

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΕΛΙΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

I.A. Στογιάννης, Σ.Β. Παράς

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

Λέξεις Κλειδιά: Κελιά καυσίμου, μεταφορά θερμότητας, CFD, PHE

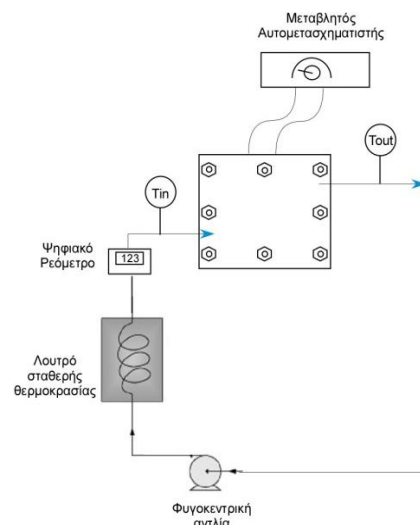
Τα συστήματα κελιών καυσίμου (*fuel cell systems*) και ειδικότερα τα κελιά καυσίμου πολυμερικής μεμβράνης (*Polymer Exchange Membrane Fuel Cells – PEMFC*) έχουν παρουσιάσει αλματώδη τεχνολογική εξέλιξη τις τελευταίες δύο δεκαετίες και αναμένεται να είναι ένα από τα διαδεδομένα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τόσο για κινητές (*mobile*) όσο και μεσαίου μεγέθους σταθερές (*stationary*) εφαρμογές (Basu, 2007). Παρόλο που τα *PEMFC* παρουσιάζουν υψηλή ενεργειακή απόδοση, γρήγορη εκκίνηση και καλή δυναμική συμπεριφορά στις αλλαγές ηλεκτρικού φορτίου, εκκλύουν ένα σημαντικό ποσό θερμικής ενέργειας που είναι περίπου ίσο με την ονομαστική ηλεκτρική ισχύ του συστήματος (O'Hayre et al., 2009). Οι στρατηγικές διαχείρισης θερμότητας στα συστήματα *PEMFC* έχουν αναγνωριστεί ως ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα εφαρμογής των συγκεκριμένων τεχνολογιών που πρέπει να επιλυθούν πριν την επιτυχή μαζική χρήση τους σε εμπορικές διατάξεις (Zhang and Kandlikar, 2012).

Μια παράμετρος που συχνά δε λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό συστημάτων *PEMFC*, είναι η κατανομή της θερμοκρασίας πάνω στη πολυμερική μεμβράνη, η οποία επηρεάζει σημαντικά τόσο τη διάρκεια ζωής όσο και την απόδοση της μεμβράνης (Kandlikar and Lu, 2009). Η κατανομή αυτή είναι αποτέλεσμα αφενός της ηλεκτροχημικής αντίδρασης, καθώς περισσότερη θερμότητα παράγεται στη κάθοδο, και αφετέρου της ανομοιόμορφης απαγωγής θερμότητας από τα κυκλώματα ψύξης. Χρησιμοποιώντας κυρίως υπολογιστικές μεθόδους, έχει μελετηθεί ένα εύρος σχεδιαστικών επιλογών (*design options*) για τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος ψύξης των *PEMFC* (Zhang and Kandlikar, 2012) αναδεικνύοντας ως σημαντικότερα κριτήρια σχεδιασμού την ελάττωση της πτώσης πίεσης στο κύκλωμα ψύξης, τη μεγαλύτερη απαγωγή θερμότητας και την προστασία της πολυμερικής μεμβράνης από τοπικά σημεία υψηλών θερμοκρασιών.

