



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ
ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Ενεργειακή Αναβάθμιση Κέντρου Ειδικής Φροντίδας -
Οδοντιατρικού Κέντρου
(ΚΕΦΟΚ) Λένορμαν»**

**Σπυρίδων Γ. Βοργιάς
Α.Μ. : 163965**

**Επιβλέπουσα Α' Καθηγήτρια : Δήμητρα Καραλή
Επιβλέπων Β' Καθηγητής : Δημοσθένης Πολύζος**

**ΠΑΤΡΑ
ΜΑΪΟΣ, 2026**

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην υλοποίηση και ολοκλήρωσή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Διοίκηση της 1ης Υγειονομικής Περιφέρειας Αττικής, τη Διεύθυνση Ανάπτυξης Ανθρώπινου Δυναμικού Μονάδων Παροχής Υπηρεσιών Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης, τη Διεύθυνση Ενιαίας Τεχνικής Υπηρεσίας, καθώς και το προσωπικό της 1ης ΥΠΕ για τη συνεργασία τους και για τη χορήγηση της άδειας που μου επέτρεψε τη διεξαγωγή της έρευνας.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επιστημονικά Υπεύθυνη και το προσωπικό του Κέντρου Ειδικής Φροντίδας - Οδοντιατρικού Κέντρου Λένορμαν για τη διευκόλυνση που μου παρείχαν κατά την πραγματοποίησης της μελέτης.

Θα ήθελα ακόμη να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη προς την επιβλέπουσα καθηγήτρια της διπλωματικής μου εργασίας για την καθοδήγηση, τη στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τους γονείς μου και την αδελφή μου για την αγάπη τους, την αμέριστη υποστήριξη, την κατανόηση και την ενθάρρυνση που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών και όχι μόνο.

Περίληψη

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων αποτελεί βασικό πυλώνα της ευρωπαϊκής πολιτικής για τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, καθώς ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για σημαντικό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η ανάγκη ενεργειακής αναβάθμισης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα δημόσια κτίρια υγείας, τα οποία παρουσιάζουν αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις λόγω της συνεχούς λειτουργίας τους και της ανάγκης διατήρησης κατάλληλων συνθηκών θερμικής άνεσης και υγιεινής.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκπόνηση τεχνικοοικονομικής μελέτης για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου του Κέντρου Ειδικής Φροντίδας - Οδοντιατρικού Κέντρου (ΚΕΦΟΚ) Λένορμαν, το οποίο αποτελεί δομή Πρωτοβάθμιας Φροντίδας Υγείας της 1ης Υγειονομικής Περιφέρειας Αττικής. Η μελέτη στοχεύει στην αποτύπωση της υφιστάμενης ενεργειακής κατάστασης του κτιρίου, στην ανάπτυξη εναλλακτικών σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης και στην επιλογή του βέλτιστου επενδυτικού σχεδίου με βάση ενεργειακά και οικονομικά κριτήρια.

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τη συλλογή και ανάλυση τεχνικών δεδομένων του κτιρίου, τη δημιουργία ενεργειακού μοντέλου σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) και τις Τεχνικές Οδηγίες του ΤΕΕ, καθώς και την προσομοίωση τριών σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης που αφορούν παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος, στα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα και την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παράλληλα πραγματοποιείται οικονομική αξιολόγηση των σεναρίων με χρήση της μεθόδου κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost – LCC).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι προτεινόμενες παρεμβάσεις μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, με εξοικονόμηση από 40,7% έως 94,3% σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Παράλληλα, η ενεργειακή κατηγορία του κτιρίου βελτιώνεται από Δ σε Α+ στο βέλτιστο σενάριο. Η μελέτη καταδεικνύει ότι ο συνδυασμός παρεμβάσεων στο κτιριακό κέλυφος, στα ενεργειακά συστήματα και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να αποτελέσει αποτελεσματική στρατηγική για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση του λειτουργικού κόστους των δημόσιων κτιρίων.

Abstract

Energy efficiency in buildings constitutes a key pillar of European policy for sustainable development and the reduction of greenhouse gas emissions, as the building sector accounts for a significant share of total energy consumption. The need for energy upgrading is particularly important for public healthcare buildings, which are characterized by high energy demands due to their continuous operation and the requirement to maintain appropriate conditions of thermal comfort and hygiene.

The aim of this thesis is to develop a comprehensive techno-economic study for the energy upgrading of the building of the Special Care - Dental Center (SCDC) Lenorman, which operates as a Primary Health Care facility under the 1st Regional Health Authority of Attica. The study aims to assess the current energy performance of the building, to develop alternative energy upgrade scenarios, and to identify the optimal investment plan based on both energy and economic criteria.

The research methodology includes the collection and analysis of technical building data, the development of an energy model in accordance with the methodology of the Greek Regulation on the Energy Performance of Buildings (KENAK) and the Technical Directives of the Technical Chamber of Greece (TEE), as well as the simulation of three alternative energy upgrade scenarios involving interventions in the building envelope, the electromechanical systems, and the integration of renewable energy sources. In addition, an economic evaluation of the scenarios was conducted using the Life Cycle Cost (LCC) method.

The results of the analysis indicate that the proposed interventions can lead to a significant reduction in primary energy consumption and carbon dioxide emissions, with energy savings ranging from 40.7% to 94.3% compared to the existing condition. Furthermore, the building's energy classification improves from class D to class A+ in the optimal scenario, highlighting the considerable potential for energy savings in public healthcare buildings. The study demonstrates that the combined implementation of building envelope improvements, energy system upgrades, and the integration of renewable energy sources can constitute an effective strategy for enhancing energy performance and reducing the operational costs of public buildings.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγή	11
1.1 Το Πρόβλημα και η Σημασία της Μελέτης.....	11
1.2 Ερευνητικά Κενά και Πρωτοτυπία της Έρευνας.....	12
1.3 Σκοπός και Στόχοι της Έρευνας.....	12
1.4 Αναμενόμενα Αποτελέσματα και Οφέλη.....	13
1.5 Μεθοδολογία.....	14
1.6 Δομή της Εργασίας	14
Κεφάλαιο 2ο : Θεσμικό και Τεχνικό Πλαίσιο Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων ...	16
2.1 Ευρωπαϊκή νομοθεσία και πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση.....	16
2.1.1 Η εξέλιξη του ευρωπαϊκού πλαισίου	16
2.1.2 Τυποποίηση, Ρύθμιση και Αξιολόγηση για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων	18
2.1.3 Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και το Fit for 55	19
2.1.4 Ο ρόλος της ενεργειακής αποδοτικότητας στη βιώσιμη ανάπτυξη .	20
2.2 Η Εξέλιξη του Θεσμικού Πλαισίου για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων στην Ελλάδα	21
2.3 Τεχνικό Πλαίσιο Εφαρμογής: TOTEE και KENAK.....	24
2.4 Διαδικασία Ενεργειακής Πιστοποίησης Κτιρίων (ΠΕΑ).....	26
2.5 Διαδικασία ενεργειακής επιθεώρησης για την έκδοση ΠΕΑ.....	28
2.6 Ενεργειακοί δείκτες, κλίμακες και υπολογισμοί.....	28
2.7 Ενεργειακή διαχείριση δημοσίων κτιρίων (BEMS – Building Energy Management Systems).....	30
2.8 Χρηματοδοτικά Εργαλεία Ενεργειακής Αναβάθμισης Δημόσιων Κτιρίων Υγείας	31
2.8.1 Ευρωπαϊκή χρηματοδοτική ενίσχυση (ΤΑΑ – ΕΣΠΑ)	32
2.8.2 Καινοτόμα ιδιωτικά χρηματοδοτικά σχήματα (EPC & ESCOs)	32

Κεφάλαιο 3ο : Αποτύπωση Κτιρίου και Ανάλυση Υφιστάμενης Ενεργειακής Κατάστασης	34
3.1 Σκοπός της Ενεργειακής Αποτύπωσης	34
3.2 Γενικά στοιχεία του κτιρίου και ρόλος του ΚΕΦΟΚ	35
3.3 Χωροθέτηση και κτιριολογική περιγραφή.....	35
3.3.1 Κτιριολογικά στοιχεία.....	36
3.3.2 Επιφάνεια ανά Επίπεδο και Χρήσεις	36
3.3.3 Προσανατολισμός και σκιάσεις	37
3.4 Δομικά χαρακτηριστικά και κτιριακό κέλυφος.....	38
3.4.1 Φέρων οργανισμός και τοιχοποιίες.....	38
3.4.2 Στέγη / Δώμα.....	41
3.4.3 Κουφώματα.....	43
3.5 Συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού.....	45
3.5.1 Θέρμανση.....	45
3.5.2 Ψύξη.....	45
3.5.3 Μηχανικός αερισμός.....	46
3.6 Συστήματα Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)	46
3.7 Σύστημα φωτισμού και ηλεκτρικών εγκαταστάσεων	47
3.8 Ανελκυστήρες	48
3.9 Ενεργειακή Αξιολόγηση σύμφωνα με ΚΕΝΑΚ	51
3.10 Κύρια Ενεργειακά Προβλήματα και Ανάγκες Αναβάθμισης	54
Κεφάλαιο 4ο : Διαμόρφωση Σεναρίων Ενεργειακής Αναβάθμισης.....	56
4.1 Σενάριο 1 – Παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης και αποτελέσματα προσομοίωσης.....	56
4.1.1 Παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος.....	56
4.1.2 Βελτίωση διαφανών δομικών στοιχείων.....	57
4.1.3 Παρεμβάσεις στα Η/Μ συστήματα.....	58
4.1.4 Αποτελέσματα ενεργειακής προσομοίωσης	60

4.2	Σενάριο 2 – Παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης με ενσωμάτωση φωτοβολταϊκού συστήματος.....	61
4.2.1	Φωτοβολταϊκό σύστημα	61
4.2.2	Αποτελέσματα ενεργειακής προσομοίωσης	62
4.3	Σενάριο 3 – Παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης με τοπικές αντλίες θερμότητας.....	63
4.3.1	Συστήματα θέρμανσης και ψύξης.....	63
4.3.2	Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX).....	64
4.3.3	Αποτελέσματα ενεργειακής προσομοίωσης	64
4.4	Αποτελέσματα ενεργειακής προσομοίωσης και ποσοτικοποίηση σεναρίων	64
4.4.1	Μεθοδολογία αξιολόγησης.....	64
4.4.2	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης.....	65
4.4.3	Ανάλυση αποτελεσμάτων ανά σενάριο.....	66
4.5	Συγκριτική αξιολόγηση σεναρίων	68
4.6	Απεικόνιση αποτελεσμάτων	69
Κεφάλαιο 5ο : Οικονομική Αξιολόγηση και Επιλογή Βέλτιστου Σεναρίου		
	Ενεργειακής Αναβάθμισης	71
5.1	Σκοπός και αντικείμενο του Κεφαλαίου	71
5.2	Σενάρια προς οικονομική αξιολόγηση.....	71
5.3	Συμπληρωματικά συστήματα εκτός KENAK με συνεισφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας.....	72
5.3.1	Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίου (BEMS).....	72
5.3.2	Συστήματα σκίασης εσωτερικών χώρων	73
5.3.3	Ανελκυστήρες τεχνολογίας MRL	73
5.3.4	Συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS)	73
5.3.5	Συστήματα εφεδρικής ηλεκτροδότησης (H/Z)	74

5.4 Υποστηρικτικές οικοδομικές εργασίες για την υλοποίηση των ενεργειακών παρεμβάσεων	74
5.5 Ανάλυση επενδυτικού κόστους σεναρίων.....	75
5.6 Οικονομική αξιολόγηση	77
Κεφάλαιο 6ο : Συμπεράσματα	81
Βιβλιογραφία	84

Πίνακας 1: Θερμικές ιδιότητες στρώσεων εξωτερικής τοιχοποιίας (υφιστάμενη κατάσταση)	40
Πίνακας 2:Θερμικές ιδιότητες στρώσεων δώματος (υφιστάμενη κατάσταση)	42
Πίνακας 3: Θερμικές ιδιότητες υφιστάμενων κουφωμάτων (μονός υαλοπίνακας)	44
Πίνακας 4: Σύγκριση ενεργειακής απόδοσης, κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών CO ₂ της υφιστάμενης κατάστασης και των εξεταζόμενων σεναρίων. .	65
Πίνακας 5: Ανάλυση επενδυτικού κόστους Σεναρίου 1 ανά κατηγορία δαπάνης .	76
Πίνακας 6: Ανάλυση επενδυτικού κόστους Σεναρίου 2 ανά κατηγορία δαπάνης .	76
Πίνακας 7: Ανάλυση επενδυτικού κόστους Σεναρίου 3 ανά κατηγορία δαπάνης .	77
Πίνακας 8: Συγκριτική οικονομική αξιολόγηση Σεναρίων (LCC)	79

Εικόνα 1: Ενεργειακή κατάταξη και κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του υφιστάμενου κτιρίου (Κατηγορία Δ, T = 1,42).....	53
Εικόνα 2: Κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή («καύσιμα») και αντίστοιχες εκπομπές CO ₂ του υφιστάμενου κτιρίου.....	54
Εικόνα 3: Οπτική σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης (κατηγορία και πρωτογενής κατανάλωση ανά χρήση) της υφιστάμενης κατάστασης και των σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης	69
Εικόνα 4: Ενεργειακές απαιτήσεις, κατανάλωση και εκπομπές CO ₂ του Σεναρίου 1	69
Εικόνα 5: Ενεργειακές απαιτήσεις, κατανάλωση και εκπομπές CO ₂ του Σεναρίου 2	70
Εικόνα 6: Ενεργειακές απαιτήσεις, κατανάλωση και εκπομπές CO ₂ του Σεναρίου 3	70

Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγή

1.1 Το Πρόβλημα και η Σημασία της Μελέτης

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο της ευρωπαϊκής πολιτικής για την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για περίπου το 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας και σχεδόν το 36% των εκπομπών CO₂ στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Προς την κατεύθυνση αντιμετώπισης του προβλήματος, η ευρωπαϊκή στρατηγική «Κύμα Ανακαινίσεων» (Renovation Wave) έχει θέσει ως ορόσημο για το 2030 την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στα κτίρια κατά 60%, καθώς και τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη και θέρμανση κατά 18% (European Commission, 2020). Η ανάγκη για περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας, με παράλληλη διασφάλιση συνθηκών άνεσης και υγιεινής, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη νομοθετικών πλαισίων και τεχνολογικών λύσεων για την ενεργειακή αναβάθμιση του υπάρχοντος κτιριακού αποθέματος (International Energy Agency, 2025).

Στην Ελλάδα, το κτιριακό απόθεμα είναι ιδιαίτερα παλαιωμένο, με εκτεταμένο ποσοστό κτιρίων να έχει κατασκευαστεί πριν την εφαρμογή του πρώτου Θερμομονωτικού Κανονισμού το 1979, οδηγώντας σε σημαντικές θερμικές απώλειες και υψηλό ενεργειακό αποτύπωμα. Παράλληλα, ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK), σε εναρμόνιση με τις πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης και συγκεκριμένα την Αναθεωρημένη Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD recast), προωθούν την ενεργειακή ανακαίνιση δημόσιων και ιδιωτικών κτιρίων. Στόχος είναι η μετάβαση από τα Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (nZEB) στα Κτίρια Μηδενικών Εκπομπών (Zero-Emission Buildings), συμβάλλοντας στην κλιματική ουδετερότητα του κτιριακού τομέα έως το 2050 (Maduta et al., 2025).

Η παρούσα διπλωματική εργασία εντάσσεται σε αυτό το πλαίσιο, εστιάζοντας στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου του ΚΕΦΟΚ Λένορμαν, μιας δομής Πρωτοβάθμιας Φροντίδας Υγείας (ΠΦΥ) αρμοδιότητας της 1ης Υγειονομικής Περιφέρειας (ΥΠΕ) Αττικής. Η σημασία της μελέτης είναι διπλή: αφενός, αντιμετωπίζει το πρόβλημα της αυξημένης ενεργειακής κατανάλωσης και των λειτουργικών δαπανών ενός δημόσιου κτιρίου, και αφετέρου, διασφαλίζει τη βελτίωση των συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος, οι οποίες είναι κρίσιμες για τη λειτουργία

κτιρίων υγείας με αυξημένες λειτουργικές και ενεργειακές απαιτήσεις (Grignaffini et al., 2023).

1.2 Ερευνητικά Κενά και Πρωτοτυπία της Έρευνας

Η διεθνής και εγχώρια επιστημονική βιβλιογραφία για την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων εστιάζει κυρίως σε οικιστικά κτίρια, σχολικές μονάδες και μεγάλα νοσοκομεία, παράγοντας αποτελέσματα που δεν αποτυπώνουν τις ιδιαιτερότητες λειτουργίας των δομών Πρωτοβάθμιας Φροντίδας Υγείας (ΠΦΥ). Παρά τον σημαντικό αριθμό σχετικών μελετών, υπάρχει έλλειψη ολοκληρωμένων τεχνικοοικονομικών αξιολογήσεων που να αφορούν αποκλειστικά κτίρια ΠΦΥ, καθώς και εφαρμοσμένων αναλύσεων σεναρίων ενεργειακών παρεμβάσεων με χρήση λογισμικού ενεργειακής προσομοίωσης συμβατού με τη μεθοδολογία του KENAK.

Η παρούσα εργασία καλύπτει αυτό το κενό, υλοποιώντας μια συστηματική προσέγγιση που περιλαμβάνει την ανάπτυξη υπολογιστικού ενεργειακού μοντέλου του κτιρίου σε περιβάλλον συμβατό με τον KENAK και την προσομοίωση εναλλακτικών σεναρίων παρέμβασης, με παράλληλη τεχνικοοικονομική αξιολόγηση. Η πρωτοτυπία της έρευνας έγκειται στην παραγωγή μιας εφαρμοσμένης μελέτης περίπτωσης ειδικά για δομή ΠΦΥ, η οποία μπορεί να λειτουργήσει ως μεθοδολογικό πρότυπο για αντίστοιχες δημόσιες δομές υγείας.

1.3 Σκοπός και Στόχοι της Έρευνας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκπόνηση μιας ολοκληρωμένης τεχνικοοικονομικής μελέτης για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου του ΚΕΦΟΚ Λένορμαν, ώστε να προταθεί το βέλτιστο επενδυτικό σχέδιο.

Οι επιμέρους στόχοι της έρευνας, επικεντρωμένοι στα αποτελέσματα που θα παραχθούν, είναι:

1. Να δημιουργηθεί ένα αξιόπιστο υπολογιστικό μοντέλο (Σενάριο Βάσης) που θα αναπαριστά την υφιστάμενη ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου.
2. Να υπολογιστεί η ποσοτική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών CO₂ για κάθε εναλλακτικό σενάριο παρέμβασης.

3. Να πραγματοποιηθεί πλήρης οικονομική ανάλυση των σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης με χρήση της μεθόδου κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost – LCC), προκειμένου να συγκριθούν οι εναλλακτικές λύσεις και να προσδιοριστεί το οικονομικά βέλτιστο σενάριο.
4. Να τεκμηριωθεί και να παραδοθεί η τελική πρόταση αναβάθμισης, η οποία θα βελτιώνει την ενεργειακή κλάση του κτιρίου και θα είναι οικονομικά βιώσιμη για την 1η ΥΠΕ.

1.4 Αναμενόμενα Αποτελέσματα και Οφέλη

Από την ολοκλήρωση της έρευνας και την εφαρμογή του βέλτιστου σεναρίου αναμένεται να προκύψουν συγκεκριμένα και ποσοτικοποιήσιμα αποτελέσματα, τα οποία θα προσφέρουν σημαντικά οφέλη:

- **Ενεργειακό Όφελος:** Ποσοτικοποιημένη μείωση της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²), οδηγώντας στη βελτίωση της ενεργειακής κατηγορίας του κτιρίου (π.χ., από Γ σε Β ή Α).
- **Οικονομικό Όφελος:** Σημαντική μείωση των ετήσιων λειτουργικών δαπανών για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό, καθώς και αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας των προτεινόμενων παρεμβάσεων μέσω ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost – LCC)..
- **Περιβαλλοντικό Όφελος:** Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων ρύπων, συνεισφέροντας στην επίτευξη των εθνικών και ευρωπαϊκών στόχων για το κλίμα.
- **Λειτουργικό Όφελος:** Βελτίωση των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, καθώς και της ποιότητας του εσωτερικού αέρα για το προσωπικό και τους επισκέπτες/ασθενείς της δομής.
- **Εργαλείο Λήψης Αποφάσεων & Πρότυπο Εφαρμογής:** Η εργασία παρέχει στη Διοίκηση της 1ης Υγειονομικής Περιφέρειας (1η ΥΠΕ) Αττικής όλα τα αναγκαία τεχνοοικονομικά δεδομένα και τεχνικές εκτιμήσεις, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για τη λήψη απόφασης σχετικά με την υλοποίηση της ενεργειακής αναβάθμισης του ΚΕΦΟΚ. Παράλληλα, υποστηρίζει την Ενιαία Τεχνική Υπηρεσία της 1ης ΥΠΕ στο έργο της τεχνικής αξιολόγησης και στον σχεδιασμό αντίστοιχων παρεμβάσεων σε ομοειδείς δημόσιες δομές υγείας.

1.5 Μεθοδολογία

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, η μεθοδολογία της έρευνας επικεντρώνεται σε πέντε διακριτά στάδια διαδικασίας:

1. **Συλλογή και Ανάλυση Δεδομένων:** Διενέργεια αυτοψίας του κτιρίου, συλλογή αρχιτεκτονικών, δομικών και Η/Μ στοιχείων, καθώς και ιστορικών δεδομένων ενεργειακών καταναλώσεων και δαπανών.
2. **Μοντελοποίηση Υφιστάμενης Κατάστασης:** Δημιουργία του μοντέλου αναφοράς (Σενάριο Βάσης) σε υπολογιστικό περιβάλλον ενεργειακής προσομοίωσης συμβατό με τη μεθοδολογία του KENAK, βάσει των στοιχείων που συλλέχθηκαν.
3. **Διαμόρφωση Σεναρίων:** Σχεδιασμός εναλλακτικών παρεμβάσεων (μονομερών και συνδυαστικών) που καλύπτουν όλες τις κατηγορίες μέτρων (κέλυφος, συστήματα, ΑΠΕ).
4. **Ενεργειακή Προσομοίωση:** Εκτέλεση υπολογισμών για κάθε σενάριο, με στόχο την ποσοτικοποίηση της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας.
5. **Οικονομική Αξιολόγηση:** Εφαρμογή οικονομικών κριτηρίων με χρήση της μεθόδου κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost – LCC) για τη σύγκριση των σεναρίων και την επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού παρεμβάσεων.

1.6 Δομή της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι δομημένη σε έξι (6) κεφάλαια :

Το **Κεφάλαιο 1** αποτελεί την Εισαγωγή, περιγράφοντας το πρόβλημα, τα ερευνητικά κενά, την πρωτοτυπία, τους στόχους και τη μεθοδολογία της έρευνας.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζεται η εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση, το θεωρητικό πλαίσιο της ενεργειακής απόδοσης, καθώς και το εθνικό και ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο.

Το **Κεφάλαιο 3** εστιάζει στην αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης του ΚΕΦΟΚ Λένορμαν, περιλαμβάνοντας τη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων λειτουργίας, των καταναλώσεων και των κτιριακών χαρακτηριστικών.

Στο **Κεφάλαιο 4** διαμορφώνονται τα εναλλακτικά σενάρια αναβάθμισης και πραγματοποιείται η ενεργειακή προσομοίωση και αξιολόγηση τους.

Το **Κεφάλαιο 5** περιγράφει αναλυτικά το προτεινόμενο βέλτιστο σχέδιο αναβάθμισης και την εκτίμηση κόστους.

Τέλος, το **Κεφάλαιο 6** περιλαμβάνει τα συνολικά συμπεράσματα, τα κύρια πορίσματα και προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.

Κεφάλαιο 2ο : Θεσμικό και Τεχνικό Πλαίσιο Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων

2.1 Ευρωπαϊκή νομοθεσία και πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση

2.1.1 Η εξέλιξη του ευρωπαϊκού πλαισίου

Η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων ξεκίνησε με την Οδηγία 2002/91/EK, η οποία καθόρισε για πρώτη φορά ενιαίο πλαίσιο ενεργειακής πιστοποίησης κτιρίων. Η Οδηγία αυτή αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη εθνικών κανονισμών σε όλα τα κράτη μέλη.

Η οδηγία αποτέλεσε το αρχικό νομικό πλαίσιο της ΕΕ για την εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα, επικεντρώνονταν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση της κατανάλωσης στα κτίρια. Συγκεκριμένα, η Οδηγία εισήγαγε τη θεσμοθέτηση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) για αγοραπωλησίες και μισθώσεις, καθόρισε ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις για τα νέα και τα ριζικώς ανακαινιζόμενα κτίρια και επέβαλε την τακτική επιθεώρηση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού, με στόχο την ενημέρωση των πολιτών και την προώθηση επενδύσεων για τη συνολική αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος (European Parliament and Council, 2002).

Το 2010, η ΕΕ προχώρησε στην αναθεώρησή της μέσω της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ, γνωστής ως *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*, η οποία αποτελεί τον βασικό πυλώνα της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, με σκοπό την κλιμάκωση των προσπαθειών για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών. Οι κύριοι στόχοι της περιλαμβάνουν την καθιέρωση του Κτιρίου Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (nZEB) ως πρότυπο για όλες τις νέες κατασκευές, την επιβολή αυστηρότερων ελάχιστων απαιτήσεων για τη θερμομόνωση και την αποδοτικότητα των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, την ενίσχυση της υποχρεωτικής ενεργειακής πιστοποίησης (ΠΕΑ) και την προώθηση της οικονομικώς συμφέρουσας ανακαίνισης του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος (European Parliament and Council, 2010).

