



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου • ΤΗΛ.: 7723572, FAX: 7723571

Αρ.Πρωτ.: 9558

Αθήνα, 25-11-2015

Προς τα Μέλη ΔΕΠ της  
Σχολής Μηχ/γων  
Μηχ/κών

### ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του **ΓΡΑΨΑ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ** του Αλεξάνδρου, Διπλωματούχος **Μηχανολόγος Μηχανικός του ΕΜΠ**, που θα πραγματοποιηθεί την Παρασκευή 11 Δεκεμβρίου 2015, ώρα 13:30μ.μ. στην Αίθουσα Διαλέξεων του κτιρίου των Εργαστηρίων Αεροδυναμικής-Ναυπηγικής-Υδροδυναμικών Μηχανών (ΑΝΥΜ, 2<sup>ος</sup> όροφος) της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών- Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Το Θέμα της Διδακτορικής Διατριβής είναι:

«**Σχεδίαση βέλτιστων πτερωτών Υδροδυναμικών Μηχανών**»

Επισυνάπτεται περίληψη της παραπάνω Διδακτορικής Διατριβής

Ο ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ

Η. ΤΑΤΣΙΟΠΟΥΛΟΣ  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

### ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΠΤΕΡΩΤΩΝ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

ΓΡΑΨΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή με τίτλο “Σχεδίαση Βέλτιστων Πτερωτών Υδροδυναμικών Μηχανών” αναπτύχθηκε μια υπολογιστική διαδικασία σχεδιασμού πτερυγίων υδροδυναμικών μηχανών (αντλιών και υδροστροβίλων), με βελτιωμένη απόδοση και συμπεριφορά ως προς τη σπηλαίωση και τα λοιπά υδροδυναμικά χαρακτηριστικά. Η αριθμητική μεθοδολογία περιλαμβάνει την παραμετροποίηση των επιφανειών της πτερωτής καθώς και άλλων υδροδυναμικών στοιχείων, τη μοντελοποίηση της ροής και τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της πτερωτής με χρήση εξελικτικών αλγορίθμων.

Πιο αναλυτικά, για την επίλυση του πολύπλοκου πεδίου ροής των υδροδυναμικών μηχανών χρησιμοποιήθηκε μια αριθμητική τεχνική διακριτοποίησης των όρων συναγωγής των εξισώσεων μεταφοράς, η οποία επιτρέπει την εφαρμογή της μεθόδου των όγκων ελέγχου σε μη δομημένα, ομόθετα, καρτεσιανά πλέγματα. Στην παρούσα εργασία το ρευστό θεωρήθηκε ασυμπίεστο, συνεκτικό και η ροή διδιάστατη αρχικά και τριδιάστατη στην πορεία της εργασίας, μόνιμη στο στρεφόμενο σύστημα. Για τη μοντελοποίηση της τυρβώδους ροής χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο k-ε. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της μη ταύτισης των γραμμών των καρτεσιανών πλεγμάτων με τα όρια του υπολογιστικού χώρου εφαρμόστηκε η μέθοδος των μερικώς μπλοκαρισμένων κελιών, η οποία συνδυάζεται στην εργασία αυτή με τη τεχνική της αυτόματης τοπικής πύκνωσης του πλέγματος σε περιοχές αυξημένων κλίσεων.

Προκειμένου να ελεγχθεί η αξιοπιστία του κώδικα προσομοίωσης της ροής της ακτινικής πτερωτής φυγοκεντρικής αντλίας, κατασκευάστηκε ειδική πειραματική διάταξη. Τα πειραματικά αποτελέσματα επαληθεύτηκαν συγκρινόμενα με παλαιότερα αποτελέσματα της ίδιας πτερωτής, όταν αυτή ήταν τοποθετημένη εντός σπειροειδούς κελύφους, και χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια σε αντιπαραβολή με όλες τις προλέξεις του διδιάστατου και τριδιάστατου πεδίου. Στο πλαίσιο ελέγχου επίσης της αξιοπιστίας του κώδικα, η αριθμητική μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε σε κάποια μόνιμα πεδία στρωτής αλλά και τυρβώδους ροής, όπως η ροή σε βαθμίδα, η ελαχιστοποίηση της υδροδυναμικής αντίστασης σώματος σταθερού όγκου και ο βέλτιστος σχεδιασμός υδραυλικού στοιχείου. Οι προλέξεις συγκρίθηκαν με τα διαθέσιμα από τη βιβλιογραφία πειραματικά δεδομένα ή/και προλέξεις, δίνοντας εξαιρετικά αποτελέσματα.

