



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Μελέτη ενεργειακής αναβάθμισης
κτηρίου τηλεοπτικού σταθμού»*

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Λεριά Θωμά

Επιβλέπων

Εμμανουήλ Κακαράς, Καθηγητής
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:	«Μελέτη ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίου τηλεοπτικού σταθμού»
ΦΟΙΤΗΤΗΣ:	Λεριάς Θωμάς
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:	Κακαράς Εμμανουήλ, Καθηγητής, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:	2019-20

Σύνοψη

Με δεδομένους τους ευρωπαϊκούς στόχους για τη μείωση των καταναλώσεων των κτηρίων του τριτογενούς τομέα, οι μελέτες ενεργειακής αναβάθμισης είναι μεγάλης σημασίας καθώς επιτρέπουν την αξιολόγηση και αναγνώριση των πιο ανταγωνιστικών επεμβάσεων σε ένα κτήριο προκειμένου να βελτιωθεί σημαντικά η ενεργειακή του κατηγορία. Στα πλαίσια αυτά η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ασχολείται με τη μελέτη και προσομοίωση του μοντέλου κτηρίου που ανήκει σε Μ.Μ.Ε. σε κατάλληλο λογισμικό για την ενεργειακή αναβάθμισή του, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης και χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Αφού αναλυθούν τα κύρια χαρακτηριστικά του κτηρίου και εκτιμηθούν οι ενεργειακές καταναλώσεις αυτού, γίνονται μία πρώτη αποτίμηση των διαθέσιμων επιλογών για ενεργειακές επεμβάσεις. Ακολούθως αξιολογούνται μέσω του προγράμματος προσομοίωσης κτηρίων Design Builder οι προτεινόμενες επεμβάσεις και αποτιμάται τεχνο-οικονομικά η ανταγωνιστικότητα αυτών. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκαν δύο κατηγορίες επεμβάσεων. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι επεμβάσεις αναβάθμισης του κτηριακού κελύφους, η αναβάθμιση των συστημάτων κλιματισμού και η εγκατάσταση γεωθερμικού εναλλάκτη. Στην δεύτερη κατηγορία, ανήκουν αντίστοιχα οι παρεμβάσεις αντικατάστασης φωτιστικών σωμάτων και η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Όπως προκύπτει από την οικονομική ανάλυση, φαίνεται ότι οι παρεμβάσεις της πρώτης κατηγορίας έχουν μεγάλο αρχικό κόστος 3.100.583 € και μεγάλη περίοδο αποπληρωμής, παρότι έχουν συνολικές εξοικονομήσεις 205.563 € ετησίως. Οι παρεμβάσεις που ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία, έχουν μεγάλη απόδοση, καθώς το αρχικό κόστος κεφαλαίου είναι συνολικά 549.200 €, ενώ οι ετήσιες εξοικονομήσεις είναι πολύ μεγάλες και συγκεκριμένα 177.884 €.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αφορά στη Μελέτη Ενεργειακής Αναβάθμισης κτηρίου υποδομών τηλεοπτικού σταθμού. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των τεχνικών της ενεργειακής αναβάθμισης των υφιστάμενων κτηρίων, καθώς και η εξέταση της δυνατότητας εφαρμογής αυτών στο υπό μελέτη κτήριο. Στόχος της μελέτης, είναι η ορθή ανάλυση των χαρακτηριστικών του κτηρίου, οι ανάγκες που αυτό έχει, καθώς και η εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση συστημάτων και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε).

Αρχικά, γίνεται καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης όπως το κέλυφος, τα κουφώματα, τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού, καθώς και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των επιμέρους χώρων. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια λογισμικού σχεδιασμού και μοντελοποίησης DesignBuilder, σχεδιάζεται το υπάρχον κτήριο, γίνεται διαχωρισμός των εσωτερικών χώρων σε ζώνες χρήσης και αξιολογείται η ενεργειακή κατάταξη και κατανάλωση του. Κατόπιν, στο περιβάλλον του λογισμικού, προτείνονται λύσεις ενεργειακής αναβάθμισης του κτηρίου, με στόχο τη μεγαλύτερη ενεργειακή εξοικονόμηση ώστε το κτήριο να μπορεί να χαρακτηριστεί ως Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης. Τέλος, αξιολογούνται οι προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας, τόσο με βάση την αποτελεσματικότητά τους ως προς την εξοικονόμηση που επιτυγχάνουν, αλλά και του κόστους και της περιόδου αποπληρωμής μίας τέτοιας επένδυσης.

POST-GRADUATE THESIS: **« Energetic upgrading study of a television station building»**

STUDENT: **Lerias Thomas**

SUPERVISOR: **Kakaras Emmanouil, Professor, School of Mechanical Engineering**

ACADEMIC YEAR: **2019-20**

Abstract

Given the European targets for reducing the consumption of utility buildings, energy upgrade studies are of great importance as they allow the evaluation and recognition of the most competitive interventions in a building in order to significantly improve its energy class. In this context, the present postgraduate dissertation deals with the study and simulation of the building model that belongs a television and radio channel. using appropriate software for its energy upgrade, aiming at energy savings using heating and cooling systems and the penetration of Renewable Energy Sources. After analyzing the main features of the building and estimating its energy consumption, a first assessment is made of the available options for energy interventions. The proposed interventions are then evaluated via the Design Builder simulation software and their competitiveness is evaluated techno-economically. More specifically, two categories of interventions were studied. The first category includes the upgrades of the building shell, the upgrade of the air conditioning systems and the installation of a geothermal heat exchanger. The second category includes the interventions with respect to the lighting appliances and the installation of a photovoltaic system. According to the economic analysis, it seems that the interventions of the first category have a large capital cost of € 3,100,583 and a long payback period, although they have total savings of € 205,563 per year. The interventions that belong to the second category, have a high return, as the cost of capital is a total of € 549,200, while the annual savings are very large € 177,884.

Summary

This thesis concerns in the Energy Upgrade Study of a Television station building infrastructure. The scope of the paper is to study the technics of the energy upgrade for existing buildings and research of the capabilities for the execution of these technics in television station buildings. The study is aiming to analyze the characteristics of the building and his needs and energy saving using HVAC systems and Renewable Energy Sources.

At first, an account of the existing situation is being established as far as the envelope of the building, HVAC systems and the operating characteristics of the individual areas. Afterwards, with the help of a design and modeling software (DesignBuilder), the existing building is being designed and the zoning of the interiors is taking place, evaluating the

energy consumptions of the building. Furthermore, in the software environment, energy upgrade solutions are being proposed, in order to achieve the best rate of energy saving, so that the building is being classified as nearly Zero Energy Building (nZEB). Lastly, the different scenarios are being evaluating according to their energy saving rate effectiveness and their cost and payback period time of the investment.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η κλιματική αλλαγή και η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση της ενέργειας, έχουν ωθήσει τους πολίτες, τις κυβερνήσεις αλλά και την επιστημονική κοινότητα στην αναζήτηση λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας σε κομβικούς τομείς. Ένας από αυτούς είναι ο κτηριακός τομέας, ο οποίος έχει αυξητική τάση στην κατανάλωση ενέργειας και συμβάλλει κομβικά στην εθνική και ευρωπαϊκή συνολική κατανάλωση ενέργειας. Η έλλειψη ανανέωσης του κτηριακού αποθέματος, ταυτόχρονα με την καθυστέρηση ενσωμάτωσης νέων τεχνολογιών στον κτηριακό τομέα, έχει οδηγήσει ταυτόχρονα σε σοβαρά προβλήματα μέσα στις πόλεις, ακόμα και στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

Τα τελευταία χρόνια, έχει γίνει προσπάθεια τόσο από ευρωπαϊκούς κανονισμούς και εθνικές νομοθεσίες, να αναβαθμιστεί ενεργειακά το κτηριακό απόθεμα, χρηματοδοτώντας επεμβάσεις όπως στο κτηριακό κελύφος, τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού και άλλες. Μάλιστα, η υποχρεωτική εφαρμογή νέων κτηρίων Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης, αποτελεί σημαντικό βήμα στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια. Ο κτηριακός τομέας, δηλαδή ο οικιακός αλλά και ο τριτογενής οφείλουν να μειώσουν κατά το δυνατό τη συνολική κατανάλωση ενέργειας, τόσο μέσα από τη αναβάθμιση του κελύφους και άρα μειωμένης ζήτησης ενέργειας για την καθημερινή τους λειτουργία, την αναβάθμιση/εγκατάσταση συστημάτων υψηλής ενεργειακής κλάσης μειώνοντας τις απώλειες ενέργειας αλλά και μέσα από την εγκατάσταση συστημάτων που αξιοποιούν τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	7
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	11
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	13
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1.1 Η ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα	15
1.2 Κτηριακό απόθεμα στην Ελλάδα	17
1.3 Ενεργειακή αναβάθμιση κτηρίων	19
1.3.1 Επεμβάσεις στο κέλυφος του κτηρίου	20
1.3.1.1 Θερμομόνωση δομικών στοιχείων	20
1.3.1.2 Αντικατάσταση κουφωμάτων	22
1.3.1.3 Μείωση φορτίων θερμογεφυρών	23
1.3.2 Επεμβάσεις στα Ενεργητικά συστήματα	23
1.3.2.1 Συστήματα Θέρμανσης, Ψύξης, Αερισμού και Κλιματισμού	24
1.3.2.2 Συστήματα τεχνητού φωτισμού	24
1.4 Επιστημονικό ερώτημα	25
2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΗΡΙΟΥ	26
2.1 Γενικά Στοιχεία Κτηρίου	26
2.2 Επιφάνειες και Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Κτηρίου	26
2.3 Περιγραφή κελύφους	27
2.4 Περιγραφή Συστημάτων Η/Μ	27
2.4.1 Κλιματισμός-Θέρμανση	27
2.4.2 Φωτισμός	29
3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ	30
3.1 Διαθέσιμα Στοιχεία-Κατανάλωση Ενέργειας	30
3.2 Μετρήσεις	31
3.3 Επιμερισμός Καταναλώσεων	36
4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΤΗΡΙΟΥ	38
4.1 Εγκατάσταση Συστήματος Ενεργειακής Διαχείρισης (BEMS)	39
4.2 Αναβάθμιση Κτηριακού Κελύφους	41

