



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου • ΤΗΛ.: 7723572, FAX: 7723571

Αρ.Πρωτ.: 10.004

Αθήνα, 18-12-2014

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

**ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ**

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του κ. Κωνσταντίνου Στόκου, Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού ΕΜΠ, που θα πραγματοποιηθεί την Τρίτη 13 Ιανουαρίου 2015, ώρα 10.00 π.μ., στην αίθουσα Διαλέξεων του κτιρίου των Εργαστηρίων Αεροδυναμικής-Ναυπηγικής-Υδροδυναμικών Μηχανών, (κτίριο ANYM 2<sup>ος</sup> όροφος) της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Το Θέμα της Διδακτορικής Διατριβής είναι:

**«Ανάπτυξη αριθμητικής –υπολογιστικής μεθοδολογίας για την προσομοίωση μη μόνιμων ροών με μεταφορά θερμότητας»**

Ο αγγλικός τίτλος έχει ως εξής :

**Development of a numerical –computational methodology for the simulation of unsteady flows with heat transfer**

Επισυνάπτεται περίληψη της παραπάνω Διδακτορικής Διατριβής

Ο ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ

Η. ΤΑΤΣΙΟΠΟΥΛΟΣ  
Καθηγητής Ε.Μ.Π



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

---

**“ Ανάπτυξη αριθμητικής-υπολογιστικής μεθοδολογίας για  
την προσομοίωση μη μόνιμων ροών με μεταφορά  
θερμότητας ”**

Διδακτορική Διατριβή

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Γ. ΣΤΟΚΟΣ**

Μηχανολόγος Μηχανικός

Διπλωματούχος Μεταπτυχιακού Υπολογιστικής Μηχανικής

**Συμβουλευτική Επιτροπή:**

1. Καθηγητής Σ. Τσαγγάρης (επιβλέπων)
2. Αν. Καθηγητής Σ. Βουτσινάς
3. Αν. Καθηγητής Ι. Αναγνωστόπουλος

**Εξεταστική Επιτροπή:**

1. Καθηγητής Σ. Τσαγγάρης (επιβλέπων)
2. Αν. Καθηγητής Σ. Βουτσινάς
3. Αν. Καθηγητής Ι. Αναγνωστόπουλος
4. Καθηγητής Δ. Μαθιουλάκης
5. Καθηγητής Δ. Παπαντώνης
6. Επ. Καθηγητής Δ. Μπούρης
7. Λέκτορας Β. Ριζιώτης

Αθήνα 2014

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διδακτορικής διατριβής ήταν η ανάπτυξη μιας αριθμητικής-υπολογιστικής μεθοδολογίας για την προσομοίωση γενικά μη μόνιμων ροών με ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας.

Ο αναπτυχθείς επιλύτης είναι κατάλληλος για την προσομοίωση δισδιάστατων ή τρισδιάστατων, ασυμπίεστων, στρωτών ή τυρβωδών ροών συνεκτικού και Νευτώνειου ρευστού. Για την απαραίτητη σύζευξη των πεδίων πίεσης και ταχύτητας εφαρμόζεται η προσέγγιση της τεχνητής συμπίεστότητας. Για την πρόβλεψη ανωστικών ροών του ασυμπίεστου ρευστού, η μεταβολή της πυκνότητας λόγω θερμοκρασιακών διαφορών προσομοιώνεται σύμφωνα με την προσέγγιση Boussinesq. Για τις τυρβώδεις ροές χρησιμοποιούνται δύο ευρέως διαδεδομένα RANS μοντέλα τύρβης, το μοντέλο τύρβης  $k-\omega$  SST στη χαμηλών και υψηλών αριθμών  $Re$  έκδοσή του και το υψηλών αριθμών  $Re$   $k-\epsilon$  μοντέλο τύρβης.

Ο επιλύτης εφαρμόζει μια κεντρο-κομβική (node-centered) πεπερασμένων όγκων τεχνική διακριτοποίησης, χρησιμοποιώντας ακμο-βασική (edge-based) και διαφανή (transparent) προσέγγιση σε υβριδικά αριθμητικά πλέγματα. Για τον υπολογισμό των μη-συνεκτικών όρων αναπτύχθηκε εκ του μηδενός ο προσεγγιστικός Riemann επιλύτης του Roe. Οι συνεκτικοί όροι διακριτοποιούνται χρησιμοποιώντας ένα κεντρικό σχήμα. Η χρονική διακριτοποίηση επιτυγχάνεται μέσω ενός πλήρως πεπλεγμένου σχήματος για τη χρονοπροέλαση στον ψευδο-χρόνο και το φυσικό χρόνο.

