



Α.Π. : 46865
Αθήνα, 21/10/21

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

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

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του Υ.Δ. κ. **Ρουμπεδάκη Τρύφωνα**, Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού και κατόχου Μεταπτυχιακού Διπλώματος του ΔΠΜΣ «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας», την οποία εκπόνησε στον Τομέα Θερμότητας. Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί την Τετάρτη 27 Οκτωβρίου 2021, ώρα 11.00π.μ.-14.00μ.μ. στην Αίθουσα Τηλεκαίδησης της Κεντρικής Βιβλιοθήκης του ΕΜΠ. Ο ελληνικός τίτλος της Διδακτορικής Διατριβής είναι ο εξής:

«Θερμοδυναμική Ανάλυση και Πειραματική Διερεύνηση Συστημάτων Αξιοποίησης Ηλιακής Ενέργειας Μικρής Κλίμακας για Παραγωγή Ψύξης, Θέρμανσης και Ηλεκτρισμού»

Και ο Αγγλικός ως εξής
«Thermodynamics Analysis and Experimental Investigation of Small Scale Solar Driven Systems for Cooling, Heating and Power Production »

Ο Κοσμήτορας της Σχολής

N. Μαρμαράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Διδακτορική διατριβή: Θερμοδυναμική ανάλυση και πειραματική μελέτη ηλιακών συστημάτων μικρής κλίμακας για παραγωγή θέρμανσης, ψύξης και/ή ηλεκτρισμού

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή είναι ολοένα και πιο εμφανής τα τελευταία χρόνια, πιέζοντας την ανθρωπότητα για άμεσα μέτρα προς την κατεύθυνση της ενεργειακής μετάβασης σε πιο βιώσιμες μορφές ενέργειας. Προς αυτή την κατεύθυνση, μια σειρά μέτρων και πολιτικών έχουν εφαρμοστεί παγκοσμίως, για την προώθηση της χρήσης καθαρών τεχνολογιών μηδενικού αποτυπώματος. Σε επίπεδο ΕΕ, η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση 2018/2002 καθιέρωσε ένα αναλυτικό πολιτικό πλαίσιο για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) εντός της ΕΕ, θέτοντας στόχο τουλάχιστον 32,5% συνεισφοράς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο συνολικό ενεργειακό μερίδιο έως το 2030. Επιπλέον, κάθε κράτος μέλος της ΕΕ έχει θέσει συγκεκριμένους στόχους και έχει εισαγάγει μια σειρά οικονομικών και άλλων έμμεσων κινήτρων για την περαιτέρω προώθηση της διείσδυσης των ΑΠΕ. Με βάση και τα παραπάνω, η παρούσα διδακτορική διατριβή επικεντρώθηκε στην αξιολόγηση των ηλιακών συστημάτων μικρής κλίμακας για θέρμανση, ψύξη και/ή παραγωγή ενέργειας. Η μελέτη περιελάμβανε τη λεπτομερή μοντελοποίηση και, όπου ήταν δυνατόν, την πειραματική διακρίβωση των αναπτυγμένων μοντέλων, την τεchnο-οικονομική βελτιστοποίηση της ηλιακής παραγωγής ενέργειας και των ηλιακών εγκαταστάσεων θέρμανσης και ψύξης, την αξιολόγηση των συστημάτων τροφοδοσίας με ηλιακή ενέργεια και την περιβαλλοντική εκτίμηση των προαναφερθέντων συστημάτων.

Το Κεφάλαιο 1 παρουσιάζει μια σύντομη ανασκόπηση των βασικών προκαθορισμένων στόχων και οδηγιών σε κοινοτικό και εθνικό, για την Ελλάδα, επίπεδο. Προκειμένου να υπάρξει μια πιο σαφής εικόνα της τρέχουσας ενεργειακής κατάστασης, παρουσιάζεται μια επικαιροποιημένη ανάλυση του ενεργειακού μείγματος Ελλάδας και ΕΕ27, η οποία επιτρέπει τον ποσοτικό προσδιορισμό των δυνατοτήτων διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Καθώς πολλές από τις εξεταζόμενες τεχνολογίες δραστηριοποιούνται κυρίως τις τελευταίες δύο δεκαετίες, παρέχεται επίσης μία σχετική συζήτηση για την αντίστοιχη αγορά. Παρά την ανάπτυξη της αγοράς ηλιακής ενέργειας, τα ηλιακά συστήματα απαιτούν μια σειρά οικονομικών κινήτρων για να καταστούν ανταγωνιστικά έναντι πιο συμβατικών τεχνολογιών και συνεπώς συζητείται μια λίστα με τα διαθέσιμα οικονομικά κίνητρα στην Ελλάδα και, για τις ανάγκες σύγκρισης, στην Ιταλία. Τέλος, παρουσιάζονται οι κύριοι στόχοι και το συνολικό πλάνο της διατριβής.

