



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

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

Αρ.Πρωτ.: 5152

Αθήνα, 8/7/2014

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

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του **κ.Τερτίπη Δημήτριου**, Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού ΕΜΠ, που θα πραγματοποιηθεί την Δευτέρα 14 Ιουλίου 2014, ώρα 13:00, στο Αμφιθέατρο Πολυμέσων (Ισόγειο Κτ. Κεντρ. Βιβλιοθήκης) στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Το Θέμα της Διδακτορικής Διατριβής είναι:

«Μοντελοποίηση και πειραματική αξιολόγηση Συστημάτων Εξατμιστικής Ψύξης»

Επισυνάπτεται περίληψη της παραπάνω Διδακτορικής Διατριβής

Ο ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ


Η. ΤΑΤΣΙΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Σύνοψη της Διδακτορικής Διατριβής του κ. Τερτίπη Δημητρίου με τίτλο: «Μοντελοποίηση & Πειραματική Αξιολόγηση Συστημάτων Εξατμιστικής Ψύξης»

Ως πλέον καινοτόμος μεταξύ των μονάδων που υλοποιούν το φαινόμενο της εξατμιστικής ψύξης, επιλέχθηκε προς διερεύνηση και μελέτη ο κύκλος Maisotsenko. Ο εν λόγω κύκλος έχει παρουσιαστεί εδώ και περίπου μια δεκαετία, οι δε ευρεσιτεχνίες που σχετίζονται με την κατασκευή του κατατέθηκαν μόλις το 2005. Η μελέτη, λοιπόν, αυτού του κύκλου αποτέλεσε αντικείμενο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, μιας και η υπάρχουσα βιβλιογραφία ήταν (και παραμένει) πολύ περιορισμένη και η τεχνολογία αυτή δεν είχε αποτελέσει στο παρελθόν αντικείμενο συστηματικής έρευνας για το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής, υπό την αιγίδα του οποίου εκπονήθηκε η διατριβή.

Το 1^ο Κεφάλαιο της διατριβής έχει ως αντικείμενο την τεχνολογία της εξατμιστικής ψύξης. Όντας αυτή μη διάσημη στην Ελλάδα, κρίνεται αναγκαία η επισκόπηση των θεμελιωδών αρχών που διέπουν τη λειτουργία τους και των δύο βασικών υλοποιήσεών της. Ταυτόχρονα, περιγράφονται εποπτικά τα αποτελέσματα της λειτουργίας των εξατμιστικών ψυκτών, αναλύονται τα φαινόμενα συναλλαγής αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας. Τέλος, επεξηγούνται οι σημαντικές παράμετροι αξιολόγησης των επιδόσεων των εξατμιστικών ψυκτών και (όταν τέτοιες δεν υπάρχουν) εισάγονται νέες παράμετροι εκτίμησης της συμπεριφοράς αυτών των συσκευών (π.χ. το μέγεθος της ειδικής κατανάλωσης νερού).

Στο 2^ο Κεφάλαιο εξετάζεται το φυσικό και τεχνικό υπόβαθρο των φαινομένων που διέπουν την εξατμιστική ψύξη. Εκκινώντας από απλές έννοιες, αναπτύσσονται τα φαινόμενα μετάδοσης θερμότητας και μεταφοράς μάζας, καθίστανται κατανοητοί οι ποσοτικοί συντελεστές που διέπουν τα φαινόμενα αυτά και εξετάζεται η αλληλεπίδρασή τους. Έτσι, συνάγονται χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τα φυσικά όρια της εξατμιστικής ψύξης και τα μέσα ενίσχυσής της. Κρίθηκε, επίσης, σκόπιμο να αναπτυχθεί ένα ψυχομετρικό εργαλείο υπολογισμού ψυχομετρικών μεγεθών συναρτήσει της θερμοκρασίας ξηρού βολβού και του λόγου υγρασίας, με γνώμονα την επίτευξη της μέγιστης δυνατής ακρίβειας, παραβλέποντας τις απλουστευτικές (και εν γένει αποδεκτές) θερμοδυναμικές συσχετίσεις που χρησιμοποιούνται στην πράξη (από τις οποίες διαπιστώθηκαν, σε κάποιες περιπτώσεις, αποκλίσεις).