4.2.1	Εγκατάσταση εξωτερικής θερμοπρόσοψης και μόνωση δωματίων	42
4.2.2	Αντικατάσταση όλων των κουφωμάτων	42
4.3	Αντικατάσταση Φωτιστικών	42
4.4	Αναβάθμιση Εγκατάστασης Κλιματισμού	43
4.4.1	Αντικατάσταση αντλιών και ΚΚΜ	43
4.4.2	Εγκατάσταση Ψυκτών με Ανάκτηση Θερμότητας	44
4.4.3	Εγκατάσταση συστοιχίας επίτοιχων λεβήτων συμπύκνωσης αερίου	45
4.5	Εγκατάσταση Συστημάτων Α.Π.Ε.	46
4.5.1	Εγκατάσταση Φ/Β συστοιχίας	46
4.5.2	Εγκατάσταση γεωθερμικού εναλλάκτη	46
5	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΗΡΙΟΥ DESIGNBUILDER	48
5.1	Κατασκευή Γεωμετρίας	48
5.2	Παραμετροποίηση	49
5.2.1	Χρήση ζώνης-Activity	49
5.2.2	Κατασκευή-Construction	52
5.2.3	Ανοίγματα-Openings	52
5.2.4	Φωτισμός-Lighting	52
5.2.5	Συστήματα κλιματισμού-HVAC	53
5.2.6	Παραγωγή ενέργειας-Generation	54
5.3	Αποτελέσματα Υφιστάμενης Κατάστασης	54
6	ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΣΤΟ DESIGNBUILDER	60
6.1	Εφαρμογή παρεμβάσεων	60
6.1.1	Κτηριακό κέλυφος	60
6.1.1.1	Εξωτερική θερμομόνωση	60
6.1.1.2	Αντικατάσταση εξωτερικών κουφωμάτων	61
6.1.2	Αντικατάσταση συστήματος φωτισμού	61
6.1.3	Συστήματα κλιματισμού-αερισμού	62
6.1.4	Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων	63
6.2	Αποτελέσματα	64
7	ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	68

7.1	Σύγκριση αποτελεσμάτων	68
7.2	Ανάλυση κόστους παρεμβάσεων	69
7.2.1	Αναβάθμιση κελύφους	70
7.2.2	Αντικατάσταση συστήματος φωτισμού	71
7.2.3	Αναβάθμιση HVAC συστημάτων	71
7.2.4	Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών	72
7.2.5	Εγκατάσταση γεωθερμικού εναλλάκτη	73
7.3	Σύνοψη προτάσεων αναβάθμισης	74
7.4	Συμπεράσματα	78
7.5	Προτάσεις μελλοντικής εργασίας	79
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικ 1.1 Συνολική Τελική Ενεργειακή Κατανάλωση (ktoe) στην Ελλάδα 1990-2018	15
Εικ 1.2 Συνολική Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (ktoe) 1990-2018	16
Εικ 1.3 Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας στον οικιακό τομέα (ktoe) 1990-2018	16
Εικ 1.4 Ποσοστό κτηριακού τομέα στη Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση 1990-2018	17
Εικ 1.5 Χρονική περίοδος κατασκευής κτηρίων	18
Εικ 1.6 Ποσοστό κτηρίων βάσει της περιόδου κατασκευής	19
Εικ 3.1 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα 2018	31
Εικ 3.2 Μέτρηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ΓΠΧΤ κτηριακού συγκροτήματος	32
Εικ 3.3 Μέτρηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας υδρόψυκτων ψυκτών	33
Εικ 3.4 Μέτρηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ψυχοστασίου λεβητοστασίου κτηρίου	34
Εικ 3.5 Μέτρηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κλιματισμού Ραδιοφωνίας	35
Εικ 3.6 Μέτρηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κλιματισμού τηλεόρασης	36
Εικ 3.7 Επιμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας 2018 κτηρίου	37
Εικ 5.1 Μοντέλο κτηρίου στο λογισμικό DesignBuilder	48
Εικ 5.2 Render μοντέλο κτηρίου στο λογισμικό DesignBuilder	49
Εικ 5.3 Ταξινόμηση χώρων σε ζώνες στον δεύτερο όροφο	50
Εικ 5.4 Επιμερισμός καταναλώσεων προσομοίωσης κτηρίου	57
Εικ 5.5 Θερμικά κέρδη προσομοίωσης κτηρίου	58
Εικ 6.1 Μοντέλο ενεργειακά αναβαθμισμένου κτηρίου	63
Εικ 6.2 Επιμερισμός καταναλώσεων αναβαθμισμένου κτηρίου	65
Εικ 6.3 Θερμικά κέρδη αναβαθμισμένου κτηρίου	66
Εικ 7.1 Εγγυημένη απόδοση φωτοβολταϊκών πλαισίων στην πάροδο των χρόνων	73

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πιν. 1.1	Αριθμός κτηρίων ανά χρήση για το 2011	17
Πιν. 1.2	Χρονική περίοδος κατασκευής κτηρίων	18
Πιν. 1.3	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου	21
Πιν. 2.1	Επιφάνεια και χρήση κτηριακού συγκροτήματος	26
Πιν. 2.2	Καταγραφή του εξοπλισμού φωτισμού του κτηρίου	29
Πιν. 3.1	Συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας για το έτος 2018	30
Πιν. 5.1	Βασικά χαρακτηριστικά ζωνών κτηρίου	51
Πιν. 5.2	Συντελεστής θερμοπερατότητας εξωτερικών επιφανειών κτηρίου	52
Πιν. 5.3	Ειδική ισχύς φωτισμού ανά όροφο	53
Πιν. 5.4	Συστήματα HVAC	53
Πιν. 5.5	Βασικά αποτελέσματα ατόμων και καταναλώσεων ανά είδος φορτίου	55
Πιν. 5.6	Μηνιαίες Καταναλώσεις κτηρίου βάσει Ενεργειακού Ελέγχου	56
Πιν. 5.7	Τελική κατανάλωση ενέργειας προσομοίωσης κτηρίου	58
Πιν. 5.8	Ειδική κατανάλωση ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας δαπέδου	59
Πιν. 6.1	Χαρακτηριστικά θερμομόνωσης εξωτερικών διαφανών επιφανειών	60
Πιν. 6.2	Ειδική ισχύς νέου συστήματος φωτισμού ανά όροφο	62
Πιν. 6.3	Συστήματα HVAC ενεργειακής αναβάθμισης	62
Πιν. 6.4	Βασικές καταναλώσεις μοντέλου νέου κτηρίου	64
Πιν. 6.5	Τελικές καταναλώσεις αναβαθμισμένου κτηρίου	66
Πιν. 6.6	Ειδική κατανάλωση ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας δαπέδου στο νέο κτήριο	67
Πιν. 7.1	Εξοικονόμηση ενέργειας ανά είδος φορτίου	68
Πιν. 7.2	Αρχικές Παραδοχές Οικονομικής Ανάλυσης	70
Πιν. 7.3	Κόστος αναβάθμισης κτηριακού κελύφους	70
Πιν. 7.4	Επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους ανά έτος Π1	71
Πιν. 7.5	Επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους ανά έτος Π2	71
Πιν. 7.6	Κόστη αναβάθμισης συστήματος κλιματισμού	72
Πιν. 7.7	Επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους ανά έτος Π3	72
Πιν. 7.8	Επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους ανά έτος Π4	73
Πιν. 7.9	Επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους ανά έτος Π5	74
Πιν. 7.10	Σύνοψη παρεμβάσεων	74
Πιν. 7.11	Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους	76
Πιν. 7.12	Ανάλυση Κύκλου Κόστους Ζωής παρεμβάσεων	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Ακρωνύμια