Προκειμένου να εκτιμηθεί τόσο τεchnο-οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά η απόδοση των ηλιακών συστημάτων, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν μια σειρά μοντέλων προσομοίωσης ακριβείας, με βάση τις ανάγκες κάθε στοχευμένης μελέτης. Σε αυτό το πλαίσιο, το Κεφάλαιο 2 παρέχει μια λεπτομερή περιγραφή των αναπτυχθέντων μοντέλων και την αντίστοιχη πειραματική διαδικασία για την διακρίβωσή τους. Εκτός από τα πειράματα διακρίβωσης, πραγματοποιήθηκε μια σειρά δοκιμών με καινοτόμες εγκαταστάσεις για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων τους και την αξιολόγηση των επιδόσεών τους σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Λόγω του εύρους των αξιολογούμενων τεχνολογιών στη διατριβή, υπήρχε μια σειρά εξαρτημάτων/υποσυστημάτων χωρίς καμία διαθέσιμη πειραματική δοκιμαστική

πλατφόρμα για επικύρωση. Στο Κεφάλαιο 3, συζητούνται όλα εκείνα τα μοντέλα προσομοίωσης που αναπτύχθηκαν με βάση την διακρίβωση δεδομένων από βιβλιογραφία ή προηγούμενες διατριβές.

Μόλις αναπτυχθούν και παρουσιαστούν όλα τα επιμέρους μοντέλα, αυτά συνδυάζονται για να διαμορφώσουν τα διάφορα ηλιακά συστήματα προς αξιολόγηση και βελτιστοποίηση. Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζεται μια τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση των διαθέσιμων ηλιακών συστημάτων ψύξης/θέρμανσης. Τα συστήματα αξιολογούνται για χρήση σε οικιακή εφαρμογή για την περίπτωση υπάρχοντος κτηρίου, ενώ τα οικονομικά υπολογίζονται με την παραδοχή ότι τα προτεινόμενα συστήματα θα αντικαταστήσουν τα υπάρχοντα συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου. Ένας ειδικός γενετικός αλγόριθμος εφαρμόζεται για τις ανάγκες της τεχνοοικονομικής βελτιστοποίησης, προσδιορίζοντας τις βέλτιστες πτυχές σχεδιασμού κάθε συστήματος για τη μεγιστοποίηση της ανταγωνιστικότητάς του. Ομοίως με τη μελέτη ηλιακής ψύξης/θέρμανσης, συζητείται επίσης μια διαδικασία τεχνοοικονομικής βελτιστοποίησης για την περίπτωση ενός ηλιακού συστήματος Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC). Αυτή η διαδικασία χωρίζεται σε δύο υπο-ρουτίνες, μία για πηγή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας και μία για πηγή θερμότητας μέσης θερμοκρασίας, με τη χρήση συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών.

Η τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση των ξεχωριστών συστημάτων και τα πολύ υποσχόμενα αποτελέσματά της, ακολουθούνται από την αξιολόγηση ενός συστήματος ηλιακής ενέργειας συνδυασμένης ψύξης, θέρμανσης και ισχύος (CCHP), που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5. Διεξήχθη μελέτη στο σημείο λειτουργίας για τον καθορισμό της βέλτιστης διαμόρφωσης προς τη μεγιστοποίηση της απόδοσης του πρώτου και του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν μια ικανοποιητική απόδοση, φτάνοντας σε εξεργειακούς βαθμούς απόδοσης έως και 40%.

Λαμβάνοντας υπόψη τις αυξανόμενες περιβαλλοντικές ανησυχίες, αξίζει να αξιολογηθεί η βιωσιμότητα των υπό διερεύνηση συστημάτων από περιβαλλοντική σκοπιά και σε βάθος ολόκληρου του κύκλου ζωής τους, καθώς το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της φάσης χρήσης είναι μόνο ένα τμήμα των συνολικών εκπομπών του συστήματος. Ως εκ τούτου, το Κεφάλαιο 6 παρουσιάζει τις αναλύσεις του κύκλου ζωής στα ηλιακά συστήματα ψύξης/θέρμανσης σε σύγκριση με τις συμβατικές εναλλακτικές, για τον προσδιορισμό του βέλτιστου περιβαλλοντικού συστήματος. Επιπλέον, μια παρόμοια μελέτη κύκλου ζωής παρουσιάζεται για ένα ORC μικρής κλίμακας, με δύο εναλλακτικά σχέδια, ένα ηλιακό και ένα για ανάκτηση θερμότητας. Σε όλες τις αναλύσεις του κύκλου ζωής, αναλύονται επίσης μια σειρά από μελέτες περιπτώσεων για την αξιολόγηση βασικών παραγόντων που επηρεάζουν την περιβαλλοντική απόδοση των αξιολογούμενων συστημάτων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο 7, συζητούνται τα βασικά συμπεράσματα και τα γενικά σημεία ενδιαφέροντος της διατριβής, ακολουθούμενα από κάποιες πιθανές προτάσεις για μελλοντική εργασία.

