



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

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

Αρ.Πρωτ.: 4544

Αθήνα, 18/5/15

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


ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής της **Κας Ρ. Χριστοδουλάκη**, Διπλωματούχου Φυσικός του Πανεπιστημίου Αθηνών, που θα πραγματοποιηθεί την Τρίτη 2 Ιουνίου, ώρα 11:00, στο Αμφιθέατρο Πολυμέσων της Κεντρικής Βιβλιοθήκης ΕΜΠ, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Το Θέμα της Διδακτορικής Διατριβής είναι:

«Θερμοδυναμική ανάλυση συστημάτων ανοικτού εξατμιστικού κύκλου με υγρά προσροφητικά υλικά»

Επισυνάπτεται περίληψη της παραπάνω Διδακτορικής Διατριβής

Ο ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ


Η. ΤΑΤΣΙΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ «ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΟΙΚΤΟΥ
ΕΞΑΤΜΙΣΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΜΕ ΥΓΡΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ»
ΡΟΖΑ Ι. ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΑΚΗ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η μελέτη των φαινομένων μεταφοράς θερμότητας και μάζας μεταξύ του αέρα, του αφυγραντικού υλικού και του νερού που συντελούνται στα κλιματιστικά συστήματα ανοικτού εξατμιστικού κύκλου με υγρά προσροφητικά υλικά. Η έρευνα υλοποιείται τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πειραματικό επίπεδο και εξετάζει την ενεργειακή απόδοση του αφυγραντή και του αναγεννητή. Αρχικά, αποκτάται το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες των πιο διαδεδομένων αφυγραντικών υδατικών διαλυμάτων. Η γνώση αυτή χρησιμοποιείται ως βάση για την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων του αφυγραντή και του αναγεννητή. Τα μοντέλα αφορούν τρεις διαφορετικές διατάξεις: την αδιαβατική συσκευή με το πληρωτικό υλικό, τη μη αδιαβατική συσκευή με το σωληνοειδή εναλλάκτη και τη μη αδιαβατική συσκευή με τον πλακοειδή εναλλάκτη. Όλα τα μοντέλα συγκρίνονται με πειραματικά δεδομένα από την ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία και δείχνουν αξιόπιστη συμπεριφορά, παρουσιάζοντας μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους. Η εκτενής παραμετρική ανάλυση που διεξάγεται σε κάθε επικυρωμένο μαθηματικό μοντέλο υποδεικνύει τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση του αφυγραντή και του αναγεννητή. Η πειραματική διαδικασία που διεξάγεται στα πλαίσια της εργασίας αυτής προσφέρει ανεκτίμητες γνώσεις για τη λειτουργία αυτών των κλιματιστικών συσκευών. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι ο ρυθμός αφύγρανσης του αέρα κυμαίνεται από 6.99 έως 11.90 kg νερού/ώρα και η ενεργειακή κατανάλωση του αναγεννητή κυμαίνεται από 6.93 kWh έως 26.22 kWh, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας. Ικανοποιητική απόδοση του αναγεννητή επιτυγχάνεται ακόμη και με θερμοκρασία θερμού νερού 46.11 °C. Η χαμηλή θερμοκρασία που απαιτείται για τη λειτουργία αυτών των κλιματιστικών μονάδων ευνοεί τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αποκτώντας έτσι περιβαλλοντικά και οικονομικά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών κλιματιστικών συστημάτων συμπίεσης ατμού.

Ειδικότεροι στόχοι της εργασίας είναι οι εξής:

- Η απόκτηση του θεωρητικού υπόβαθρου σχετικά με τα διαθέσιμα προσροφητικά υδατικά διαλύματα, τις συσκευές αφύγρανσης και αναγέννησης που χρησιμοποιούν υγρά προσροφητικά υλικά και τις διατάξεις των κλιματιστικών συστημάτων.
- Η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων για την εκτίμηση της απόδοσης των αφυγραντικών διατάξεων που χρησιμοποιούν υγρά προσροφητικά υλικά.
- Η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων για την εκτίμηση της απόδοσης των αναγεννητικών διατάξεων των υγρών προσροφητικών υλικών.
- Η εξέταση, μέσω εκτενούς παραμετρικής ανάλυσης, των σημαντικότερων παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοση του αφυγραντή και του αναγεννητή.
- Η πειραματική αξιολόγηση των κλιματιστικών αυτών συστημάτων.
- Η ανάδειξη μεθόδων βελτιστοποίησης των συστημάτων αυτών, βασιζόμενη στην θεωρητική μελέτη και στην πειραματική διαδικασία.

