

**Το παρακάτω κείμενο αφορά σπουδαστές που ενδιαφέρονται για την εκπόνηση διπλωματικής εργασίας στη Μονάδα Παράλληλης Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής & Βελτιστοποίησης (ΜΠΥΡ&Β) του Εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών, υπό την επίβλεψη του Καθ. Κ. Γιαννάκογλου.**

**Φλεβάρης 2023**

Στη Μονάδα Παράλληλης Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής & Βελτιστοποίησης (ΜΠΥΡ&Β) του Εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών, τα θέματα των διπλωματικών εργασιών (υπό την επίβλεψη του Καθ. Κ. Γιαννάκογλου) σχετίζονται ασφαλώς με τα διδασκόμενα μαθήματα από τον ίδιο, αλλά επεκτείνονται πέραν αυτών, ακολουθώντας τις ερευνητικές δραστηριότητες της ομάδας. Τα θέματα που προτείνονται στοχεύουν στο να μάθει και να εξελίξει (στο βαθμό και χρόνο, προφανώς, που επιτρέπει μια διπλωματική εργασία) ο σπουδαστής/η σπουδάστρια μεθόδους και λογισμικό Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics, CFD) για την ανάλυση και σχεδιασμό-βελτιστοποίηση αερο/υδροδυναμικών σωμάτων και, προφανώς, να τα εφαρμόσει σε προβλήματα διάφορων περιοχών (στροβιλομηχανές, εσωτερική και εξωτερική αεροδυναμική και υδροδυναμική, αυτοκίνητα, αεροσκάφη, εναλλάκτες θερμότητας κλπ). Η ΜΠΥΡ&Β χρησιμοποιεί λογισμικό που αναπτύσσεται από την ερευνητική μας ομάδα, άρα ο σπουδαστής/η σπουδάστρια έχει τη δυνατότητα να μάθει "από πρώτο χέρι" τις μεθόδους και το λογισμικό, συνεισφέροντας και στα δύο, στο μέτρο του δυνατού. Στη ΜΠΥΡ&Β δεν χρησιμοποιείται εμπορικό λογισμικό (λχ. CFD ή βελτιστοποίησης) και, ως εκ τούτου, δεν ανατίθενται θέματα όπου ο σπουδαστής/η σπουδάστρια απλά θα τρέξει το έτοιμο λογισμικό στην εφαρμογή την οποία θα επιλέξει. Η παραλληλοποίηση (σε συστοιχία CPUs ή σε επεξεργαστές καρτών γραφικών, GPUs) εμπλέκεται σχεδόν σε κάθε λογισμικό της ΜΠΥΡ&Β και, ως εκ τούτου, ο σπουδαστής/η σπουδάστρια μπορεί να το εκμεταλλευθεί είτε εμπλεκόμενος/η ο ίδιος/η ίδια στον προγραμματισμό (έστω ενός μικρού τμήματος του) παραλληλοποιημένου λογισμικού ή, απλά και μόνο, για να χρησιμοποιήσει (ως black box) επιταχύνοντας κατά πολύ τους υπολογισμούς που θα χρειαστεί να κάνει. Πέραν των εφαρμογών (στροβιλομηχανές, αυτοκίνητα, αεροσκάφη, εναλλάκτες θερμότητας απλοποιημένες μορφές τους ή και συνιστώσες τους), οι γενικές περιοχές για εκπόνηση μιας διπλωματικής εργασίας είναι:

