



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

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

Αρ.Πρωτ.: 2859

Αθήνα, 15/4/15

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

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του κ. **Ιωάννη Καραθανάση**, Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού ΕΜΠ, που θα πραγματοποιηθεί την Τρίτη 21 Απριλίου, ώρα 13:00, στην αίθουσα Διαλέξεων του, Κτιρίου ANYM (Εργαστηρίων Αεροδυναμικής-Ναυπηγικής-Υδροδυναμικών Μηχανών, 2^{ος} όροφος) της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Το Θέμα της Διδακτορικής Διατριβής είναι:

«Ανάπτυξη και Βελτιστοποίηση συγκεντρωτικού Φωτοβολταϊκού Θερμικού Συστήματος συνδυασμένης παραγωγής»

Επισυνάπτεται περίληψη της παραπάνω Διδακτορικής Διατριβής

Ο ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ



Η. ΤΑΤΣΙΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Περίληψη

Με τον όρο “φωτοβολταϊκά/θερμικά συστήματα” αναφερόμαστε σε ολοκληρωμένεσ διατάξεις που έχουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία. Στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η θεωρητική και πειραματική διερεύνηση ενός πρωτότυπου συγκεντρωτικού φωτοβολταϊκού/θερμικού συστήματος γραμμικής εστίασης. Το σύστημα αποτελείται από τρεις διακριτές συνιστώσες: τη διάταξη συγκέντρωσης της ακτινοβολίας, τη συστοιχία ηλιακών κυψελών και το ενεργητικό σύστημα ψύξης (ψύκτρα). Η ηλιακή ακτινοβολία, με τη χρήση παραβολικού ανακλαστήρα, συγκεντρώνεται στην επιφάνεια της συστοιχίας κυψελών, στο πίσω μέρος της οποίας είναι προσκολλημένη κατάλληλη ψύκτρα (heat sink) η οποία απάγει την περίσσεια θερμικής ενέργειας. Οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν τη λειτουργία ενός συγκεντρωτικού φωτοβολταϊκού/θερμικού συστήματος είναι η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία των ηλιακών κυψελών. Συνεπώς, κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα για κατάλληλο σύστημα ψύξης, ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία των κυψελών υπό υψηλή συγκέντρωση ακτινοβολίας, αλλά σε ελεγχόμενο θερμοκρασιακό εύρος.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην επιλογή και σχεδίαση της πλέον κατάλληλης διάταξης απαγωγής θερμότητας. Αρχικά, αξιολογήθηκαν, με χρήση μοντέλων υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, διάφοροι τύποι διατάξεων, έχοντας ως κριτήρια, μεταξύ άλλων, τη θερμική αντίσταση που εμφανίζουν, τη θερμοκρασιακή ομοιομορφία στη θερμαινόμενη επιφάνεια και την πτώση πίεσης που προκαλούν στο εργαζόμενο μέσο. Οι διατάξεις που ελήφθησαν υπ’ όψιν μπορούν να χωριστούν σε δύο ευρύτερες κατηγορίες ανάλογα με τη διατομή των αγωγών που χρησιμοποιούνται για τη διέλευση του ψυκτικού μέσου (νερό): διατάξεις με αγωγούς ορθογωνικής και κυκλικής διατομής, αντίστοιχα. Στις διατάξεις ορθογωνικής διατομής που διερευνήθηκαν περιλαμβάνονται ψύκτρες που χρησιμοποιούν κανάλια με πλάτος στην περιοχή της μικρο-κλίμακας (microchannels) και της μίνι-κλίμακας (minichannels). Αντιστοίχως, οι διατάξεις κυκλικής διατομής που διερευνήθηκαν περιλαμβάνουν ψύκτρες τύπου «σωλήνα-σε-πλάκα» (tube-on-plate) με σωλήνωση σε μαιανδρική διαμόρφωση βυθισμένη εντός πλάκας με αυλακώσεις.

Ακολούθησε η διαδικασία βελτιστοποίησης των πιο αποδοτικών ψυκτικών διατάξεων, κατά την οποία αναπτύχθηκε ολοκληρωμένη μεθοδολογία πολύ-κριτηριακής (multi-objective) βελτιστοποίησης η οποία, με δεδομένη τη συνολική επιφάνεια των διατάξεων και μέσω της χρήσης γενετικού αλγορίθμου, οδήγησε στον προσδιορισμό των βέλτιστων γεωμετρικών παραμέτρων. Επιπροσθέτως, σχεδιάστηκε το σύστημα προσαγωγής-απαγωγής του ψυκτικού ρευστού. Οι βελτιστοποιημένες ψύκτρες κατασκευάστηκαν από τεμάχια αλουμινίου και αξιολογήθηκαν πειραματικά. Η αξιολόγηση περιλάμβανε τη μέτρηση της πτώσης πίεσης του ψυκτικού διαμέσου αυτών (υδροδυναμική απόδοση) και τη μέτρηση της θερμοκρασίας μετάλλου για θέρμανση μέσω σταθερής θερμορροής (θερμική απόδοση) σε συνθήκες αμελητέων θερμικών απωλειών.