Όλες οι εξισώσεις μέσης ροής (εξισώσεις συνέχειας, ορμής και ενέργειας) επιλύονται ισχυρά συζευγμένες. Η ισχυρή σύζευξη των εξισώσεων προτιμήθηκε μετά από σύγκριση με την ασθενώς συζευγμένη επίλυση, σύγκριση την οποία δεν έχουμε βρει στη βιβλιογραφία να παρουσιάζεται για το συγκεκριμένο σύστημα εξισώσεων. Η ισχυρή σύζευξη έδειξε γρηγορότερη σύγκλιση για σημαντικά μη-συνεκτικά φαινόμενα και μας επέτρεψε τη χρήση υψηλότερων αριθμών CFL κάνοντας τη σύγκλιση ακόμα γρηγορότερη.

Για τη μοντελοποίηση της θερμικής ακτινοβολίας εφαρμόστηκαν δύο μεθοδολογίες. Η πρώτη αποτελεί μια αναλυτική μεθοδολογία που βασίζεται στη χρήση γωνιακών παραγόντων και η δεύτερη αποτελεί μια πεπερασμένων όγκων μεθοδολογία.

Μετά από την ανάπτυξη της αριθμητικής μεθοδολογίας σε υπολογιστικό κώδικα επιλύθηκαν αρκετές περιπτώσεις αναφοράς (benchmark test cases) για την επαλήθευση της ορθής λειτουργίας του κώδικα και την αξιολόγηση των δυνατοτήτων του. Τα αποτελέσματα είναι αρκετά ενθαρρυντικά όπως συμβαίνει και με την παραλληλοποίηση του επιλύτη, που παρουσίασε σημαντική μείωση του υπολογιστικού χρόνου.

Τέλος, προχωρήσαμε στην προσομοίωση δύο σεναρίων πυρκαγιάς σε αεριζόμενη σήραγγα. Οι περιπτώσεις πυρκαγιάς προσομοιώθηκαν είτε λαμβάνοντας υπόψη την ακτινοβολία και την αγωγή στο τοίχωμα είτε όχι. Η θερμική ακτινοβολία και η αγωγή στο τοίχωμα έδειξαν ότι είναι απαραίτητες για την πρόβλεψη ρεαλιστικών αποτελεσμάτων.

Κατά τη διάρκεια του διδακτορικού και πάνω στο αντικείμενο του διδακτορικού πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω ανακοινώσεις σε διεθνή συνέδρια και δημοσιεύσεις σε διεθνή περιοδικά:

- *Stokos K.G., Vrahliotis S.I., Pappou Th.I. and Tsangaris S., "Development and validation of a 3-D Navier-Stokes solver including heat transfer and natural convection", 5<sup>th</sup> International Conference from Scientific Computing to Computational Engineering, Athens, Greece, 4-7 July, 2012.*
- *Stokos K.G., Vrahliotis S.I., Pappou Th.I. and Tsangaris S., "Development and validation of a Navier-Stokes solver including heat transfer and mixed convection", 10<sup>th</sup> HSTAM International Congress on Mechanics, Chania, Greece, 25-27 May, 2013.*
- *Stokos K.G., Vrahliotis S.I., Pappou Th.I., Filus M. and Tsangaris S., "Numerical study of a ventilated tunnel fire. A turbulence models comparison", 10<sup>th</sup> HSTAM International Congress on Mechanics, Chania, Greece, 25-27 May, 2013.*
- *Stokos K.G., Vrahliotis S.I., Pappou Th.I. and Tsangaris S., "Development and validation of an incompressible Navier-Stokes solver including convective heat transfer", International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow, Accepted.*
- *Stokos K.G., Vrahliotis S.I., Pappou Th.I. and Tsangaris S., "A comparative numerical study of turbulence models. Application in ventilated tunnel fires", Cogent Engineering, Under Review.*