



**ΕΘΝΙΚΟ  
ΜΕΤΣΟΒΙΟ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Α.Π. :  
Αθήνα,

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

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

**ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ**

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του Υ.Δ. κ. **Μητσόπουλου Γεωργίου**, Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού», την οποία εκπόνησε στον Τομέα Θερμότητας. Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί διαδικτυακά την Δευτέρα 1 Νοεμβρίου 2021 και ώρα 14.00 διαδικτυακά (<https://us02web.zoom.us/j/89840613787>). Ο ελληνικός τίτλος της Διδακτορικής Διατριβής είναι ο εξής:

«Βελτιστοποίηση Κτιριακού Κελύφους και Ενεργειακών Συστημάτων σε κτίρια πολλαπλής κλίμακας με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας»

Και ο Αγγλικός ως εξής:

«Optimization of Buildings and Energy Systems in Multiple scale buildings aimed at energy saving»

Ο Κοσμητορας της Σχολής



Ν. Μαρμαράς  
Κοσμητής Ε.Μ.Π

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η μελέτη της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων διαφορετικών χρήσεων μέσω της χρήσης λογισμικών και πειραματικών δεδομένων. Για τις μοντελοποιήσεις της ενεργειακής και θερμικής συμπεριφοράς διαφορετικών κτηρίων χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα λογισμικά: TEE-KENAK, EnergyPlus, OpenStudio και DesignBuilder. Στην παραμετρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε σε κάθε διαφορετική περίπτωση, λήφθηκαν υπ' όψη οι τεχνο-οικονομικές μεταβλητές για πολλαπλά σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας και στο τέλος εξήχθησαν τα αποτελέσματα με τη βέλτιστη λύση για κάθε περίπτωση.

Στη πρώτη ενότητα, βάσει της σύγχρονης βιβλιογραφίας αναλύονται οι ορισμοί και τα κριτήρια που αφορούν το χαρακτηρισμό ενός κτηρίου ως NZEB. Έπειτα, ορίζεται η έννοια του βιοκλιματικού σχεδιασμού, που κατά επικεντρώνεται στη θερμική προστασία του κελύφους αλλά και στην εκμετάλλευση των κλιματικών συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος του κτηρίου. Η σχεδίαση ενός κτηρίου με έμφαση στον βιοκλιματικό σχεδιασμό γίνεται με σκοπό την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας κατά τις περιόδους θέρμανσης αλλά και ψύξης.

Στη δεύτερη ενότητα, γίνεται αναφορά στα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού, στις τεχνολογίες φωτοβολταϊκών συστημάτων και παρουσιάζονται εκτενώς τα επιμέρους είδη και το τρόπος λειτουργίας αυτών. Αναλύονται ιδιαίτερα οι ψυκτικές εγκαταστάσεις καθώς οι καταναλώσεις τους αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων των κτηρίων. Ειδικότερα γίνεται η περιγραφή της συνήθους ψυκτικής εγκατάστασης και των στοιχείων που την απαρτίζουν.

Στη τρίτη ενότητα, περιλαμβάνεται η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε στις κτηριακές αναλύσεις και συμπεριλαμβάνεται το μαθηματικό θεωρητικό υπόβαθρο των σχέσεων που χρησιμοποιήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, εξηγούνται οι εξισώσεις που αφορούν την θερμική συμπεριφορά του κτηρίου, οι εξισώσεις των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης καθώς και οι εξισώσεις που αφορούν την οικονομική ανάλυση του εγκαταστημένου εξοπλισμού. Επιπλέον, σε αυτή την ενότητα περιγράφονται τα λογισμικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της θερμικής συμπεριφοράς των κτηρίων αλλά και τα εκείνα για την επίλυση των ψυκτικών εγκαταστάσεων. Τέλος, παρουσιάζεται η περιγραφή των βημάτων και ο τρόπος μοντελοποίησης των κτηρίων μέσω του λογισμικού OpenStudio.

Στη τέταρτη ενότητα παρουσιάζονται τα μελετηθέντα κτήρια και τα χαρακτηριστικά τους. Αναλυτικότερα, τα μελετηθέντα κτήρια αποτελούνται από κτήρια κατοικιών και σουπερμάρκετ ενώ μελετάται και ένα κτήριο γραφείων του οποίου τα δεδομένα κατανάλωσης λήφθηκαν από μετρητικές διατάξεις. Όσον αφορά τα σουπερμάρκετ τα

θερμοδυναμικά δεδομένα της ψυκτικής εγκατάστασης αλλά και τα δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης λήφθηκαν και αυτά μέσω μετρητικών διατάξεων και συγκεκριμένα από μετρητές της ClimaCheck. Επιπλέον, με τη χρήση του λογισμικού DesignBuilder πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση κατοικίας, στην οποία συγκρίνονται πολλαπλές επεμβάσεις στο κέλυφος και στο σύστημα θέρμανσης. Τέλος, γίνεται παραμετρική ανάλυση μέσω της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων για τη βέλτιστη τοποθέτηση των τερματικών μονάδων θέρμανσης.

