



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου • ΤΗΛ.: 7721099, FAX: 7721057

Αρ.Πρωτ.: 4612

Αθήνα, 4-7-2013

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

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του κ. Γεωργίου Αντωνάκου, διπλωματούχου της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, που θα πραγματοποιηθεί την Πέμπτη 11 Ιουλίου 2013 και ώρα 09:45, στην αίθουσα σεμιναρίων στο υπόγειο των Εργαστηρίων του Τομέα Θερμότητας – Κτίριο Ν της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Πολυτεχνειούπολη - Ζωγράφου.

ΘΕΜΑ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

«Βελτιστοποίηση μηχανής Stirling και του αναγεννητή της»

Επισυνάπτεται περίληψη της παραπάνω Διδακτορικής Διατριβής.

Ο εκτελών χρέη Κοσμήτορα

Δ. Ε. Παπαντώνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ STIRLING
ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΝΑΓΕΝΝΗΤΗ ΤΗΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΔΗΜ. ΑΝΤΩΝΑΚΟΣ

Επιβλέπων: Εμμανουήλ Δ. Ρογδάκης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, 2013

Αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής αποτέλεσε η εμβάθυνση στην ανάλυση των μηχανών Stirling και του αναγεννητή τους. Προς τούτο αναπτύχθηκε σύνθετο θερμοδυναμικό μοντέλο προσομοίωσης της συμπεριφοράς των θερμοκινητήρων Stirling, το SETAM-NTUA (Stirling Engine Thermodynamic Analysis Model - NTUA). Με βάση το μοντέλο αυτό κατασκευάστηκε υπολογιστικός κώδικας SETAC-NTUA σε περιβάλλον Mathcad, με το οποίο αναλύθηκε η συμπεριφορά των πιο γνωστών μηχανών Stirling. Προσδιορίστηκαν τα βέλτιστα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους σε περιοχή βέλτιστης λειτουργίας του αναγεννητή.

Για ταχείς και σχετικά απλούς υπολογισμούς εξελέγηκε το κλασσικό αδιαβατικό μοντέλο ανάλυσης των μηχανών Stirling. Με το εξελεγμένο αδιαβατικό μοντέλο αίρονται πολλοί από τους περιορισμούς του κλασσικού αδιαβατικού μοντέλου, που αναπτύχθηκε στα πλαίσια προηγούμενης Διδακτορικής Διατριβής από τον Δρ Νικόλαο Μπορμπιλιά στο εργαστήριο εφαρμοσμένης θερμοδυναμικής της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.. Κατασκευάστηκε επίσης υπολογιστικός κώδικας για την αξιοποίηση του.

Ως προς τη βελτιστοποίηση της θερμοδυναμικής ανάλυσης των μηχανών Stirling, μελετήθηκαν τα αίτια που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου.

Διερευνήθηκαν τα φαινόμενα μετάδοσης θερμότητας μεταξύ εργαζόμενου μέσου και τοιχωμάτων. Μελετήθηκαν οι συνθήκες ροής του εργαζόμενου μέσου στους χώρους της μηχανής, ειδικά μέσω του πλέγματος του αναγεννητή. υπολογίστηκαν οι απώλειες θερμικής αγωγιμότητας στα διάφορα μέρη της μηχανής και οι απώλειες θερμότητας λόγω της παλινδρομικής κίνησης του εκτοπιστή. Διερευνήθηκε η διαρροή εργαζόμενου μέσου μεταξύ του χώρου συμπίεσης και χώρου απόσβεσης και υπολογίστηκε η επίδραση της λειτουργίας του τελευταίου στην απόδοση της μηχανής. Επίσης μελετήθηκε η διάχυση της ενέργειας σε ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας.

Ως προς τη βελτιστοποίηση του αναγεννητή, μελετήθηκε αποδοτικότητα του συναρτήσεων των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του, όπως το πορώδες και η διάμετρος του νήματος. Επίσης διερευνήθηκε η σχέση αποδοτικότητας του αναγεννητή και απόδοσης της μηχανής. Προσδιορίστηκε βέλτιστος συνδυασμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του αναγεννητή που οδηγεί σε ταυτόχρονα υψηλή αποδοτικότητα αναγεννητή και υψηλής απόδοσης της μηχανής.

Η αξιοπιστία των υπολογιστικών κωδικών δοκιμάστηκε σε σχέση πειραματικά και ανάλογα υπολογιστικά αποτελέσματα για τις μηχανές GPU-3 και PHILIPS, των αναγνωρισμένων ερευνητικών κέντρων:

- Lewis Research Center – NASA,
- Research Laboratories of N. V. Philips
- Oak Research Center

Το πειραματικό μέρος της εργασίας αφορά μετρήσεις στη μηχανή Solo Stirling 161V η οποία εγκαταστάθηκε το 2010 στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε όλο το φάσμα λειτουργίας της μηχανής και μελετήθηκε η ενεργειακή απόδοση της μονάδας. Πραγματοποιήθηκαν αντιστοιχίες των αποτελεσμάτων των προαναφερθέντων υπολογιστικών μοντέλων με τα αντίστοιχα πειραματικά.

Για τη μελέτη των κινηματικών μηχανισμών και της διερεύνησης της επίδρασής τους στην απόδοση των μηχανών Stirling, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία ανάλυσης του κινηματικού μηχανισμού ρομβικού τύπου που χρησιμοποίησε ο Meijer στη διδακτορική του διατριβή. Υπολογίστηκαν οι απώλειες ενέργειας λόγω τριβών και αδράνειας σε όλο το φάσμα των στροφών και των επιπέδων μέσης πίεσης της μηχανής. Μελετήθηκε η απόκλιση της

στιγμαϊας γωνιακής ταχύτητας και της γωνίας στροφάλου από την αντίστοιχη θεωρητική τιμή τους.

Λέξεις κλειδιά: Θερμοδυναμική ανάλυση, αναγεννητής, πτώση πίεσης, διάχυση ενέργειας, στρωτή και τυρβώδης ροή, συνθήκες σταθερότητας, θερμική ισχύς, παραγόμενο έργο, χώρος απόσβεσης, μεταλλικό πλέγμα, δυνάμεις αδράνειας και τριβών.

Δημοσιεύσεις στα πλαίσια της διατριβής:

1. Rogdakis E. D., Antonakos G. D., Koronaki I. P., 'Thermodynamic Analysis and Experimental Investigation of a Solo V161 Stirling Cogeneration Unit', 2012, Energy, 45 (1), pp. 503-511.
2. Rogdakis E. D., Koronaki I. P., Antonakos G. D., 'Thermodynamic Analysis and Performance investigation of an Alpha type Stirling Engine, ASME ESDA 2012 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design & Analysis, Nantes, 2-4 July 2012.
3. Rogdakis E. D., Antonakos G. D., Koronaki I. P., 'Thermodynamic analysis and experimental investigation of a Solo V161 Stirling cogeneration unit', ECOS 2011, 24th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Novi-Sad Serbia, 4-7 July 2011, pp. 225-236.
4. Antonakos G., Koronaki I., Rogdakis E., Sparacello A., "Stirling Engines Evaluation Performance for various theoretical/experimental models of the regenerator", International Stirling Forum 2008, Osnabruck Germany, September 2008.