Η καινοτομία της εργασίας έγκειται στους παρακάτω τομείς έρευνας:

- Επίλυση φαινομένων μεταφοράς θερμότητας και μάζας του αφυγραντή και του αναγεννητή χρησιμοποιώντας σύστημα συνήθων διαφορικών εξισώσεων.
- Ανάπτυξη αλγόριθμου επίλυσης των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας και μάζας
- Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων για την προσομοίωση της λειτουργίας των

- Αφυγραντή/αναγεννητή ως αδιαβατικές συσκευές με πληρωτικό υλικό
- Αφυγραντή/αναγεννητή ως μη αδιαβατικές συσκευές με σωληνοειδή εναλλάκτη
- Αφυγραντή/αναγεννητή ως μη αδιαβατικές συσκευές με πλακοειδή εναλλάκτη
- Σύγκριση των μαθηματικών μοντέλων με πειραματικά δεδομένα από τη βιβλιογραφία.
- Συγκριτική ανάλυση και παραμετρικές προσομοιώσεις του αφυγραντή και του αναγεννητή με τις ακόλουθες εξαρτημένες μεταβλητές
 - Είδος προσροφητικού διαλύματος
 - Κατάσταση εισόδου του αέρα
 - Κατάσταση εισόδου του προσροφητικού διαλύματος
 - Κατάσταση εισόδου του νερού
- Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την προσομοίωση των κλιματιστικών συστημάτων ανοικτού κύκλου με υγρό προσροφητικό υλικό
- Διεξαγωγή πειραμάτων αφύγρανσης και αναγέννησης με τις ακόλουθες μεταβλητές
 - Κατάσταση εισόδου του αέρα
 - Κατάσταση εισόδου του προσροφητικού διαλύματος
 - Κατάσταση εισόδου του νερού.

Η διατριβή αναπτύσσεται σε οκτώ κεφάλαια. Το 1^ο κεφάλαιο εισάγει τον αναγνώστη στην τεχνολογία που πραγματεύεται η εν λόγω διατριβή. Αναφέρονται συνοπτικά οι συμβατικές τεχνολογίες κλιματισμού που εφαρμόζονται σήμερα, η ανάγκη για περισσότερο ενεργειακά αποδοτικά κλιματιστικά συστήματα και η προοπτική των κλιματιστικών συστημάτων ανοικτού εξατμιστικού κύκλου με υγρό προσροφητικό υλικό. Περιγράφονται επίσης τα πρωτότυπα στοιχεία της διατριβής.

Στο 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφική επισκόπηση των μεθόδων επίλυσης των δύο θεμελιωδών λειτουργιών των κλιματιστικών συστημάτων ανοικτού κύκλου με υγρά προσροφητικά υλικά: της αφύγρανσης του αέρα και της αναγέννησης του αφυγραντικού διαλύματος. Περιγράφονται αναλυτικά τα υπολογιστικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα, οι βασικές υποθέσεις που έγιναν και τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

Το 3^ο κεφάλαιο εισάγει τον αναγνώστη στις θερμοφυσικές ιδιότητες των υδατικών διαλυμάτων αλάτων που χρησιμοποιούνται ως αφυγραντικά μέσα στα κλιματιστικά συστήματα προσρόφησης ανοικτού κύκλου. Οι θερμοφυσικές ιδιότητες που εξετάζονται για κάθε διάλυμα είναι: όριο διαλυτότητας, τάση ατμών, επιφανειακή τάση, δυναμική συνεκτικότητα, θερμική αγωγιμότητα, ειδική θερμοχωρητικότητα και διαφορική ενθαλπία διάλυσης. Η ανάλυση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων αποτελεί το πρώτο βήμα προς την κατανόηση της λειτουργίας των συστημάτων και την ανάπτυξη των μοντέλων προσομοίωσης.

Το 4^ο κεφάλαιο περιγράφει την ανάπτυξη του υπολογιστικού μοντέλου για τον αφυγραντή και τον αναγεννητή στην απλούστερη διάταξη, την αδιαβατική. Αρχικά, προσδιορίζονται οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και μάζας και ακολουθεί το υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης του αφυγραντή και του αναγεννητή. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η επικύρωση του αναπτυχθέντος μοντέλου με πειραματικά δεδομένα από την ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία. Ακολουθεί η παραμετρική ανάλυση της αφύγρανσης και της αναγέννησης και συμπεραίνονται τα βασικότερα στοιχεία.

Το κεφάλαιο 5^ο αφορά τη μελέτη του αφυγραντή και αναγεννητή, ως μη αδιαβατική συσκευή με σωληνοειδή εναλλάκτη. Χάριν ομοιομορφίας, τα στάδια της μελέτης είναι όμοια με εκείνα του προηγούμενου κεφαλαίου. Έτσι, αρχικά υπολογίζονται οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και μάζας και ακολουθεί το υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης του αφυγραντή και του αναγεννητή. Η επικύρωση του αναπτυχθέντος μοντέλου επιτυγχάνεται με τη σύγκρισή του με πειραματικά δεδομένα από τη βιβλιογραφία. Στη

συνέχεια, γίνεται παραμετρική ανάλυση των παραγόντων εκείνων που επηρεάζουν την αφύγρανση και την αναγέννηση και συμπεραίνονται τα βασικότερα στοιχεία.

