



## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

### ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Πολυτεχ/πολη Ζωγράφου 157 80✈ Τηλ. : 210 772 1347 Τηλ/πια : 210 772 3541

Αρ.Πρωτ.: 28714

Αθήνα, 13/7/2017

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

#### ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του **ΧΡΥΣΟΒΕΡΓΗ ΜΑΡΙΟΥ**, Διπλωματούχου **Μηχανολόγος Μηχανικός του ΕΜΠ**, που θα πραγματοποιηθεί τη Δευτέρα 24 Ιουλίου 2017, ώρα 15:00μ.μ. στην Αίθουσα Τηλεδιάσκεψης 2 του Κτιρίου της Βιβλιοθήκης του ΕΜΠ Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Ο τίτλος της Διδακτορικής Διατριβής είναι ο εξής :

**«ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ & ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΘΩΡΙΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΥΘΕΙΑΣ & ΑΝΑΣΤΡΟΦΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ»**

Επισυνάπτεται περίληψη της παραπάνω Διδακτορικής Διατριβής

Ο ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ

**Η. ΓΑΓΚΙΟΠΟΥΛΟΣ**  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



## Περίληψη

Οι υδροστρόβιλοι είναι υδροδυναμικές μηχανές σχεδιασμένες ώστε να εκμεταλλεύονται το υδραυλικό δυναμικό προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, σε αρκετές περιπτώσεις το κόστος αγοράς των μηχανών αυτών, καθώς και του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ελέγχου της λειτουργίας τους κρίνεται οικονομοτεχνικά ασύμφορο για την εκμετάλλευση δυναμικού χαμηλής ισχύος. Για τον λόγο αυτόν, πρόσφατα άρχισε να διερευνάται συστηματικότερα η δυνατότητα χρήσης τυποποιημένων αντλιών σε ανάστροφη λειτουργία [Pumps-as-Turbines, PAT], οι οποίες έχουν σημαντικά μικρότερο κόστος κτήσης από τους τυποποιημένους υδροστρόβιλους με αντίστοιχα λειτουργικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, οι PAT εμφανίζουν ορισμένα συγκριτικά μειονεκτήματα ως προς τους υδροστρόβιλους, με σημαντικότερα το χαμηλότερο βαθμό απόδοσης και τη δυσκολία ρύθμισης του σημείου λειτουργίας τους.

Στόχος της Διατριβής είναι η αριθμητική ανάλυση και μελέτη της ροής κατά την ευθεία και ανάστροφη λειτουργία φυγοκεντρικών αντλιών και η ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων παραμετρικής χάραξης και βελτιστοποίησης του υδροδυναμικού σχεδιασμού τους, με στόχο τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης ως PAT. Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση αυτή ήταν μια σειρά εναλλακτικών αλγορίθμων παραμετρικού σχεδιασμού της γεωμετρίας φυγοκεντρικών αντλιών, ένα εμπορικό πρόγραμμα ψηφιακής σχεδίασης για την κατασκευή των υπολογιστικών χωρίων και τη δημιουργία των αριθμητικών πλεγμάτων [Gambit], ένα εμπορικό λογισμικό υπολογιστικής ρευστοδυναμικής για την προσομοίωση της ροής και την αξιολόγηση των παραγόμενων γεωμετριών [Fluent] και ένα γενικό λογισμικό αριθμητικής βελτιστοποίησης [EASY].

Αρχικά, αναπτύχθηκαν μέθοδοι παραμετρικού σχεδιασμού για τα τμήματα της πτερωτής, του σπειροειδούς κελύφους και της στεφάνης ρυθμιστικών πτερυγίων. Ο σχεδιασμός της πτερωτής βασίστηκε στην υδροδυναμική θεωρία και σε εμπειρικά δεδομένα, εισάγοντας παράλληλα διαφορετικές προσεγγίσεις για τη χάραξη του μεσημβρινού καναλιού και την τριδιάστατη μορφή των πτερυγίων. Η παραμετροποίηση της γεωμετρίας του σπειροειδούς κελύφους έγινε με γνώμονα την προσαρμογή της στις διαστάσεις της συνεργαζόμενης πτερωτής/δρομέα, εξασφαλίζοντας παράλληλα την ομαλή οδήγηση της ροής στο εσωτερικό του. Η ακτινική στεφάνη ρυθμιστικών πτερυγίων διαστασιολογήθηκε ως προς τα συνεργαζόμενα τμήματά και σχεδιάστηκε με συμμετρικές υδροτομές, ελέγχοντας το άνοιγμα ως προς τη σχετική γωνία των πτερυγίων. Οι μέθοδοι αυτές επιτρέπουν μεγάλη σχεδιαστική ευελιξία με σχετικά μικρό αριθμό ελεύθερων

σχεδιαστικών παραμέτρων, επομένως μπορούν ευχερώς να ενταχθούν σε διαδικασίες βελτιστοποίησης σχεδιασμού φυγοκεντρικών αντλιών και ΡΑΤ.