Στόχος της εργασίας είναι η αξιολόγηση συμπαγών εναλλάκτων θερμότητας με πλάκες (*Plate Heat Exchangers – PHE*) που φέρουν διαμορφώσεις στην επιφάνειά τους και οι οποίοι θα αξιοποιηθούν στη διαχείριση θερμότητας συστημάτων *PEMFC*. Πιο συγκεκριμένα, με χρήση ενός αξιολογημένου κώδικα Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (*CFD*), αναζητείται εκείνος ο συνδυασμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ψυκτικών πλακών, ο οποίος θα οδηγεί στην οικονομικά βέλτιστη λειτουργία ενός συστήματος *PEMFC*.

Κατασκευάστηκε πειραματική διάταξη (**Σχήμα 1**) που προσομοιάζει τη γεωμετρία ενός κελιού καυσίμου και “μιμείται” τη θερμική συμπεριφορά της ηλεκτροχημικής αντίδρασης που λαμβάνει χώρα στη πολυμερική μεμβράνη του κελιού. Έτσι δίνεται η δυνατότητα η θερμική συμπεριφορά της διεργασίας να μελετηθεί ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα πολύπλοκα φαινόμενα που συμβαίνουν στο εσωτερικό ενός κελιού. Η μεταφορά θερμότητας από τη θερμαντική πλάκα στο ψυκτικό γίνεται δι'αμέσου μιας πλάκας αλουμινίου που φέρει διαμορφώσεις στην επιφάνειά της.

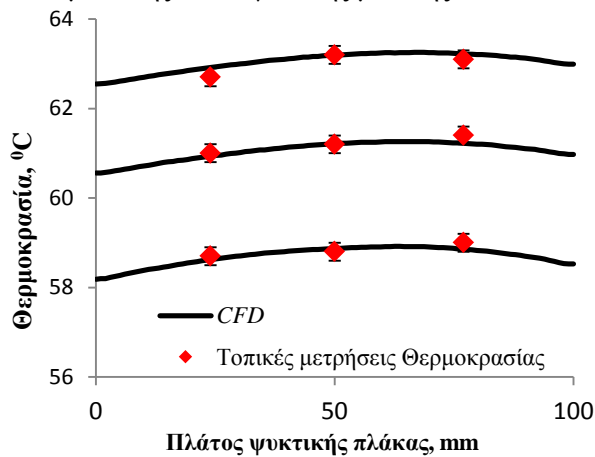
Παράλληλα, χρησιμοποιείται κώδικας *CFD* για να υπολογιστεί το πεδίο ταχύτητας του ψυκτικού ρευστού και η κατανομή της



Σχήμα 1: Διάγραμμα ροής της πειραματικής διάταξης

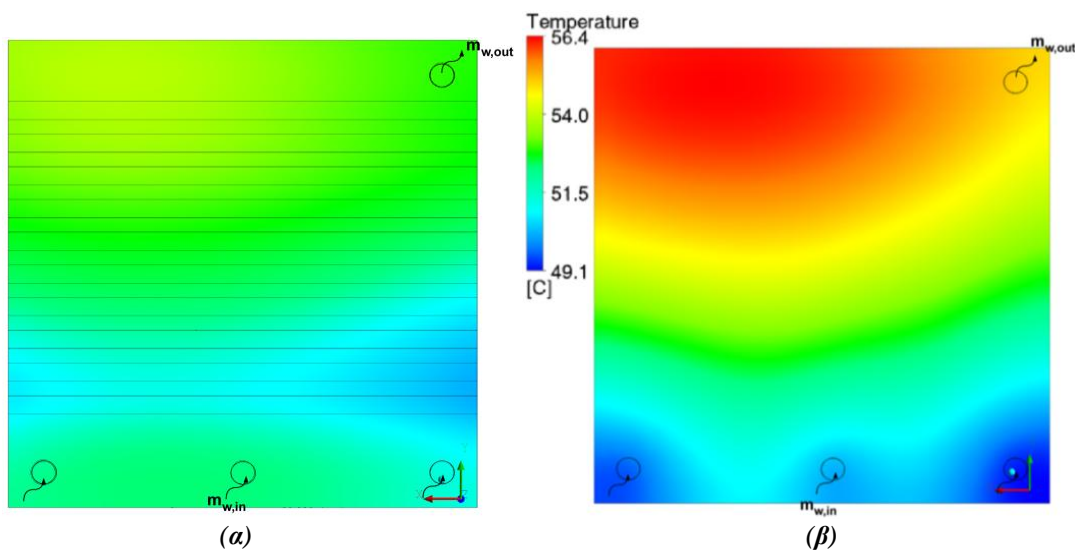
θερμοκρασίας στην επιφάνεια της ψυκτικής πλάκας. Αναλυτική παρουσίαση των σημαντικότερων παραμέτρων της προσομοίωσης (π.χ. πυκνότητα πλέγματος, οριακές συνθήκες) αναφέρεται σε πρόσφατη δημοσίευση (Stogiannis et al., 2012). Με βάση την υπολογιστική μελέτη καθορίζονται και ποσοτικοποιούνται οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία ενός κελιού καυσίμου, όπως η κατανομή της θερμοκρασίας πάνω στη μεμβράνη και η πτώση πίεσης στο σύστημα ψύξης.

