της ροής ρευστών. Εξ άλλου οποιοδήποτε υλικό υπό πρόσφορες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης μπορεί να περάσει στη ρευστή - υγρή ή/και αέρια - φάση της ύλης 'συμπληρώνοντας' έτσι από πρακτικής πλευράς την αποδιδόμενη στον Ηράκλειτο (~ 500 π.Χ.) φιλοσοφική ρήση, ότι τα 'πάντα ρει'. Η ευρύτητα των εφαρμογών της Ρευστομηχανικής ουσιαστικά δεν έχει όρια και καθιστά την εκπαίδευση και την επιστημονική μελέτη της κίνησης των ρευστών και των ροϊκών φαινομένων απαραίτητη. Σ' αυτόν τον σκοπό έχει ταχθεί η προσπάθεια του βιβλίου από την πρώτη του παρουσία ως διδακτικού συγγράμματος για τους φοιτητές μηχανολόγους στο ομώνυμο μάθημα στη Πολυτεχνική Σχολή του Πανεπιστημίου Πατρών. Αλλά και μετέπειτα με τις επανεκδόσεις διευρυμένες προς νέες εξελίξεις της ρευστομηχανολογίας, ώστε να μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται ως εγχειρίδιο σε επαγγελματικές εφαρμογές.

Η παρούσα 4^η έκδοση της "Εφαρμοσμένης Ρευστομηχανικής" του 2010 διατηρεί τον τίτλο και τη βασική διάρθρωση των προηγούμενων εκδόσεων. Το βιβλίο έχει καταξιωθεί πλέον ως επιστημονική βάση και βιβλιογραφική αναφορά στον ελληνικό χώρο γεγονός που επιβάλλει την συχνότερη δυνατή αναπροσαρμογή της ύλης, η οποία είναι τώρα ριζικά ανανεωμένη και εμπλουτισμένη με πρόσθετα κεφάλαια, με εκτεταμένη βιβλιογραφία και λεπτομερές ευρετήριο

Το βιβλίο περιλαμβάνει εικοσιένα (21) κεφάλαια, διαφορετικής έκτασης και βαρύτητας το καθένα στη συνολική ύλη. Η Υδροστατική και Αεροστατική με κλασικό αντικείμενο την συμπεριφορά των ρευστών σε ηρεμία αποτελούν τα κεφάλαια 3 και 4. Στα κεφάλαια 1, 2, 5 και 6 περιέχεται το υπόβαθρο και η ύλη, που απαιτείται για να κατανοηθούν η φύση της ροής, οι ιδιότητες και η συμπεριφορά των ρευστών στις διάφορες συνθήκες χώρου, χρόνου, πίεσης και θερμοκρασίας. Η κίνηση των ρευστών και τα ροϊκά φαινόμενα υπόκεινται αυτονόητα στις βασικές αρχές της μηχανικής: τη διατήρηση της μάζας, τη διατήρηση της ορμής και τη διατήρηση της ενέργειας. Οι τρεις αυτές αρχές αναπτύσσονται για την μονοδιάστατη ροή στο κεφάλαιο 7 με πολλές εφαρμογές σε σημαντικά ρευστομηχανικά προβλήματα.

Το κεφάλαιο 8 έχει αντικείμενο τη ροή σε κλειστούς αγωγούς και τις εγκαταστάσεις αυτών με σύνηθες αναπόσπαστο στοιχείο τις Ρευστοδυναμικές Μηχανές, οι οποίες εξετάζονται επίσης ως προς τις αρχές λειτουργίας και τις εφαρμογές. Το Κεφάλαιο 9 περιλαμβάνει τα πολύπλοκα συστήματα δικτύων αγωγών με ειδική αναφορά σε δίκτυα ύδρευσης και μεταφοράς και διανομής καυσίμων, όπως λ.χ. Φυσικού Αερίου.

Το κεφάλαιο 10 περιέχει τη βασική θεωρία της ιδεώδους (άτριβης) ροής και τις προεκτάσεις της στη ροή πραγματικών ρευστών. Το κεφάλαιο 11 καλύπτει τη συμπιεστή ροή, δηλ. ροή αερίων σε διηχητικές, υπερηχητικές και υπερυπερηχητικές ταχύτητες, ενώ στο 12 καταστρώνονται οι πλήρεις θεμελιώδεις εξισώσεις διατήρησης Μάζας, Ορμής (Navier - Stokes) και Ενέργειας. Το κεφάλαιο 13 αφορά στην τυρβώδη ροή, η οποία κυριαρχεί στα προβλήματα της ρευστομηχανικής πρακτικής. Το κεφάλαιο 14, που είναι το εκτενέστερο του βιβλίου, έχει ως αντικείμενο την εισαγωγή στη θεωρία του οριακού στρώματος και τις εφαρμογές, όπου σημαντικό ρόλο παίζει η αντίσταση τριβής σε επιφάνειες σε στρωτή, τυρβώδη, ασυμπίεστη και συμπιεστή ροή. Η σύνδεση της ιδεώδους ροής με πραγματικά ροϊκά πεδία αποτελεί την προϋπόθεση για την μελέτη στο κεφάλαιο 15 των ροϊκών δυνάμεων στην αεροδυναμική. Η μελέτη επεκτείνεται σε υπερυπερηχητικά πεδία (Κεφάλαιο 16) γνωστά πλέον από τις

