



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

Διδακτορική Διατριβή

**ΧΡΗΣΗ ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΕΥΦΥΪΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ – ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ  
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΤΕΡΥΓΩΣΕΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ, ΜΕΣΩ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ**

**Αλέξιος Π. Γιώτης**

Αθήνα 2003

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

### **Περίληψη**

Αντικείμενο της παρούσας Διατριβής ήταν η έρευνα, ανάπτυξη, προγραμματισμός και πιστοποίηση μιας ολοκληρωμένης διαδικασίας σχεδίασης βέλτιστων αεροδυναμικών μορφών με χρήση Εξελικτικών Αλγορίθμων (ΕΑ) και μεθόδων Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (ΥΡΔ). Οι τελευταίες αποτελούν εργαλεία ανάλυσης των υποψήφιων λύσεων για την αξιολόγησή τους σε σχέση με προκαθορισμένους στόχους. Πεδία εφαρμογών είναι οι περιοχές των θερμικών στροβιλομηχανών και της αεροδυναμικής γενικότερα, όπου η σχεδίαση βέλτιστων αεροδυναμικών μορφών (αεροτομών, πτερυγίων, πτερύγων) αποτελεί θέμα αιχμής. Όμως, βασικό χαρακτηριστικό μεθόδων βελτιστοποίησης, όπως αυτή που αναπτύχθηκε, είναι η γενικότητά τους και η δυνατότητα να χρησιμοποιούνται σε ευρύτατο φάσμα εφαρμογών.

Στα πλαίσια της Διατριβής αναπτύχθηκε μια μέθοδος βελτιστοποίησης που βασίζεται σε μια ενιαία, γενικευμένη διατύπωση των ΕΑ για προβλήματα ενός και περισσοτέρων στόχων με αρκετά νέα στοιχεία συγκριτικά με αντίστοιχες μεθόδους της βιβλιογραφίας. Στην προτεινόμενη μορφή του ΕΑ, διατηρούνται τρία σύνολα πληθυσμών και συνδυάζονται τελεστές και τεχνικές κωδικοποίησης που παραδοσιακά συναντώνται στους Γενετικούς Αλγόριθμους και στις Εξελικτικές Στρατηγικές. Στην περίπτωση πολλαπλών στόχων, υπολογίζεται το κατά Pareto μέτωπο βέλτιστων λύσεων, η δε τιμή καταλληλότητας κάθε ατόμου προκύπτει από τις τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων επιλέγοντας από μια πληθώρα εναλλακτικών αλγορίθμων.

Ο παραπάνω ΕΑ αποτέλεσε τη βάση πάνω στην οποία δομήθηκαν πρόσθετες διαδικασίες εξοικονόμησης υπολογιστικού χρόνου χρησιμοποιώντας τεχνικές από το χώρο της υπολογιστικής ευφυΐας. Ο συνδυασμός ΕΑ και υπολογιστικής ευφυΐας που προτείνεται οδηγεί σε μείωση του υπολογιστικού κόστους της βελτιστοποίησης μέχρι και κατά μια τάξη μεγέθους. Η πρωτοτυπία της μεθόδου βελτιστοποίησης έγκειται στην άμεση, δυναμική συνεργασία του ακριβούς μοντέλου ανάλυσης (λογισμικό ΥΡΔ) με ένα προσεγγιστικό (μεταμοντέλο, κυρίως Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) ή εναλλακτικά τεχνικές Kriging)

για την αξιολόγηση των υποψήφιων λύσεων. Έτσι, στην αρχή κάθε γενεάς πραγματοποιείται η λεγόμενη προσεγγιστική προ-αξιολόγηση όλων των νέων ατόμων μέσω του μεταμοντέλου και στη συνέχεια αξιολογείται με το ακριβές (κατά κανόνα χρονοβόρο) μοντέλο μικρός μόνο αριθμός των «καλύτερων» ατόμων. Το προσεγγιστικό μοντέλο εκπαιδεύεται πριν από κάθε αξιολόγηση τοπικά παρέχοντας ικανοποιητική ακρίβεια και επιβαρύνοντας αμελητέα το συνολικό υπολογιστικό κόστους.

Μια πρωτότυπη ιδέα για τη βελτίωση της ικανότητας πρόλεξης των ΤΝΔ ήταν η εισαγωγή συντελεστών σημαντικότητας για κάθε ελεύθερη μεταβλητή. Ο ρόλος τους είναι ο εντοπισμός και υποτονισμός της επίδρασης θορυβωδών παραμέτρων σχεδίασης. Η δράση τους θεωρείται αυτοκαταλυτική με την έννοια ότι οι βαθμοί σημαντικότητας των μεταβλητών υπολογίζονται από το ίδιο το ΤΝΔ κατά την εκπαίδευσή του ενώ οι ίδιοι θα χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση της προλεκτικής του ικανότητας.

