



**ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Α.Π. :
Αθήνα,

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

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

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του Υ.Δ. κ. **ΝΤΟΝΑ Κωνσταντίνου**, Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και κατόχου Μεταπτυχιακού Τίτλου του ΔΠΜΣ της ΣΗΜΜΥ ΕΜΠ στο επιστημονικό πεδίο Παραγωγή & Διαχείριση Ενέργειας, την οποία εκπόνησε στον Τομέα Ρευστών. Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί την Τετάρτη 23 Μαρτίου ώρα 9:30π.μ. διαδικτυακά. Ο ελληνικός τίτλος της Διδακτορικής Διατριβής είναι ο εξής:

«Ολοκληρωμένες Διαδικασίες Σχεδιασμού και Μετεξοπλισμού
Στροβιλοϋπερπληρωτών»

Και ο Αγγλικός ως εξής
«Integrated Processes for Turbocharger Design and Retrofitting».

Ο Κοσμήτορας της Σχολής



Ν. Μαρμαράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π

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

Τίτλος: Ολοκληρωμένες Διαδικασίες Σχεδιασμού και Μετεξοπλισμού Στροβιλοϋπερπληρωτών

Περίληψη:

Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής έγινε ανάπτυξη διαδικασιών προσομοίωσης, στοχεύοντας στον σχεδιασμό και μετεξοπλισμό στροβιλοϋπερπληρωτών. Οι διαδικασίες αναπτύχθηκαν συνθέτοντας τρεις καταστάσεις λειτουργίας, παρέχοντας δηλαδή μια πλήρως αυτόματη λύση μετεξοπλισμού και σχεδιασμού στροβιλοϋπερπληρωτών ή τη δυνατότητα προσομοίωσης στροβιλοϋπερπληρούμενης μηχανής ντίζελ.

Η πρώτη λειτουργία στοχεύει στην προσομοίωση στροβιλοϋπερπληρούμενης μηχανής ντίζελ, χρησιμοποιώντας μονοδιάστατα μοντέλα μέσης γραμμής για κάθε στροβιλο-συνιστώσα, ένα μοντέλο ενιαίας ζώνης για τον κινητήρα ντίζελ και μια ανάλυση ταιριάσματος στροβιλοϋπερπληρωτή - ντίζελ μηχανής. Το μοντέλο της ντίζελ μηχανής έχει την δυνατότητα προσαρμογής των παραμέτρων του με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα δοκιμών παραλαβής που παρέχει η κατασκευάστρια εταιρία, ενσωματώνοντας παράλληλα για πρώτη φορά, μια πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία υπολογισμού χάρτη επιδόσεων σε κάθε μοντέλο στροβιλο-συνιστώσας. Επιπλέον, αναπτύχθηκε μοντέλο μέσης γραμμής στροβίλου (αξονικό και ακτινικό) με τη δυνατότητα υπολογισμού της απόδοσης του στροβίλου πέραν του ορίου στραγγαλισμού.

Η δεύτερη λειτουργία αναφέρεται στον προκαταρκτικό σχεδιασμό στροβιλοϋπερπληρωτών, χρησιμοποιώντας μια διαδικασία βελτιστοποίησης με γνώμονα το ταίριασμα με το υπόλοιπο σύστημα μηχανής ντίζελ. Η διαδικασία βελτιστοποίησης επικεντρώνεται στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου της ντίζελ μηχανής σε όλο το εύρος λειτουργίας της, διασφαλίζοντας παράλληλα το ταίριασμα μεταξύ των στροβιλο-συνιστωσών με το υπόλοιπο σύστημα της ντίζελ μηχανής. Η δομική ακεραιότητα και των δύο στροβιλο-συνιστωσών ελέγχεται με χρήση απλοποιημένης στατικής και δυναμικής ανάλυσης. Αδιάστατοι παράμετροι χρησιμοποιούνται ως μεταβλητές βελτιστοποίησης, τόσο για τον συμπίεστή όσο και για τον στρόβιλο, παρέχοντας πιο γενικευμένη και αυτοματοποιημένη διαδικασία σχεδιασμού, καθώς δεν απαιτείται ο επαναπροσδιορισμός τόσο του εύρους των μεταβλητών βελτιστοποίησης όσο και της αρχικής γεωμετρίας για διαφορετική κλίμακα στροβιλοϋπερπληρωτή. Παράλληλα, μέσω της ανάλυσης όλων των πιθανών διατάξεων στροβιλοϋπερπληρωτών, επιλέγεται η καλύτερη διάταξη με γνώμονα τη βελτίωση της λειτουργία του συστήματος ντίζελ μηχανής.

