



ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Α.Π. : 2779
Αθήνα, 13/6/23

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

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

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του Υ.Δ. κ. **ΚΟΛΙΑ Ιωάννη**, διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού ΕΜΠ (Integrated Master), την οποία εκπόνησε στον Τομέα Ρευστών. Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί την Τετάρτη 14 Ιουνίου 2023 ώρα 11:30π.μ. διαδικτυακά.

Ο ελληνικός τίτλος της Διδακτορικής Διατριβής είναι ο εξής:

«Ανάπτυξη Συστήματος Υπολογιστικών Εργαλείων για τον Προκαταρκτικό Σχεδιασμό Αεροπορικών Αεριοστροβίλων»

Και ο αγγλικός ως εξής :

«Development of an Integrated System for Preliminary Design of Aircraft Gas Turbines»

Ο Κοσμήτορας της Σχολής



N. Μαρμαράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Σημείωση: Για οδηγίες για την πρόσβαση σας διαδικτυακά απευθυνθείτε στον Επιβλέποντα του Υ.Δ.
Αναπλ Καθ. Ν. Αρετάκη (naret@mail.ntua.gr)

Development of an Integrated System for Preliminary Design of Aircraft Gas Turbines

Ioannis Koliass, Mechanical Engineer NTUA

Supervisor: Nikolaos Aretakis, Associate Professor NTUA

The development of new gas turbine engines formally begins with the engine performance, geometry, and weight requirements, imposed by a customer or the manufacturer itself trying to fulfill a new market need. The first step after defining the project's specific needs is the preliminary design phase where the potential of a new engine design in terms of fuel efficiency, stable operation, production, operational, and maintenance costs, is assessed. In aircraft engines, the design should also comply with the aircraft's top-level requirements and with environmental regulations. To fulfill this objective, a preliminary design framework is required which integrates robust, fast, and reliable predictive models and tools for different design and analysis disciplines.

This thesis is concerned with the development of an integrated system for the preliminary, multi-disciplinary design and assessment of gas turbine aircraft engines. Therefore, in the scope of the present thesis, a number of computational tools, appropriate for such calculations, were developed under the same, user-friendly coding, modelling, and simulation environment (PROOSIS). The term "appropriate" means tools of lower-fidelity (0D/1D) which present a number of advantages compared to higher-fidelity (2D/3D) tools when used in the context of preliminary design studies: 1) they are time efficient, 2) require very few and very basic performance and geometry inputs which are typically available during a preliminary calculation, 3) they are relatively easy in setting-up a calculation model and, finally, 4) they are easy to integrate in a design workflow.

Although there is not a single general recipe, the preliminary design phase should, at least, comprise modules for the aerothermodynamic design of turbomachinery components, for performance calculations at off-design conditions, for the mechanical design and analysis of critical structural components and parts, and for weight estimations. Therefore, in the context of the present thesis, corresponding computational tools and models (0D/1D) were developed which are organized in the following four (4) libraries:

- **TURBO1D**: Includes models for the preliminary aerothermodynamic design of gas turbine components, which are appropriate for multi-point design studies.
- **GTMDC**: Includes models and tools for the preliminary design and analysis of critical structural parts.
- **GTWC**: Includes models for the preliminary weight estimation of gas turbine components and generic turbofan engines.
- **MLC**: Includes models and tools for the preliminary aerothermodynamic design (MLDC) and off-design performance estimation (MLAC) of multi-stage, axial-flow compressors.

All the above tools were initially validated individually against publicly available data of real-engine configurations or against predictions produced by higher-fidelity (3D) tools. Then, they were combined under the PROOSIS environment for developing an

integrated system for the preliminary design of aircraft engines, which allows the efficient preliminary design and assessment of new engine concepts by easily defining any combination of design metrics and constraints, at any operating point, and for any of the involved design and analysis disciplines.

The capabilities, fidelity, and efficiency of the developed tools are demonstrated through trade-off optimization studies at component and at engine level, considering an ultra-high bypass ratio turbofan engine for a short-range aircraft mission. The design studies were formulated considering different objectives and conducted for two (2) values of the engine overall pressure ratio split between the low- and high-pressure compressors (0.30 and 0.40), which are of current industrial interest.