Μείωση του χρόνου αναμονής της μεθόδου βελτιστοποίησης επιτυγχάνεται μέσω παράλληλης επεξεργασίας με χρήση ανοικτών πρωτοκόλλων επικοινωνίας (κυρίως PVM) για την υποστήριξη της πλειονότητας των σημερινών παράλληλων υπολογιστικών συστημάτων. Η τεχνική παραλληλοποίησης βασίζεται είτε στην ταυτόχρονη αξιολόγηση των λύσεων που υποδεικνύονται από το μεταμοντέλο για ακριβή αξιολόγηση, είτε, στη χρήση του μοντέλου των κατανεμημένων ΕΑ. Αυτό, αυξάνει τον αριθμό των ατόμων που μπορούν ταυτόχρονα να αξιολογηθούν και ταυτόχρονα αυξάνει και την ταχύτητα σύγκλισης. Οι παράλληλοι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν στη συστοιχία προσωπικών υπολογιστών του Εργ. Θερμικών Στροβιλομηχανών του ΕΜΠ η οποία στήθηκε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της Διατριβής.

Σ' ένα διακριτό μέρος της διατριβής παρουσιάζονται επεμβάσεις στον κώδικα αριθμητικής επίλυσης των εξισώσεων Navier-Stokes με χρήση μη-δομημένων πλεγμάτων με σκοπό κυρίως την παραλληλοποίησή του η οποία στηρίχθηκε στο διαμερισμό του πλέγματος σε υποχωρία. Προτάθηκε μια νέα τεχνική αντιμετώπισης του προβλήματος ισοκατανομής του φορτίου μεταξύ των υπολογιστικών μονάδων μετά από κάθε φάση προσαρμογής του πλέγματος στην υπό εξέλιξη λύση. Αυτή, στηρίζεται στο βέλτιστο στατικό επαναδιαμερισμό του πλέγματος μέσω μιας γενικής, νέας και γρήγορης μεθόδου η οποία βασίζεται στους Γενετικούς Αλγόριθμους, σε ένα πολυεπίπεδο σχήμα συστολής γράφων και σε ευριστικές τεχνικές.

Οι μέθοδοι και τα επιμέρους εργαλεία σχεδίασης αεροδυναμικών μορφών πιστοποιήθηκαν και «βαθμονομήθηκαν» αρχικά σε μια σειρά προβλημάτων εξωτερικής αεροδυναμικής, όπως η βελτιστοποίηση της θέσης των ακροπερυγίων αεροτομής τριών στοιχείων, η αντίστροφη σχεδίαση ή βελτιστοποίηση αεροτομών σε περισσότερα του ενός σημεία λειτουργίας και σε προβλήματα αντικρουόμενων στόχων (λ.χ. ελαχιστοποίηση οπισθέλκουσας - διατήρηση άνωσης). Στην επόμενη, βασική φάση πιστοποίησης, η μέθοδος εφαρμόστηκε σε προβλήματα στις στροβιλομηχανές όπως η υπό περιορισμούς βελτιστοποίηση των αεροτομών διδιάστατων πτερυγίων γραμμικών πτερυγώσεων συμπίεστη και στροβίλου με σκοπό τη μείωση των απωλειών ολικής πίεσης σε ένα έως πέντε σημεία λειτουργίας. Η σχεδίαση πτερυγίων στροβιλομηχανών και σε άλλα σημεία λειτουργίας πέραν του σημείου σχεδίασης αποτελεί σήμερα θέμα αιχμής και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά. Επίσης, επιχειρήθηκε η βελτιστοποίηση της μορφής τριδιάστατης

περιστρεφόμενης πτερύγωσης συμπιεστή αξονικής ροής με στόχο τη μείωση των απωλειών. Πρόκειται για βιομηχανική εφαρμογή υψηλού υπολογιστικού κόστους (η αξιολόγηση κάθε υποψήφιας λύσης απαιτούσε την αριθμητική επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes σε τριδιάστατα χωρία) που καταδεικνύει τη χρησιμότητα εμπλοκής αφενός μεν της υπολογιστικής ευφυΐας αφετέρου δε της πολυεπεξεργασίας, ώστε να πραγματοποιείται η νέα σχεδίαση σε αποδεκτό χρόνο υπολογιστή. Τέλος, στα πλαίσια γενικότερων ενεργειακών θεμάτων βελτιστοποίησης, παρουσιάζεται η βέλτιστη διαμόρφωση αεριοστροβλικής μονάδας συνδυασμένου κύκλου με συμπληρωματική καύση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πέραν των συγκεκριμένων εφαρμογών στις στροβιλομηχανές και την αεροδυναμική, η μέθοδος που αναπτύχθηκε είναι γενική και μπορεί να υποστηρίξει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών βελτιστοποίησης. Με αυτή την προοπτική, το τελικό τεχνολογικό προϊόν τέθηκε ήδη στη μορφή ενός γενικού, φιλικού λογισμικού βελτιστοποίησης (EASY 1.3 – The Evolutionary Algorithms SYstem).