Επιπλέον, παρέχεται επιλογή μερικού σχεδιασμού στροβιλο-συνιστώσας. Παρόμοια με τη διαδικασία σχεδιασμού στροβιλοϋπερπληρωτή, πραγματοποιείται μονοδιάστατος σχεδιασμός πολλαπλών σημείων στροβιλο-συνιστώσας σε επίπεδο συστήματος ντίζελ μηχανής. Επίσης, διασφαλίζεται η δομική ακεραιότητα της λύσης με τη χρήση απλοποιημένης δομικής ανάλυσης. Για τον σχεδιασμό του συμπίεστή, παρέχεται επίσης μια διαδικασία σχεδιασμού πολλαπλών σημείων λειτουργίας, βασισμένη σε διαδικασία βελτιστοποίησης υπολογιστικής ρευστοδυναμικής(CFD), η οποία παράγει μια βελτιωμένη

τριδιάστατη γεωμετρία με βάση τις ανάγκες της μηχανής ντίζελ. Σχετικά με τη δομική ακεραιότητα της τριδιάστατης γεωμετρίας, η διασφάλιση επιτυγχάνεται μέσω εργαλείου τριδιάστατης στατικής ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία.

Η τελευταία λειτουργία σχετίζεται με τον μετεξοπλισμό στροβιλοϋπερπληρωτών. Πραγματοποιείται εξέταση όλων των διαθέσιμων στροβιλο-συνιστωσών, αποσκοπώντας στην επιλογή του καλύτερου συνδυασμού. Η επιλογή γίνεται με γνώμονα την κατανάλωση καυσίμου της μηχανής ντίζελ, το ταίριασμα με το υπόλοιπο σύστημα και τη δομική ακεραιότητα.

Εν συνεχεία, πραγματοποιείται χρήση των διαδικασιών σε 2 είδη εφαρμογών με σκοπό την ανάδειξη των δυνατοτήτων τους. Στην πρώτη εφαρμογή, πραγματοποιείται μετεξοπλισμός στροβιλοϋπερπληρωτή, αναλύοντας τέσσερις επιλογές μετεξοπλισμού (αντικατάσταση συμπίεστή, αντικατάσταση στροβιλοϋπερπληρωτή, επανασχεδιασμός συμπίεστή και επανασχεδιασμός ολόκληρου του στροβιλοϋπερπληρωτή). Στην πρώτη και δεύτερη επιλογή, η διαδικασία του μετεξοπλισμού πραγματοποιείται με χρήση διαθέσιμων στροβιλο-συνιστωσών.

Στην τρίτη επιλογή, πραγματοποιείται μονοδιάστατος επανασχεδιασμός συμπίεστή, με στόχο την πλήρη επανασύσταση της αρχικής λειτουργίας του συστήματος μηχανής ντίζελ, παρέχοντας παράλληλα στο εργαλείο τριδιάστατου σχεδιασμού μια αξιόπιστη αρχική γεωμετρία. Εν συνεχεία, πραγματοποιείται η διαδικασία τριδιάστατου σχεδιασμού συμπίεστή, ακολουθώντας μια διαδικασία βελτιστοποίησης CFD-FEA, με στόχο την εύρεση μιας βελτιωμένης λύσης μετεξοπλισμού.

Στην τέταρτη επιλογή, πραγματοποιείται επανασχεδιασμός ολόκληρου του στροβιλοϋπερπληρωτή, αναλύοντας παράλληλα και τις τέσσερις πιθανές διατάξεις με στόχο την πλήρη επανασύσταση της αρχικής λειτουργίας του συστήματος μηχανής ντίζελ. Τα αποτελέσματα του σχεδιασμού των τεσσάρων διατάξεων ταξινομούνται με βάση την ετήσια μείωση του κόστους καυσίμου. Τέλος, πραγματοποιείται τεchnοοικονομική αποτίμηση των τεσσάρων επιλογών μετεξοπλισμού, αποσκοπώντας στην αξιολόγηση τους από οικονομική σκοπιά.

