



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Ενεργειακά και Οικονομικά Αποδοτικές Μέθοδοι Σχεδιασμού Η/Μ
Εγκαταστάσεων. Μελέτη Περίπτωσης: Κτήριο Πολλαπλών Χρήσεων 2000m²**

Μεταπτυχιακός Φοιτητής: **Γεώργιος Μάριος Χαντουμάκος**

Επιβλέπων Καθηγητής: **Βασίλειος Σπιτάς, Καθηγητής, ΕΜΠ**

Ημερομηνία: **Οκτώβριος 2025**

Περίληψη

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δεσμευτεί για την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050, γεγονός που έχει μεταμορφώσει την προσέγγιση του σχεδιασμού και της λειτουργίας των κτιρίων σε όλα τα κράτη μέλη. Τα κτίρια καταναλώνουν περίπου το 40% της ενέργειας και παράγουν το 36% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ, καθιστώντας τον κτιριακό τομέα κρίσιμη περιοχή εστίασης για την επίτευξη των στόχων μείωσης των εκπομπών. Η ανακαίνιση και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος, καθώς και ο σχεδιασμός νέων κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (NZEB), αποτελούν προτεραιότητες της ευρωπαϊκής πολιτικής για την ενέργεια και το κλίμα. Η έρευνα εφαρμόζει καθιερωμένες ελληνικές τεχνικές οδηγίες (σειρά TOTEE 20701) παράλληλα με ευρωπαϊκά πρότυπα EN 12831-1:2017 για τα θερμικά φορτία και διαδικασίες ASHRAE για τα ψυκτικά φορτία. Η μεθοδολογία ενσωματώνει δυναμική θερμική ανάλυση που λαμβάνει υπόψη τη θερμική μάζα του κτιρίου, τα ηλιακά θερμικά φορτία και τις απαιτήσεις εξαερισμού. Χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα υπολογιστικά εργαλεία προσομοίωσης ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων, τα οποία επιτρέπουν την ακριβή πρόβλεψη των ενεργειακών φορτίων και την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων σχεδιασμού. Η προσέγγιση αυτή διασφαλίζει ότι οι λύσεις που προτείνονται είναι όχι μόνο θεωρητικά βέλτιστες αλλά και πρακτικά εφαρμόσιμες υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Το κτίριο της μελέτης περίπτωσης είναι στρατηγικά οργανωμένο σε πέντε επίπεδα: υπόγειο (300m²) που στεγάζει ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, ισόγειο (550m²) που περιλαμβάνει αμφιθεατρικό χώρο και χώρους υποδοχής, δεύτερος όροφος (550m²) που περιέχει αίθουσες πολλαπλών χρήσεων και δωμάτια, τρίτος όροφος (550m²) με έξι χώρους συγκέντρωσης, και τέλος δώμα (50m²) με βοηθητικές εγκαταστάσεις. Η αρχιτεκτονική διαρρύθμιση του κτιρίου έχει σχεδιαστεί με γνώμονα τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, με προσανατολισμό που εκμεταλλεύεται τα ηλιακά κέρδη το χειμώνα και ελαχιστοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι, ενώ το κτιριακό κέλυφος διαθέτει υψηλής απόδοσης μονωτικά υλικά και συστήματα σκίασης. Η μελέτη ακολουθεί τις απαιτήσεις των ελληνικών κτιριακών κανονισμών διασφαλίζοντας συμμόρφωση με τα ευρωπαϊκά πρότυπα απόδοσης και τις απαιτήσεις ΚΕΝΑΚ (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων). Το ελληνικό κανονιστικό πλαίσιο για τα συστήματα θέρμανσης διέπεται κυρίως από τους κανονισμούς ΚΕΝΑΚ και τις τεχνικές οδηγίες TOTEE, που καθορίζουν ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης και προδιαγραφές σχεδιασμού. Σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση 178581/2018, η ελάχιστη εποχιακή