<i>ktoe</i>	<i>Τόνος ισοδύναμου πετρελαίου</i>
<i>ΕΛΣΤΑΤ</i>	<i>Ελληνική Στατιστική Αρχή</i>
<i>ΚΘΚ</i>	<i>Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτηρίων</i>
<i>ΣΕΑ</i>	<i>Σύμβαση Ενεργειακής Απόδοσης</i>
<i>ΚΕΝΑΚ</i>	<i>Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων</i>
<i>ΑΠΕ</i>	<i>Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας</i>
<i>ΖΝΧ</i>	<i>Ζεστό Νερό Χρήσης</i>
<i>HVAC</i>	<i>Heating, Ventilation, and Air Conditioning</i>
<i>MME</i>	<i>Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης</i>
<i>Η/Μ</i>	<i>Ηλεκτρομηχανολογικά</i>
<i>ΚΚΜ</i>	<i>Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα</i>
<i>VRF</i>	<i>Variable Refrigerant Flow</i>
<i>CCU</i>	<i>Close Control Units</i>
<i>BEMS</i>	<i>Building Energy Management System</i>
<i>Φ/Β</i>	<i>Φωτοβολταϊκό</i>
<i>LCCA</i>	<i>Life Cycle Cost Analysis</i>
<i>NPV</i>	<i>Net Present Value</i>
<i>PP</i>	<i>Payback Period</i>
<i>IRR</i>	<i>Internal Rate of Return</i>
<i>SIR</i>	<i>Savings to Investment Ratio</i>
<i>AIRR</i>	<i>Adjusted Internal Rate of Return</i>

NS

Net Saving

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

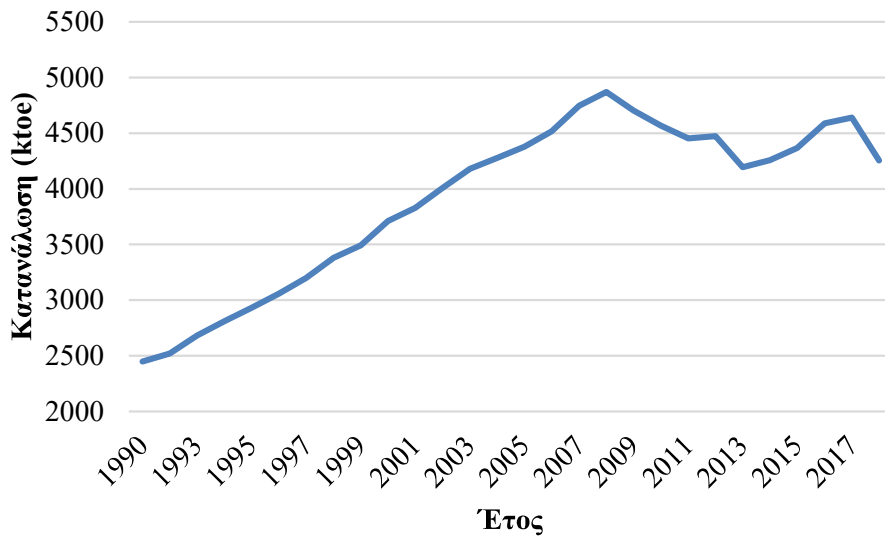
1.1 Η ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα

Η συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα, φαίνεται ότι έχει ανοδικές τάσεις τα τελευταία χρόνια, όπου σύμφωνα με τη Eurostat το 2018 φτάνουν τα 15.186,57 ktoe. Αντίστοιχα, παρουσιάζεται στην Εικ. 1.1 η πορεία της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης από το 1990 έως το 2018.

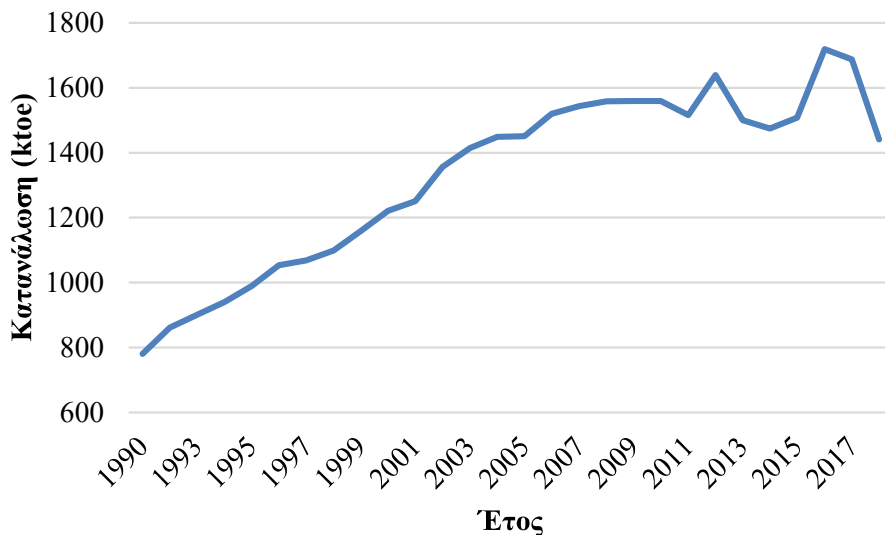


Εικ 1.1 Συνολική Τελική Ενεργειακή Κατανάλωση (ktoe) στην Ελλάδα 1990-2018

Παρατηρείται, ότι η συνολική ενεργειακή κατανάλωση έχει αυξητικές τάσεις από το 1990 έως το 2007, ενώ σταδιακά μειώνεται στα χρόνια της οικονομικής κρίσης, από το 2009-2013, που επηρέασε σημαντικά στη μείωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Βέβαια, οι προβλέψεις για την κατανάλωση ενέργειας τα επόμενα χρόνια, κυρίως λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας και των μεγαλύτερων αναγκών, δείχνει να έχει αυξητικές τάσεις. Μάλιστα, όπως φαίνεται στην Εικ. 1.2, η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το 1990 έως σήμερα αυξάνεται διαρκώς, όπως αντίστοιχα και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στον Οικιακό Τομέα.



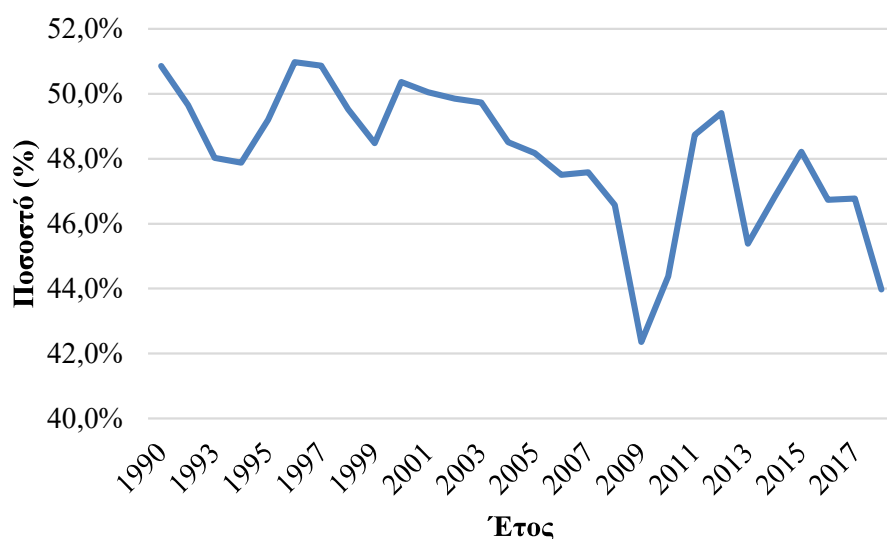
Εικ 1.2 Συνολική Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (ktoe) 1990-2018



Εικ 1.3 Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας στον οικιακό τομέα (ktoe) 1990-2018

Φαίνεται, ότι τα χρόνια 2007 και μετά, η μείωση της συνολικής τελικής ενεργειακής κατανάλωσης, οφείλεται περισσότερο στη μείωση κατανάλωσης διαφορετικών ειδών ενέργειας, ενώ ο ηλεκτρισμός τα αντικατέστησε σε μεγάλο μέρος, έχοντας τελικά αύξηση στην κατανάλωση.

Όπως φαίνεται στην Εικ. 1.4, το ποσοστό της κατανάλωσης που παρουσιάζεται στον Οικιακό και Τριτογενή τομέα, δηλαδή τον ευρύτερο Κτηριακό Τομέα, είναι της τάξης του 48% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, κάτι που αναδεικνύει την αναγκαιότητα παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας στον Κτηριακό Τομέα.