Η πιο πρόσφατη τροποποίηση της οδηγίας πραγματοποιήθηκε με την Οδηγία (ΕΕ) 2018/844, η οποία ενσωμάτωσε τους στόχους της Συμφωνίας των Παρισίων και της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας (*European Green Deal*). Η Οδηγία αυτή

σηματοδοτεί τη μετάβαση από την απλή ενεργειακή απόδοση στην ψηφιοποίηση και την ευφυΐα των κτιρίων. Βασικοί της στόχοι είναι η επιτάχυνση της οικονομικώς συμφέρουσας ανακαίνισης του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος μέσω της θέσπισης Μακροπρόθεσμων Στρατηγικών Ανακαίνισης από τα κράτη μέλη, καθώς και η προώθηση των έξυπνων τεχνολογιών. Προς αυτή την κατεύθυνση, εισήγαγε τον «Δείκτη Ευφυούς Ετοιμότητας» (Smart Readiness Indicator - SRI) για την αξιολόγηση της ικανότητας των κτιρίων να προσαρμόζονται στις ανάγκες των χρηστών και να αλληλεπιδρούν με το δίκτυο, ενώ παράλληλα καθιέρωσε υποχρεώσεις για την ανάπτυξη υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στα κτίρια (European Parliament and Council, 2018).

Το 2020 ο κατ' Εξουσιοδότηση Κανονισμός (ΕΕ) 2020/2155 της Επιτροπής συμπληρώνει την Οδηγία 2010/31/ΕΕ (EPBD) με τη θέσπιση του προαιρετικού κοινού συστήματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αξιολόγηση του Δείκτη Ευφυούς Ετοιμότητας (Smart Readiness Indicator - SRI) των κτιρίων. Ο βασικός του στόχος είναι να παρέχει μια σαφή και εναρμονισμένη μεθοδολογία για τη μέτρηση της ικανότητας ενός κτιρίου να χρησιμοποιεί τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών και ηλεκτρονικά συστήματα, ώστε να προσαρμόζει τη λειτουργία του στις ανάγκες των ενοίκων και του δικτύου και να βελτιώνει τη συνολική του ενεργειακή απόδοση. Ο δείκτης αυτός, ο οποίος βασίζεται σε τρεις λειτουργίες (ενεργειακή απόδοση, προσαρμογή στις ανάγκες των χρηστών, ευελιξία ζήτησης προς το δίκτυο), έχει ως σκοπό την αύξηση της ευαισθητοποίησης των ιδιοκτητών για την αξία του αυτοματισμού και της ψηφιοποίησης στον κτιριακό τομέα (European Parliament and Council, 2020).

Επιπλέον, το 2023 εγκρίθηκε η οδηγία 2023/2413/ΕΕ, η οποία αφορά την τροποποίηση της Οδηγίας 2018/2001 για την προώθηση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Renewable Energy Directive - RED III). Με αυτήν, η ΕΕ ενισχύει τον δεσμευτικό της στόχο για το μερίδιο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στο 42,5% έως το 2030, με φιλοδοξία για 45%. Για τον κτιριακό τομέα, η Οδηγία εισάγει σημαντικές απαιτήσεις για την επιτάχυνση των διαδικασιών αδειοδότησης για εγκαταστάσεις ΑΠΕ (κυρίως ηλιακής ενέργειας) και θεσπίζει ενδεικτικά μερίδια ανανεώσιμης ενέργειας στον τομέα της θέρμανσης και ψύξης, με απώτερο σκοπό τη σταδιακή κατάργηση των ορυκτών καυσίμων από τα κτίρια (European Parliament and Council, 2023).

Τέλος, με την οδηγία (ΕΕ) 2024/1275 αναδιατυπώνεται η οδηγία 2010/31/ΕΕ, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (Energy Performance of Buildings Directive - EPBD Recast) και θεσπίζει το νέο πρότυπο του Κτιρίου Μηδενικών Εκπομπών (Zero Emission Building - ZEB), το οποίο καθίσταται υποχρεωτικό για όλα τα νέα κτίρια από το 2030. Παράλληλα, εισάγει Ελάχιστα Πρότυπα Ενεργειακής Απόδοσης (MEPS) για την ανακαίνιση του 16% των κτιρίων με τη χειρότερη επίδοση έως το 2030, και επιβάλλει σταδιακή υποχρεωτική εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων στα νέα και ανακαινιζόμενα κτίρια, καθώς και τη διακοπή επιδοτήσεων για λέβητες ορυκτών καυσίμων από το 2025 (European Parliament and Council, 2024).

2.1.2 Τυποποίηση, Ρύθμιση και Αξιολόγηση για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων

Παράλληλα με το νομοθετικό πλαίσιο, η ΕΕ έχει καθιερώσει ένα σύνολο τεχνικών προτύπων και εργαλείων για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης. Ενδεικτικά:

- Το πρότυπο EN ISO 52000-1:2017 έχει θεμελιώδη σημασία καθώς λειτουργεί ως ο γενικός και πρωταρχικός (*overarching*) οδηγός για την αξιολόγηση της Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση και διεθνώς. Σκοπός του είναι η παροχή ενός ενιαίου, συστηματικού και αρθρωτού πλαισίου για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης τόσο στα νέα όσο και στα υφιστάμενα κτίρια. Ειδικότερα, καθορίζει τις κοινές διαδικασίες και τους κανόνες για την ολιστική αξιολόγηση της συνολικής χρήσης ενέργειας του κτιρίου — συμπεριλαμβανομένης της θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού και λοιπών τεχνικών υπηρεσιών, διασφαλίζοντας έτσι τη διαφάνεια, τη συγκρισιμότητα και την πλήρη συνοχή μεταξύ των κρατών μελών κατά την εφαρμογή των σχετικών Οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (International Organization for Standardization, 2017).
- Το CEN (European Committee for Standardization), δηλαδή η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης, αποτελεί έναν από τους τρεις βασικούς ευρωπαϊκούς Οργανισμούς Τυποποίησης και ο κύριος ρόλος του είναι η ανάπτυξη και έκδοση εθελοντικών ευρωπαϊκών προτύπων (EN), τα οποία αποσκοπούν στη διευκόλυνση του εμπορίου, την προώθηση της ασφάλειας, της ποιότητας και της καινοτομίας σε πληθώρα τομέων, συμπεριλαμβανομένου του κτιριακού. Ο βασικός σκοπός του CEN είναι η άρση των τεχνικών εμποδίων εντός της ενιαίας

αγοράς της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (EOX), παρέχοντας κοινές τεχνικές προδιαγραφές που χρησιμεύουν ως σταθερή και αξιόπιστη βάση για την εφαρμογή της κοινοτικής νομοθεσίας, όπως συνέβη και με την ανάπτυξη της σειράς προτύπων EN ISO 52000, η οποία υποστηρίζει άμεσα τις απαιτήσεις της Οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (CEN, n.d.).

- Επίσης, το BPIE (Buildings Performance Institute Europe) είναι ένα ανεξάρτητο, μη κερδοσκοπικό think tank με έδρα τις Βρυξέλλες, το οποίο ιδρύθηκε για να στηρίξει την εφαρμογή της πολιτικής της ΕΕ για τα κτίρια (BPIE, n.d.). Δημοσιεύει ετήσιες αναφορές που αξιολογούν την πρόοδο των κρατών μελών στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος. Ο ρόλος του είναι κρίσιμος, καθώς παρέχει τεκμηριωμένα δεδομένα και συμβουλές πολιτικής στους ευρωπαϊκούς θεσμούς, με στόχο την επιτάχυνση της πράσινης μετάβασης στον κτιριακό τομέα (BPIE, 2021). Οι αναλύσεις του BPIE χρησιμοποιούνται ευρέως για την ενημέρωση και την ενίσχυση νομοθετικών πρωτοβουλιών, όπως η Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD), καθώς τονίζουν τις προκλήσεις (όπως η ενεργειακή φτώχεια) και τις ευκαιρίες για τη δημιουργία ενός κτιριακού αποθέματος μηδενικών εκπομπών (ZEB) και δημοσιεύει ετήσιες αναφορές που αξιολογούν την πρόοδο των κρατών μελών στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος (BPIE, 2025).

Τα ευρωπαϊκά πρότυπα αποτελούν το θεμέλιο για τη διαμόρφωση των εθνικών κανονισμών και τεχνικών οδηγιών. Στην Ελλάδα, το πλαίσιο αυτό εξειδικεύεται μέσω του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων - Υπουργείο Περιβάλλοντος Και Ενέργειας, n.d.) και των αντίστοιχων TOTEE του ΤΕΕ (TOTEE (KENAK) | ΤΕΕ, n.d.), που καθορίζουν τη μεθοδολογία εφαρμογής του .

2.1.3 Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και το Fit for 55

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal), η οποία παρουσιάστηκε ως η εμβληματική στρατηγική της Ευρωπαϊκής Επιτροπής το 2019, αποτελεί τον οδικό χάρτη για την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας στην Ευρωπαϊκή Ένωση έως το 2050 (Δέσμη Fit for 55 - Consilium, n.d.). Ο κεντρικός αυτός στόχος απαιτεί μία

ενδιάμεση, αλλά φιλόδοξη, δέσμευση για τη μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Η εξειδίκευση και η νομοθετική εφαρμογή αυτής της δέσμευσης υλοποιείται μέσω του ολοκληρωμένου πακέτου μέτρων Fit for 55. Στο πλαίσιο αυτό, ο κτιριακός τομέας τίθεται στο επίκεντρο της πολιτικής, καθώς τα κράτη μέλη υποχρεούνται να εντείνουν τα μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας στα δημόσια και ιδιωτικά κτίρια, να επιταχύνουν τις επενδύσεις σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και να μειώσουν σταδιακά την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Οι πολιτικές αυτές ενισχύθηκαν στρατηγικά από το σχέδιο REPowerEU, το οποίο αναπτύχθηκε μετά την ενεργειακή κρίση του 2022 με σκοπό τη διαφοροποίηση των πηγών εφοδιασμού και την ακόμα ταχύτερη μετάβαση σε καθαρές ενεργειακές τεχνολογίες, καθιστώντας την ενεργειακή αναβάθμιση βασικό εργαλείο για την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας της Ένωσης (REPowerEU, n.d.).

2.1.4 Ο ρόλος της ενεργειακής αποδοτικότητας στη βιώσιμη ανάπτυξη

Η ενεργειακή αποδοτικότητα αναγνωρίζεται πλέον ως θεμελιώδης πυλώνας της βιώσιμης ανάπτυξης, με άμεση διασύνδεση με το πλαίσιο των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs) του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (The 17 Goals | Sustainable Development, n.d.).

Συγκεκριμένα, η βελτίωση των ενεργειακών επιδόσεων στα κτίρια συμβάλλει άμεσα με την επίτευξη των ακόλουθων στόχων (goals) :

- **Στόχος 7 (SDG 7)** «Εξασφάλιση πρόσβασης σε οικονομικά προσιτή, αξιόπιστη, βιώσιμη και σύγχρονη ενέργεια για όλους»

Ο Στόχος Βιώσιμης Ανάπτυξης 7 της αποτελεί έναν κεντρικό πυλώνα για την παγκόσμια βιωσιμότητα, εστιάζοντας στη διασφάλιση της καθολικής πρόσβασης σε οικονομικά προσιτές, αξιόπιστες, βιώσιμες και σύγχρονες ενεργειακές υπηρεσίες έως το 2030. Η επίτευξη αυτού του στόχου θεμελιώνεται σε τρεις κρίσιμες συνιστώσες. Πρώτον, προβλέπεται η ουσιαστική αύξηση του ποσοστού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο συνολικό ενεργειακό μείγμα σε παγκόσμιο επίπεδο. Δεύτερον, τίθεται ως φιλόδοξο όριο ο διπλασιασμός του ρυθμού βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας παγκοσμίως. Τρίτον, υπογραμμίζεται η ανάγκη για ενισχυμένη διεθνή συνεργασία με σκοπό την προώθηση της έρευνας, της τεχνολογίας και των επενδύσεων σε καθαρές ενεργειακές υποδομές, με ιδιαίτερη έμφαση στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Συγκεκριμένα, κρίνεται απαραίτητη η τεχνολογική αναβάθμιση και η επέκταση των υποδομών για την παροχή βιώσιμης ενέργειας στα λιγότερο ανεπτυγμένα κράτη, στα μικρά αναπτυσσόμενα νησιωτικά και στα περικλειστά αναπτυσσόμενα κράτη, διασφαλίζοντας έτσι τη δίκαιη μετάβαση προς ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον για όλους (Goal 7 | Department of Economic and Social Affairs, n.d.).

- **Στόχος 13 (SDG 13)** «Ανάληψη επειγόντων μέτρων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της»

Ο Στόχος Βιώσιμης Ανάπτυξης 13 επικεντρώνεται στην ανάγκη για άμεση παγκόσμια αντίδραση απέναντι στην κλιματική κρίση, η οποία αποτελεί ήδη σοβαρή απειλή για κοινωνίες και οικοσυστήματα. Η διεθνής κοινότητα καλείται να ενισχύσει την ανθεκτικότητα των κρατών απέναντι σε κινδύνους όπως ακραία καιρικά φαινόμενα, πλημμύρες ή ξηρασίες, αναπτύσσοντας μηχανισμούς πρόληψης και αποτελεσματικής διαχείρισης. Παράλληλα, επιδιώκεται τα ζητήματα που σχετίζονται με το κλίμα να ενσωματωθούν συστηματικά σε εθνικές πολιτικές και στρατηγικές ανάπτυξης, ώστε η πορεία κάθε χώρας να συμβαδίζει με μια περισσότερο βιώσιμη και ανθεκτική προοπτική.

Ένας ακόμη βασικός άξονας του στόχου είναι η ενίσχυση της ενημέρωσης και της εκπαίδευσης σχετικά με την κλιματική αλλαγή, έτσι ώστε πολίτες, θεσμοί και τοπικές κοινότητες να διαθέτουν την απαραίτητη γνώση για να μειώνουν τους κινδύνους και να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Ταυτόχρονα, ο Στόχος 13 υπογραμμίζει τη σημασία της διεθνούς αλληλεγγύης: η παροχή οικονομικής και τεχνικής υποστήριξης προς τις πιο ευάλωτες χώρες θεωρείται απαραίτητη για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης. Συνολικά, ο στόχος αυτός επιδιώκει μια κοινή, συλλογική προσπάθεια, ώστε ο κόσμος να μπορέσει να κινηθεί προς μια πιο σταθερή και ανθεκτική μελλοντική πραγματικότητα (Goal 13 | Department of Economic and Social Affairs, n.d.).

2.2 Η Εξέλιξη του Θεσμικού Πλαισίου για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, ακολουθώντας τις ευρωπαϊκές κατευθύνσεις για την ενεργειακή απόδοση, έχει διαμορφώσει τα τελευταία χρόνια ένα συνεκτικό νομικό και τεχνικό πλαίσιο για τη βελτίωση του ενεργειακού αποτυπώματος των κτιρίων. Η εναρμόνιση αυτή ξεκίνησε με τον Νόμο 3661/2008, ο οποίος αποτέλεσε το πρώτο ολοκληρωμένο

βήμα για τη συμμόρφωση με την Οδηγία 2002/91/EK και καθιέρωσε την έννοια της ενεργειακής πιστοποίησης των κτιρίων στην ελληνική έννομη τάξη (Νόμος 3661/2008, ΦΕΚ Α' 89).

Ο Νόμος 3661/2008 εισήγαγε:

- Την υποχρέωση εκπόνησης Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης (ΜΕΑ) για κάθε νέο ή ριζικά ανακαινιζόμενο κτίριο,
- Την έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ),
- Και τη δημιουργία Μητρώου Ενεργειακών Επιθεωρητών (ΥΠΕΝ, 2008).

Ακολούθησε, η Υπουργική Απόφαση (Υ.Α.) Δ6/Β/οικ. 5825/2010 (ΦΕΚ 407/Β' 9.4.2010) που θέσπισε τον πρώτο Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ), θέτοντας σε πλήρη εφαρμογή την Οδηγία 2002/91/EK στην Ελλάδα. Η Υ.Α. εισήγαγε τρία κύρια στοιχεία:

α) Υποχρεωτική Μεθοδολογία Υπολογισμού, καθιερώνοντας μια ενιαία μέθοδο εκτίμησης της πρωτογενούς ενέργειας (για θέρμανση, ψύξη, ΖΝΧ, φωτισμό) και την κατάταξη των κτιρίων σε ενεργειακές κατηγορίες (Α+ έως Η) μέσω σύγκρισης με το «Κτίριο Αναφοράς».

β) Την υποχρέωση εκπόνησης Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης (ΜΕΑ) για κάθε νέο ή ριζικά ανακαινιζόμενο κτίριο, αντικαθιστώντας τη μελέτη θερμομόνωσης και διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τις ελάχιστες απαιτήσεις από το στάδιο της αδειοδότησης.

γ) Τη λειτουργία του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ), καθιστώντας το υποχρεωτικό σε περιπτώσεις πώλησης ή μίσθωσης, και εισάγοντας έτσι την ενεργειακή διαφάνεια στην αγορά ακινήτων, καθώς συνοδευόταν από συστάσεις βελτίωσης με βάση το κριτήριο κόστους-αποτελεσματικότητας. Ουσιαστικά, η απόφαση αυτή αποτέλεσε τη θεσμική τομή για την έναρξη της συστηματικής ενεργειακής αναβάθμισης του κτιριακού αποθέματος της χώρας.

Παράλληλα με τη θέσπιση του πρώτου ΚΕΝΑΚ, το Προεδρικό Διάταγμα 100/2010 (ΦΕΚ Α' 177/06.10.2010) ρύθμιζε το πρόσωπο που θα εφάρμοζε τις νέες διατάξεις. Το Π.Δ. 100/2010, κατ' εξουσιοδότηση του Ν. 3661/2008, θεσμοθέτησε το επάγγελμα του Ενεργειακού Επιθεωρητή (για κτίρια, λέβητες και συστήματα κλιματισμού). Καθόρισε τα απαιτούμενα προσόντα, τη διαδικασία διαπίστευσης και τη δημιουργία των σχετικών Μητρώων των Επιθεωρητών, θέτοντας ουσιαστικά τους κανόνες για την πρακτική διενέργεια των Μελετών Ενεργειακής Απόδοσης (ΜΕΑ) και την έκδοση των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ).

Μετά την πλήρη έναρξη εφαρμογής του πρώτου ΚΕΝΑΚ, το πλαίσιο για τα κτίρια αναθεωρήθηκε ριζικά με τον Νόμο 4122/2013 (ΦΕΚ Α' 42). Ο νόμος αυτός αντικατέστησε τον Ν. 3661/2008 και αποτέλεσε την πλήρη ενσωμάτωση της νεότερης Οδηγίας 2010/31/ΕΕ (EPBD Recast). Ο Νόμος 4122/2013 έθεσε τη νομική βάση για την περαιτέρω αυστηροποίηση των απαιτήσεων και, κυρίως, την καθιέρωση του ορισμού των Κτιρίων Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (nZEB). Η εξειδίκευση των διατάξεων αυτών οδήγησε στη θέσπιση της σημερινής μορφής του ΚΕΝΑΚ.

Στο ενδιάμεσο διάστημα, ο Νόμος 3855/2010 (ΦΕΚ Α' 95) ενσωμάτωσε την Οδηγία 2006/32/ΕΚ, θέτοντας το πρώτο εθνικό πλαίσιο για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση και ρυθμίζοντας την αγορά των Ενεργειακών Υπηρεσιών και των Συμβάσεων Ενεργειακής Απόδοσης (Νόμος 3855/2010).

Η σημερινή μορφή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) θεσπίστηκε αρχικά με την Απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΕΠΕΑ/οικ. 178581/30.06.2017 (ΦΕΚ Β' 2367). Η πράξη αυτή αποτέλεσε την πλήρη ενσωμάτωση της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ, η οποία αναθεώρησε το ρυθμιστικό πλαίσιο των κτιρίων, εισάγοντας ριζικές αλλαγές (ΥΑ 178581/2017). Οι αλλαγές περιλάμβαναν:

1. Αυστηρότερα όρια ενεργειακής κατανάλωσης και θερμοτεχνικών απαιτήσεων, ειδικά για το κτιριακό κέλυφος.
2. Την υποχρεωτική εφαρμογή της έννοιας των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (nZEB). Η απαίτηση αυτή τέθηκε σε ισχύ για όλα τα νέα δημόσια κτίρια από το 2019 και για όλα τα νέα κτίρια (ιδιωτικά και δημόσια) από την 1η Ιανουαρίου 2021 (ΥΑ 178581/2017).
3. Ενισχυμένες απαιτήσεις για τα δημόσια κτίρια, τα οποία πρέπει να λειτουργούν ως πρότυπα ενεργειακής απόδοσης.

Παράλληλα, η ευρύτερη ενεργειακή πολιτική ενισχύθηκε μέσω δύο κεντρικών νομοθετημάτων:

- Ο Νόμος 4342/2015 (ΦΕΚ Β' 143) ενσωμάτωσε την Οδηγία 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση. Ο Νόμος αυτός επέκτεινε τα μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας σε όλους τους τομείς της οικονομίας, προωθώντας την εφαρμογή συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης στον δημόσιο τομέα και ενισχύοντας τον ρόλο των ενεργειακών επιθεωρήσεων (Νόμος 4342/2015).

- Ο Νόμος 4685/2020 (ΦΕΚ Α΄ 92) επικαιροποίησε περαιτέρω το πλαίσιο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Οι διατάξεις του προώθησαν την ανάπτυξη των Ενεργειακών Κοινοτήτων, ενίσχυσαν την ηλεκτροκίνηση και επιτάχυναν τις διαδικασίες αδειοδότησης έργων ΑΠΕ (Νόμος 4685/2020).

Η πορεία αυτή αποδεικνύει τη σταδιακή και συστηματική ωρίμανση του ελληνικού συστήματος ενεργειακής πολιτικής. Το ελληνικό πλαίσιο, πλέον, δεν περιορίζεται μόνο στη συμμόρφωση, αλλά χρησιμοποιεί τις ευρωπαϊκές οδηγίες ως στρατηγικό πυλώνα για τη μετάβαση σε ένα μοντέλο βιώσιμης ανάπτυξης, ενισχύοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα και την διείσδυση των ΑΠΕ σε όλους τους τομείς (ΥΠΕΝ, 2021).

2.3 Τεχνικό Πλαίσιο Εφαρμογής: TOTEE και KENAK

Η τεχνική εφαρμογή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) υποστηρίζεται από ένα σύνολο Τεχνικών Οδηγιών του ΤΕΕ (TOTEE), που εκδόθηκαν για πρώτη φορά το 2010 και αναθεωρήθηκαν ριζικά το 2017. Οι οδηγίες αυτές εξειδικεύουν τη μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης και καθορίζουν τους κανόνες για την εκπόνηση Μελετών Ενεργειακής Απόδοσης (ΜΕΑ) και τη διενέργεια Ενεργειακών Επιθεωρήσεων (ΥΠΕΝ, 2017b).

Οι βασικές οδηγίες αποτελούν τον πυρήνα της μεθοδολογίας ενεργειακής αξιολόγησης:

- **TOTEE 20701-1/2017:** Παρέχει τις αναλυτικές εθνικές παραμέτρους για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ).
- **TOTEE 20701-2/2017:** Καθορίζει τις θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων και τη μεθοδολογία υπολογισμού των θερμικών απωλειών.
- **TOTEE 20701-3/2017:** Περιλαμβάνει τα κλιματικά δεδομένα της ελληνικής επικράτειας, απαραίτητα για τον υπολογισμό των ενεργειακών φορτίων.
- **TOTEE 20701-4/2017:** Ορίζει τις οδηγίες και τα έντυπα για τη διενέργεια των ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων και συστημάτων.
- **TOTEE 20701-5/2017:** Εξειδικεύει τα Συστήματα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης.

Σύμφωνα με τις TOTEE, η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου υπολογίζεται με βάση τρεις βασικούς άξονες:

- α) τη θερμική συμπεριφορά του κελύφους (τοίχοι, δώμα, ανοίγματα),

β) τα ενεργειακά συστήματα (θέρμανσης, ψύξης, αερισμού, φωτισμού) και
γ) τη συμμετοχή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) (TOTEE (KENAK) | TEE, n.d.).

Η αναθεώρηση του 2017 επεκτάθηκε, ενσωματώνοντας νέες TOTEE που παρέχουν την απαιτούμενη εξειδίκευση για τη σχεδίαση Κτιρίων Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (nZEB) (TOTEE (KENAK) | TEE, n.d.):

- **TOTEE 20701-6:** Εισάγει τον Βιοκλιματικό Σχεδιασμό στον ελληνικό χώρο, δίνοντας έμφαση στα παθητικά συστήματα.
- **TOTEE 20701-7:** Καλύπτει τον Τεχνητό και Φυσικό Φωτισμό κτιρίων, ρυθμίζοντας την ενεργειακή απόδοση των συστημάτων φωτισμού.
- **TOTEE 20701-8:** Εξειδικεύει τις Εγκαταστάσεις αξιοποίησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε κτίρια (π.χ., φωτοβολταϊκά, ηλιοθερμικά συστήματα).
- **TOTEE 20701-9:** Θεσπίζει τη μεθοδολογία για την Οικονομική Αξιολόγηση των ενεργειακών επενδύσεων, απαραίτητη για την επιλογή των βέλτιστων παρεμβάσεων με κριτήριο το κόστος-αποδοτικότητα.
- **TOTEE 20701-10:** Παρέχει Στοιχεία υπολογισμού εγκαταστάσεων για θέρμανση, ψύξη, αερισμό (κλιματισμό) και ζεστό νερό χρήσης κτιριακών χώρων.