**(1)** Χρήση, προγραμματισμός, αναβάθμιση, επιλυτών των εξισώσεων Navier-Stokes, με επιπλέον μοντέλα και δυνατότητες. Εφαρμογές σε πτερυγώσεις στροβιλομηχανών, μεμονωμένες πτέρυγες αεροσκαφών, πτερύγια ανεμογεννητριών, ροές μέσα ή γύρω από οποιοδήποτε σώμα (βλ. στο τέλος του κειμένου). Η Δ.Ε. πρέπει να εστιάσει σε 2D περιπτώσεις και, αν πρέπει, να επεκταθεί «με φειδώ» σε 3D εφαρμογές που στοιχίζουν αρκετά. Για τον εκπαιδευτικό χαρακτήρα μιας Δ.Ε. είναι παντελώς προτιμότερο να ασχοληθεί κάποιος/α κυρίως με 2D εφαρμογές, ώστε να μπορεί να κάνει πολλά τρεξίματα σε μικρό χρόνο και να δοκιμάσει πολλές ιδέες, παρά 1-2 μεγάλα τρεξίματα που θα χρειάζονται μέρες σε ένα πολυεπεξεργαστικό σύστημα. Η εμπλοκή στον ίδιο τον κώδικα της ροής θα είναι γενικά περιορισμένη, ώστε να κρατηθεί το επίπεδο εργασίας σε λογικά επίπεδα, εκτός αν η σπουδάστρια/ο σπουδαστής επιθυμεί να εμβαθύνει περισσότερο στην «καρδιά» του CFD. Κώδικες: το OpenFOAM (ασυμπίεστες ροές) και ο κώδικας PUMA (ασυμπίεστες και συμπιεστές, μέχρι και διηχητικές, ροές) της ΜΠΥΡ&Β που τρέχει σε κάρτες γραφικών (GPUs). Γλώσσα προγραμματισμού: Fortran, C++, CUDA-C (για κάρτες γραφικών). Οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού (λχ. Python) για τους μικρούς «περιφερειακούς» κώδικες που πάντα χρειάζονται να γίνουν.

**(2)** Χρήση, διατύπωση και προγραμματισμός μεθόδων βελτιστοποίησης αεροδυναμικής/υδροδυναμικής μορφής ή τοπολογίας με τη συζυγή μέθοδο (adjoint method). Η σχετική θεωρία διδάσκεται επαρκώς στο κατ' επιλογή μάθημα

"Μέθοδοι Βελτιστοποίησης" του 7ου εξαμήνου (αν δεν το έχετε παρακολουθήσει, ίσως υπάρχουν τρόποι να αποκτήσετε διαφορετικά τις πρέπουσες γνώσεις). Φυσική κατάληξη μιας τέτοιας εργασίας είναι η εφαρμογή των μεθόδων σε προβλήματα βελτιστοποίησης βλ. παρακάτω.

**(3)** Διατύπωση και προγραμματισμός μεθόδων βελτιστοποίησης που βασίζονται στους εξελικτικούς αλγορίθμους, όπου εμπλέκονται μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης (τεχνητά νευρωνικά δίκτυα κλπ). Η σχετική θεωρία διδάσκεται στο κατ' επιλογή μάθημα "Μέθοδοι Βελτιστοποίησης" του 7ου εξαμήνου (αν δεν το έχετε παρακολουθήσει, ίσως υπάρχουν τρόποι να αποκτήσετε διαφορετικά τις πρέπουσες γνώσεις). Νέες ιδέες δοκιμάζονται σε λογισμικό γραμμένο σε Fortran ή σε C++. Ενδιαφέρον ερευνητικό πεδίο αποτελεί η σύζευξη τέτοιων θεμάτων με μεθόδους που αναπτύσσονται στο (2), οδηγώντας σε νέους αποδοτικούς υβριδικούς αλγορίθμους.

**(4)** Θέματα χρήσης Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning) & Βαθιών Νευρωνικών Δικτύων (Deep Neural Networks) για την υποβοήθηση/επιτάχυνση κωδίκων CFD, λχ για την υποκατάσταση ακριβών μοντέλων τύρβης ή τμημάτων ενός μοντέλου κλπ.

