

Εκτεταμένη Περίληψη για τη Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία στη ΣΘΕΤ/ΕΑΠ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Καμμάς Ιωάννης

Μηχανολόγος Μηχανικός & Μεταπτ. Φοιτητής
ΔΧΤ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

Email: jkammass@hotmail.com,

Email ΕΑΠ: std166112@ac.eap.gr

Ονοματεπώνυμο Επιβλέποντος

Νικολάου Ιωάννης

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κλιματική κρίση και η ανάγκη για δραστική μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των κτιρίων αποτελούν κεντρικό πυλώνα της ευρωπαϊκής στρατηγικής, όπως αυτή αποτυπώνεται στο πακέτο «Fit for 55» και την πρόσφατη αναθεώρηση της Οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD 2024). Παρά την πληθώρα τεχνολογικών λύσεων, η επιλογή της καταλληλότερης παρέμβασης παραμένει ένα σύνθετο πρόβλημα. Οι μηχανικοί και οι διαχειριστές έργων οφείλουν να εξισορροπήσουν την ενεργειακή απόδοση με την οικονομική βιωσιμότητα, τη θερμική άνεση και τις απαιτήσεις των σύγχρονων «έξυπνων» δικτύων (Smart Grids).

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας επιστημονικά τεκμηριωμένης μεθοδολογίας για την ιεράρχηση των τεχνικών διαχείρισης ενέργειας. Η έρευνα αντλεί κίνητρα από την ανάγκη λήψης αποφάσεων σε πραγματικά έργα, όπως αυτά που υλοποιούνται σε δίκτυα ΟΤΑ (π.χ. Δίκτυο Δάφνη) ή μέσω διεθνών προγραμμάτων (GWP-Med, Coca-Cola), όπου η βιωσιμότητα κρίνεται πολυκριτηριακά.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η εργασία υιοθετεί ένα υβριδικό μοντέλο MCDA που συνδυάζει την AHP και τη TOPSIS, εργαλεία διεθνώς αναγνωρισμένα για τη θωράκιση τεχνικών αποφάσεων. Ο διαχωρισμός σε δύο φάσεις κατανέμει το υπολογιστικό βάρος και αποτρέπει την «κόπωση» των ερωτώμενων (survey fatigue).

2.1 Εναλλακτικές Τεχνικές και Κριτήρια

Μέσα από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση εντοπίστηκαν πέντε βασικές ομάδες τεχνικών: (A1) Παθητική Θωράκιση και εκσυγχρονισμός κελύφους (μονώσεις, ETICS, PCMs, αεροτζέλ). (A2) Αναβάθμιση Η/Μ Εξοπλισμού (αντλίες θερμότητας, VFD, ERV,

LED). (A3) Τοπική Παραγωγή & Αποθήκευση (Φ/Β, BIPV, BESS, V2B). (A4) Έξυπνος Έλεγχος (BEMS, IoT). και (A5) Προηγμένη Διαχείριση (Τεχνητή Νοημοσύνη, Deep Reinforcement Learning, Ψηφιακά Δίδυμα, GEBs).

Ως κριτήρια αξιολόγησης ορίστηκαν τέσσερις θεμελιώδεις, μη επικαλυπτόμενες παράμετροι:

- K1 — Οικονομική Βιωσιμότητα: CAPEX, OPEX, χρόνος απόσβεσης (ROI) και κόστος κύκλου ζωής.
- K2 — Ενεργειακή & Περιβαλλοντική Απόδοση: μείωση κατανάλωσης (kWh/m²) και εκπομπών CO₂.
- K3 — Επεκτασιμότητα & Τυποποίηση: δυνατότητα μαζικής αναπαραγωγής σε χαρτοφυλάκια κτιρίων.
- K4 — Λειτουργική Ανθεκτικότητα: επιχειρησιακή συνέχεια (zero downtime), αντοχή και ευκολία συντήρησης.