PhD Thesis: Thermodynamic analysis and experimental investigation of solar driven small scale systems for heating, cooling and/or power production

Summary

Climate change is more and more evident lately, pressing humanity for quick measures towards the energy transition to a more sustainable basis. Within this context, a number of measures and policies have been introduced across the world, to promote the use of clean, zero carbon footprint technologies. On EU basis, the Energy Efficiency Directive 2018/2002 established a detailed policy for the promotion of renewables within the EU, setting a target of at least 32.5% renewable energy contribution in the total energy share by 2030. Moreover, each member state of the EU has set specific targets and has introduced a number of financial and other indirect incentives to further promote the penetration of renewables. In this perspective, the present work focused in the evaluation of small scale solar driven systems for heating, cooling and/or power production. The study included the detailed modelling and, whenever possible, the experimental validation of the developed models, the techno-economic optimization of solar driven power generation and solar heating and cooling setups, the assessment of solar driven trigeneration systems and the environmental assessment of the aforementioned systems.

Chapter 1 provides a brief review of key set targets and directives on EU and national, for Greece, bases. In order to have a clearer view of the energy status quo, an up-to-date analysis of the Greek and EU27 energy mix is presented, which allows to quantify the potential for the renewables' penetration. As many of the considered technologies have drawn attention over the last two decades, a discussion on the respective market is also provided. Despite the growth of the solar market, solar driven systems require a number of financial incentives to turn them competitive against more conventional technologies and therefore a list of the available tools in Greece and, for the needs of comparison, in Italy is discussed. Finally, the scope and the outline of dissertation are presented.

In order to assess both techno-economically and environmentally the performance of solar driven systems, it is necessary to develop a number of accurate simulation models, based on the needs of each dedicated study. Within this context, Chapter 2 provides a detailed description of the developed models and the corresponding experimental procedure to validate their accuracy. In addition to the validation experiments, a number of tests were conducted with novel components to assess their potential and evaluate their field performance.

Owing to the variety of the evaluated technologies in the dissertation, there was a number of components/subsystems without any available experimental test rig for validation. In Chapter 3, are discussed all those simulation models that were developed based on data validation from literature or previous works.

Once all components' models are developed and presented, they are combined to formulate the various solar driven systems for evaluation and optimization. In Chapter 4, a techno-economic optimization of the available solar cooling/heating systems is presented. The systems are evaluated for use in a residential application for the case of an existing building,

while the economics are calculated under the assumption that the proposed systems will replace the existing conventional heating and cooling systems of the building. A dedicated genetic algorithm is applied for the needs of the techno-economic optimization, identifying the optimal design aspects of each system to maximize its competitiveness. Similarly to the solar cooling/heating study, a techno-economic optimization procedure is also discussed for the case of a solar driven Organic Rankine Cycle (ORC) system. This procedure is divided in two subroutines, one for a low-grade heat source and one for a medium-grade heat source, with the use of concentrating solar collectors.

The techno-economic optimization of the separate systems and its promising results are followed by the evaluation of the solar driven combined cooling, heating and power (CCHP) system, presented in Chapter 5. A system allocation study was conducted to define the optimal configuration towards the maximization of the first and second law performance. In fact, the results revealed a satisfactory performance, reaching exergetic efficiencies up to 40%.

Given the growing environmental concerns, it is worth assessing the sustainability of the investigated systems from an environmental viewpoint and over their entire life cycle, as the use phase impact is only a margin of the total system's emissions. Therefore, Chapter 6 presents the conducted life cycle analyses on the solar cooling/heating systems in comparison to the conventional alternatives, to identify the optimal environmentally system. Moreover, a similar life cycle study is presented for a small-scale ORC, with two alternative designs, one solar driven and one for waste heat recovery. In all life cycle analyses, a number of case studies is also analyzed to evaluate key influencing factors on the environmental performance of the evaluated systems.

In final Chapter 7, the key conclusions and the general highlights of the dissertation are discussed, followed by some potential recommendation for future work.