Αναφορικά με την ανάπτυξη του ολοκληρωμένου συγκεντρωτικού φωτοβολταϊκού/θερμικού συστήματος πραγματικής κλίμακας, σε πρώτο στάδιο διενεργήθηκε εμπειριστατωμένη έρευνα αγοράς ώστε να εξασφαλισθεί η προμήθεια των κατάλληλων υλικών και η δυνατότητα κατασκευής των μεταλλικών συνιστωσών που απαρτίζουν το συγκεντρωτικό σύστημα. Πιο συγκεκριμένα εξασφαλίστηκε η προμήθεια φύλλων ανοδιωμένου αλουμινίου υψηλής ανακλαστικότητας και συστοιχιών (panels) ηλιακών κυψελών ειδικής σχεδίασης. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην προμήθεια

και αξιολόγηση του κατάλληλου υλικού για την προσκόλληση της ψύκτρας στη συστοιχία κυψελών, καθώς η επιτυχής θερμική σύζευξη έχει ευεργετική επίδραση στην απόδοση και την αξιοπιστία του συστήματος. Με τη χρήση λογισμικού τρισδιάστατης σχεδίασης (Dassault Solidworks) αναπτύχθηκαν τα μηχανολογικά σχέδια του συγκεντρωτικού συστήματος και στη συνέχεια κατασκευάστηκαν όλες οι μεταλλικές συνιστώσες που απαρτίζουν το σύστημα. Η οπτική ποιότητα του παραβολικού πλαισίου αξιολογήθηκε πειραματικά με χρήση κατάλληλης διάταξης, η οποία φέρει πλέγμα αισθητηρίων (φωτοδιόδων), ώστε να προσδιοριστεί η κατανομή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια του απορροφητή καθώς και ο επιτυγχανόμενος δείκτης συγκέντρωσης. Επιπλέον, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού «ιχνηλασίας ακτίνων» (Lambda TracePro), προσδιορίστηκαν οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την οπτική ποιότητα του παραβολικού πλαισίου.

Για την πειραματική αξιολόγηση του ολοκληρωμένου συστήματος αναπτύχθηκε κατάλληλη πειραματική διάταξη. Η διάταξη περιλαμβάνει κλειστό κύκλωμα νερού, το οποίο συνδέεται υδραυλικά με το υπό αξιολόγηση σύστημα και επιτρέπει την αξιολόγηση λειτουργίας του συστήματος για διάφορες τιμές της παροχής και της θερμοκρασίας εισόδου του ψυκτικού ρευστού. Επιπροσθέτως, όλα τα απαραίτητα για την αξιολόγηση του συστήματος φυσικά μεγέθη (περιβαλλοντικές συνθήκες, παροχή ρευστού, θερμοκρασίες, τάση και ένταση ρεύματος) μετρώνται μέσω διακριβωμένων μετρητικών οργάνων. Από την πειραματική αξιολόγηση προέκυψαν οι καμπύλες τάσης-έντασης και ο ρυθμός μείωσης της απόδοσης των συστοιχιών ηλιακών κυψελών ως συνάρτηση της θερμοκρασίας λειτουργίας, καθώς και ο ηλεκτρικός και θερμικός βαθμός απόδοσης του συστήματος για διαφορετικές παραμέτρους λειτουργίας. Επιπροσθέτως, προσδιορίστηκαν οι βασικοί μηχανισμοί θερμικών απωλειών από τον απορροφητή του συστήματος και η θερμική απόδοση του συστήματος συγκρίθηκε με επίπεδους ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες που είναι εμπορικά διαθέσιμοι στην ελληνική αγορά.

Τέλος, για τη δυναμική προσομοίωση της λειτουργίας του ολοκληρωμένου φωτοβολταϊκού/θερμικού συστήματος αναπτύχθηκε υπολογιστικός κώδικας σε γλώσσα FORTRAN, ο οποίος έχει τη δυνατότητα πρόβλεψης της απόδοσης (ηλεκτρικής-θερμικής και εξεργειακής) του συστήματος. Το υπολογιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε είναι δυναμικό και επιτρέπει την πρόβλεψη της παραγόμενης από το σύστημα ισχύος σε ωριαία, μηνιαία και ετήσια βάση. Το μοντέλο λαμβάνει υπ' όψιν τα χαρακτηριστικά του συστήματος με παραμετρικό τρόπο, ώστε να είναι δυνατός ο καθορισμός των βέλτιστων παραμέτρων λειτουργίας και ο προσδιορισμός των συνιστωσών του συστήματος που έχουν τη σημαντικότερη επίδραση στη εξεργειακή απόδοση.

Η ολοκληρωμένη διαδικασία σχεδιασμού, κατασκευής και αξιολόγησης τόσο του ολοκληρωμένου συστήματος, όσο και των επί μέρους υπο-συστημάτων κατέδειξε με σαφήνεια τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών/θερμικών συστημάτων. Επιπλέον, η τεχνογνωσία που αποκτήθηκε επιτρέπει την αναγνώριση και αντιμετώπιση όλων των τεχνικών προκλήσεων που σχετίζονται με τέτοιου είδους συστήματα. Προτάσεις ώστε να ενισχυθεί περαιτέρω η αποδοτική λειτουργία πρωτότυπων φωτοβολταϊκών/θερμικών συστημάτων δίνονται ως θέματα για μελλοντική έρευνα.