



ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Α.Π. : 47332
Αθήνα, 9-10-23

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

Προς
τα Μέλη ΔΕΠ
της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του Υποψήφιου Διδάκτορα κ. ΚΑΣΣΑΝΟΥ Ιωάννη του Δημητρίου, Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και κατόχου Μεταπτυχιακού Διπλώματος «Master of Science in Energy Conversion and Management With Distinction» του University of Nottingham.

Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί την Τετάρτη 18 Οκτωβρίου 2023 και ώρα 12:00 το μεσημέρι, δια ζώσης, στην Αίθουσα Διδασκαλίας στο κτίριο ANYM στον 2^ο όροφο, στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, με δυνατότητα εξ' αποστάσεως συμμετοχής, μέσω της ηλεκτρονικής πλατφόρμας WEBEX meeting, στο meeting link: <https://centralntua.webex.com/centralntua/j.php?MTID=m792c22c4e51f53a5238d9be4bb69c512>

Ο τίτλος της Διδακτορικής της Διατριβής είναι:

«Ανάπτυξη μεθοδολογίας σχεδίασης υδροστροβίλων αντίδρασης με υψηλό βαθμό απόδοσης και βελτιωμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά σε μεγάλο εύρος συνθηκών λειτουργίας»

Ο Κοσμήτορας της Σχολής

Ι. Αντωνιάδης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Περίληψη

Η ταχεία και εκτενής ενσωμάτωση της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι απαραίτητη για την επίτευξη των ενεργειακών στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Εν τούτοις, λόγω της υψηλής μεταβλητότητας και στοχαστικότητας των πηγών αυτών, η παραγόμενη ενέργεια εμφανίζει σημαντική χρονική και χωρική διακύμανση, οδηγώντας τελικά σε αστάθεια του ηλεκτρικού δικτύου. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του διαθέσιμου υδραυλικού δυναμικού μίας περιοχής, η οποία επιτρέπει τη συνεχή και ευέλικτη παραγωγή ενέργειας λόγω της σταθερότητας και ευελιξίας που την χαρακτηρίζουν.

Η μετατροπή της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια επιτυγχάνεται μέσω των υδροστροβίλων, οι οποίοι είναι υδροδυναμικές μηχανές κατάλληλα σχεδιασμένες για το σκοπό αυτό. Ο συνηθέστερος τύπος υδροστροβίλων είναι ο υδροστρόβιλος Francis ο οποίος καλύπτει ένα πολύ μεγάλο πεδίο εφαρμογής με υψηλούς βαθμούς απόδοσης και υψηλή αξιοπιστία. Η ανάγκη όμως για περαιτέρω αύξηση της ευελιξίας της ηλεκτροπαραγωγής ωθεί τη λειτουργία των μηχανών αυτών σε εκτεταμένο εύρος λειτουργίας και σε συνθήκες οι οποίες χαρακτηρίζονται από δυνητικά χαμηλότερους βαθμούς απόδοσης και από την εμφάνιση μεταβατικών φαινομένων που είναι δυνατό να επηρεάσουν δυσμενώς τον κύκλο ζωής του εξοπλισμού. Για το λόγο αυτό γίνεται ιδιαίτερα σημαντική η συστηματική μελέτη της λειτουργίας των υδροστροβίλων σε αυτές τις συνθήκες, καθώς και η σχεδίαση μηχανών με βελτιωμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά. Οι παραπάνω απαιτήσεις καθιστούν επιτακτική την ανάπτυξη νέων εργαλείων σχεδιασμού, μοντελοποίησης και πρόλεξης της ροής, καθώς και την αξιολόγηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των υδροστροβίλων ώστε να είναι εφικτή η λειτουργία τους σε ακραίες υδραυλικές συνθήκες, εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό την υψηλή τους αξιοπιστία.