Η τεχνολογία της άμεσης εξατμιστικής ψύξης είναι η πλέον εύκολα υλοποιούμενη και αναμφίβολα η πιο προσιτή ως προς την κατανόηση της λειτουργίας της, μιας και διέπεται από τα ίδια φαινόμενα με τους ψυκτικούς πύργους. Για τους ψύκτες αυτούς, στο 3^ο Κεφάλαιο αναπτύσσεται ένα υπολογιστικό εργαλείο, βασισμένο σε σύνθετες ενεργειακές σχέσεις, το οποίο προβλέπει, όχι μόνο τις συνθήκες εξόδου του αέρα από έναν εξατμιστικό ψύκτη, αλλά και τις τοπικές τιμές της θερμοκρασίας και του λόγου υγρασίας. Το στοιχείο πρωτοτυπίας της εδώ παρουσιασθείσας εργασίας είναι πως, σε αντίθεση με τη ευρέως αποδεκτή θεώρηση πως το νερό παρέχεται στον ψύκτη υπό μια σταθερή και συγκεκριμένη θερμοκρασία (συγκεκριμένα, τη θερμοκρασία υγρού βολβού του περιβάλλοντος), εδώ η θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας αποτελεί μια ανεξάρτητη μεταβλητή εισόδου, ικανή να προκαλέσει μεταβολές στην εν γένει συμπεριφορά του ψύκτη.

Στο 4^ο Κεφάλαιο μελετάται κατασκευαστικά ο κύκλος Maisotsenko. Έχοντας την εμπειρία της συμπεριφοράς των άμεσων εξατμιστικών ψυκτών (οι οποίοι, κατ' ουσία, αποτελούν τη μια συνιστώσα των έμμεσων εξατμιστικών ψυκτών), αναπτύσσεται σταδιακά ο τρόπος υλοποίησης του κύκλου Maisotsenko,

αρχικά σε θεωρητικό επίπεδο και ακολούθως σε πρακτικό. Χρησιμοποιώντας απλά ψυχρομετρικά εργαλεία περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο τα δύο ρεύματα αέρα του κύκλου Maisotsenko συναλλάσσουν θερμότητα και το πώς τελικά επιτυγχάνεται η παραγωγή αέρα θερμοκρασίας παραπλήσιας της αντίστοιχης σημείου δρόσου του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, με μια ακολουθία σχημάτων, δομείται μια συσκευή εναλλαγής θερμότητας και μάζας, η οποία με τρόπο αποδοτικό υλοποιεί τον κύκλο Maisotsenko, εμβαθύνοντας στις λεπτομέρειες των επιμέρους λειτουργικών συνιστωσών της (π.χ. διανομή νερού, επιμερισμός ρευμάτων κ.λπ.).

Καθώς οι δομικές και λειτουργικές λεπτομέρειες του κύκλου Maisotsenko είχαν καθοριστεί, επόμενο βήμα της μελέτης του και αντικείμενο του 5^{ου} Κεφαλαίου ήταν η συγκρότηση ενός υπολογιστικού εργαλείου προσομοίωσης της συμπεριφοράς της βασικής γεωμετρικής διαμόρφωσης του κύκλου. Αντιμετωπίζοντας ένα τόσο σύνθετο υπολογιστικό πρόβλημα, αποφασίστηκε η ανεξάρτητη μελέτη των δύο συνιστωσών του, της θερμοδυναμικής και της ρευστομηχανικής. Η δεύτερη, μολονότι το καθ' αυτό ρευστομηχανικό πρόβλημα δεν είναι αντικείμενο της παρούσης διατριβής, επιλύθηκε με κώδικα Υπολογιστικής Ρευστομηχανικής, ώστε να είναι γνωστή η διανομή των ρευμάτων διαμέσου του ψύκτη για ένα ικανό εύρος παροχών· τα αποτελέσματα ήταν κατατοπιστικά και ενδεικτικά των ιδιομορφιών της βασικής γεωμετρικής διαμόρφωσης. Ακολούθως, τα φαινόμενα μετάδοσης θερμότητας και μεταφοράς μάζας συνεξεύχθησαν σε ένα ισχυρό υπολογιστικό εργαλείο, ικανό να προσομοιώσει εξατμιστικό ψύκτη κατά Maisotsenko οποιωνδήποτε διαστάσεων.