Εικ 1.4 Ποσοστό κτηριακού τομέα στη Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση 1990-2018

1.2 Κτηριακό απόθεμα στην Ελλάδα

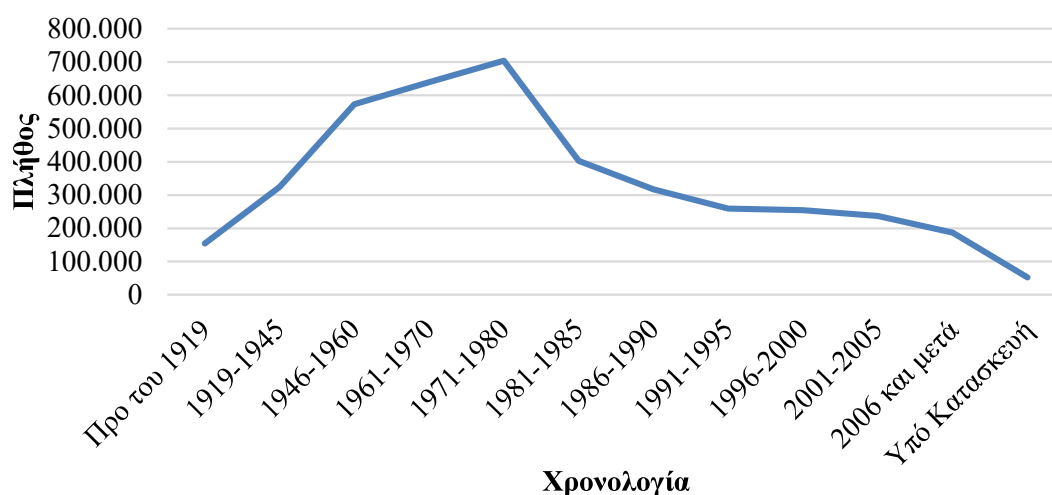
Το ελληνικό κτηριακό απόθεμα αποτελείται κυρίως από κτήρια κατοικιών και ένα αριθμό κτηρίων άλλων χρήσεων του τριτογενούς τομέα, τα οποία απογράφονται κάθε δέκα χρόνια στο σύνολο της επικράτειας. Η πιο πρόσφατη απογραφή κτηρίων διεξάχθηκε το 2011 αλλά δεν περιλαμβάνει το σύνολο των ειδών χρήσεων. Στα παρακάτω στοιχεία που αναφέρονται, ο αριθμός των κτηρίων έχει προέλθει ως αποτέλεσμα των στοιχείων, της απογραφής του 2011 από την ΕΛΣΤΑΤ. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζεται ο αριθμός των κτηρίων ανά χρήση:

Πιν. 1.1 Αριθμός κτηρίων ανά χρήση για το 2011

Χρήση Κτηρίου	Αριθμός Κτηρίων
Κατοικίες	3.246.008
Ξενοδοχεία	43.516
Εργοστάσια-Εργαστήρια	33.762
Σχολικά κτήρια	21.853
Καταστήματα-Γραφεία	206.254
Νοσοκομεία, κλινικές κλπ	1.973
ΣΥΝΟΛΟ	4.105.637

Πιν. 1.2 Χρονική περίοδος κατασκευής κτηρίων

Χρονική περίοδος Κατασκευής	Αριθμός Κτηρίων	Ποσοστό
Προ του 1919	154.006	3,8%
1919-1945	324.701	7,9%
1946-1960	573.250	14,0%
1961-1970	639.475	15,6%
1971-1980	704.340	17,2%
1981-1985	402.368	9,8%
1986-1990	316.799	7,7%
1991-1995	259.394	6,3%
1996-2000	254.797	6,2%
2001-2005	237.460	5,8%
2006 και μετά	186.861	4,6%
Υπό Κατασκευή	52.186	1,3%



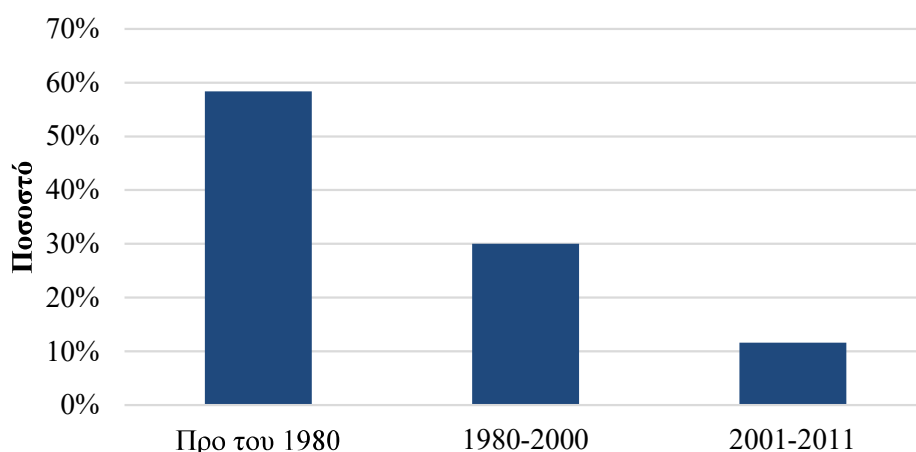
Εικ 1.5 Χρονική περίοδος κατασκευής κτηρίων

Από την παραπάνω απογραφή, παρατηρείται ότι το κτηριακό απόθεμα στην Ελλάδα έχει χτιστεί κατά βάση τη χρονική περίοδο 1960-1980, ενώ αργότερα ο ρυθμός κατασκευής μειώνεται κατά πολύ. Ειδικότερα, τα χρόνια της οικονομικής κρίσης, το κτηριακό απόθεμα δεν ανανεώθηκε καθόλου, με μόνο το 4,6 % εκ του συνόλου των κτηρίων να χτίζεται μετά το 2006 και μέχρι όταν έγινε η απογραφή.

Ακόμα, από τον Πίνακα 1.1, φαίνεται ότι οι κατοικίες αντιστοιχούν στο 79% του συνόλου των κτηρίων, κάτι που αποδεικνύει την ανάγκη ανανέωσης του κτηριακού συνόλου, ειδικότερα του οικιακού τομέα.

Γενικά, τα κτήρια θα μπορούσαν να καταναμηθούν σε τρεις κατηγορίες, με βάση τη χρονική περίοδο κατασκευής τους, για να αξιολογηθεί καλύτερα η ενεργειακή τους κλάση

και ενεργειακή ζήτηση. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσαν να ταξινομηθούν σε αυτά που κατασκευάστηκαν πριν την εφαρμογή του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτηρίων (ΚΘΚ), δηλαδή προ του 1980 και αντίστοιχα σε αυτά που έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με τον Κανονισμό αυτόν. Τέλος, μπορεί να προστεθεί άλλη μία κατηγορία, αυτή των κτηρίων που χτίστηκαν από το 2001 έως το 2011 που έγινε η απογραφή, όπου άρχισαν να εφαρμόζονται νέες τεχνολογίες και συστήματα στον οικιακό τομέα (Εικ. 1.6):



Εικ 1.6 Ποσοστό κτηρίων βάσει της περιόδου κατασκευής

Είναι εμφανές από την Εικ. 1.6, ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των κτηρίων είναι κατασκευασμένο πριν από την εφαρμογή του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτηρίων και άρα παλαιάς τεχνολογίας και μεγάλης ενεργειακής κατανάλωσης. Παράλληλα, οι παρεμβάσεις που έγιναν μετέπειτα, από τη μία ήταν περιορισμένης κλίμακας και από την άλλη δεν άλλαξε τη συνολική εικόνα του παλιού ελληνικού κτηριακού αποθέματος, καθώς λόγω κυρίως της οικονομικής ύφεσης, μόλις το 1,3% βρισκόταν υπό κατασκευή το 2011 που πραγματοποιήθηκε η απογραφή.

1.3 Ενεργειακή αναβάθμιση κτηρίων

Με τον όρο ενεργειακή αναβάθμιση κτηρίων, εννοούνται οι παρεμβάσεις παθητικές και ενεργητικές σε υφιστάμενα κτήρια, που αποσκοπούν στη μείωση της ενεργειακής ζήτησης των κτηρίων.

Τα τελευταία χρόνια, τόσο στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όσο και στην Ελλάδα, βρίσκεται στο κέντρο της δημόσιας συζήτησης η Ενεργειακή αναβάθμιση των δημοσίων αλλά και ιδιόκτητων κτηρίων. Ήδη υπάρχει πληθώρα δημοσίων και ευρωπαϊκών προγραμμάτων επενδύσεων για την ενεργειακή αναβάθμιση κτηρίων στην Ελλάδα, που όπως σχεδιάζεται, οφείλει να αγγίζει τις 60.000 ανακαινίσεις κτηρίων ετησίως έως το 2030, αγγίζοντας το ποσοστό του 15%.

Όπως φάνηκε και στις προηγούμενες ενότητες, η ανάγκη για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του ευρύτερου κτηριακού τομέα, συνδέεται άμεσα με το «παλιό» κτηριακό απόθεμα της Ελλάδας. Ένας από τους βασικούς τρόπους μείωσης της Ενεργειακής κατανάλωσης, αποτελεί η μείωση της ενεργειακής ζήτησης του κτηρίου.