Τα τελευταία χρόνια, με την εξέλιξη του τομέα της υπολογιστικής ρευστομηχανικής, έχει εφαρμοστεί η χρήση αλγορίθμων και εργαλείων αριθμητικής προσομοίωσης για τη διερεύνηση της ροής στους υδροστρόβιλους. Αυτό έχει οδηγήσει στην εμβάθυνση της κατανόησης των φαινομένων ροής σε αυτούς, και έχει επιτρέψει τη διεξαγωγή αξιόπιστων προσομοιώσεων ακόμα και σε σημεία λειτουργίας στα οποία εμφανίζονται πολύπλοκα ροϊκά φαινόμενα όπως αποκολλήσεις, ανακυκλοφορίες και μη μόνιμες συνθήκες που συναντώνται κατά τη λειτουργία σε μερικά φορτία, είτε κατά την εκκίνηση του υδροστροβίλου ή την απόρριψη φορτίου. Αυτή η δυνατότητα παρέχει στους σχεδιαστές τα εργαλεία για να αξιολογούν νέες σχεδιαστικές προσεγγίσεις που έχουν βελτιωμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά. Ταυτόχρονα, παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την απρόσκοπτη και αξιόπιστη λειτουργία ενός υδροηλεκτρικού σταθμού κατά τη φάση του σχεδιασμού. Την ίδια στιγμή, η χρήση αυτών των εργαλείων διευκολύνει τη βελτίωση της απόδοσης και τη σημαντική μείωση του χρόνου και του κόστους που σχετίζονται με το σχεδιασμό και την κατασκευή των μηχανών αυτών. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η σχεδίαση υδροστροβίλων είναι ένα πολύπλοκο πρόβλημα που αντιμετωπίζει αντιφατικούς στόχους, απαιτώντας τη σωστή ισορροπία μεταξύ των διάφορων παραμέτρων. Επομένως, η ανάπτυξη αυτοματοποιημένων διαδικασιών σχεδίασης είναι επιτακτική, δίνοντας τη δυνατότητα να εξετάζονται πολλές διαφορετικές γεωμετρίες για την εύρεση της βέλτιστης λύσης, ανάλογα με τα κριτήρια σχεδιασμού και ανεξαρτήτως της εμπειρίας του χρήστη.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη ροϊκών φαινομένων στους υδροστροβίλους Francis τόσο στο κανονικό σημείο λειτουργίας όσο και σε σημεία εκτός του κανονικού, η ανάπτυξη μεθοδολογίας σχεδίασης με σκοπό την αύξηση του βαθμού απόδοσης

σε μεγάλο εύρος συνθηκών λειτουργίας, καθώς και η εφαρμογή σχεδιαστικών παρεμβάσεων για την εξασφάλιση ομαλής και αποδοτικής λειτουργίας. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκε πειραματικά εργαστηριακό μοντέλο υδροστροβίλου Francis, χαράχθηκαν οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας και μελετήθηκαν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μηχανής σε όλο το εύρος των συνθηκών λειτουργίας. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκε το αριθμητικό μοντέλο της εργαστηριακής διάταξης και διενεργήθηκαν αριθμητικές προσομοιώσεις στα αντίστοιχα σημεία λειτουργίας. Από τη σύγκριση των αριθμητικών και των πειραματικών αποτελεσμάτων ήταν δυνατή η πιστοποίηση της αριθμητικής μεθόδου και των αριθμητικών αποτελεσμάτων. Από την ανάλυση απωλειών στα μεμονωμένα τμήματα της μηχανής ήταν δυνατό να ταυτοποιηθούν οι σημαντικότερες παραμέτροι που δύναται να επηρεάσουν τον υδραυλικό βαθμό απόδοσης της μηχανής καθώς και να συσχετιστούν με τα εκάστοτε σημεία λειτουργίας, συμβάλλοντας στην ορθή επιλογή των στόχων σχεδιασμού. Παράλληλα, αναπτύχθηκε ένα νέο αριθμητικό εργαλείο σχεδίασης υδροστροβίλων αντιδρασης που συνδυάζει παραδοσιακές τεχνικές με σύγχρονες τεχνικές CAD για την παραμετρική περιγραφή όλων των επιμέρους τμημάτων της μηχανής, ένα εργαλείο αριθμητικής προσομοίωσης και ένα εργαλείο βελτιστοποίησης. Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιήθηκε για τη σχεδίαση ενός νέου υδροστροβίλου Francis χαμηλού ειδικού αριθμού στροφών το οποίο εμφάνιζε αυξημένο βαθμό απόδοσης σε μεγάλο εύρος συνθηκών λειτουργίας. Ακολούθως, κατασκευάστηκε το μοντέλο του νέου δρομέα και μελετήθηκε τόσο πειραματικά όσο και αριθμητικά, εφαρμόζοντας τα συμπεράσματα της προηγούμενης ανάλυσης. Από τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής προέκυψε μία αξιοσημείωτη συμφωνία μεταξύ των αριθμητικών και των πειραματικών δεδομένων, πιστοποιώντας με τον τρόπο αυτό την παρούσα μεθοδολογία σχεδίασης καθώς και την αριθμητική μέθοδο που εφαρμόστηκε.