Στην πέμπτη ενότητα, λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι στις κτηριακές εγκαταστάσεις των σουπερμάρκετ οι μεγαλύτερες ενεργειακές καταναλώσεις παρουσιάζονται στα συστήματα ψύξης των προϊόντων, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της κάθε ψυκτικής εγκατάστασης των μελετηθέντων σουπερμάρκετ και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τα πραγματικά αποτελέσματα. Στη συνέχεια, με την εφαρμογή μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας μετρήθηκαν εκ νέου οι ενεργειακές καταναλώσεις και βρέθηκε η βέλτιστη λύση εξ αυτών και προτάθηκαν διαφορετικά συστήματα ψύξης με τη χρήση CO<sub>2</sub> για την αντικατάσταση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων. Επίσης, στη πέμπτη ενότητα παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που αφορούν τα κτήρια των κατοικιών, των σουπερμάρκετ αλλά και του κτηρίου γραφείων. Τέλος, μέσω πινάκων και διαγραμμάτων συγκρίνονται τα αποτελέσματα των πολλαπλών διαφορετικών σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας της κάθε μελέτης και παρουσιάζονται τα βέλτιστα αυτών.

Τέλος, στην έκτη ενότητα, παρουσιάζονται και σχολιάζονται συγκεντρωτικά όλα τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων. Επίσης, επισημαίνονται οι βασικότερες ιδέες για μελλοντική έρευνα στο πεδίο.

## SUMMARY

The objective of this doctoral dissertation is to study the energy efficiency of buildings of different uses through the use of software and experimental data. The following software was used for the modeling of the different buildings: TEE-KENAK, EnergyPlus, OpenStudio and DesignBuilder. In the parametric analysis performed in each different study, the techno-economic variables were taken into account for multiple energy-saving scenarios and in the end, the results were extracted with the optimal solution for each case.

In the first section, based on the modern literature, the definitions and criteria regarding the designation of a building as NZEB are analyzed. Next, the concept of bioclimatic design is defined, which focuses on the thermal insulation of the shell but also on the exploitation of the climatic conditions of the external environment of the building. The design of a building with the emphasis on bioclimatic design is done in order to achieve energy savings during periods of both heating and cooling.

In the second section, a detailed literature analysis is conducted for heating and air conditioning systems, photovoltaic system technologies and their individual types and operation are presented in detail. Refrigeration installations are analyzed in particular as their consumption plays a really important role in the total energy consumption of buildings. In particular, the usual refrigeration system and its components are described in detail.

In the third section, the methodology followed in the building analysis is included as well as the mathematical theoretical background of the relationships used. More specifically, the equations concerning the thermal behavior of the building, the equations of the heating/cooling systems as well as the equations concerning the economic analysis of the installed equipment are mentioned. In addition, this section describes the software used to analyze the thermal behavior of buildings and those used to solve the operations of the refrigeration installations. Finally, the description of the steps and how to model buildings through the OpenStudio software is presented.

The fourth section presents the studied buildings and their characteristics. More specifically, the studied buildings consist of residential buildings and supermarkets, as well as an office building is also studied in which consumption data were taken from metering devices. As far as supermarkets are concerned, the thermodynamic data of the refrigeration installation and the energy consumption data were also obtained through measuring devices, specifically from ClimaCheck meters. In addition, using the DesignBuilder software, a house modeling was performed, in which multiple operations on the shell and the heating system were compared. Finally, parametric analysis is

performed through the finite element method for the optimal placement of the heating terminals.

In the fifth section, assuming that in the building facilities of supermarkets the highest energy consumption is presented in the cooling systems of products, a simulation of each refrigeration plant of the studied supermarkets was performed and the results of the simulation were compared with the actual results. Then, with the application of energy-saving methods, energy consumption was measured again and the best solution was found. Furthermore, different cooling systems using CO<sub>2</sub> were proposed to replace the existing installations. Also, in the fifth section, all the results of the simulations concerning the residential buildings, the supermarkets and the office building are presented. Finally, tables and diagrams comparing the results of the many different energy-saving scenarios of each study are presented and the optimum solution is highlighted.

Finally, in the sixth section, all the results of the above investigations are presented and commented on collectively. Also, some critical ideas for future research are highlighted.