Στη συνέχεια, η αριθμητική μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε για τη διδιάστατη μοντελοποίηση της ροής σε πτερύγια ακτινικής πτερωτής, με ένα τόξο κύκλου, όπως δηλαδή και η πειραματική πτερωτή αναφοράς. Ακολούθως έγινε εφαρμογή της μεθοδολογίας για τη βελτιστοποίηση της ακμής πρόσπτωσης πτερυγίου ακτινικής πτερωτής. Ο σχεδιασμός της μέσης γραμμής υλοποιήθηκε με τη μέθοδο του σύμμορφου μετασχηματισμού, ενώ η ακμή πρόσπτωσης περιγράφηκε με δύο καμπύλες Bezier, οι οποίες χρησιμοποιούν από τέσσερα σημεία ελέγχου η καθεμιά. Αφού πραγματοποιήθηκε μια προκαταρκτική μελέτη με πέντε διαφορετικές περιπτώσεις-γεωμετρίες της ακμής πρόσπτωσης, βελτιστοποιήθηκε η γεωμετρία της ακμής σε πρώτη φάση μόνο στο Κανονικό Σημείο Λειτουργίας (ΚΣΛ) και, στη συνέχεια, σε μια περιοχή γύρω από το ΚΣΛ. Η βελτιστοποίηση, πραγματοποιήθηκε με τον αλγόριθμο

βελτιστοποίησης Evolutionary Algorithms System που έχει αναπτυχθεί από τη Μονάδα Παράλληλης Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής & Βελτιστοποίησης, του ΕΜΠ.

Στην επόμενη εφαρμογή βελτιστοποιήθηκε η μέση γραμμή πτερυγίων ακτινικής πτερωτής, τα οποία σχεδιάζονται με τη μέθοδο της κατ' ευθείαν ολοκλήρωσης. Ο υπολογιστικός αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε σε μια προκαταρκτική μελέτη για να βρεθεί το μήκος του πτερυγίου που βελτιστοποιεί το βαθμό απόδοσης της πτερωτής και σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης προκειμένου να βρεθεί το μήκος του πτερυγίου και ο αριθμός των πτερυγίων που βελτιστοποιούν τη συμπεριφορά της πτερωτής. Τέλος, όσον αφορά τις διδιάστατες γεωμετρίες μελετήθηκε ο σχεδιασμός διδιάστατων πτερυγίων με καμπύλες Bezier και διαφορετικό αριθμό σχεδιαστικών παραμέτρων. Η μελέτη ξεκινά με τη σχεδίαση της μέσης γραμμής με πολυώνυμο Bezier και πέντε ελεύθερες σχεδιαστικές παραμέτρους. Οι ακμές πρόσπτωσης και εκφυγής περιγράφονται επίσης από μια καμπύλη Bezier με τέσσερα (4) σημεία ελέγχου. Οι προλέξεις συγκρίνονται με τις πειραματικές μετρήσεις παρέχοντας αρκετά βελτιωμένη συμπεριφορά, τόσο στο κανονικό σημείο λειτουργίας, όσο και στο υπόλοιπο εύρος παροχών. Η βελτιστοποιημένη γεωμετρία με χρήση πέντε (5) ελεύθερων παραμέτρων συγκρίνεται με τη βέλτιστη γεωμετρία που προκύπτει με μία μόλις παράμετρο και οι προλέξεις αξιολογούνται ως προς τις πειραματικές μετρήσεις.