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

απόδοση πρέπει να είναι $\eta_s \geq 85\%$ για συστήματα θέρμανσης σε νέα κτίρια, με την απόδοση αντλιών θερμότητας να απαιτεί ελάχιστο εποχιακό COP ≥ 3.5 για συστήματα αέρα-αέρα και ≥ 4.5 για συστήματα γεωθερμίας. Για κτίρια πολλαπλών χρήσεων στη Κλιματική Ζώνη Α, τα συστήματα θέρμανσης πρέπει να επιτυγχάνουν ελάχιστα επίπεδα απόδοσης με ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που απαιτεί ελάχιστη συνεισφορά 25% ανανεώσιμης ενέργειας για τις θερμικές ενεργειακές ανάγκες. Για να επιτευχθεί αυτό στο κτίριο εφαρμόζεται σύστημα Μεταβλητής Ροής Ψυκτικού (VRF) με εξαιρετική απόδοση για εφαρμογές πολλαπλών ζωνών. Τα βασικά χαρακτηριστικά απόδοσης για τις συνθήκες της Ζώνης Α περιλαμβάνουν εποχιακό COP 4.8-5.2 για θέρμανση και εποχιακό EER 4.5-4.8 για ψύξη. Το σύστημα διατηρεί 95% ικανότητα στους 0°C εξωτερικής θερμοκρασίας με απόδοση ανάκτησης θερμότητας που παρέχει 18% επιπλέον απόδοση κατά τη διάρκεια μικτών φορτίων. Οι υπολογισμοί θερμικών φορτίων καθόρισαν μέγιστα ψυκτικά φορτία και υπολογίστηκαν μέσα από κατάλληλο λογισμικό υπολογισμού. Η εξωτερική μονάδα διαθέτει ένα πρωτεύον σύστημα VRF για κάθε έναν από τους 3 ορόφους που ψύχονται και θερμαίνονται. Η επιλογή του συστήματος VRF βασίστηκε σε συγκριτική ανάλυση με εναλλακτικές τεχνολογίες, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως η ενεργειακή απόδοση, το κόστος κύκλου ζωής, η ευελιξία λειτουργίας και οι απαιτήσεις συντήρησης. Τα συστήματα εξαερισμού ανάκτησης θερμότητας ανακτούν το 65% της συνολικής ενέργειας από τα ρεύματα εξαγωγής αέρα, μειώνοντας την ετήσια κατανάλωση ενέργειας HVAC κατά περίπου 35%. Ο εξαερισμός ελεγχόμενης ζήτησης ρυθμίζει τις ποσότητες εξωτερικού αέρα με βάση την πληρότητα και τα επίπεδα CO₂, επιτυγχάνοντας μέση μείωση εξωτερικού αέρα 45% σε σύγκριση με το μέγιστο σχεδιασμού. Αυτή η στρατηγική όχι μόνο εξοικονομεί ενέργεια αλλά διασφαλίζει και την υψηλή ποιότητα εσωτερικού αέρα, συμβάλλοντας στην υγεία και την παραγωγικότητα των χρηστών του κτιρίου. Τα εσωτερικά θερμικά φορτία από τους χρήστες, το φωτισμό και τον εξοπλισμό αντιπροσωπεύουν σημαντικά στοιχεία φορτίων που απαιτούν λεπτομερή ανάλυση βάσει του προγραμματισμού του κτιρίου, των προτύπων πληρότητας και των προδιαγραφών εξοπλισμού. Η ανάλυση του συστήματος φωτισμού LED αποκαλύπτει φορτία γενικού φωτισμού κατανομημένα σε κάθε χώρο χρήσης και η συνολική κατανάλωση υπολογίζεται με βάση τα απαιτήσεις ρεύματος του κτιρίου. Το σύστημα φωτισμού ενσωματώνει αισθητήρες παρουσίας και φυσικού φωτισμού, επιτυγχάνοντας επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας έως και 30% σε σύγκριση με συμβατικά συστήματα ελέγχου. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση επιτυγχάνει 39% μείωση κατανάλωσης ενέργειας έναντι συμβατικής κατασκευής, 51% μείωση εκπομπών άνθρακα, ταξινόμηση ενεργειακής απόδοσης A+ υπό το ελληνικό σύστημα KENAK, και συνεισφορά ανανεώσιμης ενέργειας 68% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα προηγμένα συστήματα ελέγχου επιτρέπουν συνεχή βελτιστοποίηση της απόδοσης του κτιρίου διατηρώντας παράλληλα την άνεση των χρηστών και την αξιοπιστία των συστημάτων. Το σύστημα διαχείρισης κτιρίου (BMS) παρέχει πραγματικού χρόνου παρακολούθηση και έλεγχο όλων των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, επιτρέποντας την άμεση ανίχνευση ανωμαλιών και την προληπτική συντήρηση. Ο σχεδιασμός του ηλεκτρικού συστήματος περιλαμβάνει διανομή ισχύος, συστήματα φωτισμού, παροχή ηλεκτρικής ενέργειας έκτακτης ανάγκης, υποδομή τηλεπικοινωνιών και ενσωμάτωση αυτοματισμού κτιρίου διασφαλίζοντας παράλληλα συμμόρφωση με τους ελληνικούς ηλεκτρικούς κώδικες και τα ευρωπαϊκά πρότυπα ασφάλειας. Η ανάλυση ηλεκτρικού φορτίου καθορίζει το συνολικό συνδεδεμένο φορτίο και τους συντελεστές ζήτησης για το κτίριο 2000m² πολλαπλών χρήσεων που ενσωματώνει γραφεία, εμπορικούς και βιομηχανικούς χώρους. Το ηλεκτρικό σύστημα έχει σχεδιαστεί με επάρκεια για μελλοντική επέκταση και ενσωματώνει προστασία έναντι υπερτάσεων, βραχυκυκλωμάτων και διαρροών ρεύματος. Η μελέτη ύδρευσης και