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτηρίων αποτελείται βασικά από δύο ειδών παρεμβάσεις. Το πρώτο, αποτελεί την παρέμβαση στα παθητικά συστήματα ενός σπιτιού, δηλαδή το κέλυφος του κτηρίου. Το δεύτερο είδος παρέμβασης ενεργειακής αναβάθμισης στα κτήρια, αποτελούν οι δράσεις εξοικονόμησης στα συστήματα που λειτουργούν στο κτήριο, όπως η θέρμανση, ο κλιματισμός, ο φωτισμός κ.α.

1.3.1 Επεμβάσεις στο κέλυφος του κτηρίου

Οι επεμβάσεις Ενεργειακής αναβάθμισης, που στόχο έχουν τη μείωση της Ενεργειακής ζήτησης ενός κτηρίου, αποτελούν μία πολύ σημαντική και παράλληλα δύσκολη παρέμβαση.

Η δυσκολία αυτή, έγκειται στο γεγονός ότι από τη μία σε πολλές περιπτώσεις υφιστάμενων κτηρίων είναι αδύνατη η ουσιαστική παρέμβαση στο κέλυφος, όπως για παράδειγμα η εξωτερική θερμομόνωση και από την άλλη το μεγάλο κόστος των επεμβάσεων στο κέλυφος του κτηρίου. Για αυτόν το λόγο, έχουν υπάρξει προγράμματα απευθείας επιδότησης αυτών των παρεμβάσεων ή αποπληρωμή τους μέσω της εξοικονόμησης της ενέργειας, χρησιμοποιώντας Συμβάσεις Ενεργειακής Απόδοσης (Σ.Ε.Α).

Οι βασικές παρεμβάσεις στο κέλυφος του κτηρίου, περιγράφονται στις παρακάτω ενότητες.

1.3.1.1 Θερμομόνωση δομικών στοιχείων

Η θερμομόνωση των δομικών στοιχείων, περιλαμβάνει την τοποθέτηση υλικών θερμομόνωσης, τόσο στην εξωτερική τοιχοποιία, όσο και στο δάπεδο και την οροφή.

Από τα στοιχεία για το Κτηριακό Απόθεμα της Ελλάδας, προκύπτει ότι η συντριπτική πλειονότητα των κτηρίων έχει κατασκευαστεί την περίοδο του 1960-80, δηλαδή πριν από την εφαρμογή του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτηρίων (ΚΘΚ). Επομένως, η τοποθέτηση θερμομόνωσης στα δομικά στοιχεία έχει μεγάλη σημασία στην ενεργειακή αναβάθμιση των κτηρίων.

Ο βασικός στόχος της θερμομόνωσης εν γένει, είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση της διαφυγής της θερμικής ενέργειας (απώλειες) από τους χώρους του κτηρίου, προς την ατμόσφαιρα ή όμορους ψυχρότερους χώρους.

Παράλληλα, η σωστή θερμομόνωση πετυχαίνει την ισορροπία του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπινου σώματος χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις, την εξοικονόμηση ενέργειας από τον κλιματισμό και θέρμανση του κτηρίου, καθώς και την ηχομόνωση του.

Με βάση τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων (ΚΕνΑΚ), τα δομικά στοιχεία του κτηρίου επιβάλλεται να ικανοποιούν συγκεκριμένα όρια του συντελεστή θερμοπερατότητας. Για να επιτευχθούν αυτές οι χαμηλές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων, χρειάζεται η τοποθέτηση θερμομόνωσης.

Πιν. 1.3 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,55	0,45	0,40	0,35
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20

Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,10	1,90	1,75	1,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	3,80	3,40	3,00	2,80

Γενικώς, οι θερμικές απώλειες ενός κτηρίου εξαρτώνται από το κλίμα της περιοχής, τον προσανατολισμό του κτηρίου, την κτηριακή επιφάνεια, την θερμοπερατότητα των δομικών στοιχείων και άλλους παράγοντες όπου όμως τα δομικά στοιχεία έχουν καθοριστικό ρόλο.

Ένας από τους βασικούς λόγους που αποφεύγεται η τοποθέτηση ή ενίσχυση υφιστάμενης θερμομόνωσης, είναι το κόστος κατασκευής. Το κόστος αυτό, πρέπει να συγκρίνεται βέβαια με τη μείωση του κόστους θέρμανσης και ψύξης που προκύπτει από την θερμομόνωση και πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον τους τόκους και την απόσβεση της κατασκευαστικής δαπάνης. Απόρροια αυτού του μεγάλου κόστους κατασκευής, είναι η μεγάλη περίοδος αποπληρωμής σε σχέση με άλλες παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης, όπου όμως εάν συνδυαστούν για παράδειγμα με την αντικατάσταση των συστημάτων κλιματισμού και θέρμανσης, η νέα διαστασιολόγηση θα προσφέρει μεγαλύτερα ποσά εξοικονόμησης ενέργειας.

1.3.1.2 Αντικατάσταση κουφωμάτων

Μία από τις βασικές παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στον κτηριακό τομέα, είναι η αντικατάσταση των παλιών κουφωμάτων με νέα υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλού συντελεστή θερμοπερατότητας. Ιδίως στα μεγάλα κτήρια, όπου το ποσοστό των ανοιγμάτων επί των αδιαφανών επιφανειών είναι μεγάλο, η αντικατάσταση των κουφωμάτων μειώνει δραστικά την ενεργειακή ζήτηση του κτηρίου.

Επιπλέον, στο ελληνικό κλίμα, δηλαδή της μεγάλης ηλιακής ακτινοβολίας, τα θερμικά χαρακτηριστικά των διαφανών επιφανειών έχουν μεγάλη επίπτωση στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτηρίου. Επομένως, η σωστή επιλογή τους και ο χαμηλός συντελεστής θερμοπερατότητας συμβάλλει στην μείωση των αναγκών ενός κτηρίου σε ενέργεια.

Στην αγορά πλέον υπάρχει πληθώρα επιλογών κουφωμάτων με θερμομονωτικά πλαίσια με διπλούς και τριπλούς υαλοπίνακες, θερμοδιακοπτόμενα ή μη κ.α. Στα παλιά κτήρια, συνήθως χρησιμοποιούνταν ξύλινα ή μεταλλικά πλαίσια μονών υαλοπινάκων, τα οποία λόγω του υψηλού συντελεστή θερμοπερατότητας του κουφώματος είχαν μεγάλες απώλειες θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον.

1.3.1.3 Μείωση φορτίων θερμογεφυρών

Οι θερμογέφυρες αποτελούν σημαντική πηγή θερμικών απωλειών σε ένα κτήριο, οι οποίες χρειάζεται να προβλέπονται και να αντιμετωπίζεται κατά την κατασκευή ενός νέου κτηρίου. Η ανομοιομορφία στα πάχη των τοίχων ή των δομικών στοιχείων, καθώς και η λανθασμένη τοποθέτηση των κουφωμάτων, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των φορτίων των θερμογεφυρών και άρα αύξηση των θερμικών απωλειών των κτηρίων.

Η αποφυγή όλων των θερμογεφυρών σε μία κατασκευή πρακτικά δεν είναι δυνατή, μπορεί όμως ακόμα και σε υπάρχουσες κατασκευές να αντιμετωπιστεί με πληθώρα μέτρων, όπως η σωστή συνεχής εξωτερική μόνωση του κτηρίου, επανασχεδίαση και μετακίνηση των κουφωμάτων και άλλα μέτρα περιορισμού των θερμογεφυρών, μειώνοντας τελικά τις απώλειες του κτηρίου.

1.3.2 Επεμβάσεις στα Ενεργητικά συστήματα

Στις παραπάνω υποενότητες, έγινε αναφορά στις παρεμβάσεις που αφορούν στις επεμβάσεις κελύφους ενός κτηρίου κατά την ενεργειακή αναβάθμισή του. Αυτές οι επεμβάσεις, έχουν ως αποτέλεσμα την ουσιαστική μείωση των θερμικών και ψυκτικών αναγκών του κτηρίου προκειμένου να επικρατούν συνθήκες θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του. Οι προσδοκίες ενός σύγχρονου κτηρίου, οφείλει να περιλαμβάνει την απαραίτητη θερμική άνεση και ποιότητα του αέρα που επηρεάζουν πληθώρα παραγόντων όπως την υγεία, την παραγωγικότητα, την ευθυμία κ.α. Κατά την ενεργειακή αναβάθμιση, η ορθή εφαρμογή των παραπάνω παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας και η όσο το δυνατό μικρότερη ενεργειακή ζήτηση του κτηρίου, θα οδηγήσει και στην ορθότερη και πιο μικρή διαστασιολόγηση των ενεργητικών συστημάτων που θα τοποθετηθούν στο κτήριο.