Ενδεικτικά, μερικά από τα διαθέσιμα ανοικτά θέματα:

1. Σχεδιασμός-βελτιστοποίηση πτερύγωσης συμπίεστη με συνδυασμένη χρήση εξελικτικών αλγορίθμων, μηχανικής μάθησης και συζυγών μεθόδων (adjoint). Λογισμικό: PUMA, EASY, TensorFlow. Ενδεχόμενη βαθμονόμηση σταθερών των μοντέλων τύρβης με μηχανική μάθηση.
2. Αεροθερμодυναμικός σχεδιασμός-βελτιστοποίηση πτερύγωσης στροβίλου, με ή χωρίς σύστημα ψύξης, με συνδυασμένη χρήση εξελικτικών αλγορίθμων, μηχανικής μάθησης και συζυγών μεθόδων (adjoint). Λογισμικό: PUMA, EASY, TensorFlow. Ενδεχόμενη βαθμονόμηση σταθερών των μοντέλων τύρβης ή υποκατάσταση συνιστωσών του προβλήματος με μηχανική μάθηση.
3. Βέλτιστος σχεδιασμός αεροτομής φυσικά στρωτής ροής (natural laminar wing airfoil). Λογισμικό: PUMA.
4. Σχεδιασμός πτέρυγας αεροσκάφους με βέλτιστη αεροδυναμική απόδοση, που να χωρά στο εσωτερικό του συγκεκριμένη δεξαμενή καυσίμου (packaging or bounding constraints). Λογισμικό: PUMA ή OpenFOAM.
5. Παραμετροποίηση σχήματος-γεωμετρίας πτέρυγας αεροσκάφους ως προαπαιτούμενο βήμα μιας βελτιστοποίησης μορφής, υποστήριξη με ένα φιλικό GUI και γραφικά. Συνιστάται σε όποια/ον έχει έφεση στα τελευταία, και σε γλώσσα προγραμματισμού και περιβάλλον που αφήνεται στον/ην ενδιαφερόμενο/η.
6. Σχεδιασμός βελτιστοποιημένου μικρο-εναλλάκτη θερμότητας ή συστήματος ψύξης ηλεκτρονικών (λ.χ. επεξεργαστών) ή καναλιών ψύξης μπαταριών (battery stack) σε ηλεκτρικό αυτοκίνητο με χρήση βελτιστοποίησης τοπολογίας με τη συζυγή μέθοδο. Λογισμικό: OpenFOAM.
7. Σχεδιασμός-βελτιστοποίηση πτερυγίου ανεμογεννήτριας με τη συζυγή μέθοδο (adjoint) και μηχανική μάθηση. Λογισμικό: OpenFOAM, TensorFlow.
8. Διαχείριση περιορισμών σχετιζόμενων με την κατασκευασσιμότητα (με κριτήρια διαδικασιών 3D printing) της βέλτιστης λύσης που βγάζει η βελτιστοποίηση τοπολογίας. Πολλές εφαρμογές. Λογισμικό: OpenFOAM.
9. Βέλτιστος σχεδιασμός κυψελών καυσίμου (fuel cells), με εμπλουτισμό υπάρχοντος μοντέλου στο OpenFOAM.
10. Προγραμματισμός λογισμικού αεροδυναμικής αιτιοκρατικής βελτιστοποίησης μορφής σε γλώσσα python χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη scipy και το οικείο λογισμικό PUMA για τον υπολογισμό των παραγώγων ευαισθησίας της συνάρτησης στόχου και των περιορισμών.
11. Βέλτιστος σχεδιασμός πτέρυγας αεροσκάφους υπό γεωμετρικές αβεβαιότητες με χρήση του μη-επεμβατικού αναπτύγματος πολυωνυμικού χάους και του οικείου λογισμικού PUMA.

**Αν έχετε κάποιο ενδιαφέρον για τα παραπάνω, αφού πρώτα δείτε επί τροχάδην τις ολοκληρωθείσες Δ.Ε. των τελευταίων ετών, στείλτε email στο [kgianna@mail.ntua.gr](mailto:kgianna@mail.ntua.gr) για να συναντηθούμε και να εμβαθύνουμε στα θέματα που επιθυμείτε.**