



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

Διδακτορική Διατριβή

**ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΡΟΕΣ ΥΨΗΛΩΝ ΚΑΙ  
ΧΑΜΗΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ, ΣΕ ΠΟΛΥΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

**Βαρβάρα Γ. Ασούτη**

Αθήνα 2009

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

**Περίληψη**

Η διδακτορική αυτή διατριβή επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και πιστοποίηση μεθόδων και λογισμικού για την ανάλυση και το σχεδιασμό – βελτιστοποίηση αεροδυναμικών μορφών σε υψηλές και χαμηλές ταχύτητες ροής, μέσω προσταθεροποίησης χαμηλών αριθμών Mach. Περιλαμβάνει την ανάπτυξη αιτιοκρατικών μεθόδων βελτιστοποίησης, με έμφαση στον υπολογισμό της κλίσης της συνάρτησης κόστους μέσω των συζυγών (adjoint) τεχνικών με προσταθεροποίηση αλλά και στοχαστικών πληθυσμιακών μεθόδων, προτείνοντας νέες διατυπώσεις ασύγχρονων Εξελικτικών Αλγορίθμων (EA) για πολυεπεξεργαστικά υπολογιστικά συστήματα.

Με στόχο τη δημιουργία ενιαίου λογισμικού αριθμητικής επίλυσης των εξισώσεων Navier – Stokes για όλο το εύρος των ταχυτήτων ροής, σε προϋπάρχον λογισμικό πρόλεξης συμπιεστών ροών εισάγεται η προσταθεροποίηση χαμηλών αριθμών Mach. Αυτή εξασφαλίζει ταχύτερη σύγκλιση σε προσομοιώσεις ροών πολύ χαμηλών ταχυτήτων, επιτρέπει την πρόλεξη ακόμη και όταν το χωρίς προσταθεροποίηση λογισμικό αποτυγχάνει και εξομαλύνει – βελτιώνει την ποιότητά της σε ιδιόμορφες περιοχές της ροής (λ.χ. ακμές πρόσπτωσης ή εκφυγής). Το λογισμικό χρησιμοποιείται για την πρόλεξη χρονικά μόνιμων ή μη – μόνιμων πεδίων ροής σε περυγώσεις στροβιλομηχανών (συμπεριλαμβανομένης της μελέτης της ροής του ακτινικού διακένου), αγωγούς, μεμονωμένες αεροτομές ή γύρω από ολόκληρο αεροσκάφος καθώς και την προσομοίωση ροής αέρα παρουσία καπνού σε 3D χώρο. Το υπολογιστικό κέρδος από τη χρήση προσταθεροποίησης υπερτίθεται σε αυτό λόγω της πολυεπεξεργασίας.

Όσον αφορά στις αιτιοκρατικές μεθόδους βελτιστοποίησης, θεμελιώνεται η συζυγής τεχνική (διακριτή και συνεχής) με χρήση της ίδιας προσταθεροποίησης και της πολυεπεξεργασίας. Η προτεινόμενη τεχνική επιτρέπει τον αεροδυναμικό σχεδιασμό σε πολύ χαμηλές ταχύτητες ροής και πιστοποιείται σε προβλήματα σχεδιασμού – βελτιστοποίησης 2D περυγώσεων συμπιεστών και μεμονωμένων αεροτομών. Το κέρδος από την ένταξη της προσταθεροποίησης σε κάθε κύκλο βελτιστοποίησης προέρχεται από την ταχύτερη επίλυση τόσο των εξισώσεων ροής όσο και των συζυγών τους εξισώσεων.