Τα ενεργητικά συστήματα που εφαρμόζονται στον κτηριακό τομέα, αποτελούνται από τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού, αερισμού, φωτισμού, παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης, Αυτοματισμοί και Συστήματα Ελέγχου και παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Στόχος των παραπάνω συστημάτων, είναι να επιτύχουν

συνθήκες άνεσης στους παρευρισκόμενους εντός των χώρων των κτηρίων. Ο βέλτιστος σχεδιασμός των συστημάτων αυτών στα πλαίσια της ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου, οφείλει να χρησιμοποιεί σύγχρονα συστήματα υψηλής ενεργειακής απόδοσης, χαμηλής εγκατεστημένης ισχύος, εφαρμόζοντας τις διεθνείς καλές πρακτικές. Παράλληλα με τα υψηλής ενεργειακής απόδοσης συστήματα, είναι πλέον ευρέως διαδεδομένη η χρήση Συστημάτων Ελέγχου και Αυτοματισμών για τον έλεγχο και τη λειτουργία όλων των παραπάνω συστημάτων. Η χρήση των παραπάνω συστημάτων, σε συνδυασμό με την χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας όπως Φωτοβολταϊκά συστήματα, Γεωθερμία κ.α. οδηγεί σε πλέον πολύ χαμηλής έως μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης κτήρια.

1.3.2.1 Συστήματα Θέρμανσης, Ψύξης, Αερισμού και Κλιματισμού

Τα Συστήματα αυτά, όπως περιεγράφηκαν παραπάνω, αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία για τη καθημερινή λειτουργία του κτηρίου. Οι σύγχρονες τεχνολογίες και η αύξηση της απόδοσής τους αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες στα κτήρια Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης και η χρήση αυτών των συστημάτων προβλέπεται να αυξηθεί ραγδαία τα επόμενα χρόνια στα πλαίσια της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και τη μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας.

Τα παραπάνω συστήματα, αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία ως συστήματα HVAC (αρκτικόλεξο), όπου το “H” αντιπροσωπεύει τη Θέρμανση, το “V” τον Εξαερισμό και το “AC” τον Κλιματισμό, στον οποίο περιλαμβάνεται η Ψύξη. Υπολογίζεται ότι το ποσοστό της συνολικής ενεργειακής χρήσης ενός κτηρίου που αποδίδεται στη λειτουργία των Συστημάτων HVAC για χώρους γραφείων είναι περίπου το 30-40%. Αυτό το μεγάλο ποσοστό, καταδεικνύει την αναγκαιότητα του σωστού σχεδιασμού αυτών των Συστημάτων τόσο για την κατανάλωση του κτηρίου στο οποίο τοποθετούνται αλλά και σε εθνικό επίπεδο, καθώς αποτελούν έναν από τους βασικούς παράγοντες που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.3.2.2 Συστήματα τεχνητού φωτισμού

Ο τεχνητός φωτισμός ενός κτηρίου και ειδικά γραφείων-δηλαδή ανάγκη υψηλών επιπέδων φωτισμού για τους χώρους των γραφείων, αποτελεί από τα σημαντικότερα φορτία του ενεργειακού ισοζυγίου. Ο σωστός σχεδιασμός και διαστασιολόγηση του Συστήματος φωτισμού των χώρων ανάλογα τις ανάγκες του (χρήση, εμβαδό κλπ.), αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποφυγή περιττών καταναλώσεων ενέργειας. Σε δεύτερο στάδιο, η χρήση λαμπτήρων υψηλής ενεργειακής απόδοσης, με χαμηλές απώλειες και σωστή διάχυση του φωτός στις επιφάνειες ενδιαφέροντος είναι από τα βασικά χαρακτηριστικά σύγχρονων κτηρίων χαμηλής ενεργειακής απόδοσης. Τέλος και εξίσου σημαντικό με τα προηγούμενα που συμβάλλει στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για το σύστημα

φωτισμού, είναι η εφαρμογή Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου. Τα Συστήματα αυτά, τα οποία μπορεί να είναι από πολύ απλά, όπως αισθητήρας παρουσίας έως πιο περίπλοκα Συστήματα, όπως αισθητήρας ρύθμισης φωτεινής ροής και αυτόματης σύζευξης-προσαρμογής φυσικού και τεχνητού φωτισμού, προκειμένου να επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Όλα τα παραπάνω συνδυαστικά έχουν πολύ μεγάλη επίδραση στη συνολική ενεργειακή αποδοτικότητα του κτηρίου. Σήμερα, η τεχνολογία των λαμπτήρων LED εξελίσσεται με ταχείς ρυθμούς και αποτελεί πλέον μία από τις βασικές τεχνολογίες στην ενεργειακή αναβάθμιση κτηρίων και ειδικά μεγάλου όγκου. Η κατανάλωσή τους και ειδικότερα σε σύγκριση με λαμπτήρες φθορισμού που είναι οι συνηθέστεροι σήμερα, είναι πλέον πολύ μικρή λόγω της υψηλής αποδοτικότητάς τους. Πιο συγκεκριμένα, η ισχύς φωτισμού που αποδίδουν είναι πολύ μεγαλύτερη ανά εγκατεστημένη ισχύ του λαμπτήρα, δηλαδή χρειάζεται χαμηλότερη εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού για την επίτευξη του ίδιου αποτελέσματος. Ακόμη, η χρήση driver και όχι ballast σε σχέση με τους λαμπτήρες φθορισμού μειώνει δραστικά τις απώλειες του φωτιστικού. Τέλος, οι σύγχρονες τεχνολογίες έχουν αυξήσει σε μεγάλο βαθμό τη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων συμβάλλοντας έτσι στη συνολική εξοικονόμηση πόρων.

1.4 Επιστημονικό ερώτημα

Με βάση και τα παραπάνω η ενεργειακή αναβάθμιση τόσο των ιδιωτικών όσο και των δημοσίων κτηρίων είναι μείζονος σημασίας για την ενεργειακή μετάβαση και τον εξορθολογισμό των καταναλώσεων των κτηρίων του τριτογενούς τομέα. Στην παρούσα εργασία αναλύεται η μελέτη ενεργειακής αναβάθμισης ενός κτηρίου MME και πιο συγκεκριμένα τα στάδια της μελέτης που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

- Ποια είναι τα βασικά στοιχεία του κτηρίου που χρειάζονται για την μελέτη;
- Ποιες οι ενεργειακές καταναλώσεις της υπάρχουσας κατάστασης;
- Ποιες ενεργειακές επεμβάσεις μπορούν να εφαρμοστούν;
- Πώς μοντελοποιείται το υπό μελέτη κτήριο με κατάλληλο πρόγραμμα προσομοίωσης και πόσο ακριβής είναι η εκτίμηση των φορτίων αυτού;
- Πόσο ανταγωνιστικές είναι οι προτεινόμενες ενεργειακές επεμβάσεις;

4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΤΗΡΙΟΥ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το κτήριο αποτελεί κτήριο τριτογενούς τομέα και συγκεκριμένα Μέσων Μαζικής Ενημέρωσης. Αποτελεί ένα κτήριο κατασκευασμένο στο τέλος της δεκαετία του 1970, χωρίς ιδιαίτερες αναβαθμίσεις έως σήμερα. Κατά συνέπεια, ο εξοπλισμός που διαθέτει είναι παλαιάς τεχνολογίας και επομένως χαμηλής ενεργειακής απόδοσης. Επιπλέον, λόγω των προσθηκών διαφόρων συστημάτων που έχουν εγκατασταθεί κατά καιρούς, όπως κλιματιστικές μονάδες διαιρούμενου τύπου, θερμάστρες κ.α. για τη αντιμετώπιση άμεσων αναγκών αλλά και λόγω της σχεδίασης εκείνης της εποχής, οι εγκαταστάσεις έχουν υπερδιαστασιολογηθεί, με αποτέλεσμα την περαιτέρω επιβάρυνση στην κατανάλωση ενέργειας.

Επομένως, από τα παραπάνω προκύπτει ότι υπάρχουν σημαντικά περιθώρια για βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου, οι οποίες περιλαμβάνουν μέτρα τόσο μηδενικού/χαμηλού κόστους (“no/low cost”) όσο και αντίστοιχα μέσου ή υψηλού κόστους.

Λόγω της μη ύπαρξης διαθέσιμων πλήρως αναλυτικών ιστορικών στοιχείων τόσο επιμέρους καταναλώσεων όσο και στοιχείων λειτουργίας των εγκαταστάσεων, οι προτάσεις εξοικονόμησης διαμορφώνονται με βάση τα στοιχεία των αυτοψιών και την οπτική επιθεώρηση των εγκαταστάσεων αλλά και τη λήψη μετρήσεων για περιορισμένο χρονικό διάστημα, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Αντίστοιχα οι εκτιμήσεις του μεγέθους της αναμενόμενης εξοικονόμησης ενέργειας βασίζονται σε σημαντικό βαθμό στη διεθνή πρακτική και σε μικρότερο βαθμό σε στοιχεία που προκύπτουν από αναλυτικούς υπολογισμούς δεδομένης της έλλειψης αυτών.

