

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Ρευστών

Εργαστήριο Θερμικών Στροβιλομηχανών

Μονάδα παράλληλης Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής & Βελτιστοποίησης

Διδακτορική Διατριβή

Συζυγείς μέθοδοι για το σχεδιασμό μορφών με βέλτιστη αεροδυναμική συμπεριφορά σε στρωτές και τυρβώδεις ροές

Αλέξανδρος Σ. Ζυμάρης

Αθήνα 2010

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

Περίληψη

Η διδακτορική διατριβή αυτή ασχολείται με την ανάπτυξη, τον προγραμματισμό και την πιστοποίηση συζυγών μεθόδων για τον προσδιορισμό των παραγώγων ευαισθησίας συναρτήσεων κόστους στην αεροδυναμική/υδροδυναμική. Οι μέθοδοι που παρουσιάζονται ανήκουν στην κατηγορία των συνεχών συζυγών μεθόδων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ακρίβεια με την οποία υπολογίζονται οι ζητούμενες παράγωγοι ευαισθησίας για στρωτές και, κυρίως, για τυρβώδεις ασυμπίεστες ροές. Στην παρούσα διατριβή, το πεδίο εφαρμογής των παραπάνω μεθόδων περιλαμβάνει ροές σε πτερυγώσεις στροβιλομηχανών και αγωγούς. Ως τελική εφαρμογή και πέραν των προαναφερθεισών περιπτώσεων, οι οποίες εξάλλου αποτέλεσαν βάση για συγκρίσεις με αποτελέσματα άλλων μεθόδων για λόγους πιστοποίησης, το αναπτυχθέν λογισμικό εφαρμόστηκε για υπολογισμούς σε πραγματικό μοντέλο επιβατικού αυτοκινήτου, στο πλαίσιο συνεργασίας με ευρωπαϊκή αυτοκινητοβιομηχανία.

Οι συζυγείς μέθοδοι αναπτύσσονται προκειμένου είτε να ενταχθούν σε ένα σχήμα βελτιστοποίησης μέσω μεθόδων βασισμένων στην κλίση της συνάρτησης κόστους, είτε για να χρησιμοποιηθούν οι υπολογιζόμενες παράγωγοι ευαισθησίας ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη συνεισφορά των στοιχείων της γεωμετρίας ενός σώματος στην αεροδυναμική του απόδοση. Ως επιπλέον στόχος της εργασίας αυτής είναι και η υποστήριξη μεθόδων υπολογισμού των παραγώγων δεύτερης τάξης, για μεθόδους τύπου Newton, οι οποίες όμως εκφεύγουν από τα όρια της διατριβής. Τονίζεται ότι η ανάπτυξη συνεχών συζυγών τεχνικών ικανών να υπολογίζουν με απόλυτη ακρίβεια τις ζητούμενες παραγώγους ευαισθησίας, κατάλληλες για οποιαδήποτε από τις παραπάνω χρήσεις, αποτελεί τον πρωτεύοντα στόχο της παρούσας διατριβής. Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται ανήκουν στις κλασικές της σχετικής βιβλιογραφίας και περαιτέρω διερεύνηση ή σύγκρισή τους δεν αποτελεί αυτοσκοπό της διατριβής.

Οι συζυγείς διατυπώσεις που θα παρουσιαστούν στηρίζονται στη διατύπωση που έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο προηγούμενης διατριβής στο Εργαστήριο Θερμικών

Στροβιλομηχανών (Δρ Δ.Ι. Παπαδημητρίου), εκεί όμως για συμπιεστές ροές. Η διατύπωση αυτή ήταν ακριβής για στρωτές ροές ενώ, για την περίπτωση των τυρβωδών ροών, βασιζόνταν στην ευρύτατα χρησιμοποιούμενη παραδοχή ότι οι μεταβλητές του μοντέλου τύρβης ήταν ανεξάρτητες των μεταβλητών ελέγχου. Η παρούσα διατριβή, η οποία αφορά ασυμπίεστες ροές, χωρίς όμως αυτό να είναι περιοριστικό, επεκτείνει τη μέθοδο ώστε να είναι απόλυτα ακριβής και στις τυρβώδεις ροές. Για να επιτευχθεί αυτό προτείνει την εισαγωγή των συζυγών εξισώσεων των μοντέλων τύρβης, δηλαδή νέων εξισώσεων συζυγών ως προς αυτές του μοντέλου τύρβης. Επίσης, ως επισημανθεί ότι οι συζυγείς εκφράσεις για τις παραγώγους ευαισθησίας είναι ανεξάρτητες από τον προσδιορισμό μεταβολών των χωρικών γεωμετρικών ποσοτήτων και, άρα, οικονομικές σε υπολογιστικό κόστος.

Ως βάση για τον προγραμματισμό της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν δύο προϋπάρχοντα λογισμικά επίλυσης των εξισώσεων της ροής, το ένα χρησιμοποιεί την μέθοδο της τεχνητής συμπίεστότητας και το άλλο τον αλγόριθμο SIMPLE οδηγώντας έτσι σε δύο διαφορετικά λογισμικά για την επίλυση των συζυγών εξισώσεων (το πρώτο σε γλώσσα Fortran77 και το δεύτερο σε C++). Το χρησιμοποιούμενα μοντέλα τύρβης είναι δύο, το μοντέλο μιας εξίσωσης των Spalart-Allmaras και το μοντέλο δύο εξισώσεων k-ε. Κατά συνέπεια, δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικές συζυγείς διατυπώσεις, μια για το συζυγές μοντέλο Spalart-Allmaras και μια για το συζυγές μοντέλο k-ε. Οι διατυπώσεις αυτές καλύπτουν τόσο την περίπτωση μοντέλων χαμηλών αριθμών Reynolds όσο και μοντέλων υψηλών αριθμών Reynolds. Η πρώτη περίπτωση παρουσιάζεται, ενδεικτικά, για το συζυγές μοντέλο Spalart-Allmaras ενώ η δεύτερη για το μοντέλο k-ε. Το πρώτο πρωτότυπο στοιχείο της διατριβής είναι ότι, για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία, παρουσιάζεται η ανάπτυξη και χρήση των συνεχών συζυγών εξισώσεων μοντέλου τύρβης· οι λίγες εργασίες που υλοποιούν αντίστοιχες μεθόδους βασίζονται αποκλειστικά στη διακριτή συζυγή μέθοδο. Για την περίπτωση του μοντέλου ροής που βασίζεται στις συναρτήσεις τοίχου, η ανάπτυξη οριακών συνθηκών για τις συζυγείς εξισώσεις στην περιοχή του τοίχου οδηγεί σε εκφράσεις οι οποίες εμπλέκουν την ταχύτητα τριβής και τις κάθετες στον τοίχο κλίσεις των μεταβλητών του συζυγούς μοντέλου τύρβης με ένα μέγεθος το οποίο ορίστηκε στο πλαίσιο της διατριβής ως συζυγής ταχύτητα τριβής. Η εισαγωγή της τελευταίας ποσότητας αποτελεί το δεύτερο βασικό στοιχείο πρωτοτυπίας της διατριβής, μιας και για πρώτη φορά εισάγεται η έννοια αυτή στη σχετική βιβλιογραφία.

Τέλος, η διατριβή ασχολείται με την ανάπτυξη συζυγών τεχνικών και για προβλήματα ελέγχου (της αποκόλλησης της) ροής. Εδώ, στόχος είναι ο προσδιορισμός των πλέον αποδοτικών θέσεων στις οποίες συμφέρει να εφαρμοστεί ενεργητικός έλεγχος της ροής με δέσμες ρευστού. Τα κριτήρια σχεδιασμού είναι συγκεκριμένα και καθορίζονται από τις συναρτήσεις-κόστους που χρησιμοποιούνται στο συζυγές πρόβλημα, λ.χ. η ελαχιστοποίηση της αντίστασης μιας αεροδυναμικής μορφής. Στη συγκεκριμένη κατηγορία προβλημάτων οι μεταβλητές σχεδιασμού είναι οι ίδιες οι τιμές των ροϊκών μεγεθών στο τμήμα του ορίου το οποίο μελετάται. Η συγκεκριμένη χρήση συνεχών συζυγών τεχνικών παρουσιάζεται για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία.

Λέξεις κλειδιά: Υπολογιστική Ρευστοδυναμική, Συζυγείς Μεθόδοι, Συζυγή Μοντέλα Τύρβης, Παράγωγοι Ευαισθησίας, Θερμικές Στροβιλομηχανές, Βελτιστοποίηση.