It is important to note that some of the tools presented in this thesis were developed as part of LTT/NTUA's collaboration with European gas turbine and aircraft industries, while the novel contributions of the present work are supported by five (5) peer-reviewed international scientific conference and journal papers.

Ανάπτυξη Συστήματος Υπολογιστικών Εργαλείων για τον Προκαταρκτικό Σχεδιασμό Αεροπορικών Αεριοστροβίλων

Ιωάννης Κόλιας, Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ

Επιβλέπων: Νικόλαος Αρετάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Η ανάπτυξη ενός νέου αεριοστροβίλου ξεκινά επίσημα με τις προδιαγραφές για τις επιδόσεις, τη γεωμετρία, και το βάρος της μηχανής που τίθενται από τον πελάτη ή από τον ίδιο τον κατασκευαστή της μηχανής προσπαθώντας να ερευνήσει και να ικανοποιήσει κάποια καινούργια ανάγκη της αγοράς. Το πρώτο βήμα ύστερα από τον ορισμό των προδιαγραφών της μηχανής είναι η φάση του προκαταρκτικού σχεδιασμού όπου αποτιμώνται οι προοπτικές ενός νέου σχεδιασμού ως προς την κατανάλωση καυσίμου, την ευσταθή λειτουργία, και τα κόστη παραγωγής, λειτουργίας και συντήρησης της μηχανής. Στις αεροπορικές μηχανές, ο σχεδιασμός θα πρέπει επίσης να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του φακέλου πτήσης του αεροσκάφους στο οποίο πρόκειται να τοποθετηθεί η νέα μηχανή, αλλά και με περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Για την επίτευξη αυτών των στόχων, απαιτείται η ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων προκαταρκτικού σχεδιασμού τα οποία ενσωματώνουν στιβαρά, γρήγορα, και αξιόπιστα υπολογιστικά μοντέλα και εργαλεία για τις διαφορετικές αρχές σχεδιασμού και ανάλυσης που λαμβάνουν χώρα στον προκαταρκτικό σχεδιασμό.

Στη διατριβή αυτή γίνεται η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος για τον προκαταρκτικό, πολυκριτηριακό σχεδιασμό και την αξιολόγηση αεροπορικών αεριοστροβίλων. Συνεπώς, στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, αναπτύχθηκαν υπολογιστικά εργαλεία κατάλληλα για προκαταρκτικούς υπολογισμούς. Η ανάπτυξη και ο προγραμματισμός των εργαλείων αυτών έγινε στο ίδιο περιβάλλον προγραμματισμού, μοντελοποίησης, και προσομοίωσης (PROOSIS). Ο όρος «κατάλληλα» σημαίνει εργαλεία χαμηλής πιστότητας (0D/1D) που παρουσιάζουν ένα πλήθος πλεονεκτημάτων έναντι εργαλείων υψηλότερης πιστότητας (2D/3D) όταν χρησιμοποιούνται σε μελέτες προκαταρκτικού σχεδιασμού: 1) είναι υπολογιστικά γρήγορα, 2) απαιτούν πολύ λίγα (και πολύ βασικά) δεδομένα εισόδου που, τυπικά, είναι διαθέσιμα κατά τη διάρκεια ενός προκαταρκτικού υπολογισμού, 3) μπορούν να χρησιμοποιηθούν απροβλημάτιστα για τη δημιουργία μιας νέας υπολογιστικής περίπτωσης και, τέλος, 4) μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα σε μια ροή εργασιών για τον ολοκληρωμένο προκαταρκτικό σχεδιασμό μιας μηχανής.