Τα πειραματικά αποτελέσματα για διάφορα είδη διαμόρφωσης της επιφάνειας της ψυκτικής πλάκας χρησιμοποιούνται αρχικά για την αξιολόγηση του κώδικα *CFD*. Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2** τα αποτελέσματα της υπολογιστικής μελέτης είναι σε πολύ καλή συμφωνία με τα αντίστοιχα πειραματικά.



Σχήμα 2: Μετρήσεις θερμοκρασίας και σύγκριση με αποτελέσματα *CFD* για διαμορφωμένη ψυκτική πλάκα.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ακόμη ότι η τροποποίηση της διαμόρφωσης των ψυκτικών πλακών (**Σχήμα 3α**) μπορεί να βελτιώσει την ομοιομορφία της κατανομής της θερμοκρασίας έως και 60% σε σχέση με μια επίπεδη ψυκτική πλάκα (**Σχήμα 3β**). Παράλληλα, η υπολογιζόμενη πτώση πίεσης για ένα ψυκτικό κύκλωμα βασισμένο σε *PHE* είναι σημαντικά μικρότερη από αυτήν που αναφέρεται σε αντίστοιχες μελέτες της βιβλιογραφίας, βασισμένες σε διάφορες διαμορφώσεις μ -καναλιών ψύξης (Stogiannis et al., 2012). Η παρούσα εργασία, είναι μέρος ενός ευρύτερου ερευνητικού έργου που βρίσκεται σε εξέλιξη και αφορά τη βέλτιστη λειτουργία ενός *PEMFC* με παράλληλη εκμετάλλευση της εκλυόμενης θερμότητας.



Σχήμα 3: Κατανομή θερμοκρασίας σε ψυκτική πλάκα με επιφάνεια: **(α)** διαμορφωμένη και **(β)** επίπεδη.

Βιβλιογραφία

- Basu, S. 2007. *Recent trends in fuel cell science and technology*, New York, Springer.
- Kandlikar, S. G. & Lu, Z. J. 2009 Thermal management issues in a PEMFC stack - A brief review of current status. *Applied Thermal Engineering*, 29, 1276-1280.
- O'Hayre, R. P., Cha, S.-W., Colella, W. P. & Prinz, F. B. 2009 *Fuel cell fundamentals*, Hoboken, NJ, J. Wiley & Sons.
- Stogiannis, I.A., Mouza, A.A. & Paras, S.V. 2012 Study of a micro-structured PHE for the thermal management of a Fuel Cell. *Applied Thermal Engineering*, doi:10.1016/j.applthermaleng.2012.08.024 (in press).
- Zhang, G. S. & Kandlikar, S. G. 2012 A critical review of cooling techniques in proton exchange membrane fuel cell stacks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, 2412-2429.