Η προσομοίωση βλαβών είναι ιδιαίτερος σημαντική κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού ή μετεξοπλισμού στροβιλοϋπερπληρωτών. Συνεπώς, στη δεύτερη εφαρμογή, πραγματοποιείται προσομοίωση συγκεκριμένων σφαλμάτων, χρησιμοποιώντας φυσικές συνεπείς παραμέτρους όπως η τραχύτητα και το πάχος πτερυγίου με βάση δεδομένα από την ανοιχτή βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν σημαντική μείωση στην απόδοση της μηχανής, ειδικά σε περίπτωση επικαθίσεων και στις δύο στροβιλο-συνιστώσες, σε αντίθεση με τη ρύπανση του εναλλάκτη θερμότητας όπου η μείωση της ισχύος επηρεάζεται λιγότερο.

Τίτλος: Integrated Processes for Turbocharger Design and Retrofitting

Περίληψη:

The thesis is concerned with the development of integrated processes for turbocharger(T/C) design and retrofitting. The processes, developed with three modes of operation, provide a fully automatic retrofit and design solution or the option for T/Ced Diesel Engine Simulation.

The first process which corresponds to turbocharged(T/Ced) diesel engine simulation, utilizes 1D meanline models for T/C components, a single-zone model for the diesel engine and a T/C-diesel engine matching analysis. The diesel engine model is adapted to engine-specific data and the overall integrated model is validated against shop trials data, obtained from a marine diesel auxiliary engine. A physically consistent, transparent, and fully automated procedure is integrated in each turbo-component meanline model, for producing the corresponding performance map. Additionally, turbine meanline model(axial and radial) is developed with the ability to compute turbine performance beyond choke limit, allowing the prediction of T/C operation with choked turbine.

The second process refers to T/C preliminary design. An optimization procedure is employed, to design both compressor and turbine to match the entire T/Ced system. The optimization process focuses on engine fuel consumption reduction in the engine range of operation, while ensuring appropriate matching between turbomachinery components and the diesel engine. Structural integrity of both turbo-components is ensured by using simplified static and modal analysis. Dimensionless parameters are used as optimization variables, for both compressor and turbine, providing a more general and automated design process since there is no need to redefine the range of optimization variables and the initial geometry for different T/C scales. It also produces four improved 1D geometries, of different possible centrifugal compressor diffuser and turbine combination. The combination that gives the best improvement to the diesel engine operation is identified.

Additionally, partial turbo-component design option is provided. Similar to the entire T/C design procedure, a 1D turbo-component multi-point design optimization process is carried out, aiming to provide a fast and reliable solution based on T/Ced diesel engine range of operation. Structural integrity is also ensured by using simplified structural analysis. For compressor design, a CFD compressor multi-point design optimization process is also provided, producing an improved 3D compressor geometry. It complies with the T/Ced diesel engine range of operation, while structural integrity is ensured by using Finite Element analysis.

The last process corresponds to automatic T/C retrofitting. During this process, available turbo-components are examined, in order to select the one that best matches the entire engine system, aiming to retain or improve the diesel engine efficiency.

Then, the above procedures are then applied to two application test cases. In the first one, a T/C redesign-retrofit case study is presented, where four

retrofitting options are analyzed (compressor replaced, T/C replaced, compressor redesign and entire T/C redesign). In the first and second option, T/C retrofitting is carried out, using available turbo-components. It is shown that initial performance cannot be reconstituted using off-the-shelf solutions.

In the third option, a T/C compressor redesign is carried out. First, a T/C 1D compressor design is performed, aiming to at least reconstituting the original diesel engine performance, providing a reliable compressor initial geometry for the 3D design procedure. Then, a fully 3D compressor design is then performed, using a CFD-FEA optimization process, in order to provide an improved retrofitting solution.

In the fourth option, where the entire T/C is redesigned, all four T/C configurations are designed and analyzed aiming to at least reconstituting the original diesel engine performance. All four improved T/C geometries are sorted based on the diesel engine annual fuel cost reduction. Finally, a techno-economical assessment is carried out, analyzing all four retrofit options economic performance.

In the second case, specific faults are simulated, utilizing physical consistent parameters such as blade roughness and thickness based on relevant literature data. Overall system simulation and operation analysis is carried out assessing operability and performance parameters. Analysis results show a significant reduction in engine performance, especially in case of both turbo components being fouled, in contrast with the heat exchanger fouling where the power reduction is less affected.