αεροδιαστημικές πτήσεις στη γήινη και τις πλανητικές ατμόσφαιρες. Η σύζευξη υπερταχυτήτων με υψηλές θερμοκρασίες κυριαρχεί και οδηγεί στην ανάγκη εξέτασης νέων ρευστομηχανικών προβλημάτων, τα οποία αναφέρονται σε υπέρθερμες ροές ακροφυσίων (Κεφάλαιο 17), στις ροϊκές συνθήκες του αεροδιαστημικού χώρου (Κεφάλαιο 18) και στην αντιμετώπιση του δύσκολου εμποδίου της ρευστοθερμικής καταπόνησης των επιφανειών των διαστημοχημάτων στις υψηλές ταχύτητες (Κεφάλαιο 19). Το Κεφάλαιο 20 συγκεντρώνει τα φυσικομαθηματικά εργαλεία ανάλυσης στη Ρευστομηχανική με ευρύτερη πληροφόρηση στη μεθοδολογία μελέτης και επίλυσης προβλημάτων.

Η εκτεταμένη βιβλιογραφία – ελληνική και ξενόγλωσση στο τελευταίο Κεφάλαιο 21 του βιβλίου – δείχνει την ευρύτητα του γνωστικού αντικειμένου της Ρευστομηχανικής και των εφαρμογών αυτής, των οποίων η ανάλυση ασφαλώς δεν εξαντλείται σε αυτό το σύγγραμμα, παρότι επιδιώχθηκε από τον συγγραφέα κάθε ροϊκό φαινόμενο και πρόβλημα να συσχετίζεται με παραδείγματα εφαρμογής και παρουσίας του στην τρέχουσα τεχνολογική πρακτική. Σ' αυτά τα φαινόμενα, τα παραδείγματα και τις εφαρμογές αλλά και στη συνολική θεματολογία του βιβλίου ο αναγνώστης – μελετητής οδηγείται με τη βοήθεια του Ευρετηρίου, το οποίο με τις σχεδόν 3.800 λέξεις και φράσεις – κλειδιά αποτελεί μια χρησιμότητα 'μηχανή αναζήτησης'.

Το περιεχόμενο του βιβλίου καλύπτει τη γενική ρευστομηχανική ύλη, που διδάσκεται στο προπτυχιακό στάδιο στους φοιτητές μηχανολόγους, πολιτικούς μηχανικούς, χημικούς μηχανικούς και φυσικούς και περιλαμβάνεται κυρίως στα κεφάλαια 1 μέχρι 10 και εν μέρει στα υπόλοιπα κεφάλαια. Η υπόλοιπη ύλη είναι προχωρημένου επιπέδου και αποτελεί το υπόβαθρο για την εκπόνηση πτυχιακών και μεταπτυχιακών εργασιών σε μια προσπάθεια να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ θεωρίας και πράξης και κυρίως να διευκολύνει την μετάβαση από την εκπαίδευση στην έρευνα, στη τεχνική μελέτη και τελικά στην υλοποίηση τεχνικών σχεδίων. Προς αυτή τη κατεύθυνση στοχεύει επίσης η παράθεση 160 επιλεγμένων διεθνών ιστοτόπων (websites) στο Κεφάλαιο 20 για την άντληση έγκυρων στοιχείων και πληροφόρησης σε ρευστομηχανικά θέματα. Τέλος, παρά την προσπάθεια να διορθωθούν όλα τα παροράματα ή λάθη από προηγούμενες εκδόσεις, είναι στατιστικώς πολύ πιθανό κάποια να παραμένουν ή νέα να έχουν παρεισφρήσει. Ενθαρρύνω λοιπόν κάθε ενδιαφερόμενο για σχετική παρατήρηση να επικοινωνήσει μαζί μου - ασφαλώς και για άλλα ρευστομηχανικά θέματα - μέσω της ιστοσελίδας του βιβλίου

www.papanikas.gr ή στις διευθύνσεις papanikas@mech.upatras.gr, dgpap@otenet.gr

Πάτρα, Αύγουστος 2010

Δημήτριος Γ. Παπανίκας

Από τους Προλόγους προηγούμενων εκδόσεων 1976, 1980, 2000

Η επιστήμη και η τεχνική της Ρευστομηχανικής διεισδύει σε πολλούς τυπικούς και άτυπους κλάδους της τεχνολογίας από τη φυσική, αστροφυσική, ιατρική, βιολογία, χημεία και τα μαθηματικά έως την αεροναυτική, μηχανολογία, την τεχνολογία πολιτικού μηχανικού και περιβάλλοντος και ακόμη την ηλεκτρολογία και πυρηνική τεχνολογία. Τούτο τεκμηριώνεται αυτονόητα από το γεγονός, ότι όλες οι κατασκευές, οι μηχανές και τα έμβια όντα υπάρχουν, λειτουργούν και βιώνουν μέσα σε περιβάλλον αέρα

ή νερού ή χρησιμοποιούν αέρα ή νερό ή άλλα ρευστά (υγρά ή αέρια μέσα, καύσιμα, αίμα κ.ά.) για τις ζωτικές τους λειτουργίες.