Η διαδικασία υπολογισμού βασίζεται σε υπολογιστικά εργαλεία εγκεκριμένα από το ΥΠΕΝ, με χρήση εγκεκριμένου λογισμικού ενεργειακής προσομοίωσης σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ. Το λογισμικό αυτό υλοποιεί τη μεθοδολογία των TOTEE και παρέχει αποτελέσματα σύμφωνα με την ταξινόμηση ενεργειακών κατηγοριών Α+ έως Η (TEE, n.d.-b). Η ενεργειακή κατηγορία ενός κτιρίου προκύπτει από τη σύγκριση της ετήσιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του Κτιρίου Αναφοράς (ΚΑ) προς το Εξεταζόμενο Κτίριο (ΚΕ), όπως καθορίζεται από τον ΚΕΝΑΚ. Η ενεργειακή αναβάθμιση αποσκοπεί στη μετατόπιση της κατηγορίας από χαμηλότερες (Η, Ζ, ΣΤ) προς υψηλότερες (Β, Α, Α+), μέσω παρεμβάσεων στο κέλυφος και στα Η/Μ συστήματα (ΥΠΕΝ, 2017a).

TOTEE 0 : Πρόσφατα, το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας εξέδωσε την TOTEE 0, η οποία αποτελεί την πρώτη οριζόντια τεχνική οδηγία για την Αειφόρο Δόμηση στη χώρα. Η TOTEE 0 καθορίζει τις βασικές αρχές σύνταξης και την κατηγοριοποίηση όλων των μελλοντικών TOTEE, λειτουργώντας ως θεμελιώδες πλαίσιο υποδομής για έναν πιο πράσινο και περιβαλλοντικά φιλικό τεχνικό τομέα. Η οδηγία αυτή εισάγει ένα ενιαίο πλαίσιο που εστιάζει ρητά σε κανόνες για κτίρια που εξοικονομούν ενέργεια και

χρησιμοποιούν σωστά τους φυσικούς πόρους, ευθυγραμμίζοντας τη δόμηση με τους στόχους του Green Deal και του Εθνικού Κλιματικού Νόμου.

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες οδηγίες, η TOTEE 0 προβλέπει την ενσωμάτωση κρίσιμων παραμέτρων πέρα από την απλή θερμική συμπεριφορά, όπως το ανθρακικό αποτύπωμα (Carbon Footprint), ο κύκλος ζωής υλικών (Life Cycle Assessment - LCA) και η εναρμόνιση με το σύστημα των Ψηφιακών Διαβατηρίων Δομικών Προϊόντων. Σύμφωνα με την ταξινόμηση της οδηγίας, οι TOTEE που εφαρμόζονται για την ενεργειακή αναβάθμιση και αξιολόγηση υφιστάμενων κτιρίων, όπως η παρούσα μελέτη, εντάσσονται στην κατηγορία των Κατευθυντήριων Οδηγιών. Τέλος, η TOTEE 0 συνδέεται άμεσα με την υποστήριξη και εναρμόνιση των εθνικών προγραμμάτων ενεργειακής αναβάθμισης, όπως το «Εξοικονομώ» και το «ΗΛΕΚΤΡΑ», ενισχύοντας έτσι τον ρόλο της ως πλαίσιο αναφοράς που καθοδηγεί την ορθή εφαρμογή του ΚΕΝΑΚ και των σχετικών τεχνικών προδιαγραφών (ΤΕΕ, n.d.-a).

2.4 Διαδικασία Ενεργειακής Πιστοποίησης Κτιρίων (ΠΕΑ)

Η έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (Π.ΕΑ) αποτελεί το αποτέλεσμα της ενεργειακής επιθεώρησης ενός κτιρίου και λειτουργεί ως επίσημη τεκμηρίωση της ενεργειακής του συμπεριφοράς. Στο ΠΕΑ συγκεντρώνονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία που συλλέγονται κατά την επιθεώρηση, καθώς και τα αποτελέσματα των υπολογισμών που αποτυπώνουν την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.

- **Περιεχόμενο του ΠΕΑ**

Το πιστοποιητικό περιλαμβάνει συγκεκριμένα σύνολα πληροφοριών, οργανωμένα σε επιμέρους ενότητες:

- 1. Στοιχεία της ενεργειακής επιθεώρησης**

Στην πρώτη ενότητα παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία ταυτοποίησης της διαδικασίας, όπως ο αριθμός πρωτοκόλλου και ο αριθμός ασφαλείας της επιθεώρησης, η ημερομηνία έκδοσης και η χρονική ισχύς του ΠΕΑ. Παράλληλα αναφέρονται τα στοιχεία του ενεργειακού επιθεωρητή, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού μητρώου και της επίσημης υπογραφής του.

- 2. Γενικές πληροφορίες για το κτίριο**

Ακολουθούν βασικά δεδομένα που περιγράφουν το κτίριο ή την επιμέρους κτιριακή μονάδα: η χρήση του κτιρίου, η γεωγραφική του θέση και η κλιματική ζώνη στην οποία εντάσσεται, καθώς και στοιχεία σχετικά με τη συνολική και ωφέλιμη επιφάνεια.

Συμπεριλαμβάνεται επίσης φωτογραφικό υλικό για την τεκμηρίωση της υφιστάμενης κατάστασης.

3. Ενεργειακή κατάταξη

Με βάση τους υπολογισμούς, το κτίριο εντάσσεται σε μία ενεργειακή κατηγορία. Η κατηγοριοποίηση αυτή επιτρέπει τη σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης του εξεταζόμενου κτιρίου με το αντίστοιχο «κτίριο αναφοράς» που προβλέπεται από τον κανονισμό.

4. Εκτίμηση ενεργειακών καταναλώσεων

Το ΠΕΑ καταγράφει τόσο τις υπολογιζόμενες όσο και - όπου υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία - τις πραγματικές καταναλώσεις ενέργειας.

Οι πληροφορίες αυτές περιλαμβάνουν:

- την υπολογισμένη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου και του κτιρίου αναφοράς,
- τις πραγματικές ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας,
- τη συνολική πραγματική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας.

5. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

Αποτυπώνονται οι υπολογιζόμενες και πραγματικές ετήσιες εκπομπές CO₂, οι οποίες προκύπτουν από τις αντίστοιχες ενεργειακές καταναλώσεις, με χρήση των εθνικών συντελεστών μετατροπής.

6. Κατανάλωση ανά τελική χρήση

Το πιστοποιητικό αναλύει την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου σε επιμέρους χρήσεις, όπως θέρμανση, ψύξη, παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και φωτισμός (για κτίρια του τριτογενούς τομέα). Επιπλέον, γίνεται αναφορά στη συνεισφορά πιθανών συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

7. Προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης

Τέλος, το ΠΕΑ περιλαμβάνει συστάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Οι προτάσεις ιεραρχούνται με βάση το αναμενόμενο ενεργειακό όφελος και το κόστος εφαρμογής τους, ενώ εστιάζουν στην επίτευξη των ελάχιστων απαιτήσεων του κανονισμού.

Σε κτίρια που διαθέτουν ειδικό καθεστώς προστασίας, οι συστάσεις προσαρμόζονται ώστε να μην αλλοιώνεται ο χαρακτήρας τους. Σε περιπτώσεις χρηματοδοτούμενων προγραμμάτων, λαμβάνονται υπόψη οι επιλέξιμες παρεμβάσεις (ΥΠΕΝ, 2017a).

2.5 Διαδικασία ενεργειακής επιθεώρησης για την έκδοση ΠΕΑ

Η ενεργειακή επιθεώρηση αποτελεί το απαραίτητο στάδιο πριν από την έκδοση του ΠΕΑ και περιλαμβάνει συγκεκριμένα βήματα:

1. Ανάθεση και συλλογή στοιχείων

Η διαδικασία ξεκινά με την ανάθεση της επιθεώρησης σε πιστοποιημένο ενεργειακό επιθεωρητή, ο οποίος λαμβάνει όλα τα διαθέσιμα τεχνικά στοιχεία του κτιρίου (άδειες, σχέδια, τεχνικές πληροφορίες). Παράλληλα εκδίδεται ηλεκτρονικά ο αριθμός πρωτοκόλλου της επιθεώρησης.

2. Επιτόπια αυτοψία

Ο επιθεωρητής πραγματοποιεί καταγραφή των στοιχείων του κτιρίου, επαληθεύοντας τις πληροφορίες που έχουν παρασχεθεί και συλλέγοντας πρόσθετα δεδομένα όπου απαιτείται. Σε περίπτωση απουσίας σχεδίων γίνεται σκαριφηματική αποτύπωση της γεωμετρίας του κτιρίου. Σε κτίρια μεγάλης έκτασης ή με σύνθετες Η/Μ εγκαταστάσεις, ενδέχεται να γίνει χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού για τη μέτρηση λειτουργικών παραμέτρων.

3. Υπολογιστική επεξεργασία

Τα δεδομένα που συλλέγονται υποβάλλονται σε υπολογισμούς σύμφωνα με τη μεθοδολογία του ΚΕΝΑΚ. Προκύπτει έτσι η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου για θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης και φωτισμό, καθώς και η τελική ενεργειακή κατάταξή του.

4. Σύνταξη και καταχώριση του ΠΕΑ

Μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών, ο επιθεωρητής συντάσσει το ΠΕΑ, το καταχωρεί στο ηλεκτρονικό αρχείο επιθεωρήσεων και παραδίδει τα επίσημα αντίγραφα στον ιδιοκτήτη ή διαχειριστή του κτιρίου (ΥΠΕΝ, 2017a).

2.6 Ενεργειακοί δείκτες, κλίμακες και υπολογισμοί

Η ενεργειακή αξιολόγηση ενός κτιρίου βασίζεται σε συγκεκριμένους ποσοτικούς δείκτες, οι οποίοι επιτρέπουν τη συγκριτική αποτίμηση της ενεργειακής του συμπεριφοράς, ανεξάρτητα από το μέγεθος ή τη χρήση του. Οι δείκτες αυτοί περιλαμβάνουν την κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας (kWh/m^2), την απόδοση των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, καθώς και τη συνολική

κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, όπως ορίζεται στη σχετική TOTEE (TOTEE (KENAK) | TEE, n.d.).

Η πρωτογενής ενέργεια αντιπροσωπεύει το σύνολο της ενέργειας που απαιτείται στο σημείο παραγωγής της πριν από διαδικασίες μετατροπής, μεταφοράς και διανομής. Ο υπολογισμός της βασίζεται στη χρήση των συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας, οι οποίοι διαφοροποιούνται ανά ενεργειακό φορέα, όπως ηλεκτρισμό, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (TEE, 2017).

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK), η ενεργειακή κατηγορία ενός κτιρίου προκύπτει από τη σύγκριση της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου (E_{KE}) με εκείνη του κτιρίου αναφοράς (E_{KA}). Ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης T υπολογίζεται ως (ΥΠΕΝ, 2017a):

$$T = \frac{E_{KE}}{E_{KA}}$$

Η τιμή του δείκτη T καθορίζει την ενεργειακή κατηγορία του κτιρίου, η οποία κυμαίνεται από $A+$ έως H . Η κατηγορία $A+$ αντιστοιχεί σε κτίρια πολύ υψηλής ενεργειακής απόδοσης και προσεγγίζει τις απαιτήσεις ενός κτιρίου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας ($nZEB$), σύμφωνα με το ισχύον πλαίσιο (ΥΠΕΝ, 2017a).

Οι υπολογισμοί βασίζονται στη μεθοδολογία της TOTEE 20701-1/2017 και λαμβάνουν υπόψη:

- τις θερμοτεχνικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων (συντελεστές θερμοπερατότητας U),
- τους συντελεστές απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ZNX ,
- τους συντελεστές πρωτογενούς ενέργειας ανά ενεργειακό φορέα,
- τις κλιματικές συνθήκες της αντίστοιχης κλιματικής ζώνης (A, B, Γ ή Δ).

Επιπλέον, η αξιολόγηση προσαρμόζεται στη χρήση του κτιρίου, καθώς διαφορετικές λειτουργίες - όπως η εκπαιδευτική, υγειονομική ή διοικητική χρήση - έχουν διαφορετικά ενεργειακά προφίλ και λειτουργικές απαιτήσεις. Η ολοκληρωμένη αυτή προσέγγιση επιτρέπει τον καθορισμό του ενεργειακού ισοζυγίου του κτιρίου και τον εντοπισμό στοχευμένων παρεμβάσεων που μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της συνολικής ενεργειακής του απόδοσης.

2.7 Ενεργειακή διαχείριση δημοσίων κτιρίων (BEMS – Building Energy Management Systems)

Η ενεργειακή διαχείριση αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για τη βελτίωση της απόδοσης των δημοσίων κτιρίων, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις και σημαντικό λειτουργικό κόστος. Σύμφωνα με τον KENAK (ΥΠΕΝ, 2017a), η παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας και η εφαρμογή τεχνολογιών βελτιστοποίησης αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για την επίτευξη υψηλών επιπέδων ενεργειακής αποδοτικότητας. Στο πλαίσιο αυτό, τα συστήματα BEMS (Building Energy Management Systems) έχουν αναδειχθεί σε βασικό εργαλείο για τη διαχείριση, τον έλεγχο και τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων του δημοσίου τομέα.

Τα συστήματα BEMS αποτελούν ολοκληρωμένες τεχνολογικές πλατφόρμες που συλλέγουν, καταγράφουν και αναλύουν δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Εμπίπτουν στην ευρύτερη κατηγορία των Συστημάτων Αυτοματισμού και Ελέγχου Κτιρίων. Μέσω ενός δικτύου αισθητήρων, μετρητών και ελεγκτών, παρακολουθούν παραμέτρους όπως θερμοκρασία, φωτισμό, υγρασία, λειτουργία εγκαταστάσεων, κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και αποδόσεις συστημάτων HVAC (Akbulut et al., 2025).

Η βασική λειτουργία είναι η αυτόματη ρύθμιση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, αερισμού και φωτισμού με στόχο την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής σπατάλης, διατηρώντας ταυτόχρονα βέλτιστες συνθήκες άνεσης.

Τα δημόσια κτίρια, ιδιαίτερα τα κτίρια υγείας και διοικητικών υπηρεσιών, χαρακτηρίζονται από:

- συνεχές ωράριο λειτουργίας,
- μεγάλο αριθμό χρηστών,
- σύνθετες Η/Μ εγκαταστάσεις,
- αυξημένες ανάγκες σε HVAC και ZNX.

Για τον λόγο αυτό, η εγκατάσταση BEMS κρίνεται ιδιαίτερος αποδοτική, καθώς η λανθασμένη λειτουργία μόνο ενός συστήματος (π.χ. κλιματισμός ή φωτισμός) μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές ενεργειακές υπερκαταναλώσεις. Τα BEMS συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση του τρόπου λειτουργίας των συστημάτων μέσω:

- αυτοματοποιημένων προγραμμάτων λειτουργίας,
- δυναμικής προσαρμογής στις ανάγκες του χώρου,

- ανίχνευσης βλαβών και δυσλειτουργιών (fault detection),
- απομακρυσμένου ελέγχου και εποπτείας,
- καταγραφής και ανάλυσης ιστορικών δεδομένων.

Οφέλη Εφαρμογής BEMS

Τα βασικά οφέλη από την εγκατάσταση ενός σε δημόσια κτίρια συνοψίζονται ως εξής:

- Μείωση λειτουργικού κόστους από εξοικονόμηση ενέργειας.
- Βελτίωση ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμική άνεση, ποιότητα αέρα).
- Πρόληψη βλαβών μέσω έγκαιρης διάγνωσης (fault detection).
- Βελτίωση της ενεργειακής κατηγορίας.
- Υποστήριξη αποφάσεων (energy analytics) για μελλοντικές επενδύσεις (European Parliament and Council, 2018).

Στα κτίρια υγείας, όπως το ΚΕΦΟΚ Λένορμαν, η εφαρμογή BEMS συνδέεται άμεσα με την ασφάλεια των χρηστών, καθώς επιτρέπει συνεχή έλεγχο συνθηκών αερισμού και θερμικής άνεσης.

2.8 Χρηματοδοτικά Εργαλεία Ενεργειακής Αναβάθμισης Δημόσιων Κτιρίων Υγείας

Η ενεργειακή αναβάθμιση των δημόσιων κτιρίων υγείας αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τον περιορισμό του λειτουργικού κόστους, τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Ωστόσο, οι παρεμβάσεις αυτές απαιτούν σημαντικού ύψους αρχικές επενδύσεις και συχνά ξεπερνούν τις δυνατότητες αυτοτελούς χρηματοδότησης των δημοσίων φορέων. Για τον λόγο αυτό αξιοποιείται ένας συνδυασμός ευρωπαϊκών χρηματοδοτικών εργαλείων και καινοτόμων ιδιωτικών σχημάτων, προκειμένου να διασφαλιστεί η υλοποίηση εκτεταμένων έργων ενεργειακής αναβάθμισης.

2.8.1 Ευρωπαϊκή χρηματοδοτική ενίσχυση (ΤΑΑ – ΕΣΠΑ)

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει ένα ολοκληρωμένο πλέγμα χρηματοδοτικών εργαλείων, με στόχο την επιτάχυνση της ενεργειακής μετάβασης στα δημόσια κτίρια και την επίτευξη των στόχων της Πράσινης Συμφωνίας (European Commission, 2019).

• Ταμείο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας (ΤΑΑ) – Πρόγραμμα «Ηλέκτρα»

Το «Ηλέκτρα» αποτελεί το κεντρικό χρηματοδοτικό εργαλείο του ΤΑΑ για την ενεργειακή αναβάθμιση των δημοσίων κτιρίων. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει ρητή αναφορά στις υποδομές υγείας και θεωρείται κρίσιμο εργαλείο για την αναβάθμιση κτιρίων Πρωτοβάθμιας (Κέντρα Υγείας) και Δευτεροβάθμιας Φροντίδας Υγείας (Νοσοκομεία) (Ελλάδα 2.0, n.d.).

• Εταιρικό Σύμφωνο για το Πλαίσιο Ανάπτυξης (ΕΣΠΑ 2021–2027)

Τα Περιφερειακά Επιχειρησιακά Προγράμματα (ΠΕΠ) του ΕΣΠΑ συνεχίζουν να αποτελούν βασική πηγή χρηματοδότησης για μικρότερα και μεσαία έργα σε επίπεδο Περιφέρειας. Τα Κέντρα Υγείας και τα Νοσοκομεία, που εμπίπτουν στην αρμοδιότητα των Υγειονομικών Περιφερειών (ΥΠΕ), εντάσσονται σε δράσεις που χρηματοδοτούν την ενεργειακή αποδοτικότητα δημοσίων υποδομών (EDESPA, n.d.).

Η χρηματοδότηση στο ΕΣΠΑ συνδέεται άμεσα με τους στόχους της ΕΕ για μείωση κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών CO₂ στον δημόσιο τομέα (ΥΠΕΝ, 2021; Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας και Οικονομικών, n.d.).

2.8.2 Καινοτόμα ιδιωτικά χρηματοδοτικά σχήματα (EPC & ESCOs)

Λόγω των γραφειοκρατικών δυσκολιών, των περιορισμένων προϋπολογισμών και της αδυναμίας πολλών δημόσιων φορέων να υλοποιήσουν έργα μεγάλης κλίμακας, τα Ενεργειακά Συμβόλαια Απόδοσης (Energy Performance Contracts – EPC) και οι Εταιρείες Ενεργειακών Υπηρεσιών (ESCOs) αποτελούν πλέον μια ολοκληρωμένη και βιώσιμη εναλλακτική λύση.

Οι ESCOs λειτουργούν ως εξειδικευμένες επιχειρήσεις που παρέχουν ολοκληρωμένες ενεργειακές υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένων ενεργειακών ελέγχων, σχεδιασμού, προμήθειας, εγκατάστασης και συντήρησης των παρεμβάσεων, ενώ συχνά αναλαμβάνουν και τη χρηματοδότησή τους. Η ολοκληρωμένη αυτή προσέγγιση επιτρέπει την υλοποίηση έργων υψηλής ενεργειακής απόδοσης με μειωμένο αρχικό οικονομικό κόστος για τους ιδιοκτήτες των κτιρίων και τους δημόσιους φορείς.

Τα Ενεργειακά Συμβόλαια Απόδοσης αποτελούν το βασικό συμβατικό πλαίσιο συνεργασίας μεταξύ μιας ESCO και του τελικού καταναλωτή. Στο πλαίσιο ενός EPC, η ESCO αναλαμβάνει την υλοποίηση των παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης και εγγυάται ότι οι προτεινόμενες βελτιώσεις θα επιτύχουν συγκεκριμένο επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας. Η αποπληρωμή της παρέμβασης πραγματοποιείται μέσω των εξοικονομήσεων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της σύμβασης, καθιστώντας το EPC ένα αποτελεσματικό εργαλείο «δημιουργικής χρηματοδότησης» (ΥΠΙΕΝ, 2025), το οποίο μειώνει τις δημοσιονομικές και επενδυτικές απαιτήσεις των εμπλεκόμενων φορέων.

Δύο βασικά μοντέλα EPC χρησιμοποιούνται διεθνώς:

- το μοντέλο διαμοιραζόμενου οφέλους (Shared Savings), όπου η εξοικονόμηση μοιράζεται μεταξύ ESCO και πελάτη (ΥΠΙΕΝ, 2025) .
- το μοντέλο εγγυημένης απόδοσης (Guaranteed Savings), όπου η ESCO αναλαμβάνει την ευθύνη επίτευξης των στόχων εξοικονόμησης και καλύπτει τυχόν αποκλίσεις (ΥΠΙΕΝ, 2025).

Τα σχήματα αυτά θεωρούνται ιδιαίτερα κατάλληλα για κτίρια με υψηλή ενεργειακή κατανάλωση και σύνθετες τεχνικές απαιτήσεις, όπως οι εγκαταστάσεις υγείας. Μέσα από την τεχνογνωσία και την τεχνική υποστήριξη που παρέχουν οι ESCOs, διασφαλίζεται η ορθολογική υλοποίηση των παρεμβάσεων και η επίτευξη των επιδιωκόμενων ενεργειακών και οικονομικών οφελών.

Η αξιοποίηση των ESCOs και των EPC ενισχύει τη δυνατότητα υλοποίησης μεγάλων έργων ενεργειακής αναβάθμισης, επιταχύνει τον ρυθμό βελτίωσης του κτιριακού αποθέματος και συμβάλλει στην επίτευξη των εθνικών και ευρωπαϊκών στόχων ενεργειακής απόδοσης. Παράλληλα, η συμπληρωματική χρήση δημόσιων πόρων (όπως ΤΑΑ και ΕΣΠΑ) σε συνδυασμό με ιδιωτική χρηματοδότηση δημιουργεί ένα ολοκληρωμένο και αποδοτικό πλαίσιο για τη βιώσιμη αναβάθμιση των κτιρίων του τομέα υγείας και του δημόσιου τομέα συνολικά (ΥΠΙΕΝ, 2025) .

Κεφάλαιο 3ο : Αποτύπωση Κτιρίου και Ανάλυση Υφιστάμενης Ενεργειακής Κατάστασης

3.1 Σκοπός της Ενεργειακής Αποτύπωσης

Η αξιολόγηση της υπάρχουσας ενεργειακής και λειτουργικής κατάστασης ενός κτιρίου αποτελεί το κρίσιμο πρώτο στάδιο για τη διαμόρφωση τεκμηριωμένων παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας. Η διεθνής βιβλιογραφία αναγνωρίζει ότι η αναλυτική αποτύπωση του κτιρίου (architectural survey) αποτελεί θεμέλιο της ενεργειακής επιθεώρησης, καθώς επιτρέπει την κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ κελύφους, ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων και πραγματικών συνθηκών λειτουργίας (Devecioğlu et al., 2024).

Η ανάγκη αποτύπωσης είναι ακόμη πιο έντονη σε δομές υγειονομικής περίθαλψης, όπου η λειτουργία χαρακτηρίζεται από υψηλή ένταση χρήσης, αυξημένο ωράριο λειτουργίας και αυξημένες απαιτήσεις για θερμική άνεση, αερισμό και ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τη διεθνή τεχνική βιβλιογραφία, τα κτίρια υγείας παρουσιάζουν αυξημένη ενεργειακή ένταση και αυξημένη πολυπλοκότητα ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη λεπτομερή και συστηματική αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης πριν τον σχεδιασμό παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης (Grignaffini et al., 2023).

Στην περίπτωση του Κέντρου Ειδικής Φροντίδας – Οδοντιατρικού Κέντρου (ΚΕΦΟΚ) Λένορμαν, η παλαιότητα των εγκαταστάσεων και η κρίσιμη λειτουργία του καθιστούν αναγκαία τη συστηματική και αναλυτική αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης, βασισμένη σε στοιχεία αυτοψίας και πλήρη καταγραφή μορφολογικών, κατασκευαστικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών.

Αυτή η διαδικασία, βασισμένη σε στοιχεία αυτοψίας, εστιάζει στην καταγραφή των μορφολογικών, κατασκευαστικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών, καθώς και στην πλήρη αποτύπωση των ενεργειακών συστημάτων. Η ολοκληρωμένη αυτή καταγραφή θα επιτρέψει τον ακριβή προσδιορισμό των κύριων ενεργειακών προβλημάτων και των αναγκών αναβάθμισης, αποτελώντας έτσι το θεμέλιο για τη διαμόρφωση των εναλλακτικών σεναρίων του Κεφαλαίου 4.