Η υπολογιστική προσομοίωση του κύκλου Maisotsenko θα ήταν ατελής, εάν δεν υποστηριζόταν από ένα ικανό πλήθος πειραματικών μετρήσεων προς επιβεβαίωση της ισχύος της. Αφ' ενός η ανυπαρξία τέτοιων μετρήσεων στη βιβλιογραφία, αφ' ετέρου η προοπτική παραμετροποίησης των χαρακτηριστικών του κύκλου, οδήγησαν στην αναγκαιότητα συγκρότησης μιας πλήρους πειραματικής εγκατάστασης, εξοπλισμένης με τα απαραίτητα μετρητικά όργανα, ώστε να επιβεβαιωθεί στην πράξη η ισχύς του μοντέλου, αλλά και η εφαρμοσιμότητα του κύκλου Maisotsenko στο κλίμα της Αθήνας. Το 6^ο Κεφάλαιο της διατριβής πραγματεύεται τη διαδικασία λήψης μετρήσεων και την επεξεργασία αυτών, ώστε να καταστεί αξιολογήσιμο το υπολογιστικό εργαλείο και να πραγματοποιηθεί η αναγκαία εμβάθυνση στα φαινόμενα που διέπουν μια πραγματική ψυκτική συσκευή, με δεδομένες ιδιαιτερότητες και καινοτομίες. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν την ισχύ και το εύρος των δυνατοτήτων του υπολογιστικού εργαλείου.

Η ελλιπής βιβλιογραφική τεκμηρίωση του κύκλου Maisotsenko κατέστησε αναγκαία τη συγκριτική ανάλυση δύο εργασιών, οι οποίες εκπονήθηκαν με συνεργασία της εταιρείας Coolerado, η οποία εκμεταλλεύεται εμπορικά τον κύκλο Maisotsenko. Οι μελέτες αυτές πραγματεύονται την ανάλυση των ρευστομηχανικών και θερμορρευστομηχανικών χαρακτηριστικών του κύκλου, παράλληλα με μια βασική υπολογιστική παραμετροποίηση, αξιολογήθηκε συνεπώς ως χρήσιμη η μελέτη των συμπερασμάτων τους και αποτελεί το αντικείμενο του 7^{ου} Κεφαλαίου. Εδώ μελετώνται τα συμπεράσματα των δύο αυτών εργασιών, ώστε να διαπιστωθεί η συνάφειά τους με τα συμπεράσματα των 5^{ου} και 6^{ου} Κεφαλαίων της παρούσας Διατριβής. Συμπληρωματικά, εντάσσεται στο παρόν Κεφάλαιο μια ανάλυση ροών αέρα κατά μήκος των καναλιών του εναλλάκτη θερμότητας και μάζας, ώστε να ποσοτικοποιηθούν οι συντελεστές γραμμικών και εντοπισμένων απωλειών πίεσης, μιας και είναι η πτώση πίεσης το μέγεθος που σχετίζεται απόλυτα με την κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος από τον ψύκτη.

Έχοντας πια ένα συμπαγές μοντέλο προσομοίωσης της βασικής γεωμετρικής διαμόρφωσης του κύκλου Maisotsenko, του οποίου η ακρίβεια επιβεβαιώθηκε από τη σύγκριση με τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, το επόμενο βήμα θα είναι η αξιοποίησή του με σκοπό την παραμετρική μελέτη της συμπεριφοράς του ψύκτη και την επιλογή κάποιων καλύτερων συνθηκών λειτουργίας του (κατασκευαστικής φύσεως). Στο 8^ο Κεφάλαιο εξετάζεται πρώτα η επίδραση του περιβάλλοντος στην απόδοση του ψύκτη, όχι