Η ευρύτητα της Ρευστομηχανικής επιβάλλει οι εφαρμογές της να καλύπτουν μεγάλο μέρος της ύλης, που διδάσκεται ο σπουδαστής τεχνολογικών και θετικών επιστημών, εμφανίζονται σε πλήθος προβλημάτων της θεωρίας και πράξης και συνοδεύουν τον ερευνητή και το μηχανικό εφαρμογής σ' όλα τα αντικείμενα έρευνας και μελέτης, που έχουν σχέση με ρευστά μέσα. Η σύνθεση της ύλης της "Εφαρμοσμένης Ρευστομηχανικής" έχει στόχο να συμπληρώσει τις βιβλιογραφικές ανάγκες σ' όλες τις στάθμες της τεχνικής μόρφωσης στον ελληνικό χώρο και να διευκολύνει την εισαγωγή του ερευνητή σε ειδικά κεφάλαια της Ρευστομηχανικής.

Κατά τη συγγραφή υπήρξε σημαντική συμβολή του εκλεκτού επί χρόνια συνεργάτη μου, καθηγητή κ. Διον. Μάργαρη με τη γενική επιμέλεια της έκδοσης και συγγραφική προσφορά, καθώς και του Δρ. Μηχανολόγου - Μηχ. κ. Δημ. Φέρτη, ειδικά στα κεφάλαια περί δικτύων αγωγών και πολυφασικής ροής. Ο Δρ. Μηχανολόγος - Μηχ. κ. Απ. Σπυρόπουλος συνέβαλλε ιδιαίτερα στη συγγραφή του κεφαλαίου της Αεροδυναμικής.

Επίσης στην πολυετή ωρίμανση της ύλης της "Εφαρμοσμένης Ρευστομηχανικής" συνέβαλλαν εμμέσως αρκετοί προπτυχιακοί και μεταπτυχιακοί φοιτητές, που εκπόνησαν σπουδαστικές, διπλωματικές και διδακτορικές διατριβές στο Εργαστήριο Μηχανικής των Ρευστών υπό την εποπτεία και την καθοδήγηση του συγγραφέα.

Είναι επίσης αυτονόητο να εκφράσω την αναγνώριση της συμβολής αυτών, οι οποίοι βοήθησαν στην επιλογή και καθοδήγηση στα πρώτα χρόνια της ενασχόλησής μου στον τομέα της Ρευστομηχανικής, επαναλαμβάνοντας το σχετικό απόσπασμα από τον πρόλογο της πρώτης έκδοσης αυτού του βιβλίου:

"Σ' αυτή τη θέση έχω την ευκαιρία να αναφέρω με ζωντανή τη μνήμη και ιδιαίτερη ευχαρίστηση, όσους κατά κάποιο τρόπο έχουν συμβάλει στη συγγραφή αυτού του βιβλίου. Είναι οι δάσκαλοί μου καθηγητές F. Seewald (+) και A. Naumann (+), πρώην διευθυντές του Aerodynamisches Institut της Technische Hochschule Aachen, στους οποίους οφείλω το ενδιαφέρον μου στη Ρευστομηχανική και οι καθηγητές A. Heyser (+), πρώην διευθυντής του Institut für Angewandte Gasdynamik του Deutsche Forschungs - und Versuchsanstalt für Luft - und Raumfahrt (DFVLR), και M. Fiebig, πρώην διευθυντής του Institut für Thermo - und Fluidodynamik του Universitaet Bochum, που με τη βοήθειά τους εδραίωσα την προτίμησή μου στη Ρευστομηχανική."

Τέλος επιθυμώ από βάθος καρδιάς ευχαριστώντας να τονίσω, ότι η συγγραφή του βιβλίου απαίτησε το μεγαλύτερο μέρος του ελεύθερου χρόνου, που ανήκε και στην οικογένειά μου, η οποία πρόσφερε κατανόηση και ενθάρρυνση. Είναι η γυναίκα μου Μαίρη και τα παιδιά μου Φρατζέσκα, Γιώργος - Ανδρέας και Άρτεμις. Μόνο αυτοί και οι συνάδελφοι συγγραφείς μπορούν να κατανοήσουν το μέγεθος αλλά και το κόστος για την οικογενειακή ζωή αυτής της προσπάθειας

Δ.Γ.Π.