Επομένως απαραίτητη προϋπόθεση για τον αναλυτικό προσδιορισμό και υπολογισμό των πιθανών εξοικονομήσεων, είναι η υλοποίηση συστήματος ενεργειακής διαχείρισης και παρακολούθησης το οποίο θα έχει δυνατότητα παρακολούθησης και καταγραφής των παραμέτρων λειτουργίας του κτηρίου.

Σημειώνεται ότι όλες οι παρακάτω δράσεις εξοικονόμησης που θα παρουσιαστούν έχουν συνδυαστικό και όχι αθροιστικό χαρακτήρα. Η αναμενόμενη δηλαδή εξοικονόμηση από κάθε δράση δεν αθροίζεται με τις υπόλοιπες για τον υπολογισμό της συνολικής εξοικονόμησης.

Για παράδειγμα, η αναβάθμιση του συστήματος κλιματισμού μπορεί να επιφέρει μια συγκεκριμένη εξοικονόμηση με ένα αντίστοιχο κόστος· αν όμως συνδυαστεί με την αναβάθμιση του κελύφους τότε το αρχικό κόστος υλοποίησης της αναβάθμισης του συστήματος κλιματισμού θα μειωθεί, ενώ θα αλλάξει και το ποσοστό εξοικονόμησης το

οποίο θα υπολογιστεί ως προς τις μειωμένες απαιτήσεις θέρμανσης-ψύξης μετά την αναβάθμιση του κελύφους.

4.1 Εγκατάσταση Συστήματος Ενεργειακής Διαχείρισης (BEMS)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η εγκατάσταση συστήματος ενεργειακής διαχείρισης είναι βασική προϋπόθεση για την ανάδειξη, τον υπολογισμό και την παρακολούθηση των προτάσεων ενεργειακής εξοικονόμησης. Το υφιστάμενο κτήριο δε διαθέτει κάποιο σύστημα αυτομάτου ελέγχου (BMS). Ως εκ τούτου προτείνεται η εγκατάσταση ενός κεντρικού συστήματος ενεργειακής παρακολούθησης (EMS) σε συνδυασμό με σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου των βασικών εγκαταστάσεων (BMS) τα οποία θα συνδυαστούν σε ένα ενιαίο σύστημα ενεργειακής διαχείρισης (BEMS).

Το σύστημα ενεργειακής παρακολούθησης θα περιλαμβάνει την εγκατάσταση μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας σε βασικές χρήσεις του κτηρίου (ψύκτες, πύργοι ψύξης, αντλίες, ΚΚΜ, στούντιο κλπ.). Αντίστοιχα, θα παρακολουθούνται και θα ελέγχονται οι εγκαταστάσεις κλιματισμού (θερμοκρασίες νερού και αέρα, λειτουργία ανεμιστήρων και αντλιών, επικοινωνία με τους λέβητες και τους ψύκτες) και του φωτισμού (έλεγχος του φωτισμού ανά ζώνες). Η εγκατάσταση BEMS θα δίνει τη δυνατότητα της πλήρους ενεργειακής παρακολούθησης του κτηρίου μέσω της καταγραφής από τους μετρητές αλλά και των παραμέτρων λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

Ο συνδυασμός των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου (BMS) και ενεργειακής διαχείρισης (EMS) σε ένα ενιαίο σύστημα (BEMS) διαθέτει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. *Ενιαίες συσκευές και αισθητήρια παρακολούθησης και ελέγχου*

Πολλές από τις συσκευές και αισθητήρια που χρησιμοποιούνται για τον αυτόματο έλεγχο των εγκαταστάσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την ενεργειακή διαχείριση, καταγράφοντας τα στοιχεία λειτουργίας προκειμένου αφενός να μπορεί να αποτυπωθεί η απόδοση λειτουργίας ενός εξοπλισμού και αφετέρου να μπορούν να διερευνηθούν προτάσεις βελτίωσης του τρόπου λειτουργίας. Για παράδειγμα η μέτρηση της θερμοκρασίας προσαγωγής και επιστροφής σε μία μονάδα Close Control Unit είναι απαραίτητη για τον αυτόματο έλεγχο του κλιματισμού, ωστόσο παράλληλα μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες σε σχέση με τη λειτουργία της μονάδας.

2. *Αλληλεπίδραση των δύο συστημάτων*

Μέσω του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης και των ενεργειακών δεικτών που θα υπολογιστούν άμεσα, αλλά και αργότερα μέσω της εκμάθησης του τρόπου λειτουργίας των εγκαταστάσεων, θα υπάρχει η δυνατότητα δυναμικής ρύθμισης των παραμέτρων λειτουργίας προκειμένου να επιτευχθεί περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας.

3. Δημιουργία λειτουργικών και ενεργειακών συναγερμών-ειδοποιήσεων

Μέσω της καταγραφής και της εκμάθησης του προφίλ λειτουργίας των εγκαταστάσεων, δίνεται η δυνατότητα να αποστέλλονται συναγερμοί κάθε φορά που μια συσκευή δεν παρουσιάζει «φυσιολογική» συμπεριφορά. Το γεγονός αυτό, πέραν της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας, βοηθάει και στην επιμήκυνση του χρόνου ζωής των εγκαταστάσεων, δεδομένου ότι προλαμβάνονται αστοχίες στη λειτουργία του εξοπλισμού.

4. Μέτρηση και παρακολούθηση εξοικονομήσεων

Μέσω της ενεργειακής διαχείρισης θα είναι δυνατή η μέτρηση και επαλήθευση της αναμενόμενης εξοικονόμησης, ενώ παράλληλα θα υπάρχει η δυνατότητα βελτιώσεων μέσω πρόσθετων ρυθμίσεων στους αυτοματισμούς. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να εξακριβωθεί με ακρίβεια η πραγματική εξοικονόμηση ενέργειας.

Η εγκατάσταση ενός συστήματος BEMS επομένως, έχει σκοπό να λειτουργήσει ως το υπόβαθρο για διερεύνηση μελλοντικών προτάσεων εξοικονόμησης, ενώ παράλληλα αποτελεί και την προϋπόθεση για υλοποίηση σημαντικού αριθμού προτάσεων, όπως θα παρουσιαστεί και παρακάτω στα υπόλοιπα μέτρα.

Μέσω του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης θα υπάρχει η δυνατότητα της παρακολούθησης της λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Σκοπός της παρακολούθησης αυτής είναι η βελτιστοποίηση στον τρόπο λειτουργίας τους μέσω διαδικασιών όπως:

i. Βελτιστοποίηση έναρξης/παύσης συστημάτων και μονάδων

Μέσω της παρακολούθησης των θερμοκρασιών στους χώρους του κτηρίου και του περιβάλλοντος θα δημιουργηθεί αλγόριθμος ελέγχου με τον οποίο θα ελέγχεται ο χρόνος έναρξης και παύσης της λειτουργίας των μονάδων που εξυπηρετούν κάθε ομάδα χώρων με βάση το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του χώρου, ώστε να επιτυγχάνονται οι βέλτιστες συνθήκες άνεσης.

ii. Έλεγχος παραμενόντων φορτίων

Θα καθορισθούν χρονοδιαγράμματα λειτουργίας για τις εγκαταστάσεις και θα υπάρχει δυνατότητα κεντρικής παύσης λειτουργίας, ώστε να περιοριστεί στο ελάχιστο η λειτουργία εγκαταστάσεων τις ώρες και ημέρες μη λειτουργίας των χώρων με διακοπόμενη λειτουργία. Ειδικά για χώρους όπως τα στούντιο και τα γραφεία, η λειτουργία αυτή, πρόκειται να μειώσει αρκετά την περιττή κατανάλωση ενέργειας.

iii. Αλληλουχία ψυκτών και λεβήτων

Θα υπάρχει έλεγχος με βάση τη ζήτηση του φορτίου, όπως αυτή θα ελέγχεται από τις θερμοκρασίες προσαγωγής και επιστροφής των δικτύων, για τον αριθμό αλλά και τη στάθμη λειτουργίας των ψυκτών και λεβήτων.

Η εγκατάσταση του συστήματος BEMS περιλαμβάνει την εγκατάσταση των μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας στις καταναλώσεις των χρήσεων ενδιαφέροντος, την εγκατάσταση όλων των αισθητηρίων, ενεργοποιητών, μονάδων επικοινωνίας, ελεγκτών και λοιπού εξοπλισμού για τον έλεγχο των εγκαταστάσεων ενδιαφέροντος.

Αναλυτικά οι εγκαταστάσεις που θα ελέγχει το σύστημα BEMS είναι:

- Ψύκτες
- Λέβητες
- Συστήματα VRV
- Αντλίες πρωτεύοντος και δευτερεύοντος δικτύου και οι αντίστοιχοι συλλέκτες
- ΚΚΜ
- Πύργοι ψύξης και οι αντίστοιχες αντλίες
- Θερμοκρασίες ειδικών χώρων όπως τα στούντιο
- Φωτισμός στούντιο
- Φωτισμός λοιπών χώρων (σε ζώνες)

4.2 Αναβάθμιση Κτηριακού Κελύφους

Το κτήριο είναι κατασκευής προ της εφαρμογής του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτηρίων (ΚΘΚ) 1980 και συνεπώς όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, όλο το κελύφος του είναι αμόνωτο και τα κουφώματα είναι αλουμινίου χωρίς θερμοδιακοπή και με μονό τζάμι. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικές θερμικές απώλειες.