Για την περαιτέρω κατανόηση των φαινομένων ροής και με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων που μπορούν να εφαρμοστούν κατά τη σχεδίαση νέων μηχανών, εξετάστηκε αριθμητικά η επίδραση της μορφής κυλινδρικού αγωγού απαγωγής στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του εργαστηριακού υδροστροβίλου σε διάφορα σημεία λειτουργίας. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αντίστοιχα αποτελέσματα από τη χρήση συμβατικού αγωγού απαγωγής με ορθογωνική διατομή. Από την ανάλυση αυτή προέκυψε ότι, με την κατάλληλη επιλογή των μεταβλητών σχεδιασμού, είναι εφικτή η σχεδίαση κυλινδρικών αγωγών απαγωγής με σημαντική βελτίωση στον υδραυλικό βαθμό απόδοσης. Ειδικά σε σημεία σχεδιασμού όπου η συνεισφορά του αγωγού απαγωγής στον υδραυλικό βαθμό απόδοσης είναι υψηλή, είναι δυνατό να προσεγγιστούν τα επίπεδα απόδοσης που παρουσιάζουν οι πιο αποδοτικοί ορθογωνικοί αγωγοί. Η απλοποιημένη αυτή σχεδίαση παρέχει σημαντικά οφέλη καθώς μειώνει σημαντικά το κόστος κατασκευής της μηχανής αλλά και το κόστος του υδροηλεκτρικού σταθμού, γεγονός που μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στην οικονομικότητα ενός υδροηλεκτρικού έργου. Την ίδια στιγμή εξετάστηκε το φαινόμενο της στήλης σπηλαιώσης που εμφανίζεται στον αγωγό απαγωγής σε μερικά φορτία, τόσο πειραματικά όσο και αριθμητικά και μελετήθηκαν πιθανοί τρόποι μετριασμού των αρνητικών επιπτώσεων που τη συνοδεύουν. Από τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας φάνηκε ότι με τη προσθήκη πτερυγίων ενδιάμεσου μεσημβρινού μήκους μεταξύ των κύριων πτερυγίων του δρομέα, είναι δυνατή η σημαντική βελτίωση των μεταβατικών χαρακτηριστικών της μηχανής κατά τη λειτουργία σε μερικά φορτία. Τέλος, στην περίπτωση του εργαστηριακού μοντέλου υδροστροβίλου υψηλού ειδικού αριθμού στροφών, ο οποίος είναι περισσότερο επιρρεπής στην εμφάνιση του φαινομένου της σπηλαιώσης, εξετάστηκε η βελτίωση των λειτουργικών χαρακτηριστικών με την επανασχεδίαση της ακμής εισόδου. Συγκεκριμένα, για δεδομένο πάχος της ακμής εισόδου, εξετάστηκε η επίδραση της γωνίας επικάλυψης του σημείου τομής της ακμής με τη στεφάνη.

Για προοδευτικά αυξανόμενες τιμές της γωνίας αυτής προκύπτει η γεωμετρία τύπου x και επιτυγχάνεται η αξιοσημείωτη αύξηση της ελάχιστης πίεσης στην ακμή εισόδου με μικρή ταυτόχρονα βελτίωση του υδραυλικού βαθμού απόδοσης.

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην παρούσα διατριβή, προκύπτει ότι η ανάπτυξη ευέλικτων εργαλείων σχεδιασμού μπορεί να συνεισφέρει στην περαιτέρω ανάπτυξη του κλάδου, διεκδικώντας το πεδίο εφαρμογής των υδροστροβίλων Francis. Με την κατάλληλη επιλογή των μεταβλητών σχεδιασμού και τη βελτιστοποίηση της μορφής των μεμονωμένων τμημάτων της μηχανής, επιτυγχάνονται οι επιδιωκόμενοι σχεδιαστικοί στόχοι και βελτιώνονται περαιτέρω τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του υδροστροβίλου. Η μεθοδολογία σχεδιασμού που αναπτύχθηκε και επιτυχώς εφαρμόστηκε στην παρούσα διδακτορική διατριβή συνιστά ουσιαστική συνεισφορά προς την συνεχή εξέλιξη και πρόοδο προς αυτήν την κατεύθυνση.