3.2 Γενικά στοιχεία του κτιρίου και ρόλος του ΚΕΦΟΚ

Το ΚΕΦΟΚ Λένορμαν αποτελεί δομή Πρωτοβάθμιας Φροντίδας Υγείας (ΠΦΥ) και λειτουργεί υπό την εποπτεία της 1ης Υγειονομικής Περιφέρειας (1ης ΥΠΕ), ενώ ανήκει ιδιοκτησιακά στον ΕΦΚΑ. Η λειτουργία του εστιάζει κυρίως στην παροχή οδοντιατρικών υπηρεσιών, με παράλληλη παρουσία ιατρικών άλλων ειδικοτήτων, όπως Γναθοχειρουργικό, Γυναικολογικό, Ιατρείο πόνου, Καρδιολογικό, Οδοντιατρικό (Οδοντοθεραπευτικό Ενηλίκων), Οδοντοπροσθητικό, Ορθοδοντικό (Παιδών έως 13 ετών), Παιδοδοντικό (Παιδών έως 12 ετών) και Οφθαλμολογικό (1η Υγειονομική Περιφέρεια Αττικής, 2020). Ως δημόσια δομή υγείας εξυπηρετεί σημαντικό αριθμό επισκέψεων σε καθημερινή βάση και λειτουργεί με εκτεταμένο ωράριο.

Η ανέγερση του κτιρίου το 1989 έγινε σύμφωνα με τις τότε ισχύουσες διατάξεις του πρώτου Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων (Κ.Θ.Κ.) του 1979. Ο Κ.Θ.Κ. επέβαλε την υποχρεωτική θερμομόνωση στα δομικά στοιχεία του κελύφους (τοιχοποιία, δώμα/στέγη), με σκοπό τον περιορισμό των θερμικών απωλειών κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο. Παρόλο που το κτίριο πληρούσε τις ελάχιστες απαιτήσεις της εποχής για τη συγκεκριμένη κλιματική ζώνη, οι προδιαγραφές του Κ.Θ.Κ. ήταν σημαντικά χαλαρότερες από τις σημερινές (Κ.Ε.Ν.Α.Κ.). Κατά συνέπεια, η υπάρχουσα θερμομόνωση κρίνεται σήμερα ενεργειακά ανεπαρκής και αποτελεί παράγοντα υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων για τη θέρμανση και την ψύξη.

3.3 Χωροθέτηση και κτιριολογική περιγραφή

Το κτίριο βρίσκεται επί της οδού Λένορμαν 200, σε περιοχή μεικτής αστικής δόμησης με πενταώροφες και εξαώροφες πολυκατοικίες, αλλά και σημαντικά ανοιχτά τμήματα στον περιβάλλοντα χώρο. Το άμεσο μέτωπο προς τη Λένορμαν είναι πλήρως απελευθερωμένο από υψηλά εμπόδια, επιτρέποντας την άμεση έκθεση του κτιρίου στην ηλιακή ακτινοβολία κατά το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας. Αντίστοιχα, στο πίσω μέρος υπάρχει υπαίθριος χώρος στάθμευσης και χαμηλότερη δόμηση, γεγονός που ευνοεί τη διάχυση του αέρα και τον φυσικό αερισμό.

Παρότι η περιοχή εντάσσεται στον ευρύτερο αστικό ιστό της Αθήνας και επηρεάζεται από το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, το ίδιο το κτίριο δεν περιβάλλεται άμεσα από υπερβολικά πυκνή ή υψηλή δόμηση που να δημιουργεί έντονες σκιάσεις ή να περιορίζει τον φυσικό αερισμό. Έτσι, τα μικροκλιματικά

χαρακτηριστικά της θέσης του χαρακτηρίζονται από υψηλή ηλιακή έκθεση στις νότιες και νοτιοδυτικές όψεις και μέτρια σκίαση στις βορειοανατολικές πλευρές, με συνέπεια αυξημένα ψυκτικά φορτία το καλοκαίρι και εντονότερες θερμικές απώλειες τον χειμώνα (Almeida et al., 2021).

3.3.1 Κτιριολογικά στοιχεία

Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου

Η συνολική επιφάνεια του κτιρίου ανέρχεται σε **1.882,39 τ.μ.**, όπως προκύπτει από τα εγκεκριμένα σχέδια και τις πραγματικές μετρήσεις επί τόπου.

Αριθμός Επιπέδων

Το κτίριο αποτελείται από **πέντε (5) επίπεδα**, τα οποία περιλαμβάνουν:

- **Υπόγειο**
- **Ισόγειο**
- **1ο όροφο**
- **2ο όροφο**
- **3ο όροφο**

3.3.2 Επιφάνεια ανά Επίπεδο και Χρήσεις

Οι επιφάνειες των επιπέδων και η χρήση τους έχουν ως εξής:

- **Υπόγειο:** 129,40 τ.μ.

Το υπόγειο επίπεδο αποτελείται κυρίως από **υπαίθριο χώρο στάθμευσης οχημάτων**.

Εντός του επιπέδου υπάρχουν οι παρακάτω **στεγασμένοι βοηθητικοί χώροι Η/Μ εγκαταστάσεων** :

- Λεβητοστάσιο
 - Χώρος ΔΕΗ / Υποσταθμού
 - Χώρος μετασχηματιστή
 - Χώρος ηλεκτρικών πινάκων
 - Η/Ζ (Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος)
 - Αποθήκες
- **Ισόγειο:** 427,30 τ.μ. - Χρήση: Ιατρεία

- **1ος όροφος:** 434,03 τ.μ. - Χρήση: Γραφεία διεύθυνσης, γραμματείας και ιατρεία
- **2ος όροφος:** 434,03 τ.μ. - Χρήση: Ιατρεία
- **3ος όροφος:** 434,03 τ.μ. - Χρήση: Ιατρεία

Το Δώμα έχει επιφάνεια 23,60 τ.μ. και είναι προσβάσιμο μέσω του κλιμακοστασίου και χρησιμοποιείται αποκλειστικά ως επίπεδη ταράτσα.

Το κτίριο διαθέτει:

- χώρους υποδοχής και αναμονής,
- χώρους παροχής υπηρεσιών υγείας (οδοντιατρικά ιατρεία και λοιπές ιατρικές αίθουσες),
- γραφεία διοικητικής λειτουργίας,
- χώρους προσωπικού,
- βοηθητικούς και αποθηκευτικούς χώρους,
- χώρους υγιεινής,
- δύο παλαιούς ανελκυστήρες.

Η εσωτερική κτιριολογική διάταξη αντανακλά τις αρχιτεκτονικές και τεχνικές πρακτικές της περιόδου κατασκευής (1989). Οι χώροι δεν έχουν σχεδιαστεί με βάση αρχές παθητικού ηλιακού σχεδιασμού, φυσικού φωτισμού ή βιοκλιματικού προσανατολισμού, με αποτέλεσμα αυξημένη εξάρτηση από τεχνητό φωτισμό και μηχανολογικά συστήματα για θέρμανση και ψύξη.

3.3.3 Προσανατολισμός και σκιάσεις

Ο προσανατολισμός και οι σκιάσεις του κτιρίου αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για τη θερμική συμπεριφορά του.

Η κύρια όψη του κτιρίου στρέφεται προς τον κεντρικό άξονα της οδού Λένορμαν, με προσανατολισμό Νοτιοδυτικά (ΝΔ). Η συγκεκριμένη κατεύθυνση εκθέτει το κτίριο σε υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας κατά το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας, με αποτέλεσμα έντονα ψυκτικά φορτία κατά τους θερινούς μήνες, ιδιαίτερα λόγω της αστικής θερμικής νησίδας.

Η πίσω πλευρά του κτιρίου έχει προσανατολισμό Βορειοανατολικό (ΒΑ) και συνορεύει με υπαίθριο χώρο στάθμευσης και χαμηλότερης δόμησης κτίρια. Η έκθεση

σε άμεσο ηλιασμό είναι περιορισμένη, γεγονός που μειώνει τα θερμικά κέρδη αλλά αυξάνει τις θερμικές απώλειες τον χειμώνα.

Η δεξιά πλευρά του κτιρίου βλέπει Νοτιοανατολικά (ΝΑ) και δέχεται πρωινό ηλιασμό, που συμβάλλει σε συνολικά αυξημένα θερμικά φορτία τις θερμές περιόδους. Η αριστερή πλευρά έχει Βορειοδυτικό (ΒΔ) προσανατολισμό και είναι η λιγότερο ευνοϊκή από ενεργειακή άποψη, καθώς παρουσιάζει περιορισμένη έκθεση σε ήλιο και μεγαλύτερη εξάρτηση από μηχανικά συστήματα θέρμανσης κατά τη χειμερινή περίοδο.

Το κτίριο δεν περιβάλλεται από ψηλή δόμηση, ιδιαίτερα στη νότια και νοτιοδυτική ζώνη, επιτρέποντας υψηλά επίπεδα άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στην κύρια όψη. Παράλληλα, οι εσοχές, οι εξώστες και οι τοπικές σκιάσεις της αρχιτεκτονικής μορφής προσφέρουν μερική προστασία στα ανοίγματα, ωστόσο δεν επαρκούν για να μειώσουν ουσιαστικά τη θερμική επιβάρυνση κατά τους θερινούς μήνες.

Η συνολική γεωμετρία και ο προσανατολισμός του κελύφους καθιστούν το κτίριο ευάλωτο σε υπερθέρμανση, ενώ ταυτόχρονα περιορίζουν τα παθητικά χειμερινά οφέλη.

3.4 Δομικά χαρακτηριστικά και κτιριακό κέλυφος

Το κτιριακό κέλυφος αποτελεί το σημαντικότερο στοιχείο που διαμορφώνει τη θερμική συμπεριφορά και την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου. Στην περίπτωση του ΚΕΦΟΚ, το κέλυφος αντανακλά τις κατασκευαστικές προδιαγραφές της περιόδου του 1989, οπότε βρισκόταν σε ισχύ ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (Υπουργείο Δημοσίων Έργων, 1979). Αυτό σημαίνει ότι, παρότι υπάρχει θερμομονωτική στρώση, η απόδοσή της είναι σημαντικά χαμηλότερη από τις σημερινές απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ και της TOTEE 20701-2.

3.4.1 Φέρων οργανισμός και τοιχοποιίες

- Φέρων οργανισμός από οπλισμένο σκυρόδεμα, σύμφωνα με τις συνήθειες κατασκευαστικές πρακτικές της δεκαετίας του 1980.
- Τοιχοποιίες πλήρωσης από συμπαγείς ή διάτρητους οπτόπλινθους, με βασική θερμομονωτική στρώση σύμφωνα με τις ελάχιστες απαιτήσεις του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ) του 1979.
- Η θερμομόνωση της εποχής αυτής ήταν συνήθως περιορισμένου πάχους λεπτή στρώση διογκωμένης πολυστερίνης (EPS), με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται σήμερα ενεργειακά ανεπαρκής σε σχέση με τα όρια της TOTEE 20701-2.

- Δεν έχει εφαρμοστεί εξωτερική θερμοπρόσοψη, ενώ απουσιάζουν σύγχρονα συστήματα ενεργειακής αναβάθμισης κελύφους.

3.4.1.1 Παραδοχές για στρώσεις και πάχη

Με βάση τα χαρακτηριστικά κατασκευής της περιόδου (1989) και την αυτοψία, η εξωτερική τοιχοποιία αποτελείται από:

1. Εσωτερικός σοβάς (ασβεστοσιμεντοκονίαμα)
 - πάχος: **2,5 cm**
 - $\lambda \approx 0,87 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, βάσει του Πίνακα 1 της TOTEE 20701-2/2021 (TEE, 2021)

2. Φέρουσα τοιχοποιία από διάτρητους οπτόπλινθους
 - πάχος: **20 cm**
 - $\lambda \approx 0,58 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, βάσει του Πίνακα 1 της TOTEE 20701-2/2021 (TEE, 2021)

Για την οπτοπλινθοδομή με διάτρητους οπτόπλινθους υιοθετήθηκε τιμή πυκνότητας $900 \text{ kg}/\text{m}^3$). Η επιλογή της δυσμενέστερης τιμής λ γίνεται συντηρητικά, λόγω έλλειψης αναλυτικών στοιχείων για το συγκεκριμένο προϊόν.

3. Λεπτή θερμομονωτική στρώση τύπου EPS
 - πάχος: **3,5 cm**
 - $\lambda \approx 0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, βάσει του Πίνακα 1 της TOTEE 20701-2/2021 (TEE, 2021)

Η θερμομονωτική στρώση της τοιχοποιίας θεωρήθηκε ως διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες (EPS 50).

4. Εσωτερικός σοβάς (ασβεστοσιμεντοκονίαμα)
 - πάχος: **1,5 cm**
 - $\lambda \approx 0,87 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, βάσει του Πίνακα 1 της TOTEE 20701-2/2021 (TEE, 2021)

3.4.1.2 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας U

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο, σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-2/2021 (ΤΕΕ, 2021) :

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_\delta + R_\alpha} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας της τοιχοποιίας προσδιορίζονται οι θερμικές ιδιότητες κάθε επιμέρους στρώσης, βάσει των τιμών λ σχεδιασμού της ΤΟΤΕΕ 20701-2/2021. σύμφωνα με τον ακόλουθο Πίνακα 1 :

Πίνακας 1: Θερμικές ιδιότητες στρώσεων εξωτερικής τοιχοποιίας (υφιστάμενη κατάσταση)

Στρώση	d (m)	λ (W/m·K)	R = d/ λ (m ² K/W)
Εξωτερικός σοβάς	0,015	0,87	0,017
Οπτόπλινθος (διάτρητος)	0,20	0,58	0,345
Θερμομόνωση EPS	0,035	0,040	0,875
Εσωτερικός σοβάς	0,015	0,87	0,017
Επιφανειακή αντίσταση Ri	-	-	0,13
Επιφανειακή αντίσταση Ra	-	-	0,04
Συνολική R	-	-	1,424 m ² K/W
U = 1/R	-	-	0,70 W/m ² K

Η θερμική αντίσταση κάθε στρώσης (R_j) υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο :

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}$$

ενώ οι επιφανειακές αντιστάσεις θερμικής μετάβασης R_i και R_a λήφθηκαν από τον Πίνακα 2β. της ΤΟΤΕΕ 20701-2/2021 (ΤΕΕ, 2021). Ο πρόσθετος όρος R_δ δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς η τοιχοποιία δεν περιλαμβάνει κλειστό διάκενο αέρα.

Η συνολική θερμική αντίσταση προκύπτει

R = 1,424 m²K/W, και συνεπώς ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι

U = 0,70 W/m²K.

3.4.2 Στέγη / Δώμα

Το δώμα του κτιρίου διαθέτει θερμομόνωση, όπως απαιτούσε ο Κ.Θ.Κ. για τις κατασκευές της περιόδου από το 1980 και μετά. Η μόνωση αυτή, ωστόσο, αποτελείται από υλικά και πάχη χαρακτηριστικά της εποχής (π.χ. λεπτή στρώση XPS ή διογκωμένη πολυστερίνης), τα οποία σήμερα θεωρούνται ενεργειακά ανεπαρκή.

Βάσει μακροσκοπικής επιθεώρησης και του ιστορικού συντήρησης του κτιρίου, διαπιστώθηκε ότι η στεγανωτική στρώση έχει αστοχήσει, με αποτέλεσμα η υποκείμενη θερμομονωτική στρώση να έχει υποστεί μακροχρόνια έκθεση σε υγρασία. Ως εκ τούτου, στον υπολογισμό θεωρείται ότι η θερμομονωτική στρώση είναι κορεσμένη και θερμικά υποβαθμισμένη («κατεστραμμένη»).

3.4.2.1 Παραδοχές για στρώσεις και πάχη

1. Εσωτερικός αέρας (επιφανειακή αντίσταση R_i)
2. Επίχρισμα οροφής (ασβεστοτσιμεντοκονίαμα)
 - πάχος: **1,5 cm**
 - $\lambda \approx 0,87 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, βάσει του Πίνακα 1 της TOTEE 20701-2/2021 (TEE, 2021)
3. Φέρουσα πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα
 - πάχος: **15 cm**
 - $\lambda = 2,00 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, βάσει του Πίνακα 1 της TOTEE 20701-2/2021 (TEE, 2021)
4. Ρύσεις (τσιμεντοκονία)
 - πάχος: **5 cm**
 - $\lambda \approx 1,40 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, βάσει του Πίνακα 1 της TOTEE 20701-2/2021 (TEE, 2021)
5. Θερμομόνωση (διογκωμένη πολυστερίνη EPS)
 - πάχος: **3 cm**
 - $\lambda_{\xi\eta\rho\acute{o}} = 0,032\text{--}0,041 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, βάσει του Πίνακα 1 της TOTEE 20701-2/2021 (TEE, 2021). Στον υπολογισμό της υφιστάμενης κατάστασης δεν λαμβάνεται υπόψη, λόγω κορεσμού σε υγρασία.
6. Τελική στρώση προστασίας: Στεγανωτική στρώση (ασφαλτόπανο με επικάλυψη αλουμινίου) – θερμικά αμελητέο πάχος
7. Εξωτερικός αέρας (επιφανειακή αντίσταση R_a)

3.4.2.2 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας U

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο, σύμφωνα με την TOTEE 20701-2/2021 (TEE, 2021) :

$$U = \frac{1}{Ri + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R\delta + Ra} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας του δώματος, προσδιορίζονται οι θερμικές ιδιότητες κάθε επιμέρους στρώσης, βάσει των τιμών λ σχεδιασμού της TOTEE 20701-2/2021. σύμφωνα με τον ακόλουθο Πίνακα 2 :

Πίνακας 2:Θερμικές ιδιότητες στρώσεων δώματος (υφιστάμενη κατάσταση)

Στρώση	Πάχος d (m)	λ [W/m·K]	R = d/ λ [m ² K/W]
Επίχρισμα (ασβεστοτσιμεντοκονίαμα)	0,015	0,87	0,017
Πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	0,15	2,00	0,075
Ρύσεις τσιμεντοκονίας	0,05	1,40	0,036
Θερμομόνωση (EPS – κορεσμένη)	-	-	0,00 (μη ληφθείσα)
Επιφανειακή εσωτερική αντίσταση Ri	-	-	0,10
Επιφανειακή εξωτερική αντίσταση Ra	-	-	0,04
Θερμική αντίσταση στρώματος Rδ	-	-	-
Συνολική R	-	-	0,268 m ² K/W
U = 1/R	-	-	3,73 W/m ² K

Η θερμική αντίσταση κάθε στρώσης (R_j) υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο :

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}$$

ενώ οι επιφανειακές αντιστάσεις θερμικής μετάβασης R_i και R_a λήφθηκαν από τον Πίνακα 2β. της TOTEE 20701-2/2021 (TEE, 2021). Λόγω κορεσμού της υφιστάμενης θερμομόνωσης, η θερμική της αντίσταση θεωρήθηκε μηδενική. Ο πρόσθετος όρος $R\delta$ δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς το δώμα δεν διαθέτει κλειστό διάκενο αέρα μεταξύ των

στρώσεων. Ο αέρας θεωρείται θερμικά αμελητέος και το δομικό στοιχείο αντιμετωπίζεται ως ομογενής πολυστρωματική διατομή.

Η συνολική θερμική αντίσταση προκύπτει

R = 0,268 m²K/W, και συνεπώς ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι

U = 3,73 W/m²K.

3.4.3 Κουφώματα

Τα εξωτερικά ανοίγματα του κτιρίου φέρουν κουφώματα παλαιάς τεχνολογίας, κατασκευασμένα από προφίλ αλουμινίου χωρίς θερμοδιακοπή (cold profiles). Η υάλωση αποτελείται από μονό διάφανο υαλοπίνακα πάχους 4 mm. Τα κουφώματα διαθέτουν περιμετρικά ελαστικά στεγάνωσης, τα οποία έχουν υποστεί σκλήρυνση και φθορά λόγω παλαιότητας.

Τα χαρακτηριστικά αυτά οδηγούν σε:

- υψηλές απώλειες το χειμώνα,
- εισροή θερμικών φορτίων το καλοκαίρι,
- μειωμένη ηχομόνωση,
- πιθανές χαραμάδες και διείσδυση αέρα.

3.4.3.1 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας Ug

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται από τον τύπο 2.11, σύμφωνα με την TOTEE 20701-2/2021, για περίπτωση n=1 (μονό υαλοπίνακα) (TEE, 2021) :

$$Ug = \frac{1}{Ri + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_{j=1}^{n-1} R\delta, w, j + Ra} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας των κουφωμάτων, προσδιορίζονται οι θερμικές ιδιότητες των επιμέρους στοιχείων του ανοίγματος (υαλοπίνακας και πλαίσιο), βάσει των τιμών θερμικής αγωγιμότητας λ και των επιφανειακών θερμικών αντιστάσεων, σύμφωνα με τις παραδοχές και τις τυπικές τιμές σχεδιασμού της TOTEE 20701-2/2021, για την περίπτωση μονών υαλοπινάκων χωρίς θερμοδιακοπή, όπως αποτυπώνονται στον ακόλουθο Πίνακα 3 :

Πίνακας 3: Θερμικές ιδιότητες υφιστάμενων κουφωμάτων (μονός υαλοπίνακας)

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδα
Πλήθος υαλώσεων n	1	-
Πάχος υάλωσης d	0,004	m
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ γυαλιού	1,00	W/mK
Θερμική αντίσταση υάλωσης $R_g = d/\lambda$	0,004	m^2K/W
Επιφανειακή εσωτερική αντίσταση R_i	0,13	m^2K/W
Επιφανειακή εξωτερική αντίσταση R_a	0,04	m^2K/W
Θερμική αντίσταση στρώματος R_δ	-	-
Συνολική R	0,174	m^2K/W
$U_g = 1/R$	5,8	W/m^2K

Για την περίπτωση μονής υάλωσης ($n = 1$), θεωρήθηκε πάχος υάλωσης $d = 4$ mm και θερμική αγωγιμότητα $\lambda = 1.00$ W/mK, ενώ οι επιφανειακές αντιστάσεις θερμικής μετάβασης R_i και R_a ελήφθησαν από τον Πίνακα 2β. [γραμμή 1, «Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτερικό αέρα)] της TOTEE 20701-2/2021 (TEE, 2021), με $R_i = 0,13$ m^2K/W και $R_a = 0,04$ m^2K/W , δεδομένου ότι τα κουφώματα αποτελούν κατακόρυφα δομικά στοιχεία σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα. Με βάση τα παραπάνω, προέκυψε $U_g \approx 5.8$ W/m^2K , τιμή χαρακτηριστική μονών υαλοπινάκων χωρίς επιστρώσεις χαμηλής εκπομπής.

Επισημαίνεται ότι, δεν χρησιμοποιήθηκε ο τύπος 2.10 της TOTEE 20701-2/2021, καθώς αυτός αφορά τον υπολογισμό του συνολικού συντελεστή θερμοπερατότητας του κουφώματος (U_w), που περιλαμβάνει συνδυασμό υαλοπίνακα, πλαισίου και γραμμικών θερμογεφυρών (U_f , Ψ_g , A_f/A_g , L_g). Στην παρούσα αποτύπωση εξετάζεται μόνο ο υαλοπίνακας του υφιστάμενου κουφώματος και δεν υφίστανται διαθέσιμα γεωμετρικά στοιχεία και τεχνικά χαρακτηριστικά του πλαισίου για αναλυτικό υπολογισμό της σχέσης (2.10).

Επιπλέον, δεν λαμβάνεται υπόψη πρόσθετος όρος R_δ , καθώς το υαλοστάσιο δεν διαθέτει κλειστό διάκενο αέρα μεταξύ πολλαπλών στρώσεων, αλλά αποτελεί ενιαία

υάλωση. Ο υαλοπίνακας επομένως αντιμετωπίζεται ως ομογενής στρώση χωρίς διάκενο.

3.5 Συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού

3.5.1 Θέρμανση

Η θέρμανση του κτιρίου καλύπτεται από τοπικό ηλεκτρικό σύστημα αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα (τοπική αερόψυκτη Α.Θ.), το οποίο λειτουργεί σε αποκεντρωμένη διάταξη και εξυπηρετεί επιμέρους χώρους του κτιρίου, όπως έχει αποτυπωθεί στο υπολογιστικό μοντέλο του λογισμικού KENAK. Το σύστημα χρησιμοποιεί ως πηγή ενέργειας τον ηλεκτρισμό και έχει δηλωθεί με πλήρη κάλυψη των θερμικών αναγκών του κτιρίου.

Στο μοντέλο KENAK έχει ληφθεί συντελεστής εποχιακής απόδοσης SCOP $\approx 2,50$, τιμή που αντανακλά εξοπλισμό παλαιότερης τεχνολογίας, με απόδοση χαμηλότερη σε σχέση με σύγχρονες αντλίες θερμότητας inverter. Η απόδοση των τερματικών μονάδων έχει ληφθεί ίση με 0,94, σύμφωνα με τις τυπικές παραδοχές της TOTEE 20701-1/2017.

Δεν υφίσταται κεντρικό σύστημα παραγωγής ή διανομής θερμικού μέσου, το δίκτυο διανομής θεωρείται τοπικό και εσωτερικό (ή έως 20% σε εξωτερικούς χώρους), με βαθμό απόδοσης 1,00, όπως έχει δηλωθεί στο λογισμικό. Η συγκεκριμένη διάταξη, αν και προσφέρει λειτουργική ευελιξία, οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και υψηλότερο λειτουργικό κόστος σε σχέση με σύγχρονες κεντρικές λύσεις υψηλής απόδοσης.

Η μειωμένη ενεργειακή απόδοση των υφιστάμενων τοπικών μονάδων θέρμανσης σχετίζεται με την παλαιότητα του εξοπλισμού και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του, τα οποία δεν επιτυγχάνουν τα επίπεδα εποχιακής απόδοσης των σύγχρονων συστημάτων inverter (Brehm et al., 2022).

3.5.2 Ψύξη

Η ψύξη του κτιρίου εξασφαλίζεται μέσω τοπικού συστήματος αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα (αερόψυκτη Α.Θ.), με πηγή ενέργειας τον ηλεκτρισμό, το οποίο αντιστοιχεί λειτουργικά σε τοπικές μονάδες τύπου split. Στο υπολογιστικό μοντέλο KENAK το σύστημα έχει δηλωθεί με πλήρη κάλυψη των ψυκτικών αναγκών του κτιρίου.

