

## ΜΕΛΕΤΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Ι.Α. Στογιάννης, Α.Α. Πάσσος, Γ.Ε. Ακεψιμαΐδης, Σ.Β. Παράς

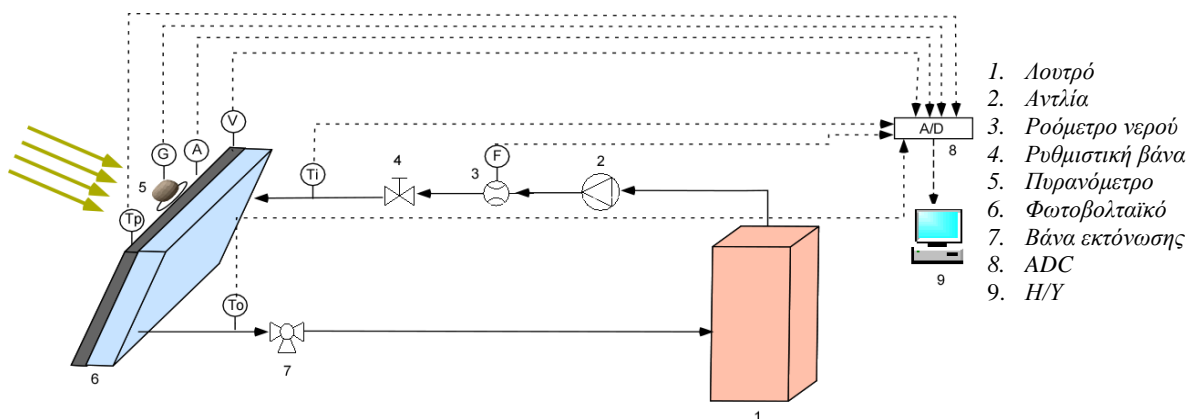
Εργαστήριο Τεχνολογίας Χημικών Εγκαταστάσεων, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΑΠΘ  
e-mail: paras@auth.gr

**Λέξεις Κλειδιά:** PVT, CFD, Τεχνικοοικονομική μελέτη

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, άφθονη και φιλική προς το περιβάλλον. Οι τεχνολογίες που την εκμεταλλεύονται είναι τα θερμικά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμική και ηλεκτρική αντίστοιχα. Σύμφωνα με τον Tripanagnostopoulos (2007) τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια μόνο το 5-15% από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Το υπόλοιπο απορροφάται ως θερμότητα από τη διάταξη του φωτοβολταϊκού προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας του συλλέκτη με συνέπεια τη μείωση της ηλεκτρικής του απόδοσης (Chow, 2010). Ο **υβριδικός φωτοβολταϊκός θερμικός συλλέκτης (PVT)** είναι η συσκευή η οποία μπορεί ταυτόχρονα να μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια (παραγωγή θερμού νερού) (Tyagi et al., 2012). Ο βέλτιστος σχεδιασμός της αποτελεί αντικείμενο μελέτης τα τελευταία χρόνια.

**Στόχος** της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της παροχής του ψυκτικού ρευστού και της διαμόρφωσης της επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας του κυκλώματος ψύξης ενός PVT στη συνολική ενεργειακή απόδοση τους συστήματος. Παράλληλα, διεξάγεται προκαταρκτική τεχνικοοικονομική μελέτη, βασισμένη στα πειραματικά αποτελέσματα, με την οποία αποτιμάται η οικονομική βιωσιμότητα των διατάξεων PVT.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε πολυκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό διαστάσεων  $365 \times 280 \times 22$  mm και ισχύος 8W. Το ψυκτικό μέσο ήταν νερό που κυκλοφορούσε στην πίσω πλευρά του συλλέκτη σε ειδικά διαμορφωμένο κανάλι ορθογωνικής διατομής ( $235 \times 5$  mm) κατασκευασμένο από Plexiglas<sup>®</sup>. Μετρήθηκαν οι θερμοκρασίες της επιφάνειας του PVT και οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του ψυκτικού ρευστού, η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και η τάση/ένταση του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος και τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν μέσω κάρτας ADC σε H/Y. Η θερμοκρασία εισόδου του νερού στο PVT διατηρήθηκε σταθερή με τη βοήθεια λουτρού. Το διάγραμμα ροής της πειραματικής διάταξης παρουσιάζεται στο **Σχήμα 1**.



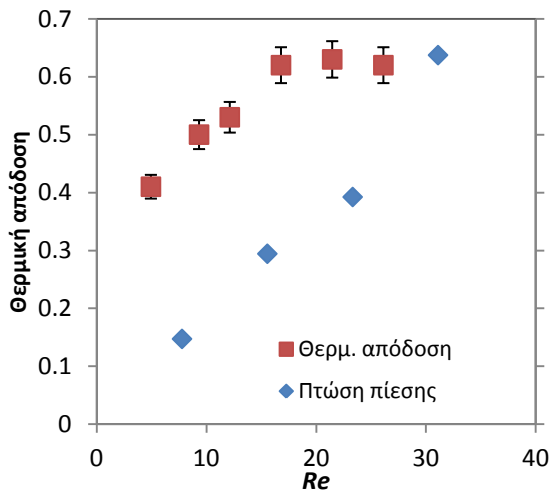
**Σχήμα 1:** Διάγραμμα ροής της πειραματικής διαδικασίας.