2.2 Στάθμιση Κριτηρίων (AHP)

Οι ειδικοί συνέκριναν τα τέσσερα κριτήρια ανά ζεύγη (έξι συγκρίσεις) στη θεμελιώδη κλίμακα Saaty 1–9. Οι 21 αυτόνομοι αντίστροφοι πίνακες συνενώθηκαν σε έναν συγκεντρωτικό μέσω του Γεωμετρικού Μέσου Ορου. Το διάνυσμα βαρών (w) προέκυψε ως το κύριο ιδιοδιάνυσμα του πίνακα, κανονικοποιώντας τις στήλες και εξαγοντας τον μέσο όρο κάθε γραμμής. Η αξιοπιστία διασφαλίστηκε μέσω του Λόγου Συνοχής CR = CI/RI, με απαίτηση CR ≤ 0,10.

2.3 Ιεράρχηση Τεχνικών (TOPSIS)

Οι ειδικοί βαθμολόγησαν την απόδοση κάθε τεχνικής ως προς κάθε κριτήριο σε κλίμακα Likert 1–5, σχηματίζοντας τον πίνακα απόφασης. Ακολούθησε διανυσματική κανονικοποίηση ($r_{ij} = x_{ij}/\sqrt{\sum x_{ij}^2}$), στάθμιση με τα βάρη της AHP ($v_{ij} = w_j \cdot r_{ij}$), προσδιορισμός της Θετικής (PIS) και Αρνητικής (NIS) Ιδεατής Λύσης, υπολογισμός των Ευκλείδειων αποστάσεων (d_i^+ , d_i^-) και τελική κατάταξη βάσει του Δείκτη Σχετικής Εγγύτητας $C_i = d_i^-/(d_i^+ + d_i^-)$.

Η τεχνική με την υψηλότερη τιμή Ci (πλησιέστερη στο 1) είναι η βέλτιστη.

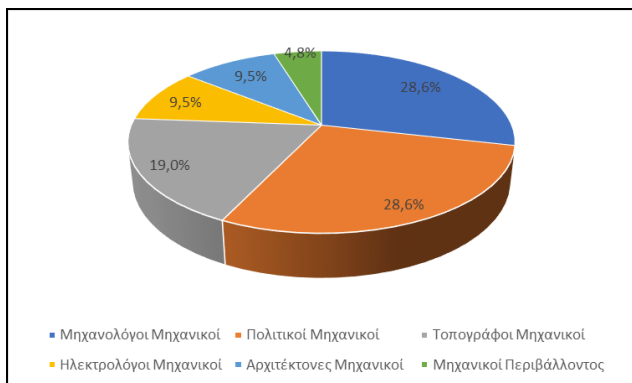
2.4 Συλλογή Δεδομένων

Η πρωτογενής έρευνα (Expert Survey) διεξήχθη μέσω ανώνυμου δομημένου ερωτηματολογίου (Google Forms, διάρκεια συμπλήρωσης 5–7 λεπτά) με δείγμα 21 εξειδικευμένων μηχανικών και στελεχών διαχείρισης έργων. Το δείγμα παρουσίασε υψηλή διεπιστημονικότητα — Μηχανολόγοι (28,6%), Πολιτικοί (28,6%), Τοπογράφοι (19,0%), Ηλεκτρολόγοι (9,5%), Αρχιτέκτονες (9,5%) και Μηχανικοί Περιβάλλοντος (4,8%) — με το 71,4% να διαθέτει εμπειρία άνω της δεκαετίας, στοιχείο που διασφαλίζει την ωριμότητα των κρίσεων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

3.1 Βάρη Κριτηρίων (AHP Results) Η ανάλυση ανέδειξε την Οικονομική Βιωσιμότητα (46,2%) ως το πλέον καθοριστικό κριτήριο, επιβεβαιώνοντας ότι το κόστος κύκλου ζωής παραμένει ο κύριος οδηγός στις κατασκευές. Ακολουθεί η Ενεργειακή Απόδοση (31,8%), ενώ η Ελεγκτασιμότητα (13,1%) και η Λειτουργική Ανθεκτικότητα (8,9%) συμπληρώνουν το μοντέλο. Ο Λόγος Συνοχής (CR) βρέθηκε ίσος με 6,5%, γεγονός που επικυρώνει την αξιοπιστία του δείγματος.