Η υπολογιστική διερεύνηση διεξήχθη κατ' αρχήν τμηματικά στην πτερωτή/δρομέα και στο κέλυφος φυγοκεντρικής αντλίας για την αντλητική και την ανάστροφη λειτουργία της γύρω από ένα ζητούμενο κανονικό σημείο λειτουργίας [ΚΣΛ]. Για την αντλητική λειτουργία, δημιουργήθηκαν και μελετήθηκαν διάφορες γεωμετρίες αναφοράς με τις αντίστοιχες σχεδιαστικές μεθόδους. Ακολούθως, διεξήχθησαν βελτιστοποιήσεις του σχεδιασμού της πτερωτής, θέτοντας ως στόχο τη μεγιστοποίηση της υδραυλικής απόδοσης, με τις επιλεγόμενες νέες γεωμετρίες να προσαρμόζονται στο ζητούμενο ΚΣΛ, επιτυγχάνοντας παράλληλα αύξηση της απόδοσης κατά 0,3% έως 7,5% έναντι των αντιστοίχων αρχικών.

Στην ανάστροφη λειτουργία, οι νέες αυτές πτερωτές εξετάστηκαν ως αρχικοί δρομείς ΡΑΤ. Αρχικά μελετήθηκαν οι συνθήκες εισόδου της ροής που επιβάλλει το σπειροειδές κέλυφος. Στη συνέχεια, μελετήθηκαν 3 τύποι σχεδιαστικών παρεμβάσεων στις ΡΑΤ, με γνώμονα τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης. Διεξήχθησαν δύο διαδικασίες βελτιστοποίησης για τον ανασχεδιασμό της γεωμετρίας του δρομέα και εξετάστηκε η προσθήκη διαχωριστικών πτερυγίων σε αρχικό δρομέα ΡΑΤ. Τέλος, μελετήθηκε η παρεμβολή στεφάνης ρυθμιστικών πτερυγίων μεταξύ του κελύφους και του δρομέα για τη ρύθμιση της διερχόμενης ροής. Σε όλες τις εξεταζόμενες σχεδιαστικές τροποποιήσεις επιτεύχθηκε σημαντική αύξηση του ενεργειακού βαθμού απόδοσης έναντι των αντιστοίχων αρχικών ΡΑΤ, με εκείνη της προσθήκης διαχωριστικών πτερυγίων να προκρίνεται ως η πλέον υποσχόμενη, καθώς απαιτεί μικρότερες τεχνικές παρεμβάσεις και επιτρέπει την εκ των προτέρων ρύθμιση του ανάστροφου ΚΣΛ.

Στη συνέχεια, το πεδίο ροής στις περιπτώσεις και τα σημεία λειτουργίας για αντλία και ΡΑΤ που εξετάστηκαν στην τμηματική διερεύνηση προσομοιώθηκε και στα πλήρη υπολογιστικά χωρία των αντιστοίχων γεωμετριών, επιβεβαιώνοντας την καλή προσαρμογή των νέων πτερωτών στο επιθυμητό ΚΣΛ και την αξιοπιστία και ακρίβεια της μεθόδου τμηματικής προσομοίωσης, αλλά και τη σημαντική εξοικονόμηση υπολογιστικών πόρων που επιτυγχάνεται με αυτή. Ακόμα, στις παραπάνω περιπτώσεις μελετήθηκε αριθμητικά η χρονική διακύμανση του πεδίου πιέσεων και ταχυτήτων στην περιοχή εισόδου της ροής από το κέλυφος στον δρομέα, η οποία προκαλείται λόγω του πεπερασμένου αριθμού των στρεφόμενων πτερυγίων. Διαπιστώθηκε ότι οι διακυμάνσεις αυτές εξομαλύνονται με τις βελτιωμένες σχεδιαστικές διαμορφώσεις των δρομέων που εισήχθησαν. Τέλος, οι προκύπτουσες τιμές των αδιάστατων παραμέτρων λειτουργίας των εξεταζόμενων ΡΑΤ, οι οποίες συσχετίζουν τα ΚΣΛ αντλητικής και ανάστροφης λειτουργίας, συγκρίθηκαν με τα

αντίστοιχα αποτελέσματα των επικρατέστερων στατιστικών συσχετίσεων της βιβλιογραφίας, εμφανίζοντας ικανοποιητική συμφωνία.

Η ολοκληρωμένη μεθοδολογία υπολογιστικής ανάλυσης και βελτιστοποίησης σχεδιασμού και λειτουργίας των PAT εφαρμόστηκε για τον ανασχεδιασμό της πτερωτής μιας τυποποιημένης εμπορικής φυγοκεντρικής αντλίας. Η νέα πτερωτή κατασκευάστηκε από σύνθετο υλικό με τριδιάστατη εκτύπωση και η ανάστροφη λειτουργία της συγκρίθηκε με εκείνη της αρχικής πτερωτής, διεξάγοντας πειραματικές μετρήσεις στις εγκαταστάσεις του ΕΥΜ/ΕΜΠ. Διαπιστώθηκε ότι επιτυγχάνεται σημαντική βελτίωση του βαθμού απόδοσης της νέας PAT, της τάξης του 6,5%. Η βελτίωση αυτή συμφωνεί ικανοποιητικά με εκείνη που εκτιμήθηκε από τις αριθμητικές προσομοιώσεις της ροής στους δύο δρομείς, επιβεβαιώνοντας την καταλληλότητα της μεθοδολογίας για βιομηχανική χρήση. Επιπλέον, οι σχεδιαστικές βελτιώσεις της αρχικής πτερωτής δεν απαιτούν ουσιαστικές τροποποιήσεις στη διαδικασία και τα υλικά κατασκευής της, επομένως διατηρούν το χαμηλό κόστος παραγωγής μιας τυποποιημένης αντλίας.