Οι μονάδες παρουσιάζουν μέτρια εποχιακή ενεργειακή απόδοση, με δηλωμένη τιμή SEER $\approx 3,00$, γεγονός που υποδηλώνει εξοπλισμό παλαιότερης τεχνολογίας, χαμηλότερης απόδοσης σε σύγκριση με σύγχρονα συστήματα inverter. Η απόδοση των τερματικών μονάδων έχει ληφθεί ίση με 0,93, ενώ το δίκτυο διανομής ψυχρού μέσου θεωρείται εσωτερικό (έως 20% σε εξωτερικούς χώρους), με βαθμό απόδοσης 0,95, σύμφωνα με τις παραδοχές του υπολογιστικού μοντέλου.

Η απουσία κεντρικού συστήματος ψύξης και η χρήση τοπικών μονάδων περιορισμένης ενεργειακής απόδοσης οδηγούν σε αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και μειωμένη ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου, ιδίως κατά τη θερινή περίοδο (Balbis-Morejón et al., 2024).

3.5.3 Μηχανικός αερισμός

Στο κτίριο δεν υφίσταται ολοκληρωμένο σύστημα μηχανικού αερισμού τύπου VAM ή Κεντρικής Κλιματιστικής Μονάδας (ΚΚΜ) με ανάκτηση θερμότητας. Ο αερισμός των χώρων πραγματοποιείται κυρίως μέσω φυσικού αερισμού (ανοίγματα) και τοπικών φυγοκεντρικών ανεμιστήρων απαγωγής.

Οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες λειτουργούν αποκλειστικά για απαγωγή αέρα, χωρίς ελεγχόμενη παροχή νωπού αέρα, χωρίς ανάκτηση θερμότητας και χωρίς σύνδεση με σύστημα θέρμανσης ή ψύξης. Ως εκ τούτου, η λειτουργία τους δεν συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, ενώ παράλληλα αυξάνει τις ανεξέλεγκτες θερμικές απώλειες κατά τη χειμερινή περίοδο και τα ψυκτικά φορτία κατά τη θερινή περίοδο.

Η απουσία οργανωμένου συστήματος μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας αποτελεί σημαντική λειτουργική και ενεργειακή αδυναμία για κτίριο πρωτοβάθμιας φροντίδας υγείας, καθώς επηρεάζει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα (IAQ - Indoor Air Quality) και την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου (Rashid et al., 2025).

3.6 Συστήματα Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)

Το ΚΕΦΟΚ Λένορμαν, ως δομή Πρωτοβάθμιας Φροντίδας Υγείας, παρουσιάζει ανάγκες παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX), οι οποίες σχετίζονται κυρίως με τη

λειτουργία ορθοδοντικών εργαστηρίων (εργασίες γύψων και βρασμού), τους χώρους υγιεινής, καθώς και τους χώρους προσωπικού.

Σύμφωνα με την αποτύπωση στο υπολογιστικό μοντέλο του KENAK, η παραγωγή ZNX πραγματοποιείται τοπικά, μέσω ηλεκτρικών θερμαντήρων νερού (ηλεκτρικών θερμοσιφώνων), με αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Δεν υφίσταται κεντρικό σύστημα παραγωγής ZNX, ούτε αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή συστημάτων υψηλής ενεργειακής απόδοσης.

Το σύστημα χαρακτηρίζεται από:

- τοπική παραγωγή ZNX χωρίς κεντρική διαχείριση,
- απουσία διατάξεων αυτομάτου ελέγχου και χρονικών προγραμμάτων λειτουργίας,
- περιορισμένη ενεργειακή αποδοτικότητα, λόγω της άμεσης ηλεκτρικής κατανάλωσης,
- αυξημένο λειτουργικό κόστος, ιδιαίτερα σε περιόδους αυξημένης χρήσης.

Στο μοντέλο του KENAK έχει δηλωθεί τοπικό δίκτυο διανομής ZNX, με εσωτερική όδευση (ή έως 20% σε εξωτερικούς χώρους), καθώς και σύστημα αποθήκευσης με τυπική απόδοση (Βαθμό Απόδοσης $\approx 0,85$), σύμφωνα με τις παραδοχές της TOTEE 20701-1/2017.

Τα συστήματα ηλεκτρικών θερμοσιφώνων σε εγκαταστάσεις υγείας είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα, ενώ η απουσία κατάλληλου ελέγχου οδηγεί σε αυξημένες ενεργειακές αιχμές και συνολική κατανάλωση. Η εφαρμογή αυτοματισμών και βέλτιστου ελέγχου μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος και τη ζήτηση ισχύος (Hohne et al., 2022).

Η παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης αποτελεί σημαντικό τμήμα της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στα δημόσια κτίρια. Η αξιοποίηση ηλιακών θερμικών συστημάτων θεωρείται πλέον καθιερωμένη πρακτική για τη μείωση της εξάρτησης από συμβατικές πηγές ενέργειας και τη βελτίωση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης. Η απουσία τους σε υφιστάμενες δημόσιες εγκαταστάσεις συνιστά ουσιαστική ενεργειακή υστέρηση (Katsaprakakis et al., 2025).

3.7 Σύστημα φωτισμού και ηλεκτρικών εγκαταστάσεων

Το σύστημα τεχνητού φωτισμού του κτιρίου του ΚΕΦΟΚ Λένορμαν χαρακτηρίζεται κυρίως από φωτιστικά σώματα συμβατικής τεχνολογίας φθορισμού, τα οποία αντανακλούν τις πρακτικές φωτισμού της περιόδου κατασκευής του κτιρίου και

δεν ευθυγραμμίζονται με το ισχύον ευρωπαϊκό πλαίσιο οικολογικού σχεδιασμού για τις φωτεινές πηγές (European Commission, 2021). Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού ανέρχεται σε 23,81 kW, τιμή που υποδηλώνει αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με σύγχρονες εγκαταστάσεις φωτισμού σε κτίρια τριτογενούς τομέα.

Ο έλεγχος του φωτισμού πραγματοποιείται κυρίως μέσω χειροκίνητων διακοπών, χωρίς την εφαρμογή συστημάτων αυτοματισμού που να προσαρμόζουν τη λειτουργία του φωτισμού στην πραγματική χρήση των χώρων. Παρότι σημαντικό ποσοστό των χώρων διαθέτει επαρκή φυσικό φωτισμό (εκτιμώμενη περιοχή φυσικού φωτισμού 53,15%, σύμφωνα με το υπολογιστικό μοντέλο), ο τεχνητός φωτισμός λειτουργεί ανεξάρτητα από την πληρότητα των χώρων, οδηγώντας σε αυξημένο χρόνο λειτουργίας και περιττή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Η υφιστάμενη κατάσταση συνεπάγεται:

- αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό,
- πρόσθετη θερμική επιβάρυνση των εσωτερικών χώρων,
- περιορισμένη ενεργειακή αποδοτικότητα του συστήματος.

Η εφαρμογή αισθητήρων παρουσίας αποτελεί μια απλή και τεχνικά ώριμη λύση για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του φωτισμού, καθώς επιτρέπει την αυτόματη ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των φωτιστικών ανάλογα με την παρουσία χρηστών στους χώρους. Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για δημόσια κτίρια υγείας, όπου παρατηρείται μεταβαλλόμενη πληρότητα χώρων όπως διάδρομοι, βοηθητικοί χώροι και χώροι υγιεινής.

Η χρήση αισθητήρων παρουσίας για τον έλεγχο του τεχνητού φωτισμού αποτελεί διεθνώς αναγνωρισμένη πρακτική, καθώς επιτρέπει την προσαρμογή της λειτουργίας του φωτισμού στις πραγματικές συνθήκες χρήσης των χώρων και οδηγεί σε μείωση της άσκοπης κατανάλωσης ενέργειας (Fischl & Johansson, 2025).

3.8 Ανελκυστήρες

Το κτίριο διαθέτει δύο ανελκυστήρες διαφορετικής τεχνολογίας, οι οποίοι παρουσιάζουν σημαντικές ενεργειακές αδυναμίες λόγω της παλαιότητας, της έλλειψης σύγχρονων συστημάτων ελέγχου και της αυξημένης ζήτησης μετακινήσεων σε κτίρια υγειονομικού χαρακτήρα.

- **Ανελκυστήρας 1 - Υδραυλικός (Μικρός)**

Σύμφωνα με το πιστοποιητικό περιοδικού ελέγχου της TÜV Hellas, ο πρώτος ανελκυστήρας είναι υδραυλικού τύπου με πολυβαλβίδα (multi-valve), με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- 5 στάσεις, φορτίο 300 kg, ταχύτητα 0,63 m/s,
- Αντλία MORIS ισχύος 3,5 kW και υδραυλικό έμβολο,
- Ημιαυτόματες θύρες και πίνακας ελέγχου STA.GE Hellas.

Οι υδραυλικοί ανελκυστήρες εμφανίζουν εν γένει υψηλότερη ενεργειακή κατανάλωση λόγω των εξής παραγόντων:

- Αυξημένη ισχύς ζήτησης κατά την ανύψωση, καθώς η λειτουργία βασίζεται σε αντλία υψηλής πίεσης.
- Απώλειες θερμότητας στο υδραυλικό έλαιο, που μειώνουν τη συνολική ενεργειακή απόδοση.
- Κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής, καθώς το συγκρότημα αντλίας και ο πίνακας διατηρούν ηλεκτρική τροφοδοσία.
- Αδυναμία ανάκτησης ενέργειας, διότι κατά την κάθοδο η ενέργεια δεν ανατροφοδοτείται αλλά αποβάλλεται θερμικά.

Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη, οι συμβατικοί υδραυλικοί ανελκυστήρες (multi-valve) παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με σύγχρονα ηλεκτρο-υδραυλικά (EHD) με μεταβλητή αντλία και κατάλληλο σύστημα ανάκτησης ενέργειας. Για τις ίδιες διαδρομές, η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να φτάσει το 40–60%, γεγονός που επιβεβαιώνει τις υψηλές απώλειες των παραδοσιακών υδραυλικών συστημάτων και δικαιολογεί την πρόταση αντικατάστασης ή αναβάθμισής τους (Stawiński et al., 2025).

• **Ανελκυστήρας 2 - Ηλεκτροκίνητος με μηχανοστάσιο (Μεγάλος)**

Ο δεύτερος ανελκυστήρας, σύμφωνα με το πιστοποιητικό TÜV Hellas, είναι ηλεκτροκίνητος ανελκυστήρας προσώπων, με τα εξής τεχνικά στοιχεία:

- 5 στάσεις, φορτίο 525 kg, ταχύτητα 0,90 m/s,
- Κινητήριος μηχανισμός KLEEMANN μονοταχύτητος ισχύος 6,6 kW,
- Πίνακας ελέγχου STA.GE EL.CO Smart.Y με inverter,
- Μηχανοστάσιο στο δώμα του κτιρίου.

Η ύπαρξη μηχανοστασίου στο δώμα δηλώνει ότι το σύστημα δεν είναι MRL (Machine-Room-Less) αλλά παραδοσιακής διάταξης, γεγονός που συνεπάγεται

αυξημένες κτιριακές απαιτήσεις και συνήθως υψηλότερες θερμικές και ηλεκτρικές απώλειες.

Επιπλέον, παρότι διαθέτει inverter για ρύθμιση ταχύτητας, οι παρακάτω ενεργειακές αδυναμίες παραμένουν:

- Ο κινητήρας είναι μονοταχύτητος, άρα χαμηλότερης απόδοσης σε σχέση με σύγχρονες gearless μηχανές μόνιμου μαγνήτη.
- Δεν αναφέρεται η ύπαρξη αναγεννητικού συστήματος (regenerative drive). Σε απουσία τέτοιας τεχνολογίας, η ενέργεια της καθόδου δεν ανακτάται αλλά απορρίπτεται ως θερμότητα στο σύστημα πέδησης και στο inverter.
- Η κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής (standby) αποτελεί σημαντικό μέρος της συνολικής ενεργειακής ζήτησης, καθώς τα παλαιότερα συστήματα στερούνται λειτουργιών χαμηλής ισχύος και ενεργειακά αποδοτικών ηλεκτρονικών ελέγχου

Οι παλαιοί ηλεκτροκίνητοι ανελκυστήρες με επαγωγικούς κινητήρες και χωρίς έλεγχο VVVF (μετατροπείς μεταβαλλόμενης τάσης και συχνότητας) εμφανίζουν σημαντικά υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας, τόσο κατά τη λειτουργία όσο και κατά την αναμονή. Μελέτες δείχνουν ότι η αντικατάσταση των συμβατικών συστημάτων με σύγχρονους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (PM motors), σε συνδυασμό με προηγμένα inverters, μπορεί να αποφέρει έως και 30% μείωση της συνολικής κατανάλωσης (Vlachou et al., 2022).

Οι ανελκυστήρες αποτελούν σημαντικό φορτίο σε κτίρια πρωτοβάθμιας φροντίδας υγείας, καθώς λειτουργούν σε υψηλή συχνότητα μέσα στη διάρκεια της ημέρας. Η αντικατάσταση παλαιών ανελκυστήρων με σύγχρονα συστήματα MRL gearless μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ η ενσωμάτωση regenerative drives προσφέρει επιπλέον εξοικονόμηση, ιδίως σε κτίρια με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο (Vlachou et al., 2022).

Η συγκεκριμένη παρέμβαση δεν αποτυπώνεται στο υπολογιστικό μοντέλο του KENAK, καθώς οι ανελκυστήρες δεν περιλαμβάνονται στο πεδίο εφαρμογής του. Ωστόσο, η αντικατάστασή τους με σύγχρονους ανελκυστήρες τύπου MRL συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης του κτιρίου και στη βελτίωση της λειτουργικής και περιβαλλοντικής του απόδοσης.

3.9 Ενεργειακή Αξιολόγηση σύμφωνα με KENAK

Η ενεργειακή αξιολόγηση του κτιρίου πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK), με εφαρμογή της προβλεπόμενης μεθοδολογίας υπολογισμού ενεργειακών απαιτήσεων και καταναλώσεων, όπως αυτή ορίζεται από τις ισχύουσες Τεχνικές Οδηγίες του ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ). Η ανάλυση βασίστηκε στα γεωμετρικά, κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, καθώς και στα δεδομένα των ηλεκτρομηχανολογικών του συστημάτων, όπως αυτά εισήχθησαν στο λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι το κτίριο κατατάσσεται στην **ενεργειακή κατηγορία Δ**, με δείκτη ενεργειακής απόδοσης $T = 1,42$, τιμή που υποδηλώνει σημαντική απόκλιση από το κτίριο αναφοράς. Η συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του υφιστάμενου κτιρίου ανέρχεται σε **274,3 kWh/m²**, ενώ η αντίστοιχη τιμή για το κτίριο αναφοράς είναι **192,5 kWh/m²**, γεγονός που καταδεικνύει τη μειωμένη ενεργειακή αποδοτικότητα της υφιστάμενης κατάστασης.

Η ανάλυση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση δείχνει ότι ο φωτισμός αποτελεί τον κυρίαρχο τομέα κατανάλωσης, με τιμή **144,8 kWh/m²**, ενώ ακολουθεί η ψύξη με **86,8 kWh/m²**. Οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης (ZNX) εμφανίζονται συγκριτικά χαμηλότερες, με τιμές **20,6 kWh/m²** και **22,1 kWh/m²** αντίστοιχα. Η ενεργειακή αυτή κατανομή αντανακλά τη λειτουργική φύση του κτιρίου ως εγκατάσταση παροχής υπηρεσιών υγείας, με αυξημένες ανάγκες φωτισμού και σημαντικά ψυκτικά φορτία κατά τη θερινή περίοδο.

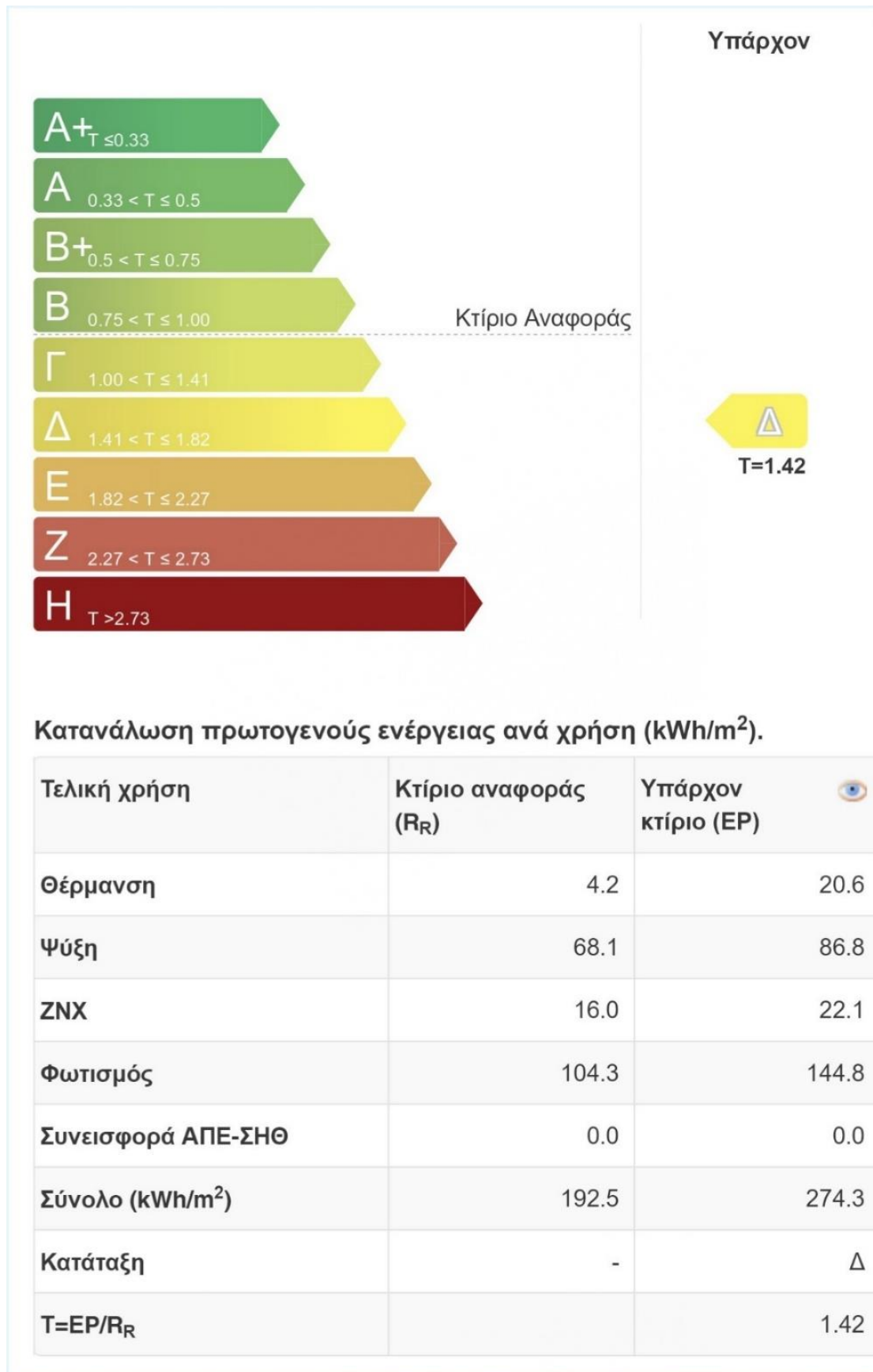
Η αυξημένη κατανάλωση για ψύξη συνδέεται με την έκθεση των όψεων σε ηλιακή ακτινοβολία, τη λειτουργία του κτιρίου σε αστικό περιβάλλον και την επίδραση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, στοιχεία που οδηγούν σε αυξημένα θερινά ψυκτικά φορτία και επιβαρύνουν τη συνολική ενεργειακή συμπεριφορά του κελύφους και των Η/Μ συστημάτων.

Η ανάλυση ανά πηγή ενέργειας δείχνει ότι το κτίριο λειτουργεί αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς χρήση υγρών ή αέριων καυσίμων. Η συνολική τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού ανέρχεται σε **94,6 kWh/m²** ανά έτος, τιμή που αντιστοιχεί στο σύνολο των ενεργειακών χρήσεων του κτιρίου (θέρμανση, ψύξη, ZNX, φωτισμός και βοηθητικά συστήματα). Η πλήρης εξάρτηση από το ηλεκτρικό δίκτυο καθιστά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα άμεσα συνδεδεμένες με τον συντελεστή εκπομπών

του εθνικού ενεργειακού μίγματος. Επιπλέον, Οι ετήσιες εκπομπές CO₂ της υφιστάμενης κατάστασης ανέρχονται σε **93,6 kg /m²** ανά έτος.

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος, βάσει των τυποποιημένων τιμών ενέργειας του ΚΕΝΑΚ, εκτιμάται σε **23.917,90 €**, ενώ για το κτίριο αναφοράς η αντίστοιχη τιμή ανέρχεται σε **16.784,30 €**. Η διαφορά αυτή αποτυπώνει την αυξημένη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας της υφιστάμενης κατάστασης. Επισημαίνεται ότι οι τιμές αυτές έχουν συγκριτικό χαρακτήρα και δεν αποτελούν πραγματική αποτύπωση του κόστους λειτουργίας, καθώς προκύπτουν από τυποποιημένους συντελεστές που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης στο πλαίσιο του ΚΕΝΑΚ.

Συνολικά, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι το κτίριο παρουσιάζει σημαντικά περιθώρια βελτίωσης της ενεργειακής του απόδοσης και του περιβαλλοντικού του αποτυπώματος, δεδομένης της υψηλής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και των αυξημένων εκπομπών CO₂ σε σχέση με το κτίριο αναφοράς. Τα συνοπτικά αποτελέσματα της ενεργειακής αξιολόγησης και η τελική ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου παρουσιάζονται στις Εικόνες 1 και 2.



Εικόνα 1: Ενεργειακή κατάταξη και κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του υφιστάμενου κτιρίου (Κατηγορία Δ, T = 1,42)

Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)	Εκπομπές CO ₂ (kg/m ²)
Ηλεκτρισμός	94.6	93.6
Πετρέλαιο	0.0	0.0
Φυσικό αέριο	0.0	0.0
Άλλα ορυκτά καύσιμα	0.0	0.0
Ηλιακή	0.0	0.0
Βιομάζα	0.0	0.0
Γεωθερμία	0.0	0.0
Άλλη ΑΠΕ	0.0	0.0
Σύνολο	94.6	93.5

Εικόνα 2: Κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή («καύσιμα») και αντίστοιχες εκπομπές CO₂ του υφιστάμενου κτιρίου

3.10 Κύρια Ενεργειακά Προβλήματα και Ανάγκες Αναβάθμισης

Με βάση την πλήρη καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης, τα σημαντικότερα ενεργειακά προβλήματα του κτιρίου είναι:

α) Ελλιπής θερμομονωτική προστασία

Το κτίριο διαθέτει ανεπαρκή θερμομονωτική προστασία στο δώμα και στους εξωτερικούς τοίχους, καθώς η υφιστάμενη θερμομόνωση είναι περιορισμένου πάχους και θερμικά υποβαθμισμένη, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένα θερμικά φορτία σε σχέση με τα σύγχρονα δημόσια κτίρια.

β) Παλαιά κουφώματα

Τα κουφώματα είναι αλουμινίου μονού υαλοπίνακα, με:

- υψηλές θερμικές απώλειες,
- αεροδιαπερατότητα,
- μειωμένη ηχομόνωση – κρίσιμη παράμετρο για τις ιατρικές υπηρεσίες.

γ) Ενεργοβόρα συστήματα θέρμανσης και ψύξης

Η θέρμανση καλύπτεται από παλαιές αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα (split), οι οποίες παρουσιάζουν μέτριο έως χαμηλό εποχιακό βαθμό απόδοσης (SCOP \approx 2,5), σημαντικά κατώτερο σε σχέση με τα σύγχρονα συστήματα inverter. Η μειωμένη απόδοση του υφιστάμενου εξοπλισμού οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη θέρμανση των χώρων.

δ) Ενεργοβόρα παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)

Η παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης πραγματοποιείται τοπικά μέσω ηλεκτρικών θερμαντήρων, χωρίς κεντρική διαχείριση ή αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και υψηλό λειτουργικό κόστος, ιδίως σε περιόδους αυξημένης χρήσης.

ε) Απουσία μηχανικού αερισμού

Η έλλειψη συστήματος VAM είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς:

- παρεμποδίζει τον έλεγχο ποιότητας εσωτερικού αέρα,
- αυξάνει τα φορτία ψύξης και θέρμανσης,
- επηρεάζει άμεσα την ασφάλεια ασθενών και προσωπικού.

στ) Παλιός φωτισμός

Ο φωτισμός με φθορισμού μειώνει:

- την ενεργειακή απόδοση,
- την ποιότητα φωτισμού στις ιατρικές αίθουσες,
- την εργονομία εργασίας.

ζ) Παλαιοί ανελκυστήρες

Οι υφιστάμενοι ανελκυστήρες αποτελούν σημαντικό ενεργειακό φορτίο και δεν πληρούν τις σύγχρονες απαιτήσεις αποδοτικότητας.

Η συνολική εικόνα της υφιστάμενης ενεργειακής κατάστασης του κτιρίου καταδεικνύει ότι τα παραπάνω προβλήματα δεν είναι μεμονωμένα, αλλά αλληλοσυνδεόμενα και επηρεάζουν τη συνολική ενεργειακή και λειτουργική του απόδοση. Η αντιμετώπισή τους απαιτεί συνδυασμό παρεμβάσεων στο κτιριακό κέλυφος και στα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη βελτίωση των συνθηκών λειτουργίας. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αξιολογούνται εναλλακτικά σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης, τα οποία διαμορφώνονται βάσει των αναγκών που προέκυψαν από την παρούσα ανάλυση.