3.2 Κατάταξη Τεχνικών (TOPSIS Results) Η τελική ιεράρχηση των τεχνικών παρεμβάσεων διαμορφώθηκε ως εξής:

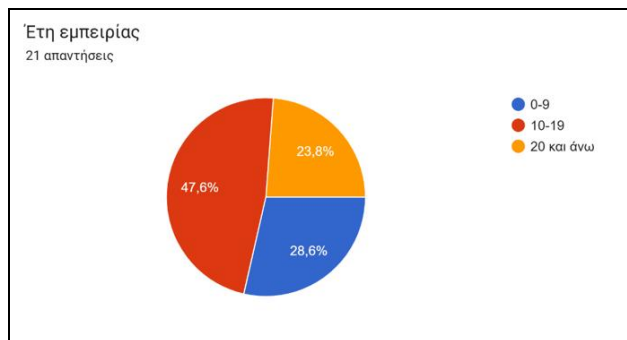
Αναβάθμιση Η/Μ Εξοπλισμού (Αντλίες Θερμότητας, LED): Ci = 0,825.

Έξυπνος Έλεγχος (BEMS, IoT): Ci = 0,658.

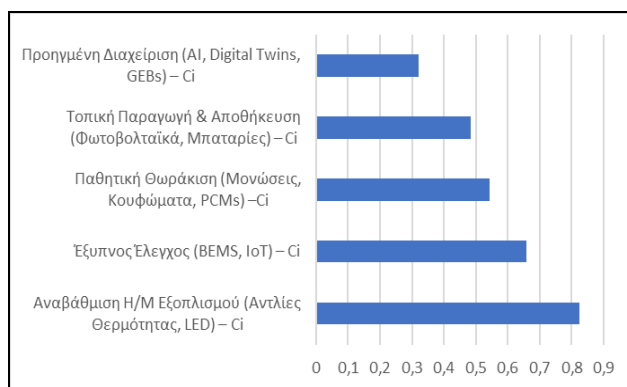
Παθητική Θωράκιση (Μονώσεις, Κουφώματα): Ci = 0,542.

Τοπική Παραγωγή ΑΠΕ (Φωτοβολταϊκά): Ci = 0,485.

Προηγμένη Διαχείριση (AI): Ci = 0,320.



Η επικράτηση των Η/Μ συστημάτων οφείλεται στην άμεση απόδοση και το χαμηλό CAPEX, ενώ οι λύσεις AI, παρότι καινοτόμες, κρίνονται ακόμη ως μη ώριμες για μαζική εφαρμογή από την αγορά.



4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ευρήματα επιβεβαιώνουν τις τάσεις της σύγχρονης αγοράς και τις επιταγές της βέλτιστης διαχείρισης έργων. Πρώτον, η κυριαρχία της Οικονομικής Βιωσιμότητας (46,2%) αποδεικνύει ότι, παρά την αυστηροποίηση των κανονισμών, οι μηχανικοί δεν εγκρίνουν λύσεις εάν το CAPEX και ο χρόνος απόσβεσης δεν τις καθιστούν εφαρμόσιμες. Δεύτερον, η Αναβάθμιση Η/Μ Εξοπλισμού αναδεικνύεται ως βέλτιστη στρατηγική πρώτου βήματος, ταυτιζόμενη με τις προσεγγίσεις επιτυχημένων προγραμμάτων ευρείας κλίμακας (GWP-Med, δράσεις ΕΚΕ). Τρίτον, η άνοδος των έξυπνων συστημάτων (BEMS/IoT) έναντι των παραδοσιακών παρεμβάσεων υποδηλώνει στροφή προς λύσεις ελάχιστης παρέμβασης. Τέλος, η τελευταία θέση της Τεχνητής Νοημοσύνης καταδεικνύει ένα υπαρκτό χάσμα μεταξύ θεωρητικής έρευνας και πρακτικής εφαρμογής.

