



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών**  
**Τομέας Ρευστών**  
**Εργαστήριο Θερμικών Στροβιλομηχανών**

Διδακτορική Διατριβή

**ΣΥΖΥΓΕΙΣ (ADJOINT) ΔΙΑΤΥΠΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ-ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΤΕΡΥΓΩΣΕΩΝ  
ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΜΕ Α  
POSTERIORI ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ**

**Δημήτριος Ι. Παπαδημητρίου**

Αθήνα 2007

Επιβλέπων: **Κυριάκος Χ. Γιαννάκογλου**, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

### **Περίληψη**

Στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη, θεμελίωση και προγραμματισμός συζυγών τεχνικών για χρήση σε προβλήματα ανάλυσης και σχεδίασης - βελτιστοποίησης στις στροβιλομηχανές και την εξωτερική αεροδυναμική. Στην περιοχή της Υπολογιστικής Αεροδυναμικής, οι εδώ αναπτυσσόμενες συζυγείς μέθοδοι βρίσκουν εφαρμογή: (α) στον υπολογισμό των παραγώγων ευαισθησίας συναρτησιακών ως προς τις μεταβλητές σχεδίασης, με τις οποίες καθοδηγούνται αιτιοκρατικές μέθοδοι σε προβλήματα αεροδυναμικής βελτιστοποίησης (β) στη βέλτιστη προσαρμογή μη-δομημένων πλεγμάτων στην υπό εξέλιξη λύση ενός προβλήματος Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής με στόχο τον υπολογισμό ολοκληρωματικών ποσοτήτων του πεδίου ροής με επιθυμητή ακρίβεια και (γ) στην υποστήριξη ενός νέου τύπου τεχνητού νευρωνικού δικτύου που εκπαιδεύεται με γνωστές αποκρίσεις αλλά και την κλίση τους και μπορεί, ως μεταπρότυπο να υποστηρίξει, στη μορφή εργαλείου προσεγγιστικής αξιολόγησης υποψηφίων λύσεων, μεθόδους εξελικτικής βελτιστοποίησης. Οι τρεις παραπάνω χρήσεις των συζυγών μεθόδων οριοθετούν τις τρεις θεματικές περιοχές της διατριβής.

Από τις δύο παραλλαγές των συζυγών μεθόδων, τη συνεχή και τη διακριτή, η παρούσα διατριβή ασχολείται και με τις δύο αλλά πρακτικά, δίνει έμφαση στη συνεχή συζυγή μέθοδο, η οποία παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον ως προς τη φυσική έννοια της συζυγίας. Οι συζυγείς διατυπώσεις που αναπτύσσονται αφορούν σε ατριβείς και συνεκτικές (στρωτές και τυρβώδεις) συμπιεστές ροές σε 2Δ και 3Δ αεροδυναμικές μορφές με τη χρήση δομημένων και μη-δομημένων πλεγμάτων. Από αριθμητικής πλευράς, το λογισμικό που αναπτύσσεται βασίζεται στην τεχνική των πεπερασμένων όγκων με ανάντι σχήμα διακριτοποίησης για τους όρους μεταφοράς και τη μέθοδο της χρονοπροέλασης. Το μοντέλο μιας εξίσωσης Spalart Allmaras χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση της τύρβης. Έτσι, στην περιοχή αυτή, η συνεισφορά της διατριβής είναι (α) έκφραση των παραγώγων ευαισθησίας χωρίς χωρικά ολοκληρώματα με τη διακύμανση μετρικών ή άλλων γεωμετρικών ποσοτήτων, (β) ενιαία διατύπωση της μεθόδου σε οποιοδήποτε τύπο πλέγματος, (γ) αντιμετώπιση νέων συναρτησιακών που εκφράζουν απώλειες στις στροβιλομηχανές, στη μορφή είτε της αύξησης εντροπίας ή των απωλειών ολικής πίεσης. Σημειώνεται ότι δεν

υπάρχει στη βιβλιογραφία προηγούμενη αντιμετώπιση τέτοιων συναρτησιακών με τη συνεχή συζυγή μέθοδο. Η πιστοποίηση καλύπτει την αντίστροφη σχεδίαση και ελαχιστοποίηση απωλειών 2Δ μεμονωμένων αεροτομών έως και 3Δ περιστρεφόμενων πτερυγώσεων στροβιλομηχανών με επαρκείς συγκρίσεις ως προς την ακρίβεια των παραγώγων ευαισθησίας, το ρυθμό σύγκλισης της τιμής του συναρτησιακού, το υπολογιστικό κόστος κάθε μεθόδου κλπ.

Η δεύτερη θεματική περιοχή της διατριβής, η οποία εκμεταλλεύεται πλήρως τη συζυγή ανάλυση της πρώτης, αφορά στην εφαρμογή της διακριτής συζυγούς μεθόδου για την εκτίμηση του σφάλματος στον υπολογισμό ολοκληρωματικών ποσοτήτων που εκφράζουν τους συντελεστές άνωση/οπισθέλκουσας στην εξωτερική αεροδυναμική και τη γένεση εντροπίας στις στροβιλομηχανές. Το σφάλμα που υπολογίζεται μέσω της συζυγούς μεθόδου, χρησιμοποιείται για τη βέλτιστη προσαρμογή του πλέγματος, με αποτέλεσμα την εκτίμηση

της τιμής της ολοκληρωματικής ποσότητας με την επιθυμητή ακρίβεια, με το μικρότερο δυνατό υπολογιστικό πλέγμα.

Η τρίτη και τελευταία ενότητα της διατριβής περιλαμβάνει τη χρήση των παραγώγων ευαισθησίας που υπολογίζονται μέσω της συζυγούς μεθόδου στην εκπαίδευση νέων τεχνητών νευρωνικών δικτύων, τα οποία, δίνοντας καλύτερη απόκριση από τα κλασικά δίκτυα επιτρέπουν την ακόμη ταχύτερη σύγκλιση των εξελικτικών αλγορίθμων. Η μέθοδος εφαρμόζεται στην αντίστροφη σχεδίαση 3Δ πτερυγώσεων στροβιλομηχανών.

**Λέξεις κλειδιά:** Θερμικές Στροβιλομηχανές, Υπολογιστική Ρευστοδυναμική, Συζυγείς Τεχνικές, Αεροδυναμική Βελτιστοποίηση – Σχεδιασμός, Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα, Εκτίμηση Σφάλματος.