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

αποχέτευσης περιλαμβάνει ανάλυση ζήτησης νερού και διαστασιολόγηση συστήματος. Ενσωματώνονται συστήματα εξοικονόμησης νερού, όπως συλλογή όμβριων υδάτων για άρδευση και χρήση σε δευτερεύουσες εφαρμογές, καθώς και υδραυλικά είδη χαμηλής ροής που μειώνουν την κατανάλωση νερού κατά 30-40%. Η διαχείριση των υδάτων αποτελεί σημαντικό στοιχείο της βιώσιμης λειτουργίας του κτιρίου, ιδιαίτερα στο πλαίσιο του μεσογειακού κλίματος όπου η λειψυδρία αποτελεί αυξανόμενη πρόκληση. Αυτή η ολοκληρωμένη μελέτη αποδεικνύει ότι η ενσωμάτωση σύγχρονης τεχνολογίας κτιρίων μπορεί να επιτύχει εξαιρετικές βελτιώσεις απόδοσης παρέχοντας παράλληλα συναρπαστικές οικονομικές αποδόσεις. Το κτίριο 2000m² πολλαπλών χρήσεων συνδυάζει επιτυχώς προηγμένο σχεδιασμό κελύφους κτιρίου, υψηλής απόδοσης μηχανικά συστήματα, ενσωμάτωση ανανεώσιμης ενέργειας και έξυπνους ελέγχους κτιρίων για να υπερβεί σημαντικά τις ελληνικές απαιτήσεις NZEB. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση σχεδιασμού επιτυγχάνει εξαιρετική ενεργειακή απόδοση αντιπροσωπεύοντας μείωση 39% σε σύγκριση με συμβατική κατασκευή. Η οικονομική ανάλυση επικυρώνει το υψηλής απόδοσης σχεδιασμό με μεγάλο οικονομικό όφελος. Τα συνολικά οικονομικά οφέλη περιλαμβάνουν άμεσες μειώσεις κόστους μέσω ενεργειακής απόδοσης, μεσοπρόθεσμη δημιουργία αξίας μέσω βελτιωμένης απόδοσης ιδιοκτησίας, και μακροπρόθεσμα οφέλη μέσω μετριασμού κινδύνων. Η περίοδος απόσβεσης των επιπλέον επενδύσεων για τις υψηλής απόδοσης τεχνολογίες εκτιμάται σε 7-9 έτη, γεγονός που καθιστά το έργο ελκυστικό από επενδυτική άποψη. Η ανάλυση κόστους κύκλου ζωής αντιμετωπίζει τις απαιτήσεις αρχικής επένδυσης, τις λειτουργικές οικονομίες και τις εκτιμήσεις συντήρησης ενσωματώνοντας τα διαθέσιμα ελληνικά προγράμματα κινήτρων και τις δομές χρέωσης υπηρεσιών κοινής ωφέλειας. Τα προγράμματα επιδότησης για ενεργειακά αποδοτικά κτίρια και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να μειώσουν σημαντικά το αρχικό κόστος, βελτιώνοντας περαιτέρω την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Οι έξυπνοι έλεγχοι κτιρίων ενσωματώνουν όλα τα συστήματα μέσω ολοκληρωμένου αυτοματισμού. Το σύστημα BMS συλλέγει και αναλύει δεδομένα από πολλαπλούς αισθητήρες, επιτρέποντας την προσαρμογή της λειτουργίας των συστημάτων σε πραγματικό χρόνο βάσει των πραγματικών αναγκών και συνθηκών. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να επιτύχει επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας 10-15% σε σύγκριση με στατικούς ελέγχους. Τα αποτελέσματα της έρευνας καθιστούν σαφές ότι η υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών και ολοκληρωμένων προσεγγίσεων σχεδιασμού όχι μόνο είναι τεχνικά εφικτή αλλά και οικονομικά συμφέρουσα στο ελληνικό και ευρωπαϊκό περιβάλλον. Η μελέτη περίπτωσης αποδεικνύει ότι είναι δυνατό να επιτευχθούν στόχοι υψηλής ενεργειακής απόδοσης ακόμη και σε περιοχές με ιδιαίτερες κλιματικές προκλήσεις, όπως η Κρήτη, όπου οι απαιτήσεις ψύξης είναι σημαντικά υψηλότερες από τις απαιτήσεις θέρμανσης. Η μελέτη αυτή συνεισφέρει σημαντικά στην κατανόηση και εφαρμογή βιώσιμων λύσεων κτιριακού σχεδιασμού που μπορούν να αντιμετωπίσουν τις σύγχρονες περιβαλλοντικές και οικονομικές προκλήσεις. Τα ευρήματα και οι μεθοδολογίες που παρουσιάζονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οδηγός για παρόμοια έργα σε άλλες περιοχές της Ελλάδας και της Μεσογείου, προωθώντας την ενεργειακή μετάβαση και συμβάλλοντας στην επίτευξη των εθνικών και ευρωπαϊκών στόχων για το κλίμα και την ενέργεια. Η έρευνα παρέχει επίσης πολύτιμες πληροφορίες για πολιτικούς και φορείς χάραξης πολιτικής σχετικά με την αποτελεσματικότητα διαφορετικών μέτρων ενεργειακής απόδοσης και την αξία των κινήτρων για την προώθηση βιώσιμων κτιρίων.