Το προτεινόμενο μοντέλο AHP-TOPSIS αποδεικνύεται ένα ισχυρό, αναπαραγώγιμο εργαλείο στα χέρια του Project Manager για την αντικειμενική ιεράρχηση έργων. Οι προτάσεις της μελέτης επικεντρώνονται στην προτεραιοποίηση των Η/Μ αναβαθμίσεων και των συστημάτων BEMS ως πρώτο βήμα για την ενεργειακή θωράκιση δημόσιων και ιδιωτικών κτιρίων.

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

1. Παραμετροποίηση του μοντέλου αποκλειστικά για χαρτοφυλάκια δημόσιων/δημοτικών κτιρίων, ως εργαλείο προτεραιοποίησης για τις τεχνικές υπηρεσίες ΟΤΑ.
2. Εμπλουτισμός των κριτηρίων με δείκτες Ενσωματωμένης Ενέργειας και Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής (LCCA), από την παραγωγή των υλικών έως την ανακύκλωση.
3. Επανάληψη της έρευνας την επόμενη πενταετία για επαναξιολόγηση της αποδοχής AI και V2B, καθώς η τεχνολογία ωριμάζει και το κόστος μειώνεται.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (REFERENCES)

European Commission (2024). Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) - 2024 Revision updates.

Yu, L., et al. (2021). A review of deep reinforcement learning for smart building energy management. *IEEE Internet of Things Journal*.

Al-Ghaili, A. M., et al. (2021). Energy management systems and strategies in buildings sector: A scoping review. *IEEE Access*.

Shakeri, M., et al. (2020). An overview of the building energy management system. *Energies*.

Aburabi'e, M., et al. (2025). Multi objective design optimization of residential buildings. *Innovative Infrastructure Solutions*.

Talib, A., & Joe, J. (2025). Analyzing the overrated performance of model-based predictive control. *Journal of Building Engineering*.

Shahid, M. N., et al. (2025). Advances in building energy management: A comprehensive review. *Buildings*.

Bayasgalan, A., et al. (2024). Comprehensive review of building energy management models. *Energies*.

Kamel, E., & Memari, A. M. (2022). Residential building envelope energy retrofit methods. *Buildings*.

Fernandes, J., et al. (2021). Introductory review of energy efficiency in buildings retrofits. *Energies*.

Amjath, M. R., et al. (2021). Energy retrofits for improving energy efficiency in buildings. *World Construction Symposium*.

Erbach, G., & Jensen, L. (2022). Fit for 55 package. *EPRS, European Parliament*.

Hammouda, N. G., et al. (2026). Intelligent multi-objective optimization of thermal comfort and ventilation performance. *Scientific Reports*.

Aguacil, S., et al. (2024). Designing with building-integrated photovoltaics (BIPV). *Journal of Building Engineering*.

Saaty, T. L. (1999). Basic theory of the analytic hierarchy process. *Revista de la Real Academia de Ciencias*.

Saaty, T. L. (1994). Highlights and critical points in the theory and application of the AHP. *European Journal of Operational Research*.

Yin, H., et al. (2020). Relative Euclidean distance with application to TOPSIS. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*.

Anjum, R., et al. (2027). Decision-making framework for urban transportation. *Spectrum of Operational Research*.

Çelikbilek, Y., & Tüysüz, F. (2020). An in-depth review of theory of the TOPSIS method. *Journal of Management Analytics*.

Batterton, K. A., & Hale, K. N. (2017). The Likert scale what it is and how to use it. *Phalanx*.

Jebb, A. T., et al. (2021). A review of key Likert scale development advances. *Frontiers in Psychology*.

Joshi, A., et al. (2015). Likert scale: Explored and explained. *British Journal of Applied Science & Technology*.