Κεφάλαιο 4ο : Διαμόρφωση Σεναρίων Ενεργειακής Αναβάθμισης

Στο παρόν κεφάλαιο διαμορφώνονται τρία εναλλακτικά σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου. Για κάθε σενάριο πραγματοποιείται ενεργειακή προσομοίωση και ποσοτικοποίηση της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), με σκοπό τη συγκριτική ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγησή τους.

Και τα τρία σενάρια αναπτύσσονται και αξιολογούνται μέσω ενεργειακής προσομοίωσης στο λογισμικό KENAK, ακολουθώντας τη μεθοδολογία υπολογισμού που προβλέπεται από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΥΠΕΝ, 2017a) και τις σχετικές Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΕΕ, 2017, 2021).

Για λόγους συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων, σε όλα τα σενάρια διατηρούνται σταθερές οι παράμετροι λειτουργίας του κτιρίου και οι κλιματικές συνθήκες, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κανονιστικού πλαισίου, ενώ διαφοροποιούνται αποκλειστικά οι εξεταζόμενες παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης.

4.1 Σενάριο 1 – Παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης και αποτελέσματα προσομοίωσης

Το Σενάριο 1 αφορά τη στοχευμένη ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου μέσω βελτιώσεων στο κτιριακό κέλυφος και στα κύρια ηλεκτρομηχανολογικά (H/M) συστήματα, με σκοπό τη μείωση της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης και τη βελτίωση της ενεργειακής κατάταξης του κτιρίου. Το σενάριο αυτό αποτελεί τη βασική εκδοχή ενεργειακής αναβάθμισης, επί της οποίας βασίζεται η περαιτέρω ανάπτυξη των επόμενων σεναρίων.

4.1.1 Παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος

Στο πλαίσιο του Σεναρίου 1 προβλέπεται η εφαρμογή εξωτερικής θερμομόνωσης στις εξωτερικές τοιχοποιίες, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του KENAK (ΥΠΕΝ, 2017a). Τα θερμομονωμένα δομικά στοιχεία εμφανίζουν συντελεστή θερμοπερατότητας $U = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ και αντίσταση θερμικής διαπερατότητας $R = 2,22 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Η επέμβαση αφορά θερμομόνωση τοίχων με διάταξη θερμομονωτικής στρώσης στην εξωτερική παρειά της τοιχοποιίας και τελική επικάλυψη με συνθετικό επίχρισμα, σύστημα τεχνικά ισοδύναμο με σύγχρονα συστήματα εξωτερικής θερμομόνωσης. Η επιλογή των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών τεκμηριώνεται βάσει των απαιτήσεων θερμομονωτικής επάρκειας της TOTEE 20701-2/2021, εξασφαλίζοντας συμμόρφωση με τα ελάχιστα όρια της εκάστοτε κλιματικής ζώνης (TEE, 2021).

Η οροφή διαμορφώνεται ως θερμομονωμένο οριζόντιο δομικό στοιχείο, με συντελεστή θερμοπερατότητας $U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ και αντίσταση θερμικής διαπερατότητας $R = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$, σε συμμόρφωση με τις απαιτήσεις θερμομονωτικής επάρκειας του KENAK (TEE, 2021).

Τέλος, στις επιφάνειες δαπέδων που βρίσκονται σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο εφαρμόζεται παρέμβαση θερμομόνωσης δαπέδων κατά KENAK (TOTEE (KENAK) | TEE, n.d.), με διάταξη θερμομονωτικής στρώσης και τελική επικάλυψη με συνθετικό επίχρισμα. Τα θερμομονωμένα δάπεδα παρουσιάζουν συντελεστή θερμοπερατότητας $U = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ και αντίσταση θερμικής διαπερατότητας $R = 1,25 \text{ m}^2\text{K/W}$, με τις θερμικές ιδιότητες και τον έλεγχο επάρκειας να τεκμηριώνονται βάσει της TOTEE 20701-2/2021 (TEE, 2021).

4.1.2 Βελτίωση διαφανών δομικών στοιχείων

Το σενάριο περιλαμβάνει την αντικατάσταση των υφιστάμενων κουφωμάτων με νέα ανοιγόμενα κουφώματα με μεταλλικό πλαίσιο και θερμοδιακοπή 24 mm, με ποσοστό πλαισίου περίπου 30%. Τα υαλοστάσια αποτελούνται από δίδυμο υαλοπίνακα με διακενικό διάκενο αέρα 12 mm και επιστρωμένη μεμβράνη χαμηλής εκπομπής (Low-e), χωρίς εξωτερικά σκίαστρα/φύλλα. Τα νέα κουφώματα παρουσιάζουν συντελεστή θερμοπερατότητας $U_w \approx 2,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ και συντελεστή ηλιακού περάσματος $g \approx 0,42$.

Σύμφωνα με την TOTEE 20701-2, η εφαρμογή του συστήματος συμβάλλει στη μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη χειμερινή περίοδο και στον περιορισμό της διείσδυσης των ηλιακών θερμικών κερδών το καλοκαίρι, μέσω της βελτίωσης των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων, βελτιώνοντας συνολικά τη θερμική συμπεριφορά του κελύφους (TEE, 2021).

4.1.3 Παρεμβάσεις στα Η/Μ συστήματα

Θέρμανση και ψύξη

Προβλέπεται η εγκατάσταση κεντρικής αερόψυκτης αντλίας θερμότητας, η οποία καλύπτει τόσο τη θέρμανση όσο και την ψύξη των εσωτερικών χώρων του κτιρίου. Το σύστημα λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια και αντικαθιστά τις υφιστάμενες συμβατικές εγκαταστάσεις, συμβάλλοντας στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και στη μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας.

Οι βασικοί δείκτες ενεργειακής απόδοσης της εγκατάστασης, όπως προκύπτουν από την προσομοίωση στο λογισμικό KENAK, είναι οι ακόλουθοι:

- SCOP = 3,63 για τη λειτουργία θέρμανσης
- SEER = 4,39 για τη λειτουργία ψύξης
- Ονομαστική θερμική/ψυκτική ισχύς συστήματος: 261 kW

Η αντλία θερμότητας είναι αερόψυκτη, κεντρικής διάταξης, κατάλληλη για λειτουργία σε κτίρια τριτογενούς τομέα, με δυνατότητα παραγωγής θερμού νερού προσαγωγής έως 60°C και λειτουργία εντός τυπικών ορίων θερμοκρασίας περιβάλλοντος για θέρμανση και ψύξη. Η μονάδα φέρει σήμανση CE και συμμορφώνεται με τα ισχύοντα ευρωπαϊκά πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και ασφάλειας. Η στάθμη εκπεμπόμενου θορύβου περιορίζεται μέσω κατάλληλης ηχοπροστασίας των μηχανολογικών μερών, εξασφαλίζοντας ασφαλή λειτουργία σε περιβάλλον κτιρίου.

Το δίκτυο διανομής του θερμικού/ψυκτικού μέσου αναπτύσσεται κυρίως εντός της θερμαινόμενης ζώνης, γεγονός που συμβάλλει στον περιορισμό των θερμικών απωλειών μεταφοράς και στη βελτιστοποίηση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης του συστήματος. Η εγκατάσταση συνεργάζεται με κεντρικούς αυτοματισμούς ελέγχου, επιτρέποντας ρύθμιση λειτουργίας ανά εποχή και προσαρμογή της παροχής ισχύος στις πραγματικές ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου.

Η επιλογή της αντλίας θερμότητας είναι σύμφωνη με τις ευρωπαϊκές κατευθύνσεις για την προώθηση αποδοτικών, ηλεκτροκίνητων συστημάτων θέρμανσης και ψύξης σε κτίρια του τριτογενούς τομέα και συμβάλλει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος λειτουργίας του κτιρίου (European Parliament and Council, 2018).

Ζεστό νερό χρήσης (ZNX)

Η παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX) πραγματοποιείται μέσω της κεντρικής αντλίας θερμότητας, η οποία τροφοδοτεί δοχείο αποθήκευσης ZNX κατάλληλο για συνεργασία με αντλίες θερμότητας. Η εγκατάσταση όπως προκύπτει από το λογισμικό KENAK έχει ονομαστική ισχύ 10 kW και SCOP = 3,0. Η μονάδα είναι ηλεκτροκίνητη, φέρει σήμανση CE και πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης και ασφάλειας, σύμφωνα με τις τυπικές τεχνικές προδιαγραφές που εφαρμόζονται σε έργα δημοσίων κτιρίων υγείας. Το σύστημα είναι κατάλληλο για παραγωγή ζεστού νερού προσαγωγής έως 60°C, με ασφαλή λειτουργία εντός των τυπικών ορίων θερμοκρασίας περιβάλλοντος για θέρμανση νερού χρήσης.

Το δίκτυο διανομής ZNX αναπτύσσεται ως απλό τοπικό δίκτυο, με κατάλληλη θερμομόνωση των σωληνώσεων, ώστε να περιορίζονται οι θερμικές απώλειες κατά τη μεταφορά προς τα σημεία κατανάλωσης. Η λειτουργία του συστήματος υποστηρίζεται από αυτοματισμούς ελέγχου θερμοκρασίας λειτουργίας και παροχής, με δυνατότητα χρονικού προγραμματισμού και προστασίας θερμοκρασιακών ορίων.

Η εγκατάσταση υποβοηθείται από ηλιακό θερμικό συλλέκτη συνολικής επιφάνειας 8 m², με νότιο προσανατολισμό και κλίση 45°, ο οποίος συνεισφέρει στην κάλυψη μέρους του ετήσιου θερμικού φορτίου ZNX (TEE, 2017). Ο συνδυασμός αντλίας θερμότητας και ηλιακού συστήματος οδηγεί σε ουσιαστική μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τη συγκεκριμένη χρήση και σε βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος λειτουργίας του κτιρίου (European Parliament and Council, 2018; TEE, 2017).

Μηχανικός Αερισμός – Μονάδες VAM με ανάκτηση θερμότητας

Στο εξεταζόμενο σενάριο εφαρμόζεται σύστημα μηχανικού αερισμού με μονάδες ανάκτησης θερμότητας τύπου VAM, με σκοπό τη διασφάλιση των απαιτούμενων παροχών νωπού αέρα στους εσωτερικούς χώρους και τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Το σύστημα λειτουργεί με ταυτόχρονη προσαγωγή νωπού αέρα και απαγωγή απορριπτόμενου αέρα, ενώ η ενσωματωμένη διάταξη ανάκτησης θερμότητας επιτρέπει την προ-επεξεργασία του εισερχόμενου αέρα μέσω ανταλλαγής ενέργειας με τον εξερχόμενο ρεύμα, μειώνοντας αντίστοιχα τα θερμικά και ψυκτικά φορτία των κλιματιστικών συστημάτων.

Η εφαρμογή συστημάτων μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, καθώς

περιορίζει τις θερμικές απώλειες που σχετίζονται με τον αερισμό. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, οι σύγχρονες διατάξεις ανάκτησης θερμότητας μπορούν να επιτυγχάνουν υψηλό βαθμό θερμικής απόδοσης, που προσεγγίζει το 90%, ενώ η εφαρμογή τους σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας έχει αποδειχθεί ότι οδηγεί σε μείωση της ενεργειακής ζήτησης για θέρμανση της τάξης του 20% και σε ταυτόχρονη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, μέσω του αποτελεσματικού ελέγχου των συγκεντρώσεων CO₂ (Moghadam et al., 2025; Rashid et al., 2025).

Φωτισμός και αυτοματισμοί

Η αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού περιλαμβάνει την αντικατάσταση των υφιστάμενων φωτιστικών σωμάτων με φωτιστικά τεχνολογίας LED υψηλής ενεργειακής απόδοσης, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 12,5 kW. Η επιλογή φωτιστικών LED οδηγεί σε σημαντική μείωση της ειδικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό, λόγω της υψηλής φωτεινής απόδοσης (lm/W) και της μεγάλης διάρκειας ζωής σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνολογίες.

Στο σύστημα ενσωματώνονται διατάξεις αξιοποίησης φυσικού φωτισμού, με ποσοστό φυσικού φωτισμού 53,15%. Επιπλέον, στους βοηθητικούς χώρους και στους χώρους υγιεινής (WC) εφαρμόζονται διατάξεις ανίχνευσης παρουσίας, ώστε ο φωτισμός να λειτουργεί μόνο όταν οι χώροι χρησιμοποιούνται, περιορίζοντας τις άσκοπες καταναλώσεις.

Το σύστημα συμπληρώνεται από φωτισμό ασφαλείας και σύστημα εφεδρείας, εξασφαλίζοντας τη λειτουργικότητα του φωτισμού σε περιπτώσεις διακοπής της κύριας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, σε συμμόρφωση με τις απαιτήσεις ασφάλειας κτιρίων τριτογενούς τομέα.

Η συνδυαστική εφαρμογή φωτιστικών LED, αυτοματισμών φυσικού φωτισμού και ελέγχου παρουσίας οδηγεί σε ουσιαστική μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την οπτική άνεση των χρηστών και τη συνολική ενεργειακή απόδοση του κτιρίου (European Parliament and Council, 2018; TEE, 2017).

4.1.4 Αποτελέσματα ενεργειακής προσομοίωσης

Η εφαρμογή των παρεμβάσεων του Σεναρίου 1 οδηγεί σε ουσιαστική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Ο συνολικός δείκτης πρωτογενούς ενέργειας

μειώνεται σε $T = 0,85$, με το κτίριο να κατατάσσεται στην **ενεργειακή κατηγορία B**, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του λογισμικού KENAK.

Η αναβάθμιση αυτή αποτυπώνει τη σημαντική βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κελύφους και των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, καθώς και τη μείωση της απόκλισης από το κτίριο αναφοράς.

Σε επίπεδο τελικών χρήσεων ενέργειας παρατηρείται σημαντική βελτίωση στη λειτουργική απόδοση του κτιρίου, με τις παρεμβάσεις στο κέλυφος, στα συστήματα θέρμανσης-ψύξης, στον φωτισμό, στο ZNX και στον μηχανικό αερισμό να οδηγούν σε μειωμένα θερμικά και ηλεκτρικά φορτία και σε πιο αποδοτική λειτουργία των εγκαταστάσεων.

Παράλληλα, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του κτιρίου βελτιώνεται αισθητά, καθώς η συνολική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης σε συνδυασμό με την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ZNX οδηγεί σε περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Τα αποτελέσματα της ενεργειακής κατάταξης του παρόντος σεναρίου παρουσιάζονται στα αντίστοιχα στιγμιότυπα του λογισμικού KENAK, όπως αποτυπώνονται στην ενότητα «Απεικόνιση αποτελεσμάτων».

4.2 Σενάριο 2 – Παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης με ενσωμάτωση φωτοβολταϊκού συστήματος

Το Σενάριο 2 βασίζεται στις ίδιες παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος και στα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που εφαρμόζονται στο Σενάριο 1 και διαφοροποιείται αποκλειστικά με την προσθήκη φωτοβολταϊκού συστήματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, με σκοπό την περαιτέρω μείωση της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του κτιρίου.

4.2.1 Φωτοβολταϊκό σύστημα

Στο πλαίσιο του Σεναρίου 2 εγκαθίσταται φωτοβολταϊκό σύστημα μονοκρυσταλλικής τεχνολογίας, το οποίο θα τοποθετηθεί στο δώμα (ταράτσα) του κτιρίου και θα συνδεθεί με το εσωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο του κτιρίου με καθεστώς

ενεργειακού συμψηφισμού (net metering). Το σύστημα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά, όπως εισήχθησαν στο λογισμικό KENAK:

- Τύπος πλαισίων: Μονοκρυσταλλικά
- Συνολική επιφάνεια φωτοβολταϊκών: 100 m²
- Εγκατεστημένη ισχύς: 20 kW
- Προσανατολισμός (γ): 180° (νότιος)
- Κλίση (β): 28°
- Συντελεστής σκίασης Fs: 1,00

Η επιλογή του νότιου προσανατολισμού και της κλίσης διασφαλίζει υψηλή ετήσια απόδοση του φωτοβολταϊκού πεδίου για τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αξιοποιείται για την κάλυψη μέρους των ηλεκτρικών φορτίων του κτιρίου (θέρμανση, ψύξη, φωτισμός, ZNX και λοιπές καταναλώσεις), μειώνοντας την καθαρή ενέργεια που αντλείται από το δίκτυο και συνεπώς την πρωτογενή κατανάλωση και τις εκπομπές CO₂.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα λειτουργεί με καθεστώς ενεργειακού συμψηφισμού (net metering, σύμφωνα με τον Ν. 3468/2006, όπως ισχύει, και την Υ.Α. 15084/382/2019 (ΥΠΕΝ, 2019). Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια συμψηφίζεται σε ετήσια βάση με την απορροφούμενη ενέργεια από το δίκτυο και συνυπολογίζεται στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 (TEE, 2017), μειώνοντας την τελική και πρωτογενή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

4.2.2 Αποτελέσματα ενεργειακής προσομοίωσης

Η ενσωμάτωση του φωτοβολταϊκού συστήματος στο Σενάριο 2, σε συνδυασμό με τις παρεμβάσεις του Σεναρίου 1, οδηγεί σε περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Ο συνολικός δείκτης πρωτογενούς ενέργειας διαμορφώνεται σε **T = 0,08**, με το κτίριο να κατατάσσεται στην **ενεργειακή κατηγορία A+**, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του λογισμικού KENAK.

Η επίτευξη της υψηλότερης ενεργειακής κατηγορίας αποτυπώνει τη δραστική μείωση της καθαρής πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας, η οποία προκύπτει από τον συνδυασμό της υψηλής ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων και της σημαντικής συνεισφοράς της παραγόμενης ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά αντισταθμίζει σημαντικό μέρος των καταναλώσεων του κτιρίου, οδηγώντας σε εξαιρετικά χαμηλή καθαρή ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας και σε αντίστοιχη βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος λειτουργίας.

Τα αποτελέσματα της ενεργειακής κατάταξης του παρόντος σεναρίου παρουσιάζονται στα αντίστοιχα στιγμιότυπα του λογισμικού KENAK, όπως αποτυπώνονται στην ενότητα «Απεικόνιση αποτελεσμάτων».

4.3 Σενάριο 3 – Παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης με τοπικές αντλίες θερμότητας

Το Σενάριο 3 βασίζεται στο ίδιο κτιριακό κέλυφος (αδιαφανή και διαφανή δομικά στοιχεία) και στα ίδια συστήματα φωτισμού, ηλιακής παραγωγής ZNX και μηχανικού αερισμού με τα προηγούμενα σενάρια και σε αντίθεση με το Σενάριο 2, δεν περιλαμβάνει την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος. Η διαφοροποίησή του αφορά αποκλειστικά τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και εφεδρικής παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, τα οποία αντικαθίστανται από τοπικές ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας υψηλής ενεργειακής απόδοσης.

4.3.1 Συστήματα θέρμανσης και ψύξης

Στο πλαίσιο του Σεναρίου 3, η θέρμανση και η ψύξη του κτιρίου καλύπτονται από τοπικές αερόψυκτες αντλίες θερμότητας τύπου split (μονάδες κλιματισμού), οι οποίες λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια και χαρακτηρίζονται από υψηλούς εποχιακούς βαθμούς απόδοσης.

Σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί στο λογισμικό KENAK, οι μονάδες διαθέτουν:

- SCOP = 4,0 για λειτουργία θέρμανσης
- SEER = 6,0 για λειτουργία ψύξης

Η χρήση τοπικών αντλιών θερμότητας οδηγεί σε σημαντική μείωση της τελικής και πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας για τις αντίστοιχες χρήσεις, σε σύγκριση με συμβατικά ηλεκτρικά ή θερμικά συστήματα, λόγω των υψηλών εποχιακών βαθμών απόδοσης (SCOP/SEER) που παρουσιάζουν, όπως αυτοί λαμβάνονται υπόψη στη μεθοδολογία υπολογισμού του KENAK (TEE, 2017).

4.3.2 Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX)

Για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης στο Σενάριο 3 διατηρείται το σύστημα ηλιακού θερμικού συλλέκτη, το οποίο καλύπτει το κύριο μέρος των ετήσιων αναγκών. Παράλληλα, προβλέπεται η χρήση ηλεκτρικού θερμαντήρα (ηλεκτρικού θερμοσίφωνα) ως εφεδρικού συστήματος, ο οποίος λειτουργεί συμπληρωματικά σε περιόδους μειωμένης ηλιοφάνειας, ώστε να διασφαλίζεται η πλήρης κάλυψη των αναγκών ZNX καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η διάταξη αυτή είναι σύμφωνη με τις απαιτήσεις της TOTEE 20701-1/2017, σύμφωνα με τις οποίες τα συστήματα ηλιακής παραγωγής ZNX πρέπει να συνοδεύονται από εφεδρική πηγή ενέργειας (TEE, 2017).

4.3.3 Αποτελέσματα ενεργειακής προσομοίωσης

Οι παρεμβάσεις του Σεναρίου 3 οδηγούν σε σημαντική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση, λόγω της χρήσης αποδοτικών ηλεκτρικών αντλιών θερμότητας για θέρμανση και ψύξη και της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ZNX.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του λογισμικού KENAK, ο συνολικός δείκτης πρωτογενούς ενέργειας διαμορφώνεται σε $T = 0,77$, με το κτίριο να κατατάσσεται στην **ενεργειακή κατηγορία B**.

Τα αποτελέσματα της ενεργειακής κατάταξης του παρόντος σεναρίου παρουσιάζονται στα αντίστοιχα στιγμιότυπα του λογισμικού KENAK, όπως αποτυπώνονται στην ενότητα «Απεικόνιση αποτελεσμάτων».

4.4 Αποτελέσματα ενεργειακής προσομοίωσης και ποσοτικοποίηση σεναρίων

4.4.1 Μεθοδολογία αξιολόγησης

Η ποσοτικοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας και της μείωσης των εκπομπών CO₂ για τα εξεταζόμενα σενάρια βασίζεται στα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης KENAK που υλοποιήθηκε μέσω του λογισμικού KENAK. Για όλα τα σενάρια χρησιμοποιούνται τα ίδια γεωμετρικά, κλιματικά και λειτουργικά δεδομένα με την υφιστάμενη κατάσταση, ενώ μεταβάλλονται μόνο τα δομικά στοιχεία και τα

ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που αφορούν τις παρεμβάσεις κάθε σεναρίου. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η άμεση συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων τόσο ως προς την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας όσο και ως προς τις αντίστοιχες εκπομπές CO₂.

4.4.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης

Στον ακόλουθο πίνακα 4 παρουσιάζεται η σύγκριση των τριών σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου:

Πίνακας 4: Σύγκριση ενεργειακής απόδοσης, κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών CO₂ της υφιστάμενης κατάστασης και των εξεταζόμενων σεναρίων.

Περιγραφή	Υφιστάμενο κτίριο	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Δείκτης T (E _p /R _R)	1,42	0,85	0,08	0,77
Ενεργειακή κατηγορία	Δ	B	A+	B
Πρωτογενής κατανάλωση (kWh/m ²)	274,3	162,7	15,5	148,4
Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²)	–	111,6	258,8	125,9
Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)	–	40,7 %	94,3 %	45,9 %
Εκπομπές CO ₂ (kg/m ²)	93,6	55,6	6,8	50,8
Μείωση εκπομπών CO ₂ (kg/m ²)	–	38,0	86,8	42,8
Μείωση εκπομπών CO₂ (%)	–	40,6 %	92,7 %	45,7 %

Από τον πίνακα προκύπτει ότι και τα τρία σενάρια οδηγούν σε σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών CO₂, με το Σενάριο 2 να υπερτερεί σαφώς λόγω της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκού συστήματος.

4.4.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων ανά σενάριο

4.4.3.1 Σενάριο 1

Η εφαρμογή των παρεμβάσεων του Σεναρίου 1 οδηγεί σε ουσιαστική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Ο συνολικός δείκτης πρωτογενούς ενέργειας μειώνεται από **T = 1,42 (Κατηγορία Δ)** στην υφιστάμενη κατάσταση σε **T = 0,85**, με το κτίριο να κατατάσσεται στην **Κατηγορία Β**, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του λογισμικού KENAK.

Σε επίπεδο πρωτογενούς ενέργειας, η συνολική κατανάλωση μειώνεται από **274,3 kWh/m²** σε **162,7 kWh/m²**, που αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση **111,6 kWh/m²** ή περίπου **40,7%**. Σημαντικές μειώσεις παρατηρούνται κυρίως στις επιμέρους τελικές χρήσεις:

- Ψύξη: **86,8 → 49,8 kWh/m²**
- Φωτισμός: **144,8 → 93,4 kWh/m²**
- ZNX: **22,1 → 4,0 kWh/m²**

Οι μεταβολές αυτές καταδεικνύουν ότι οι παρεμβάσεις τόσο στο κέλυφος όσο και στα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα μειώνουν τα θερμικά και ηλεκτρικά φορτία και βελτιώνουν σημαντικά τη λειτουργική αποδοτικότητα του κτιρίου.

Παράλληλα, οι ετήσιες εκπομπές CO₂ μειώνονται από **93,6 kg/m²** στην υφιστάμενη κατάσταση σε **55,6 kg/m²** στο Σενάριο 1, που αντιστοιχεί σε μείωση **38,0 kg/m²** ή **40,6%**, λόγω της συνολικής μείωσης της κατανάλωσης και της χρήσης ηλιακής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών ZNX.