Η διακριτή συζυγής τεχνική αναπτύσσεται με βάση τις διακριτοποιημένες προσταθεροποιημένες εξισώσεις ροής. Ως προς τη συνεχή συζυγή τεχνική, πραγματοποιείται διερεύνηση σχετικά με το αν η προσταθεροποίηση πρέπει να εφαρμοστεί στις συζυγείς εξισώσεις ή να υιοθετηθούν οι συζυγείς των προσταθεροποιημένων εξισώσεων ροής. Αποδεικνύεται ότι οι δύο αυτές παραλλαγές, υπό προϋποθέσεις (κατάλληλη επιλογή του μητρώου προσταθεροποίησης), καταλήγουν στο ίδιο αποτέλεσμα. Κατά τη διατύπωση των συνεχών συζυγών εξισώσεων με προσταθεροποίηση, γίνονται «αναγκαστικές» παραδοχές σχετικές με τον τρόπο χειρισμού του μητρώου προσταθεροποίησης και τη διακριτοποίηση. Αυτές προκαλούν μικρές αποκλίσεις στις τιμές των παραγώγων ευαισθησίας της συνάρτησης κόστους (σε ιδιόμορφες περιοχές της ροής) χωρίς, όμως, επίπτωση στη σύγκλιση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης.

Όσον αφορά στις στοχαστικές πληθυσμιακές μεθόδους βελτιστοποίησης, αναπτύσσεται και πιστοποιείται ένας πλήρως ασύγχρονος δομημένος EA (ΑΔΕΑ), εγγενώς παράλληλος. Η κατάργηση της έννοιας της γενιάς αίρει προβλήματα συγχρονισμού, επιτυγχάνοντας μέγιστη εκμετάλλευση των διαθέσιμων επεξεργαστών. Στον ΑΔΕΑ ο πληθυσμός διατάσσεται σε 2Δ δομημένο πλέγμα και διαχωρίζεται σε αλληλοκαλυπτόμενους δήμους, προσδιορίζοντας έτσι την επικοινωνία μεταξύ τους αλλά και την εφαρμογή των τελεστών εξέλιξης. Η ασύγχρονη λειτουργία του αλγορίθμου εξασφαλίζεται από τον τρόπο αλληλεπίδρασης των δήμων. Με την ολοκλήρωση μιας αξιολόγησης και τη στιγμιαία «αδράνεια» ενός επεξεργαστή, λαμβάνουν χώρα ενδο- και δια - δημοτικές διεργασίες μέσω των οποίων επιλέγεται «αμέσως» το νέο άτομο που θα σταλεί για αξιολόγηση, επιτυγχάνοντας τη μέγιστη παράλληλη απόδοση. Ο ΑΔΕΑ συνδυάζεται, με ένα νέο τρόπο, και με τη χρήση μεταπρότυπων (τεχνητών νευρωνικών δικτύων) για την προσεγγιστική προαξιολόγηση υποψηφίων λύσεων. Δεδομένης της απουσίας γενιών η επόμενη προς αξιολόγηση λύση προέρχεται από ένα μικρό αριθμό προαξιολογημένων, από τοπικά μεταπρότυπα, νέων λύσεων. Η επιπλέον επιβάρυνση είναι αμελητέα συγκρινόμενη με το υπολογιστικό κόστος της επίλυσης των εξισώσεων Navier – Stokes, κρατώντας διαρκώς όλους τους επεξεργαστές απασχολημένους.

Ο ΑΔΕΑ εφαρμόζεται – πιστοποιείται σε προβλήματα σχεδιασμού – βελτιστοποίησης 2Δ πτερυγώσεων συμπίεστων και μεμονωμένων αεροτομών (με το λογισμικό πρόλεξης ροής που προαναφέρθηκε), στο σχεδιασμό μικρού επιβατικού υπερηχητικού αεροσκάφους με έναν ή δύο στόχους και μια σειρά μαθηματικών συναρτήσεων. Η εφαρμογή της παραλληλίας, τόσο σε επίπεδο αξιολογήσεων όσο και στο λογισμικό αξιολόγησης, μειώνει δραματικά το κόστος αναμονής του μηχανικού, καθιστώντας την προτεινόμενη μέθοδο ιδανική για βιομηχανική χρήση.

**Λέξεις κλειδιά:** Θερμικές Στροβιλομηχανές, Υπολογιστική Ρευστοδυναμική, Προσταθεροποίηση Χαμηλών Αριθμών Mach, Αεροδυναμική Βελτιστοποίηση – Σχεδιασμός, Συζυγείς Τεχνικές, Σύγχρονοι και Ασύγχρονοι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι.