



ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Α.Π. : 33793
Αθήνα, 24/6/2019

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

Ορθή Επανάληψη του Εγγράφου
με ΑΠ33293/20.6.2019

Προς τα Μέλη ΔΕΠ της
Σχολής Μηχ/γων
Μηχ/κών

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του **Υ.Δ. κ. Διακάκης Κωνσταντίνος**, διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός του ΕΜΠ, την οποία εκπόνησε στον Τομέα **Ρευστών**. Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί την Τρίτη 9 Ιουλίου, ώρα 9:30π.μ. στην αίθουσα διδασκαλίας του 2^{ου} ορόφου στο κτίριο ANYM της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών - Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Ο ελληνικός τίτλος της Διδακτορικής Διατριβής είναι ο εξής :

«ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΤΑΒΑΤΙΝΩΝ ΚΑΙ ΕΝΤΟΝΑ ΑΠΟΚΟΛΛΗΜΕΝΩΝ ΡΟΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ»

Και ο Αγγλικός ως εξής:

« COMPUTATIONAL SIMULATION OF TRANSITIONAL AND MASSIVELY SEPARATED FLOWS WITH APPLICATIONS TO WIND TURBINES »

Ο Κοσμήτορας της Σχολής



N. Μάρμαρας
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Περίληψη

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκε η μετάβαση της ροής από στρωτή σε τυρβώδη καθώς και η συμπεριφορά ροών μεγάλων αριθμών Reynolds στα πλαίσια προσομοίωσης τους με μεθόδους υψηλής πιστότητας.

Για την προσομοίωση ροών με μετάβαση εξετάστηκαν μέθοδοι με υπολογισμό οριακού στρώματος και μέθοδοι με εξισώσεις μεταφοράς. Αυτές περιλαμβάνουν την μέθοδο e^N καθώς και τα μοντέλα γ - Re_θ , γ και AFT. Όλες οι μέθοδοι δοκιμάστηκαν σε αεροτομές, πτέρυγες και άτρακτο γενικής μορφής, σε εφαρμογές οι οποίες προέρχονταν από τους τομείς της αεροναυτικής και της αιολικής ενέργειας. Οι συγκρίσεις αφορούσαν κατά κύριο λόγο σε αεροδυναμικά φορτία και θέσεις μετάβασης. Στα πλαίσια διδιάστατων προσομοιώσεων, η μέθοδος e^N με υπολογισμό οριακού στρώματος και το μοντέλο AFT έδωσαν πιο ακριβή αποτελέσματα από τις υπόλοιπες μεθόδους. Το μοντέλο γ - Re_θ είναι μια καλή εναλλακτική, αρκεί ο αριθμός Reynolds να μην υπερβαίνει τα 6 εκατομμύρια. Πέραν αυτού του ορίου, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του μοντέλου μειώνεται σημαντικά. Ωστόσο, η μέθοδος e^N και το μοντέλο AFT δεν δύνανται να χρησιμοποιηθούν για την μοντελοποίηση τριδιάστατης μετάβασης στο πλαίσιο τριδιάστατων προσομοιώσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το μοντέλο γ - Re_θ εμπλουτισμένο με όρους εγκάρσιας ροής μπορεί να δώσει καλά αποτελέσματα, αρκεί ο αριθμός Reynolds να είναι στα αποδεκτά για το μοντέλο όρια.

Όσον αφορά στις μεθόδους προσομοίωσης τύρβης υψηλής πιστότητας, εξετάστηκαν οι μέθοδοι Large Eddy Simulation (LES) και Detached Eddy Simulation (DES). Για τις προσομοιώσεις LES χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο μικρών κλιμάκων του Smagorinsky. Η εφαρμογή του DES περιελάμβανε τις μεθόδους Delayed DES (DDES) και Improved Delayed DES (IDDES). Το ενδιαφέρον εστιάστηκε στην μοντελοποίηση ροών με μεγάλη αποκόλληση. Τόσο το LES όσο και το DES ήταν σε θέση να δώσουν πιο ακριβή αποτελέσματα από τους απλούς, μη-μόνιμους Reynolds Averaged Navier Stokes υπολογισμούς (Unsteady RANS) σε σύγκριση με πειράματα και υπολογιστικά αποτελέσματα από τη βιβλιογραφία. Το μοντέλο DES θεωρείται λιγότερο απαιτητικό σε υπολογιστικούς πόρους λόγω της μοντελοποίησης του οριακού στρώματος η οποία οδηγεί σε μικρότερες απαιτήσεις πλέγματος κοντά στην στερεή επιφάνεια. Ωστόσο, το DES δεν αναμένεται να μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα σε ροές όπου η παρουσία και η εξέλιξη μικρών κλιμάκων τύρβης στο οριακό στρώμα είναι σημαντική, και που το μοντέλο LES πλεονεκτεί εκ κατασκευής. Σχετικά σημειώνεται ότι οι LES προσομοιώσεις δεν έφτασαν στα υπολογιστικά τους όρια όσον αφορά στο πλέγμα. Για να παραχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να χρησιμοποιηθεί LES με πυκνό υπολογιστικό πλέγμα.

Summary

Laminar to turbulent transition and higher fidelity turbulence modeling have been implemented in the parallelized, unstructured, compressible Navier-Stokes solver MaPFlow.

In the case of laminar to turbulent transition, both boundary layer and transport equation approaches were assessed. These include the e^N method and the transport equation models γ - Re_θ , γ and AFT. All approaches were validated against a wide range of cases concerning airfoils, wings/blades and generic fuselage, stemming from both the wind energy and the aeronautics sectors. The focus was on integrated loads and transition locations. In the context of two-dimensional simulations, the boundary layer e^N method and the AFT transport equation model exhibit better performance than the other alternatives. The γ - Re_θ model is also a viable option if Reynolds numbers not higher than 6×10^6 are considered. For Reynolds numbers higher than this limit, the accuracy of the model was found to deteriorate. However, both the e^N method and the AFT model cannot be used to predict crossflow transition in the context of three-dimensional simulations. In such scenarios, the γ - Re_θ model can give accurate results, provided that Re numbers fall within the aforementioned limit.

In the case of higher fidelity turbulence modeling, both Large Eddy Simulation (LES) and Detached Eddy Simulation (DES) approaches were implemented. LES utilized the Smagorinsky subgrid model. Regarding DES, both Delayed DES (DDES) and Improved Delayed DES (IDDES) variants were considered. The focus was on flow cases with massive separation. Both LES and DES provided more accurate results than the baseline Unsteady Reynolds Averaged Navier Stokes (URANS) simulations when compared to experiments and reference results. Neither LES nor DES were pushed to their limits. DES is considered computationally less demanding, due to wall modeling inside the boundary layer region. Therefore, it is a more viable option than LES for industrial applications. However, due to wall modeling, DES is not expected to perform well in flows where the presence and development of small turbulent scales inside the boundary layer are important. In those cases, LES using fine meshes should be considered.