Η ανάλυση ανά πηγή ενέργειας δείχνει ότι το κτίριο λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια και ανανεώσιμες πηγές (ηλιακή θερμική ενέργεια για ZNX), χωρίς χρήση υγρών ή αέριων καυσίμων. Η συνολική τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού μειώνεται σημαντικά σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση, ως αποτέλεσμα της μείωσης των ενεργειακών φορτίων και της αυξημένης απόδοσης των συστημάτων, γεγονός που συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ενεργειακής κατηγορίας και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του κτιρίου.

4.4.3.2 Σενάριο 2

Το Σενάριο 2, το οποίο περιλαμβάνει τις παρεμβάσεις του Σεναρίου 1 σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκού συστήματος, οδηγεί στη μέγιστη δυνατή βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Ο δείκτης πρωτογενούς ενέργειας διαμορφώνεται σε $T = 0,08$, με το κτίριο να κατατάσσεται στην **ενεργειακή κατηγορία A+**.

Η καθαρή πρωτογενής κατανάλωση περιορίζεται σε μόλις $15,5 \text{ kWh/m}^2$, γεγονός που αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση $258,8 \text{ kWh/m}^2$ ή ποσοστό $94,3\%$ σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Η δραστική αυτή μείωση οφείλεται στην εκτεταμένη κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων του κτιρίου (θέρμανση, ψύξη, φωτισμός, ZNX και λοιπές χρήσεις) από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω ενεργειακού συμψηφισμού.

Οι εκπομπές CO_2 μειώνονται αντίστοιχα από $93,6 \text{ kg/m}^2$ σε μόλις $6,8 \text{ kg/m}^2$, δηλαδή κατά $86,8 \text{ kg/m}^2$ ή περίπου $92,7\%$, γεγονός που αποτυπώνει το εξαιρετικά χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα λειτουργίας του κτιρίου στο συγκεκριμένο σενάριο.

Η ανάλυση ανά πηγή ενέργειας δείχνει ότι το κτίριο λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια και ανανεώσιμες πηγές, καθώς η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ηλιακή θερμική ενέργεια για ZNX καλύπτουν σημαντικό μέρος των αναγκών του. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο περιορίζεται δραστικά μέσω του ενεργειακού συμψηφισμού, γεγονός που οδηγεί σε εξαιρετικά χαμηλή καθαρή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και σε αντίστοιχη ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του κτιρίου.

4.4.3.3 Σενάριο 3

Στο Σενάριο 3, η ενεργειακή αναβάθμιση επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της αντικατάστασης των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης με τοπικές αντλίες θερμότητας υψηλής απόδοσης, σε συνδυασμό με τη χρήση ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ZNX. Ο δείκτης πρωτογενούς ενέργειας μειώνεται σε $T = 0,77$, με το κτίριο να κατατάσσεται στην **Κατηγορία B**.

Η συνολική πρωτογενής κατανάλωση διαμορφώνεται σε $148,4 \text{ kWh/m}^2$, που αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση $125,9 \text{ kWh/m}^2$ ή $45,9\%$. Αντίστοιχα, οι εκπομπές CO_2 μειώνονται σε $50,8 \text{ kg/m}^2$, δηλαδή κατά $42,8 \text{ kg/m}^2$ ή περίπου $45,7\%$.

Η ανάλυση ανά πηγή ενέργειας δείχνει ότι το κτίριο λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια και ανανεώσιμες πηγές (ηλιακή θερμική ενέργεια για την παραγωγή ZNX), χωρίς χρήση υγρών ή αέριων καυσίμων. Η μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρισμού που επιτυγχάνεται μέσω της υψηλής απόδοσης των τοπικών αντλιών θερμότητας συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ενεργειακής κατηγορίας και στη μείωση των εκπομπών CO₂.

4.5 Συγκριτική αξιολόγηση σεναρίων

Η συγκριτική αξιολόγηση των εξεταζόμενων σεναρίων πραγματοποιείται με βάση τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης KENAK και αποσκοπεί στην αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων παρεμβάσεων ως προς τη μείωση της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂, σε σύγκριση με την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου.

Το **Σενάριο 1** επιτυγχάνει σημαντική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μέσω συνδυασμένων παρεμβάσεων στο κέλυφος και στα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας μειώνεται κατά περίπου 41%, ενώ παρατηρείται αντίστοιχη μείωση των εκπομπών CO₂, με το κτίριο να αναβαθμίζεται από την Κατηγορία Δ στην Κατηγορία Β.

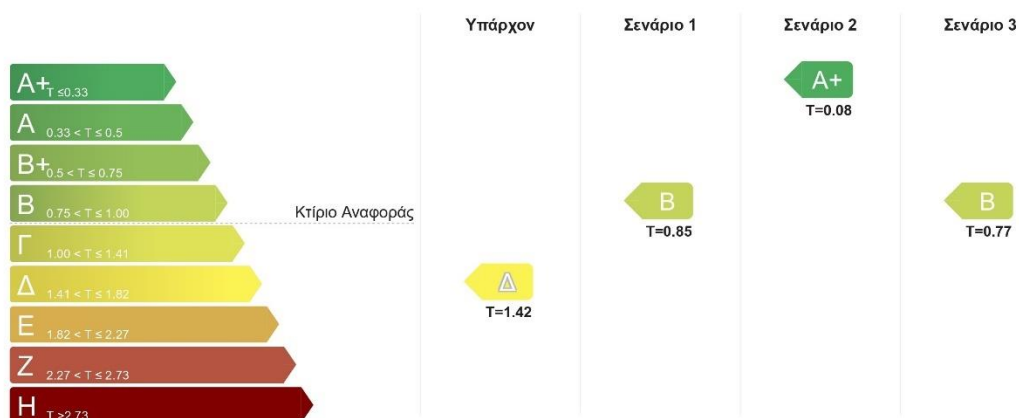
Το **Σενάριο 2** διαφοροποιείται ουσιαστικά, καθώς συνδυάζει τις παρεμβάσεις εξοικονόμησης με την επιτόπια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκό σύστημα. Μέσω του ενεργειακού συμψηφισμού, καλύπτεται σημαντικό μέρος των ηλεκτρικών φορτίων του κτιρίου, οδηγώντας σε εξαιρετικά χαμηλή καθαρή πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας και σε δραστική μείωση των εκπομπών CO₂. Ως αποτέλεσμα, το κτίριο κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία A+.

Το **Σενάριο 3** οδηγεί σε μεγαλύτερη συνολική εξοικονόμηση σε σχέση με το Σενάριο 1, με μείωση της πρωτογενούς κατανάλωσης και των εκπομπών CO₂ κατά περίπου 46%. Η βελτίωση αυτή επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της αντικατάστασης των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης με τοπικές αντλίες θερμότητας υψηλής απόδοσης και της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ZNX, με το κτίριο να κατατάσσεται επίσης στην Κατηγορία Β.

Συνολικά, τα αποτελέσματα της συγκριτικής αξιολόγησης αναδεικνύουν τη σημασία της επιλογής της κατάλληλης στρατηγικής ενεργειακής αναβάθμισης, καθώς διαφορετικοί συνδυασμοί παρεμβάσεων οδηγούν σε διαφοροποιημένα επίπεδα ενεργειακής και περιβαλλοντικής απόδοσης.

4.6 Απεικόνιση αποτελεσμάτων

Στα ακόλουθα στιγμιότυπα του λογισμικού KENAK παρουσιάζεται η ενεργειακή κατάταξη, η κατανομή της πρωτογενούς κατανάλωσης, η κατανάλωση καυσίμων (ανά πηγή ενέργειας) και οι εκπομπές CO₂ για την υφιστάμενη κατάσταση και για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα σενάρια.



Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση (kWh/m²).

Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς (R _R)	Υπάρχων κτίριο (EP)	Σενάριο 1 Σενάριο 1	Σενάριο 2 Σενάριο 2	Σενάριο 3 Σενάριο 3
Θέρμανση	4.2	20.6	15.5	15.5	14.6
Ψύξη	68.1	86.8	49.8	49.8	29.7
ZNX	16.0	22.1	4.0	4.0	10.6
Φωτισμός	104.3	144.8	93.4	93.4	93.4
Συνεισφορά ΑΠΕ-ΣΗΘ	0.0	0.0	0.0	147.2	0.0
Σύνολο (kWh/m ²)	192.5	274.3	162.7	15.5	148.4
Κατάταξη	-	Δ	B	A+	B
T=EP/R _R		1.42	0.85	0.08	0.77

Εικόνα 3: Οπτική σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης (κατηγορία και πρωτογενής κατανάλωση ανά χρήση) της υφιστάμενης κατάστασης και των σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης

Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)	Εκπομπές CO ₂ (kg/m ²)
Ηλεκτρισμός	56.2	55.6
Πετρέλαιο	0.0	0.0
Φυσικό αέριο	0.0	0.0
Άλλα ορυκτά καύσιμα	0.0	0.0
Ηλιακή	3.2	0.0
Βιομάζα	0.0	0.0
Γεωθερμία	0.0	0.0
Άλλη ΑΠΕ	0.0	0.0
Σύνολο	56.2	55.6

Εικόνα 4: Ενεργειακές απαιτήσεις, κατανάλωση και εκπομπές CO₂ του Σεναρίου 1

Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)	Εκπομπές CO ₂ (kg/m ²)
Ηλεκτρισμός	6.9	6.8
Πετρέλαιο	0.0	0.0
Φυσικό αέριο	0.0	0.0
Άλλα ορυκτά καύσιμα	0.0	0.0
Ηλιακή	3.2	0.0
Βιομάζα	0.0	0.0
Γεωθερμία	0.0	0.0
Άλλη ΑΠΕ	0.0	0.0
Σύνολο	56.2	6.8

Εικόνα 5: Ενεργειακές απαιτήσεις, κατανάλωση και εκπομπές CO₂ του Σεναρίου 2

Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)	Εκπομπές CO ₂ (kg/m ²)
Ηλεκτρισμός	51.4	50.8
Πετρέλαιο	0.0	0.0
Φυσικό αέριο	0.0	0.0
Άλλα ορυκτά καύσιμα	0.0	0.0
Ηλιακή	3.2	0.0
Βιομάζα	0.0	0.0
Γεωθερμία	0.0	0.0
Άλλη ΑΠΕ	0.0	0.0
Σύνολο	51.4	50.8

Εικόνα 6: Ενεργειακές απαιτήσεις, κατανάλωση και εκπομπές CO₂ του Σεναρίου 3

Κεφάλαιο 5ο : Οικονομική Αξιολόγηση και Επιλογή Βέλτιστου Σεναρίου Ενεργειακής Αναβάθμισης

5.1 Σκοπός και αντικείμενο του Κεφαλαίου

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η οικονομική αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 4, με σκοπό την επιλογή του βέλτιστου σεναρίου προς υλοποίηση για το κτίριο του ΚΕΦΟΚ Λένορμαν. Η αξιολόγηση δεν περιορίζεται αποκλειστικά στη σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης των σεναρίων, αλλά επεκτείνεται στην ανάλυση του συνολικού επενδυτικού κόστους, των αναμενόμενων οικονομικών ωφελειών και της μακροχρόνιας βιωσιμότητας της επένδυσης.

5.2 Σενάρια προς οικονομική αξιολόγηση

Η οικονομική ανάλυση βασίζεται στα τρία εναλλακτικά σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης που εξετάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και συνοψίζονται ως εξής:

Σενάριο 1: Ενεργειακή αναβάθμιση κελύφους και Η/Μ συστημάτων, με εφαρμογή αντλίας θερμότητας, αναβάθμιση φωτισμού και μηχανικό αερισμό με ανάκτηση θερμότητας.

Σενάριο 2: Συνδυασμός των παρεμβάσεων του Σεναρίου 1 με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος και ενεργειακό συμπηφισμό.

Σενάριο 3: Ενεργειακή αναβάθμιση κελύφους με χρήση τοπικών αντλιών θερμότητας υψηλής απόδοσης και ηλιακής παραγωγής ZNX, χωρίς φωτοβολταϊκό σύστημα.

Και τα τρία σενάρια οδηγούν σε ουσιαστική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση, ωστόσο διαφοροποιούνται ως προς το επίπεδο επένδυσης, την τεχνολογική προσέγγιση και το αναμενόμενο οικονομικό αποτέλεσμα.

5.3 Συμπληρωματικά συστήματα εκτός KENAK με συνεισφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας

Πέραν των παρεμβάσεων που αποτυπώνονται άμεσα στη μεθοδολογία υπολογισμού του KENAK και λαμβάνονται υπόψη στον προσδιορισμό της ενεργειακής κατάταξης του κτιρίου, στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης εξετάζεται και η ενσωμάτωση συμπληρωματικών τεχνικών συστημάτων, τα οποία δεν ενσωματώνονται πλήρως στους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης μέσω του λογισμικού KENAK. Τα συστήματα αυτά εξετάζονται στο πλαίσιο της συνολικής τεχνικής και λειτουργικής αναβάθμισης του κτιρίου και συνδέονται κυρίως με τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των εγκαταστάσεων, την ενίσχυση της αξιοπιστίας και με την ποιοτική αναβάθμιση των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας.

5.3.1 Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίου (BEMS)

Όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 2, τα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίου (Building Energy Management Systems – BEMS) αποτελούν βασικό εργαλείο ενεργειακής διαχείρισης και ψηφιακής αναβάθμισης των δημόσιων κτιρίων, τα οποία εντάσσονται θεσμικά στην ευρύτερη κατηγορία των συστημάτων αυτοματισμού και ελέγχου κτιρίων, στο πλαίσιο των σύγχρονων ευρωπαϊκών κατευθύνσεων για την ενεργειακή αποδοτικότητα και την ευφυΐα των κτιρίων (European Parliament and Council, 2024).

Παρότι η συμβολή των συστημάτων BEMS λαμβάνεται υπόψη θεσμικά στο πλαίσιο του KENAK (ΥΠΕΝ, 2017a), η επίδρασή τους δεν αποτυπώνεται πλήρως στους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης μέσω του λογισμικού KENAK. Ωστόσο, η εφαρμογή τους επηρεάζει ουσιαστικά την πραγματική λειτουργική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου, μέσω της συνεχούς παρακολούθησης, της βελτιστοποίησης της λειτουργίας και της ενεργειακής διαχείρισης.

Η διεθνής εμπειρία και η σχετική βιβλιογραφία καταδεικνύουν ότι η εφαρμογή συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης μπορεί να οδηγήσει σε ουσιαστική μείωση της πραγματικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας, κυρίως μέσω του περιορισμού της άσκοπης λειτουργίας του εξοπλισμού και της έγκαιρης ανίχνευσης δυσλειτουργιών. Παράλληλα, η συνεχής καταγραφή και ανάλυση ενεργειακών δεδομένων υποστηρίζει

τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για τη συντήρηση και τη μακροχρόνια βελτιστοποίηση της λειτουργίας των εγκαταστάσεων (Akbulut et al., 2025).

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, το BEMS αξιολογείται ως μέτρο ενίσχυσης της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας της ενεργειακής αναβάθμισης, με έμμεση αλλά ουσιαστική συμβολή στη μείωση του λειτουργικού κόστους και στη μεγιστοποίηση των οικονομικών οφελών των εξεταζόμενων σεναρίων.

5.3.2 Συστήματα σκίασης εσωτερικών χώρων

Η εγκατάσταση εσωτερικών συστημάτων σκίασης, όπως ρόλλερ σκίασης, συμβάλλει στον περιορισμό των ηλιακών θερμικών κερδών κατά τη θερινή περίοδο και στη βελτίωση της οπτικής άνεσης των χρηστών, μέσω του ελέγχου της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και της μείωσης της θάμβωσης. Σε κτίρια υγείας, όπου η θερμική και οπτική άνεση των ασθενών και του προσωπικού αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος και τη λειτουργικότητα των χώρων, τα συστήματα αυτά αποκτούν ιδιαίτερη σημασία (Li & Wu, 2025).

5.3.3 Ανελκυστήρες τεχνολογίας MRL

Η αναβάθμιση των ανελκυστήρων με συστήματα τεχνολογίας Machine Room Less (MRL) συνιστά παρέμβαση ενεργειακής αναβάθμισης των υποστηρικτικών ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων του κτιρίου. Οι ανελκυστήρες MRL βασίζονται σε σύγχρονους κινητήρες χωρίς κιβώτιο μετάδοσης (gearless), οι οποίοι χαρακτηρίζονται από αυξημένη ενεργειακή απόδοση και μειωμένες μηχανικές απώλειες. Επιπλέον, παρουσιάζουν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας σε κατάσταση αναμονής, γεγονός που είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε κτίρια με συχνή αλλά μη συνεχόμενη χρήση. Σε πολλές περιπτώσεις, τα συστήματα αυτά ενσωματώνουν διατάξεις ανάκτησης ενέργειας κατά τη διαδικασία πέδησης, επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση της παραγόμενης ενέργειας και τη συνολική μείωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης του κτιρίου (Al-Kodmany, 2023).

5.3.4 Συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS)

Η εγκατάσταση συστημάτων αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS) αποτελεί βασικό στοιχείο για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της συνεχούς λειτουργίας κρίσιμων ηλεκτρικών φορτίων, όπως ιατρικός και πληροφοριακός εξοπλισμός σε κτίρια υγείας.

Σύγχρονες τεχνολογίες UPS, και ιδίως οι αρχιτεκτονικές συνεχούς διπλής μετατροπής, βελτιώνουν την ποιότητα της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος, εξασφαλίζοντας σταθερή τάση και μηδενικό χρόνο μεταγωγής σε περιπτώσεις διακοπών ή διαταραχών του ηλεκτρικού δικτύου. Παράλληλα, η χρήση αποδοτικότερων ηλεκτρονικών ισχύος και βελτιστοποιημένων διατάξεων λειτουργίας μειώνει τις εσωτερικές ηλεκτρικές απώλειες των συστημάτων UPS, ενισχύοντας την ενεργειακή απόδοση και τη λειτουργική αξιοπιστία του συστήματος τροφοδοσίας των κρίσιμων φορτίων (Sadigov et al., 2025).

5.3.5 Συστήματα εφεδρικής ηλεκτροδότησης (H/Z)

Η πρόβλεψη συστημάτων εφεδρικής ηλεκτροδότησης, όπως ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/Z), δεν εντάσσεται στη λογική της ενεργειακής εξοικονόμησης ή της ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου, αλλά αφορά πρωτίστως τη διασφάλιση της λειτουργικής συνέχειας του κτιρίου σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτρικής τροφοδοσίας. Στο πλαίσιο κτιρίων υγείας, όπου η απρόσκοπτη λειτουργία κρίσιμου ιατρικού και υποστηρικτικού εξοπλισμού είναι απαραίτητη, τα συστήματα αυτά αποτελούν υποδομές ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια των ασθενών και τη λειτουργική αξιοπιστία της δομής.

Παράλληλα, η διεθνής βιβλιογραφία αναδεικνύει τον ρόλο των εφεδρικών συστημάτων ηλεκτροδότησης ως βασικό στοιχείο ενεργειακής ανθεκτικότητας (energy resilience) κρίσιμων υποδομών, ιδίως σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης, φυσικών καταστροφών ή γενικότερων κρίσεων. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, τα συστήματα αυτά εξετάζονται αποκλειστικά υπό το πρίσμα της λειτουργικής ασφάλειας και της διασφάλισης της συνέχειας παροχής υπηρεσιών υγείας και όχι ως μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης ή μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας (Shi et al., 2024).

5.4 Υποστηρικτικές οικοδομικές εργασίες για την υλοποίηση των ενεργειακών παρεμβάσεων

Για την εφαρμογή των ενεργειακών και ηλεκτρομηχανολογικών παρεμβάσεων που περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες, απαιτείται η εκτέλεση ορισμένων υποστηρικτικών οικοδομικών εργασιών. Οι εργασίες αυτές δεν συνιστούν ανεξάρτητα μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης και δεν επηρεάζουν άμεσα την ενεργειακή κατάσταση

του κτιρίου, ωστόσο αποτελούν αναγκαία προϋπόθεση για την υλοποίηση των εξεταζόμενων σεναρίων.

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται ενδεικτικά εργασίες καθαιρέσεων και αποξηλώσεων υφιστάμενων στοιχείων, ικριώματα για την εκτέλεση επεμβάσεων στο κέλυφος, τοπικές δομικές αποκαταστάσεις, καθώς και εργασίες αποκατάστασης επιφανειών μετά την ολοκλήρωση των παρεμβάσεων. Οι εργασίες αυτές λαμβάνονται υπόψη στο συνολικό επενδυτικό κόστος κάθε σεναρίου, με στόχο τη ρεαλιστική αποτίμηση της απαιτούμενης επένδυσης, χωρίς την ανάπτυξη αναλυτικού προϋπολογισμού έργου.

5.5 Ανάλυση επενδυτικού κόστους σεναρίων

Η παρούσα ενότητα επικεντρώνεται στην ανάλυση του συνολικού επενδυτικού κόστους των εξεταζόμενων σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης, με στόχο τη συγκριτική οικονομική τους αξιολόγηση. Η ανάλυση πραγματοποιείται σε επίπεδο αρχικής επένδυσης και βασίζεται στη διάκριση του κόστους σε επιμέρους κατηγορίες δαπανών, ώστε να αποτυπώνεται με σαφήνεια η οικονομική επιβάρυνση που αντιστοιχεί σε κάθε κατηγορία παρεμβάσεων.

Το συνολικό επενδυτικό κόστος κάθε σεναρίου συγκροτείται από τέσσερις βασικές συνιστώσες:

- α) τις ενεργειακές παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος,
- β) τα ενεργειακά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα,
- γ) τις υποστηρικτικές οικοδομικές εργασίες που απαιτούνται για την υλοποίηση των παρεμβάσεων, και
- δ) τα συμπληρωματικά τεχνικά συστήματα, τα οποία ενισχύουν τη λειτουργική απόδοση, την αξιοπιστία και την ενεργειακή διαχείριση του κτιρίου, χωρίς να αποτυπώνονται πλήρως στους υπολογισμούς του KENAK.

Οι δαπάνες που αφορούν το κτιριακό κέλυφος παραμένουν κοινές και στα τρία σενάρια, καθώς οι παρεμβάσεις θερμομόνωσης και αντικατάστασης κουφωμάτων είναι ίδιες. Αντίστοιχα, οι υποστηρικτικές οικοδομικές εργασίες και τα συμπληρωματικά τεχνικά συστήματα (όπως συστήματα διαχείρισης ενέργειας, σκίασης, ανελκυστήρες, UPS και εφεδρική ηλεκτροδότηση) ενσωματώνονται στο επενδυτικό κόστος με σταθερό τρόπο, καθώς αφορούν τη συνολική λειτουργική και τεχνική αναβάθμιση του κτιρίου ανεξαρτήτως σεναρίου.

Οι διαφοροποιήσεις στο συνολικό επενδυτικό κόστος μεταξύ των σεναρίων εντοπίζονται κυρίως στην κατηγορία των ενεργειακών ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, όπου οι επιμέρους τεχνολογικές επιλογές και ο βαθμός ενσωμάτωσης συστημάτων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές επηρεάζουν το ύψος της απαιτούμενης επένδυσης. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει την απομόνωση της επίδρασης των Η/Μ συστημάτων στο συνολικό κόστος και διευκολύνει τη συσχέτιση της οικονομικής επιβάρυνσης με τα αντίστοιχα ενεργειακά και λειτουργικά οφέλη.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται αναλυτικά η κατανομή του επενδυτικού κόστους ανά κατηγορία δαπάνης και ανά σενάριο. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν τη βάση για την περαιτέρω οικονομική αξιολόγηση και την τελική επιλογή του βέλτιστου σεναρίου ενεργειακής αναβάθμισης.

Πίνακας 5: Ανάλυση επενδυτικού κόστους Σεναρίου 1 ανά κατηγορία δαπάνης

Κατηγορία επενδυτικού κόστους	Περιγραφή	Κόστος (€)
Ενεργειακές παρεμβάσεις κελύφους	Θερμομόνωση, Κουφώματα	355.000
Η/Μ ενεργειακά συστήματα	Θέρμανση - Ψύξη, ΖΝΧ, Μηχανικός Αερισμός, Φωτισμός	680.000
Υποστηρικτικές οικοδομικές εργασίες	Καθαιρέσεις, Ικρίωματα, Αποκαταστάσεις	210.000
Συμπληρωματικά τεχνικά συστήματα	ΒEMS, Συστήματα Σκίασης, Ανελκυστήρες, UPS, HZ	215.000
Σύνολο επένδυσης		1.460.000

Πίνακας 6: Ανάλυση επενδυτικού κόστους Σεναρίου 2 ανά κατηγορία δαπάνης

Κατηγορία επενδυτικού κόστους	Περιγραφή	Κόστος (€)
Ενεργειακές παρεμβάσεις κελύφους	Θερμομόνωση, Κουφώματα	355.000
Η/Μ ενεργειακά συστήματα	Θέρμανση - Ψύξη, ΖΝΧ, Μηχανικός Αερισμός, Φωτισμός, Φωτοβολταϊκό σύστημα	710.000
Υποστηρικτικές οικοδομικές εργασίες	Καθαιρέσεις, Ικρίωματα, Αποκαταστάσεις	210.000
Συμπληρωματικά τεχνικά συστήματα	ΒEMS, Συστήματα Σκίασης, Ανελκυστήρες, UPS, HZ	215.000
Σύνολο επένδυσης		1.490.000

Πίνακας 7: Ανάλυση επενδυτικού κόστους Σεναρίου 3 ανά κατηγορία δαπάνης

Κατηγορία επενδυτικού κόστους	Περιγραφή	Κόστος (€)
Ενεργειακές παρεμβάσεις κελύφους	Θερμομόνωση, Κουφώματα	355.000
H/M ενεργειακά συστήματα	Θέρμανση - Ψύξη, ΖΝΧ, Μηχανικός Αερισμός, Φωτισμός	540.000
Υποστηρικτικές οικοδομικές εργασίες	Καθαιρέσεις, Ικριώματα, Αποκαταστάσεις	210.000
Συμπληρωματικά τεχνικά συστήματα	BEMS, Συστήματα Σκίασης, Ανελκυστήρες, UPS, HZ	215.000
Σύνολο επένδυσης		1.320.000

5.6 Οικονομική αξιολόγηση

Η αξιολόγηση των προτεινόμενων παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης δεν περιορίζεται μόνο στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, αλλά απαιτεί και την εκτίμηση της οικονομικής τους βιωσιμότητας.

Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιείται οικονομική αξιολόγηση των εξεταζόμενων σεναρίων με τη μέθοδο κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost – LCC), η οποία χρησιμοποιείται για τη συστηματική οικονομική αποτίμηση του συνολικού κόστους ενός έργου ή συστήματος κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάλυσης.

Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία, η μέθοδος Life Cycle Costing αποτελεί κατάλληλο εργαλείο για τη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων και την επιλογή της οικονομικά αποδοτικότερης επιλογής, λαμβάνοντας υπόψη τόσο το αρχικό κόστος επένδυσης όσο και τα λειτουργικά κόστη που προκύπτουν κατά τη διάρκεια ζωής του έργου (Campagna et al., 2025; Sadliwala & Gogate, 2022).

Στην παρούσα εργασία υιοθετήθηκε μια απλοποιημένη προσέγγιση Life Cycle Costing, η οποία βασίζεται στο αρχικό επενδυτικό κόστος των παρεμβάσεων και στο ετήσιο λειτουργικό κόστος του κτιρίου. Τα στοιχεία του αρχικού κόστους επένδυσης προέρχονται από την ανάλυση επενδυτικού κόστους του Κεφαλαίου 5.5, ενώ το λειτουργικό κόστος προέκυψε από τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης στο λογισμικό KENAK. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε μεταξύ των Σεναρίων 1, 2 και 3 με στόχο την επιλογή του οικονομικά βέλτιστου σεναρίου ενεργειακής αναβάθμισης.

Η βασική αρχή της μεθόδου Life Cycle Costing είναι ότι το συνολικό κόστος ενός σεναρίου προκύπτει από το άθροισμα του αρχικού κόστους επένδυσης και της παρούσας αξίας των μελλοντικών λειτουργικών δαπανών. Για να είναι δυνατή η

σύγκριση κόστους που προκύπτει σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, τα μελλοντικά κόστη μετατρέπονται σε παρούσα αξία μέσω διαδικασίας προεξόφλησης, ώστε όλα τα κόστη να εκφράζονται σε κοινή χρονική βάση, δηλαδή στον χρόνο μηδέν (Kehily et al., 2022).

Η υπολειμματική αξία του εξοπλισμού στο τέλος της περιόδου ανάλυσης θεωρήθηκε μηδενική, ως απλοποιητική παραδοχή της μελέτης. Η παραδοχή αυτή χρησιμοποιείται συχνά σε οικονομικές αξιολογήσεις κτιριακών συστημάτων, όταν δεν λαμβάνεται υπόψη πιθανή μεταπωλητική αξία του εξοπλισμού στο τέλος της περιόδου ανάλυσης.

Ο υπολογισμός του κόστους κύκλου ζωής βασίζεται στην αρχή της προεξόφλησης των μελλοντικών χρηματοροών. Η προεξόφληση βασίζεται στην αρχή της χρονικής αξίας του χρήματος (time value of money), σύμφωνα με την οποία τα μελλοντικά χρηματικά ποσά έχουν μικρότερη αξία από τα αντίστοιχα ποσά στο παρόν και συνεπώς πρέπει να μετατρέπονται σε παρούσα αξία για σκοπούς οικονομικής αξιολόγησης (Kehily et al., 2022).

Συνεπώς, το κόστος κύκλου ζωής εκφράζεται από τη σχέση:

$$LCC = C_{inv} + \sum_{t=1}^n \frac{C_{op}}{(1+r)^t}$$

όπου:

C_{inv} = αρχικό κόστος επένδυσης (€)

C_{op} = ετήσιο λειτουργικό κόστος (€ / έτος)

r = προεξοφλητικό επιτόκιο

n = περίοδος ανάλυσης (έτη)

Στην περίπτωση σταθερού ετήσιου λειτουργικού κόστους, η παραπάνω σχέση μπορεί να εκφραστεί μέσω του συντελεστή παρούσας αξίας ισόποσων ροών (Uniform Present Value – UPV), ο οποίος επιτρέπει τον υπολογισμό της παρούσας αξίας μιας σειράς ίσων ετήσιων πληρωμών κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάλυσης (Kehily et al., 2022).

Στην περίπτωση αυτή ο τύπος του κόστους κύκλου ζωής γράφεται ως::

$$LCC = C_{inv} + C_{op} \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}$$

Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε οικονομικές αξιολογήσεις ενεργειακών παρεμβάσεων κτιρίων (Campagna et al., 2025).

Στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε περίοδος μελέτης $n = 25$ έτη και προεξοφλητικό επιτόκιο $r = 3\%$, τιμές που χρησιμοποιούνται συχνά στη βιβλιογραφία για οικονομικές αξιολογήσεις ενεργειακών παρεμβάσεων στον ευρωπαϊκό κτιριακό τομέα (Campagna et al., 2025).

Ο συντελεστής παρούσας αξίας του λειτουργικού κόστους προκύπτει:

$$\frac{1 - (1,03)^{-25}}{0,03} = 17,41$$

Συνεπώς το κόστος κύκλου ζωής μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$LCC = C_{inv} + 17,41 \cdot C_{op}$$

Με βάση τα δεδομένα επενδυτικού κόστους του Κεφαλαίου 5.5 και τα ετήσια λειτουργικά κόστη των σεναρίων υπολογίστηκε το συνολικό κόστος κύκλου ζωής για κάθε σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης.

Πίνακας 8: Συγκριτική οικονομική αξιολόγηση Σεναρίων (LCC)

Σενάριο	Επενδυτικό κόστος C_{inv} (€)	Ετήσιο λειτουργικό κόστος C_{op} (€/έτος)	Συνολικό κόστος κύκλου ζωής LCC (€)	Οικονομικά βέλτιστο
Σενάριο 1	1.460.000	14.209,50	1.707.387	-
Σενάριο 2	1.490.000	1.738,80	1.520.273	✓
Σενάριο 3	1.320.000	13.001,90	1.546.363	-

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία Life Cycle Costing, οικονομικά βέλτιστη λύση θεωρείται εκείνη που παρουσιάζει το μικρότερο συνολικό κόστος κύκλου ζωής, δηλαδή το άθροισμα του αρχικού κόστους επένδυσης και της παρούσας αξίας των λειτουργικών δαπανών κατά την περίοδο ανάλυσης (Campagna et al., 2025).

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 8 προκύπτει ότι το Σενάριο 2 παρουσιάζει το μικρότερο συνολικό κόστος κύκλου ζωής (LCC = 1.520.273 €), αποτελώντας την οικονομικά βέλτιστη λύση ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου.

Η υπεροχή του Σεναρίου 2 οφείλεται στον συνδυασμό αντλιών θερμότητας υψηλής απόδοσης και φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα οποία συμβάλλουν στη σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και συνεπώς του ετήσιου λειτουργικού κόστους του κτιρίου. Αντίθετα, το Σενάριο 3, παρόλο που απαιτεί χαμηλότερη αρχική επένδυση, δεν περιλαμβάνει παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, γεγονός που οδηγεί σε υψηλότερο λειτουργικό κόστος σε βάθος χρόνου.

Κεφάλαιο 6ο : Συμπεράσματα

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για σημαντικό ποσοστό της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, γεγονός που καθιστά την ενεργειακή αναβάθμιση των υφιστάμενων κτιρίων κρίσιμη για την επίτευξη των στόχων της βιώσιμης ανάπτυξης και της κλιματικής ουδετερότητας. Η ανάγκη ενεργειακής αναβάθμισης είναι ιδιαίτερα έντονη στα δημόσια κτίρια υγείας, τα οποία χαρακτηρίζονται από αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις λόγω της συνεχούς λειτουργίας τους και της ανάγκης διατήρησης κατάλληλων συνθηκών θερμικής άνεσης και υγιεινής για το προσωπικό και τους ασθενείς.

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στη μελέτη ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου του Κέντρου Ειδικής Φροντίδας - Οδοντιατρικού Κέντρου (ΚΕΦΟΚ) Λένορμαν, το οποίο αποτελεί δομή Πρωτοβάθμιας Φροντίδας Υγείας της 1ης Υγειονομικής Περιφέρειας Αττικής. Στόχος της μελέτης ήταν η αποτύπωση της υφιστάμενης ενεργειακής κατάστασης του κτιρίου, η διερεύνηση εναλλακτικών σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης και η επιλογή του βέλτιστου επενδυτικού σχεδίου με βάση ενεργειακά και οικονομικά κριτήρια.

Για την επίτευξη των στόχων της έρευνας πραγματοποιήθηκε αρχικά η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων σχετικά με τα γεωμετρικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τα δομικά στοιχεία του κελύφους και τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Με βάση τα στοιχεία αυτά δημιουργήθηκε το ενεργειακό μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) και των σχετικών Τεχνικών Οδηγιών του ΤΕΕ. Το μοντέλο αυτό αποτέλεσε το σενάριο βάσης για την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου.

Η ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης έδειξε ότι το κτίριο παρουσιάζει σχετικά χαμηλή ενεργειακή απόδοση και κατατάσσεται σε χαμηλή ενεργειακή κατηγορία, γεγονός που οφείλεται κυρίως στις σημαντικές θερμικές απώλειες του κτιριακού κελύφους και στην περιορισμένη ενεργειακή αποδοτικότητα των υφιστάμενων συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Παράλληλα, η κατανάλωση πρωτογενούς

ενέργειας του κτιρίου είναι υψηλή, ενώ σημαντικό ποσοστό της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης σχετίζεται με τις ανάγκες θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού.

Στη συνέχεια εξετάστηκαν εναλλακτικά σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης, τα οποία περιλάμβαναν παρεμβάσεις τόσο στο κτιριακό κέλυφος όσο και στα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα του κτιρίου. Το πρώτο σενάριο περιλάμβανε βασικές παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης, όπως η βελτίωση της θερμομόνωσης του κελύφους, η αντικατάσταση των υφιστάμενων κουφωμάτων με κουφώματα υψηλότερης ενεργειακής απόδοσης και η αναβάθμιση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Το δεύτερο σενάριο περιλάμβανε τις παρεμβάσεις του πρώτου σεναρίου σε συνδυασμό με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Το τρίτο σενάριο περιλάμβανε την εγκατάσταση τοπικών αντλιών θερμότητας για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου, γεγονός που οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

Τα αποτελέσματα των ενεργειακών προσομοιώσεων έδειξαν ότι όλα τα εξεταζόμενα σενάρια οδηγούν σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση, με την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας να κυμαίνεται από 40,7% έως 94,3%, με το μεγαλύτερο ποσοστό να επιτυγχάνεται στο σενάριο που περιλαμβάνει την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος. Παράλληλα, παρατηρείται σημαντική βελτίωση της ενεργειακής κατηγορίας του κτιρίου, η οποία μεταβαίνει από Δ στην υφιστάμενη κατάσταση σε A+ στο βέλτιστο σενάριο. Οι παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση των θερμικών απωλειών και κατ' επέκταση στην εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ η αναβάθμιση των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων οδηγεί σε περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Ιδιαίτερα σημαντική αποδείχθηκε και η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω της εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος, η οποία συμβάλλει στην κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου και στη μείωση των εκπομπών CO₂.

Η οικονομική αξιολόγηση των εξεταζόμενων σεναρίων έδειξε ότι οι επενδύσεις ενεργειακής αναβάθμισης μπορούν να είναι οικονομικά βιώσιμες σε βάθος χρόνου, καθώς οδηγούν σε σημαντική μείωση των λειτουργικών δαπανών του κτιρίου. Η εφαρμογή της μεθόδου κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost – LCC) επέτρεψε τη

σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων και την επιλογή του βέλτιστου σεναρίου με βάση τόσο τα ενεργειακά όσο και τα οικονομικά κριτήρια.

Τέλος, η παρούσα μελέτη αναδεικνύει και ορισμένες κατευθύνσεις για περαιτέρω διερεύνηση στον τομέα της ενεργειακής αναβάθμισης των δημόσιων κτιρίων. Για την περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής διαχείρισης του κτιρίου, η αξιοποίηση συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων (Building Energy Management Systems – BEMS), τα οποία εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη, θα μπορούσε να συμβάλει στη συνεχή παρακολούθηση των ενεργειακών καταναλώσεων και στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των εγκαταστάσεων κατά τη φάση λειτουργίας του κτιρίου. Επιπλέον, μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να επικεντρωθεί στην ανάλυση πραγματικών δεδομένων κατανάλωσης μετά την υλοποίηση των ενεργειακών παρεμβάσεων, καθώς και στη διερεύνηση προηγμένων τεχνολογιών ενεργειακής διαχείρισης, όπως συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και ολοκληρωμένα συστήματα αυτοματισμού κτιρίων. Παράλληλα, ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση εναλλακτικών χρηματοδοτικών μηχανισμών για την υλοποίηση ενεργειακών παρεμβάσεων σε δημόσια κτίρια, όπως οι συμβάσεις ενεργειακής απόδοσης (Energy Performance Contracting – EPC) και η συνεργασία με εταιρείες ενεργειακών υπηρεσιών (ESCOs). Τέλος, η εφαρμογή της ίδιας μεθοδολογίας σε μεγαλύτερο αριθμό δομών πρωτοβάθμιας φροντίδας υγείας θα μπορούσε να συμβάλει στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πλαισίου ενεργειακής αναβάθμισης για τα δημόσια κτίρια του τομέα υγείας.

Βιβλιογραφία

- 1η Υγειονομική Περιφέρεια Αττικής. (2020). *Κέντρο Ειδικής Φροντίδας – Οδοντιατρικό Κέντρο Λένορμαν (ΚΕΦΟΚ ΛΕΝΟΡΜΑΝ) – Ιατρεία*. <https://www.1dype.gov.gr/?p=10897>
- Akbulut, L., Taşdelen, K., Atilgan, A., Malinowski, M., Çoşgun, A., Şenol, R., Akbulut, A., & Petryk, A. (2025). A Systematic Review of Building Energy Management Systems (BEMS): Sensors, IoT, and AI Integration. *Review*.
- Al-Kodmany, K. (2023). Smart elevator systems. *Journal of Mechanical Materials and Mechanics Research*, 6(1).
- Almeida, C. R. de, Teodoro, A. C., & Gonçalves, A. (2021). Study of the urban heat island (UHI) using remote sensing data/techniques: A systematic review. *Environments*, 8(10), 105.
- Balbis-Morejón, M., Cabello-Eras, J. J., Rey-Martínez, F. J., Fandiño, J. M. M., & Rey-Hernández, J. M. (2024). Energy performance of a university building for different air conditioning (AC) technologies: a case study. *Buildings*, 14(6), 1746.
- BPIE. (n.d.). *About*. Retrieved 28 November 2025, from <https://www.bpie.eu/about-us/>
- BPIE. (2021). *The Renovation Wave Strategy and Action Plan: Designed for success or doomed to fail? A review and gap analysis of the Renovation Wave < BPIE - Buildings Performance Institute Europe*. <https://www.bpie.eu/publication/the-renovation-wave-strategy-and-action-plan-designed-for-success-or-doomed-to-fail-a-review-and-gap-analysis-of-the-renovation-wave/>
- BPIE. (2025). Sufficiency in the building sector for the whole life carbon roadmap - final report < BPIE - Buildings Performance Institute Europe. In *BPIE*. <https://www.bpie.eu/publication/sufficiency-in-the-building-sector-for-the-whole-life-carbon-roadmap-final-report/>
- Brehm, J. K., Raditsch, F. R., Hepperla, R., Ziviani, D., & Groll, E. A. (2022). *Impact of High-Efficiency and Variable-Speed Motors on the Performance of a Residential Split-System Air Conditioning System*.
- Campagna, L. M., Carlucci, F., & Fiorito, F. (2025). Life cycle cost optimization for schools energy retrofit under climate change: methodological approach and analyses in five different climates. *Energy and Buildings*, 335, 115561.
- CEN. (n.d.). *About CEN*. Retrieved 28 November 2025, from <https://www.cencenelec.eu/about-cen/>
- Devecioğlu, A. G., Bilici, B., & Oruç, V. (2024). The evaluation and improvement for the energy performance of buildings: A case study. *Next Energy*, 4, 100126.
- EDESPA. (n.d.). *Υποστήριξη Δικαιούχων τομέα Υγείας*. Retrieved 2 December 2025, from <https://www.edespa-ygeia.gr/erga/ipostiriksi-dikaiouxwn-tomewn-ygeias>
- European Commission. (2019). *The European Green Deal*. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- European Commission. (2020). *Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0662>

- European Commission. (2021). *Commission Regulation (EU) 2019/2020 of 1 October 2019 on ecodesign requirements for light sources and separate control gears and repealing Regulations (EC) No 244/2009, (EC) No 245/2009 and (EU) No 1194/2012* (Vol. 22). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/2020/oj>
- European Parliament and Council. (2002). *Οδηγία 2002/91/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=celex:32002L0091>
- European Parliament and Council. (2010). *Οδηγία 2010/31/EE του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19ης Μαΐου 2010, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (αναδιατύπωση)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=celex:32010L0031>
- European Parliament and Council. (2018). *Οδηγία (EE) 2018/844 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Μαΐου 2018, για την τροποποίηση της οδηγίας 2010/31/EE για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και της οδηγίας 2012/27/EE για την ενεργειακή απόδοση*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX:32018L0844>
- European Parliament and Council. (2020). *Κατ' εξουσιοδότηση κανονισμός (EE) 2020/2155 της Επιτροπής της 14ης Οκτωβρίου 2020 για τη συμπλήρωση της οδηγίας (EE) 2010/31/EE του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου με τη θέσπιση προαιρετικού κοινού συστήματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αξία*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX:32020R2155>
- European Parliament and Council. (2023). *Οδηγία (EE) 2023/2413 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 18ης Οκτωβρίου 2023, για την τροποποίηση της οδηγίας (EE) 2018/2001, του κανονισμού (EE) 2018/1999 και της οδηγίας 98/70/EK όσον αφορά την προώθηση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj?locale=el>
- European Parliament and Council. (2024). *Οδηγία (EE) 2024/1275 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 24ης Απριλίου 2024, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX:32024L1275>
- Fischl, G., & Johansson, P. (2025). Digital occupancy assessment for lighting evaluation: a pilot study to prepare for real-time research results. *Architectural Science Review*, 68(3), 165–174.
- Goal 13 | Department of Economic and Social Affairs. (n.d.). Retrieved 29 November 2025, from https://sdgs.un.org/goals/goal13#progress_and_info
- Goal 7 | Department of Economic and Social Affairs. (n.d.). Retrieved 29 November 2025, from <https://sdgs.un.org/goals/goal7>
- Grignaffini, L., Grignaffini, S., Vallati, A., & Romagna, M. (2023). Improving the energy performance of healthcare buildings: a case study. *Journal of Physics: Conference Series*, 2648(1), 12035.
- Hohne, P. A., Kusakana, K., & Numbi, B. P. (2022). Energy cost minimization of a multifarious water heating system with energy recovery: A case of a healthcare institution. *Journal of Energy Storage*, 51, 104451. <https://doi.org/10.1016/J.EST.2022.104451>
- International Energy Agency. (2025). *Multiple Benefits of Energy Efficiency*. <https://www.iea.org/reports/multiple-benefits-of-energy-efficiency>
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO 52000-1:2017 - Energy performance of*

- buildings — Part 1: General framework and procedures*. <https://www.iso.org/standard/65601.html>
- Katsaprakakis, D. A., Stavrakakis, G. M., Savvakis, N., Dakanali, E., Yiannakoudakis, Y., Zidianakis, G., Tsekouras, A., Giannopoulou, E., & Yfanti, S. (2025). Energy Performance Upgrade of Municipal and Public Buildings and Facilities. *Energies*, *18*(21), 1–39. <https://doi.org/10.3390/en18215798>
- Kehily, D., Hore, A., McDonnell, F., McAuley, E., Dempsey, K., & Mitchell, C. (2022). *Guide to Life Cycle Costing, 2nd Edition*.
- Li, X., & Wu, Y. (2025). A review of complex window-glazing systems for building energy saving and daylight comfort: Glazing technologies and their building performance prediction. *Journal of Building Physics*, *48*(4), 496–540.
- Maduta, C., D’Agostino, D., Tsemekidi-Tzeiranaki, S., & Castellazzi, L. (2025). From Nearly Zero-Energy Buildings (NZEBs) to Zero-Emission Buildings (ZEBs): Current status and future perspectives. *Energy and Buildings*, *328*, 115133. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2024.115133>
- Moghadam, T. T., Bruton, K., O’Sullivan, D. T. J., & Norton, B. (2025). Energy efficient achievement of indoor air quality and thermal comfort using mechanical ventilation heat recovery and solar-energy pre-heating. *Energy Conversion and Management*, *327*, 119528. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119528>
- Rashid, F. L., Al-Obaidi, M. A., Al Maimuri, N. M. L., Ameen, A., Agyekum, E. B., Chibani, A., & Kezzar, M. (2025). Mechanical ventilation strategies in buildings: a comprehensive review of climate management, indoor air quality, and energy efficiency. *Buildings*, *15*(14), 2579. *REPowerEU*. (n.d.). Retrieved 29 November 2025, from https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu_el
- Sadigov, R., Hasanov, N., & Kochemirovsky, V. (2025). Architecture and design principles of uninterruptible power supply (UPS) systems. *Architecture*, *1*, 68–73.
- Sadliwala, M. S., & Gogate, N. G. (2022). Life cycle costing methodology for sustainable construction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1084*(1), 12023.
- Shi, W., Liang, H., & Bittner, M. (2024). Decision support for smart distribution system against natural disasters during health pandemics considering resilience. *IEEE Access*, *12*, 66335–66351.
- Stawiński, Ł., Kosucki, A., Skowrońska, J., & Malenta, P. (2025). Energy Efficiency Improvement of Hydraulic Indirect Elevator. *Energies*, *18*(9). <https://doi.org/10.3390/en18092163>
- TEE. (n.d.-a). *Δελτίο Τύπου TEE: 14/11/2025*. Retrieved 29 November 2025, from <https://web.tee.gr/deltia-tupoy/deltio-typoy-tee-14-11-2025/>
- TEE. (n.d.-b). *Λογισμικό TEE KENAK | TEE*. Retrieved 29 November 2025, from <https://web.tee.gr/kenak/logismiko-tee-kenak/>
- The 17 Goals | Sustainable Development*. (n.d.). Retrieved 29 November 2025, from <https://sdgs.un.org/goals>
- Vlachou, V. I., Karakatsanis, T. S., & Kladas, A. G. (2022). Energy Savings in Elevators By Using a Particular Permanent Magnet Motor Drive. *IET Conference Proceedings*, *2022*(25), 273–278. <https://doi.org/10.1049/icp.2023.0005>

- Δέσμη Fit for 55 - Consilium.* (n.d.). Retrieved 29 November 2025, from <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/fit-for-55/>
- Ελλάδα 2.0. (n.d.). *Πρόγραμμα «ΗΛΕΚΤΡΑ» για την ενεργειακή αναβάθμιση δημοσίων κτιρίων.* Retrieved 2 December 2025, from <https://greece20.gov.gr/programma-ilektra-gia-tin-energeiaki-anavathmisi-dimosiwn-ktiriwn/>
- Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων - Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.* (n.d.). Retrieved 28 November 2025, from <https://ypen.gov.gr/energeia/energeiaki-exoikonomisi/ktiria/kenak/>
- ΤΕΕ. (2017). *TOTEE 20701-1/2017: Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων.*
- ΤΕΕ. (2021). *Τεχνική Οδηγία ΤΕΕ 20701-2: Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση ΠΕΑ.*
- TOTEE (KENAK) | ΤΕΕ.* (n.d.). Retrieved 28 November 2025, from <https://web.tee.gr/kenak/totee/>
- ΥΠΕΝ. (2017a). *Έγκριση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) - ΦΕΚ Β' 2367/12.07.2017.*
- ΥΠΕΝ. (2017b). *ΦΕΚ 4003/Β' 17.11.2017 -Έγκριση και εφαρμογή των Τεχνικών Οδηγιών ΤΕΕ για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων.*
- ΥΠΕΝ. (2019). *Υπ. Απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/15084/382/2019 - Εγκατάσταση σταθμών παραγωγής από αυτοπαραγωγούς με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού ή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού σύμφωνα με το άρθρο 14Α του ν. 3468/2006, όπως ισχύει, και από Ενεργειακές Κοινότητες με εφα.*
- ΥΠΕΝ. (2021). *Εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα 2021-2030.* 1–25.
- ΥΠΕΝ. (2025). *Κοινή Υπουργική Απόφαση ΥΠΕΝ/Δ ΕΠΕΑ/78489/637/2025 - ΦΕΚ 3686/Β/15-7-2025 - Έγκριση Οδικού Χάρτη για την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, σύμφωνα με άρθρο 25Α του ν. 4342/2015 (Α'143).* <https://www.e-nomothesia.gr/energeia/kya-upend-epa78489-637-2025.html>
- Υπουργείο Δημοσίων Έργων. (1979). *Περί εγκρίσεως κανονισμού δια την θερμομόνωση των κτιρίων - ΦΕΚ 362/Δ/4-7-1979.*
- Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας και Οικονομικών. (n.d.). *ΕΣΠΑ 2021-2027.* Retrieved 2 December 2025, from <https://www.espa.gr/el/Pages/espa2021-2027.aspx>