Η πειραματική διάταξη του κλιματιστικού συστήματος ανοικτού κύκλου με υγρό προσροφητικό υλικό περιγράφεται στο κεφάλαιο 6°. Εφόσον το σύστημα αυτό αποτελείται από μη αδιαβατικό αφυγραντή και αναγεννητή με πλακοειδή εναλλάκτη, αρχικά αναπτύσσεται το θεωρητικό μέρος. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη του υπολογιστικού μοντέλου για τον αφυγραντή ως μη αδιαβατική συσκευή με πλακοειδή εναλλάκτη. Ακολουθεί η επικύρωση του μοντέλου και η παραμετρική του ανάλυση. Το πειραματικό μέρος του κεφαλαίου ξεκινάει με την περιγραφή της πειραματικής διάταξης που έχει εγκατασταθεί στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής ΕΜΠ. Σχολιάζεται η λειτουργία της διάταξης, παραθέτονται τα σχέδια της εγκατάστασης και του μετρητικού συστήματος και στη συνέχεια, αναπτύσσεται η υλοποίηση των πειραμάτων. Ακολουθεί η αξιολόγηση των πειραματικών μετρήσεων με εκτεταμένη ανάλυση. Ουσιώδη σημασία για την εργασία έχει η σύγκριση των πειραματικών μετρήσεων με το επικυρωμένο μαθηματικό μοντέλο. Ακολουθούν προτάσεις βελτιστοποίησης της πιλοτικής μονάδας.

Στο 7° κεφάλαιο γίνεται η επισκόπηση της διατριβής και διατυπώνονται τα γενικά συμπεράσματα. Χρήσιμες πληροφορίες για προτάσεις μελλοντικής έρευνας αναφέρονται στο τέλος. Η διατριβή ολοκληρώνεται με τα παραρτήματα στο 8° κεφάλαιο, τα οποία περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τις δημοσιεύσεις του συγγραφέα και τις αναφορές στις δημοσιεύσεις του από άλλους ερευνητές.

ΛΙΣΤΑ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

1. R. Christodoulaki, I. Koronaki, E. Rogdakis, Hybrid Liquid Desiccant / Vapour Compression Air-Conditioning Systems: A Critical Review, 9th Biennial ASME Conference on Engineering Systems Design and Analysis ESDA 2008, 7-9 July 2008, Haifa, Israel.
2. Koronaki I.P., Christodoulaki R.I., Papaefthimiou V.D., Rogdakis E.D., Performance analysis on the internally cooled dehumidifier using two liquid desiccant solutions, ASME Conference on Engineering Systems Design and Analysis ESDA 2012, 4-7 July 2012, Nantes, France.
3. Koronaki I.P., Christodoulaki R.I., Papaefthimiou V.D., Rogdakis E.D., Thermodynamic analysis of an internally cooled dehumidifier using three liquid desiccant solutions, ASME Summer Heat Transfer Conference HT2012, 9-12 July 2012, Puerto Rico, USA.
4. Koronaki I.P., Christodoulaki R.I., Papaefthimiou V.D., Rogdakis E.D., thermodynamic analysis of a liquid desiccant cooling system under mediterranean climatic conditions, ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE, November 9-15 2012, Houston, Texas, USA.
5. Koronaki I.P., Christodoulaki R.I., Papaefthimiou V.D., Rogdakis E.D., Thermodynamic analysis of a counter flow adiabatic dehumidifier with different liquid desiccant materials, Applied Thermal Engineering, 50, p. 361-373, 2013.
6. Koronaki I.P., Christodoulaki R.I., Papaefthimiou V.D., Rogdakis E.D., Critical review of coupled heat and mass transfer models for a liquid desiccant adiabatic dehumidifier and regenerator, Advances in Building Energy Research, July 2013.
7. Koronaki I.P., Christodoulaki R.I., Papaefthimiou V.D., Rogdakis E.D., preliminary investigation of a liquid desiccant system for dehumidification and cooling in athens, ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE, 15-21 November 2013, San Diego, California, USA.
8. Koronaki I.P., Christodoulaki R.I., Papaefthimiou V.D., Rogdakis E.D., Counter flow adiabatic regenerator and comparative study, the 27th ECOS International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 15-19 June 2014, Turku, Finland.

9. Koronaki I.P., Christodoulaki R.I., Papaefthimiou V.D., Rogdakis E.D., Counter flow adiabatic regenerator and comparative study, International Journal of Thermodynamics, under publication.