Στη συνέχεια η μελέτη επεκτείνεται στο τριδιάστατο πεδίο ροής πτερωτής φυγόκεντρης αντλίας ακτινικής ροής και πιο συγκεκριμένα στην παραμετροποίηση, αριθμητική μελέτη και βελτιστοποίηση πτερωτής με τριδιάστατα πτερύγια χωρίς στρεβλότητα. Στο πλαίσιο αυτό πραγματοποιείται η παραμετροποίηση τόσο της γεωμετρίας της πτερωτής όσο και των πτερυγίων. Τα πτερύγια σε αυτή την πρώτη, απλή εφαρμογή σχεδιάζονται με ένα τόξο κύκλου και η πτερωτή ακολουθεί τα χαρακτηριστικά της πτερωτής αναφοράς. Περιγράφεται επίσης η αριθμητική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την επίλυση της ροής, αναπτύσσεται η επέκταση στις τρεις διαστάσεις της μεθόδου των μερικώς μπλοκαρισμένων κελιών και περιγράφεται το υπολογιστικό πλέγμα. Κατά τη διάρκεια μιας παραμετρικής μελέτης βελτιστοποίησης της τριδιάστατης πτερωτής με πτερύγια χωρίς καμπυλότητα, το αριθμητικό μοντέλο εφαρμόζεται για τη μελέτη και τον έλεγχο της επιρροής του πλάτους εισόδου του πτερυγίου,  $b_1$ , του πλάτους εξόδου του πτερυγίου,  $b_2$  καθώς και του μήκους του πτερυγίου, στην υδροδυναμική της συμπεριφορά και το βαθμό απόδοσης.

Στη συνέχεια, και προκειμένου να ελεγχθούν οι προλέξεις της αριθμητικής μεθοδολογίας της τριδιάστατης πτερωτής, αλλά και για την προσομοίωση της 3D πτερωτής με πτερύγια διπλής καμπυλότητας, χρησιμοποιήθηκε ο εμπορικός κώδικας επίλυσης της ροής Fluent<sup>®</sup>. Οι προλέξεις του εμπορικού κώδικα συγκρίνονται με τις προλέξεις του Πανεπιστημίου Πατρών, στο πλαίσιο κοινής εργασίας για την ίδια πτερωτή, με πολύ καλά αποτελέσματα.

Στα επόμενα κεφάλαια διερευνήθηκε το τριδιάστατο πεδίο ροής πτερωτής με τριδιάστατα πτερύγια διπλής καμπυλότητας και διαφορετικές σχεδιαστικές παραμέτρους. Στην προκαταρκτική μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ως ελεύθερες σχεδιαστικές παράμετροι : το μήκος του πτερυγίου, το πλάτος εισόδου της πτερωτής καθώς και η κλίση της ακμής πρόσπτωσης. Επίσης υλοποιήθηκε η παραμετροποίηση της μέσης γραμμής του τριδιάστατου πτερυγίου με καμπύλη Bezier και τρία σημεία ελέγχου. Έτσι, συνολικά η παραμετρική μελέτη της πτερωτής περιέλαβε εικοσι μία (21) παραμέτρους σχεδιασμού: ένα σημείο ελέγχου της μέσης γραμμής, τη γεωμετρία της ακμής πρόσπτωσης, την περικλυόμενη γωνία  $\theta_w$ , το πλάτος εισόδου, την κλίση της ακμής πρόσπτωσης και την καμπυλότητα της ακμής πρόσπτωσης.

Τέλος, έγινε μια γενικευμένη προσπάθεια σχεδιασμού πτερωτών υδροδυναμικών μηχανών χρησιμοποιώντας και τη μεσημβρινή τομή της πτερωτής και τη μέχρι τώρα τριδιάστατη γεωμετρία. Κατά το σχεδιασμό, η ακμή εισόδου, η μέση γραμμή, η πλήμνη και η στεφάνη αναπαρίσταται με πέντε σημεία ελέγχου Bezier. Επίσης, ως ελεύθερες παράμετροι χρησιμοποιούνται : η γωνία που σχηματίζει η ακμή εκφυγής με την οριζόντια διαμόρφωση εισόδου στην πτερωτή, η κλίση της ακμής πρόσπτωσης, το πλάτος εισόδου και το μήκος του πτερυγίου. Συνολικά στο τελευταίο στάδιο του σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκαν τριάντα μία (31) ελεύθερες παράμετροι. Οι προλέξεις συγκρίνονται με τα πειραματικά αποτελέσματα αναδεικνύοντας για άλλη μια φορά βελτίωση, έστω και μικρή, της συμπεριφοράς της πτερωτής, ως συνάρτηση του αριθμού των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται για την παραμετροποίηση των πτερυγίων και της πτερωτής.