Επιπλέον, με σκοπό την προσομοίωση του πεδίου ροής του ψυκτικού ρευστού και της μεταφοράς θερμότητας αξιοποιήθηκε, κώδικας Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (CFD). Στις παροχές ψυκτικού που μελετήθηκαν ( $Re = 12-27$ ) η ροή του νερού στο κανάλι μπορεί να θεωρηθεί στρωτή. Για τις ανάγκες της προσομοίωσης τα εξωτερικά τοιχώματα του καναλιού ροής θεωρούνται αδιαβατικά, ενώ

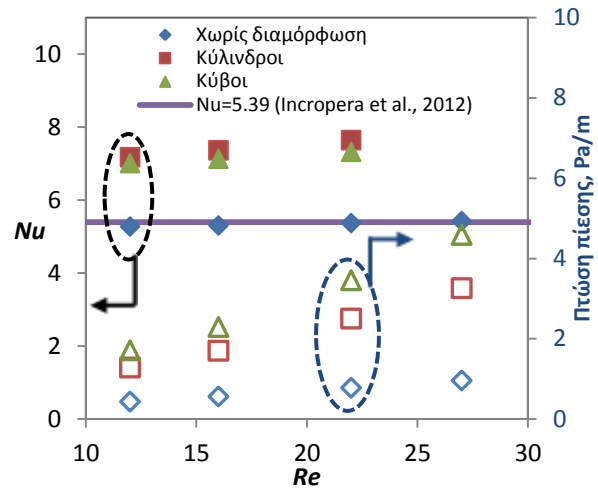
στην επιφάνεια που εφάπτεται με τα φωτοβολταϊκά κελιά εφαρμόζεται ως οριακή συνθήκη σταθερή θερμική ροή (*heat flux*). Πραγματοποιήθηκε ένα εύρος προσομοιώσεων, για διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του *PVT* (παροχή ψυκτικού ρευστού, θερμική ροή) ενώ παράλληλα διερευνήθηκε η επίδραση των διαμορφώσεων της επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας στη συνολική απόδοση του *PVT*. Μελετήθηκαν δύο διαφορετικά είδη εμποδίων: κυλινδρικού και κυβικού σχήματος. Προηγήθηκε μελέτη εξάρτησης των αριθμητικών αποτελεσμάτων από την πυκνότητα του υπολογιστικού πλέγματος (*grid dependence study*), ενώ η αξιολόγηση του κώδικα έγινε με σύγκριση των αποτελεσμάτων του με αντίστοιχα πειραματικά καθώς και αναλυτικές προβλέψεις από τη βιβλιογραφία.

Αποδείχθηκε ότι, όπως αναμενόταν, η ψύξη του *PVT* μπορεί να προκαλέσει αύξηση τουλάχιστον μέχρι 10% της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος (Πάσσοσ, 2012). Παρατηρήθηκε ακόμη μείωση της ηλεκτρικής απόδοσης με αύξηση της θερμοκρασίας (0.5 %/C), όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία (Chow, 2010). Η μέγιστη θερμική απόδοση του *PVT* υπολογίστηκε σε 65% για παροχή νερού 150 ml/min ( $Re=21$ ) ενώ η αντίστοιχη συνολική πτώση πίεσης φτάνει τα 35 Pa (Σχήμα 2).

Η αύξηση που παρατηρήθηκε στο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας σε σχέση με την απλή-επίπεδη γεωμετρία ήταν μεγαλύτερη του 25% και για τα δυο είδη εμποδίων (Σχήμα 3, κλειστά σύμβολα). Ωστόσο, η προσθήκη τους προκαλεί όπως αναμένεται μεγαλύτερη πτώση πίεσης που οδηγεί σε αυξημένες απαιτήσεις αντλητικής ισχύος (Σχήμα 3, ανοιχτά σύμβολα). Επίσης παρατηρήθηκε ότι η διαφοροποίηση στη γεωμετρία των εμποδίων δεν έχει τελικά σημαντική επίδραση στο συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και στην πτώση πίεσης (Ακεψιμαΐδης, 2012).



Σχήμα 2: Θερμική απόδοση *PVT* και συνολική πτώση πίεσης συναρτήσει του αριθμού  $Re$ .



Σχήμα 3: Εξάρτηση αριθμού  $Nu$  (κλειστά σύμβολα) και πτώσης πίεσης (ανοιχτά σύμβολα) από τον αριθμό  $Re$  για διάφορες διαμορφωμένες επιφάνειες.

Από την τεχνικοοικονομική μελέτη προέκυψε ότι οι υδρόψυκτοι *PVT* συλλέκτες συμφέρουν οικονομικά σε σχέση με τις κλασικές διατάξεις των φωτοβολταϊκών **μόνο** στην περίπτωση που υπάρχει δυνατότητα εκμετάλλευσης του παραγόμενου θερμού νερού. Ο απώτερος στόχος αυτής της μελέτης είναι η χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων της για το βέλτιστο σχεδιασμό συστημάτων *PVT*.

## Βιβλιογραφία

- Ακεψιμαΐδης, Γ.Ε. 2012 Προσομοίωση του πεδίου ροής και της μεταφοράς θερμότητας σε υβριδικό φωτοβολταϊκό, *Διπλωματική Εργασία*, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.
- Chow, T. T. 2010. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. *Applied Energy*, 87, 365-379.
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L. & Lavine, A. S. 2012. Principles of Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons, Inc.
- Πάσσοσ, Α.Δ. 2012 Πειραματική μελέτη της ενεργειακής απόδοσης ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού (*PVT*), *Διπλωματική Εργασία*, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.
- Tripanagnostopoulos, Y. 2007. Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/thermal solar energy systems. *Solar Energy*, 81, 1117-1131.
- Tyagi, V. V., Kaushik, S. C., Tyagi, S. K. & Bergene, T. 2012. Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1383-1398.