μόνο σε όρους βαθμού απόδοσης, αλλά κυρίως σε όρους θερμοκρασίας παραγόμενου ψυχρού αέρα. Ακολούθως μελετάται το πώς το μέγεθος της βρεχόμενης επιφάνειας επηρεάζει την εξέλιξη των φαινομένων εξατμίστης και το πώς η μεταβολή των ρευστομηχανικών συνθηκών εντός του ψύκτη μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση ή μείωση της απόδοσής του. Τέλος, σε συνέχεια της προσπάθειας κι άλλων μελετητών της εν λόγω τεχνολογίας, παραμετροποιείται το κλάσμα των παροχών μάζας των δύο διακριτών ρευμάτων του ψύκτη και διερευνάται το πώς και γιατί η μείωση αυτού του κλάσματος οδηγεί σε σαφή αύξηση της απόδοσης και σε αλματώδη αύξηση της κατανάλωσης νερού.

Ωστόσο, η βασική γεωμετρική διαμόρφωση δε μπορούσε να αποτελέσει τη μόνη δυνατή γεωμετρία υλοποίησης του κύκλου Maisotsenko. Θέτοντας ως κριτήριο τη μεγιστοποίηση της ποσότητας του αέρα σε επαφή με τη βρεχόμενη επιφάνεια, προκρίθηκε ο σχεδιασμός και η αξιολόγηση μιας γεωμετρίας κυλινδρικής μορφής. Αυτή ακριβώς η διαμόρφωση δομείται σταδιακά στο 9^ο Κεφάλαιο: ανάγοντας τις βασικές αρχές μετάδοσης θερμότητας και μεταφοράς μάζας που έχουν ήδη μελετηθεί σε μια ροή εντός αγωγού κυκλικής διατομής, περιγράφονται τα βήματα κατασκευής της διαμόρφωσης αυτής, αρχικά ως απλή ομορροή, ακολούθως ως αντιρροή, αντιρροή με ανανεωνόμενα ρεύματα, αντιρροή με ανάμειξη ρευμάτων, αντιρροή με πρόψυξη και τελικά ως αντιρροή με πρόψυξη και ανακυκλοφορία, όπως προνοεί ο κύκλος Maisotsenko. Η διαμόρφωση αυτή θα επιλυθεί αριθμητικά και θα διαπιστωθεί το κατά πόσο υπερτερεί (ή όχι) σε σχέση με τη βασική γεωμετρική διαμόρφωση, παράλληλα δε, μέσω της παρουσίας των τοπικών τιμών θερμοκρασίας και λόγου υγρασίας, θα μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την εξέλιξη των φυσικών φαινομένων εντός των ψυκτικών συσκευών.

Το 10^ο Κεφάλαιο της διατριβής επικεντρώνεται στη δυνατότητα εφαρμογής της εξατμιστικής ψύξης στην Ελλάδα. Αξιοποιώντας τα κλιματικά δεδομένα της χώρας, εξετάζεται το κατά πόσο ένας εξατμιστικός ψύκτης θα λειτουργεί αποδοτικά, παρέχοντας την απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα αέρα· το κλίμα της Αθήνας αξιολογείται όχι μόνο ως κατάλληλο, αλλά και ως συμφέρον για την εφαρμογή της εξατμιστικής ψύξης. Επίσης, εξετάζεται η δυνατότητα αξιοποίησης του νερού της βροχής για την τροφοδοσία εξατμιστικών ψυκτών, σε συνάρτηση με τον υετό κάθε περιοχής και την απαιτούμενη αποθηκευτική ικανότητα.

Τα συμπεράσματα της διατριβής συνοψίζονται στο 11^ο Κεφάλαιο. Εκεί τα αποτελέσματα της διατριβής ενοποιούνται και συγκεντρώνονται εποπτικά και με σαφήνεια. Στο ίδιο Κεφάλαιο προτείνονται κάποιες κατευθύνσεις για μελλοντική εργασία, σχετική με το αντικείμενο της διατριβής και καταγράφονται οι δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά που υποβλήθηκαν στα πλαίσιά της. Τέλος, παρατίθενται 6 Παραρτήματα, στα οποία παρουσιάζονται εποπτικά οι υπολογιστικοί κώδικες της διατριβής σε περιβάλλον MathCAD.