Αν και δεν υπάρχει μια γενική «συνταγή», το στάδιο του προκαταρκτικού σχεδιασμού πρέπει, κατ' ελάχιστον, να περιλαμβάνει εργαλεία για τον αεροθερμοδυναμικό σχεδιασμό των στροβιλοσυνιστωσών της μηχανής, για τον υπολογισμό των επιδόσεων των συνιστωσών της μηχανής σε σημεία λειτουργίας εκτός του σημείου σχεδιασμού τους, για τη μηχανολογική ανάλυση και το σχεδιασμό κρίσιμων δομικών στοιχείων της μηχανής όπως οι άτρακτοι και οι δίσκοι, και για την εκτίμηση του δομικού βάρους των συνιστωσών και της ίδιας της μηχανής. Συνεπώς, στο πλαίσιο της διατριβής, αναπτύχθηκαν αντίστοιχα υπολογιστικά εργαλεία και μοντέλα (0D/1D) που οργανώνονται στις ακόλουθες τέσσερις (4) βιβλιοθήκες:

- **TURBO1D:** Στη βιβλιοθήκη αυτή περιλαμβάνονται μοντέλα για τον προκαταρκτικό αεροθερμοδυναμικό σχεδιασμό συνιστωσών ενός αεροστροβίλου, που είναι κατάλληλα για ταυτόχρονο σχεδιασμό σε πολλά σημεία λειτουργίας της μηχανής.
- **GTMDC:** Στη βιβλιοθήκη αυτή περιλαμβάνονται μοντέλα και εργαλεία για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό και ανάλυση κρίσιμων δομικών μερών και εξαρτημάτων μιας μηχανής.
- **GTWC:** Στη βιβλιοθήκη αυτή περιλαμβάνονται μοντέλα για την προκαταρκτική εκτίμηση βάρους συνιστωσών ενός αεροστροβίλου και για γενικές διατάξεις στροβιλοαντιδραστήρων διπλού ρεύματος.
- **MLC:** Στη βιβλιοθήκη αυτή περιλαμβάνονται μοντέλα και εργαλεία για τον προκαταρκτικό αεροθερμοδυναμικό σχεδιασμό (MLDC) και την εκτίμηση των επιδόσεων σε σημεία εκτός σχεδιασμού (MLAC) πολυβάθμιων, αξονικών συμπιεστών.

Τα προαναφερθέντα εργαλεία αρχικά πιστοποιήθηκαν ξεχωριστά χρησιμοποιώντας διαθέσιμα δεδομένα για πραγματικές μηχανές και συγκρίσεις με προβλέψεις από εργαλεία υψηλότερης πιστότητας (3D). Στη συνέχεια, συνδυάστηκαν στο ίδιο περιβάλλον μοντελοποίησης και προσομοίωσης (PROOSIS) για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος, κατάλληλου για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό αεροπορικών κινητήρων. Το σύστημα αυτό επιτρέπει τον αποδοτικό σχεδιασμό και αξιολόγηση νέων διατάξεων αεροπορικών κινητήρων ορίζοντας εύκολα διαφορετικούς συνδυασμούς μετρικών και περιορισμών σχεδιασμού, που μπορούν να οριστούν σε οποιοδήποτε σημείο λειτουργίας της μηχανής και για οποιαδήποτε αρχή σχεδιασμού και ανάλυσης που περιλαμβάνεται στο σύστημα.

Οι υπολογιστικές δυνατότητες, η απόδοση, και η ακρίβεια των αναπτυχθέντων εργαλείων επιδεικνύονται μέσω μελετών βελτιστοποίησης σε επίπεδο συνιστώσας και κινητήρα, θεωρώντας έναν στροβιλοαντιδραστήρα διπλού ρεύματος υπέρ-υψηλού λόγου παράκαμψης, που μελετάται σε μια αποστολή μικρής εμβέλειας. Για τις μελέτες σχεδιασμού διατυπώθηκαν διαφορετικές αντικειμενικές συναρτήσεις, ενώ θεωρούνται δύο (2) διαφορετικές τιμές του λόγου διαμοιρασμού του ολικού λόγου πίεσης της μηχανής μεταξύ των συμπιεστών χαμηλής και υψηλής πίεσης (0.30 και 0.40), που είναι τρέχοντος βιομηχανικού ενδιαφέροντος.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι κάποια από τα εργαλεία που παρουσιάζονται σε αυτήν τη διατριβή αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της συνεργασίας του ΕΘΣ/ΕΜΠ με Ευρωπαϊκές βιομηχανίες κατασκευής αεροπορικών αεροστροβίλων και αεροσκαφών. Τέλος, οι καινοτόμες συνεισφορές της παρούσας διατριβής υποστηρίζονται από πέντε (5) δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια και περιοδικά με κριτές.