Προτείνεται η αναβάθμιση του κτηριακού κελύφους για περιορισμών των απωλειών αυτών και συγκεκριμένα:

- Εγκατάσταση εξωτερικής θερμοπρόσοψης σε όλες τις εξωτερικές όψεις του κτηρίου και μόνωση όλων των δωματίων
- Αντικατάσταση όλων των κουφωμάτων

Οι παραπάνω παρεμβάσεις θα μειώσουν σημαντικά τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου, το οποίο είναι το βασικό ζητούμενο πριν από οποιαδήποτε άλλη δράση για μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων.

Παρακάτω αναλύονται διεξοδικά οι προτάσεις αυτές αναβάθμισης του κτηριακού κελύφους.

4.2.1 Εγκατάσταση εξωτερικής θερμοπρόσοψης και μόνωση δωματίων

Προτείνεται η εγκατάσταση εξωτερικής θερμοπρόσοψης σε όλες τις εξωτερικές όψεις του κτηρίου. Το πάχος του μονωτικού υλικού θα καθορισθεί από τη μελέτη με βάση την καλύτερη σχέση κόστους-οφέλους, ενώ σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι θα ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του ΚΕνΑΚ 2017 για τη μέγιστη τιμή θερμοπερατότητας σε ριζική ανακαίνιση κτηρίων.

Επιπλέον προτείνεται και η μόνωση του δώματος με σύστημα τύπου ανεστραμμένης μόνωσης. Το πάχος του μονωτικού υλικού θα προκύψει αντίστοιχα, όπως στην περίπτωση των κατακόρυφων δομικών στοιχείων.

4.2.2 Αντικατάσταση όλων των κουφωμάτων

Προτείνεται η αντικατάσταση όλων των υφιστάμενων κουφωμάτων με νέα υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Τα νέα κουφώματα θα είναι αλουμινίου με θερμοδιακοπή, δίδυμο υαλοπίνακα με αέριο πλήρωσης και επίστρωση με μεμβράνη για μείωση των φορτίων που προκύπτουν από την ηλιακή ακτινοβολία.

4.3 Αντικατάσταση Φωτιστικών

Προτείνεται η αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων τόσο στα στούντιο όσο και στους υπόλοιπους χώρους γραφείων και κοινόχρηστων χώρων, με νέα τεχνολογίας LED. Ο ακριβής αριθμός, τύπος και θέση των νέων φωτιστικών σωμάτων θα προκύψει κατόπιν φωτοτεχνικής μελέτης και όχι με αντικατάσταση ένα προς ένα καθώς ενδέχεται να υπάρξει διαστασιολόγηση χωρίς την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός.

Για τη φωτοτεχνική μελέτη θα ληφθούν υπόψη οι επιθυμητές στάθμες φωτισμού και θάμβωσης όπως ορίζονται στον ΚΕνΑΚ, αλλά και με δυνατότητα εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού με κατάλληλη διάταξη των κυκλωμάτων ελέγχου.

Επιπλέον στους αυτόνομους χώρους γραφείων και τις αίθουσες συσκέψεων θα τοποθετηθούν ανιχνευτές κίνησης μέσω των οποίων θα επιτυγχάνεται ο έλεγχος του φωτισμού σε περίπτωση απουσίας ατόμων από το χώρο.

4.4 Αναβάθμιση Εγκατάστασης Κλιματισμού

Η εγκατάσταση κλιματισμού του κτηρίου έχει ξεπεράσει κατά πολύ τη διάρκεια ζωής της και επομένως χρήζει αναβάθμισης. Παράλληλα, η λειτουργία των μονάδων διαιρούμενου τύπου και η ποικιλία των συστημάτων κλιματισμού, χρειάζεται να μετριάσει. Συγκεκριμένα προτείνεται:

- Η αντικατάσταση των αντλιών και των ΚΚΜ
- Η εγκατάσταση νέων ψυκτών με δυνατότητα ανάκτησης θερμότητας
- Η εγκατάσταση συστοιχίας επίτοιχων λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Η αντικατάσταση των δευτερευόντων δικτύων σωληνώσεων και αεραγωγών.

Όλες οι παραπάνω παρεμβάσεις έχουν σημαντική αλληλεπίδραση τόσο μεταξύ τους, όσο και με άλλες προτάσεις που έχουν αναφερθεί στην ενότητα αυτή. Επομένως για την τελική διαστασιολόγηση του νέου εξοπλισμού θα πρέπει να εκπονηθεί μελέτη από την οποία θα προκύψουν τα ενδεδειγμένα μεγέθη.

Παρακάτω αναλύονται διεξοδικά οι παραπάνω προτάσεις αναβάθμισης της εγκατάστασης κλιματισμού.

4.4.1 Αντικατάσταση αντλιών και ΚΚΜ

Όλοι οι χώροι του κτηρίου, κλιματίζονται μόνο από τον προσαγόμενο κλιματιζόμενο αέρα, όπως αναλυτικά περιγράφεται σε προηγούμενη ενότητα. Όλες οι ΚΚΜ και οι αντλίες προσαγωγής θερμού και ψυχρού νερού είναι παλαιάς τεχνολογίας και χαμηλής ενεργειακής απόδοσης.

Προτείνεται η αντικατάσταση όλων των ΚΚΜ και των αντλιών με νέες σύγχρονης τεχνολογίας, υψηλής απόδοσης με ενεργειακή σήμανση και διάταξη ρύθμισης στροφών (inverter).

Αναλυτικά όλες οι νέες ΚΚΜ θα διαθέτουν ανεμιστήρα προσαγωγής και επιστροφής με inverter, διπλό κιβώτιο ανάμιξης με ηλεκτροκίνητα διαφράγματα και διπλά στοιχείου θερμού-ψυχρού νερού. Επιπλέον θα εγκατασταθούν νέες δίοδες αναλογικές βάνες στο δίκτυο νερού κάθε στοιχείου. Μέσω του BEMS θα υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου και καταγραφής των παρακάτω σημείων:

- Εντολή και επιβεβαίωση λειτουργίας των ανεμιστήρων και ρύθμιση των inverters
- Ρύθμιση της θέσης των διαφραγμάτων του διπλού κιβωτίου ανάμιξης (νωπός - ανακυκλοφορία)
- Θερμοκρασία αέρα επιστροφής και λήψης νωπού αέρα

- Θερμοκρασία προσαγωγής και επιστροφής νερού σε κάθε στοιχείο και έλεγχος της δίοδης βάννας του στοιχείου
- Έλεγχος ποιότητας αέρα (συγκέντρωση CO₂) μέσω αισθητηρίου στην επιστροφή του αέρα.

Οι νέες αντλίες θα είναι υψηλής απόδοσης με ενσωματωμένο ή εξωτερικό inverter με δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου των στροφών της αντλίας. Μέσω του BEMS θα υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου και καταγραφής των παρακάτω σημείων:

- Εντολή και επιβεβαίωση λειτουργίας των αντλιών
- Έλεγχος της διαφορικής πίεσης κάθε αντλίας
- Ρύθμιση του inverter κάθε αντλίας

Η αναμενόμενη εξοικονόμηση θα προκύψει τόσο από τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης των νέων κινητήρων αλλά και τον έλεγχο λειτουργίας τους μέσω του BEMS. Συγκεκριμένα προβλέπεται:

- Έλεγχος της θερμοκρασίας προσαγωγής ή/και της παροχής αέρα στους χώρους ανάλογα με τη ζήτηση φορτίου (θερμοκρασία επιστροφής και ρυθμός μεταβολής της)
- Έλεγχος της παροχής του αέρα και της θέσης των διαφραγμάτων ανάλογα με την ποιότητα αέρα στην επιστροφή.
- Έλεγχος των στροφών λειτουργίας των αντλιών δευτερεύοντος με βάση τη ζήτηση (διαφορική πίεση ή/και θέση διόδων βανών στοιχείων)
- Έλεγχος των στροφών λειτουργίας των αντλιών πρωτεύοντος και αντλιών πύργων ψύξης με βάση τη ζήτηση (διαφορική πίεση και διαφορική θερμοκρασία)

4.4.2 Εγκατάσταση Ψυκτών με Ανάκτηση Θερμότητας

Οι υφιστάμενοι ψύκτες είναι παλαιάς τεχνολογίας και επιπλέον, όπως διαπιστώθηκε από τις αναλύσεις, υπερδιαστασιοποιημένοι σε σχέση με τις απαιτήσεις ψύξης. Ειδικότερα, με το συνδυασμό της μείωσης των ψυκτικών φορτίων λόγω βελτίωσης του κελύφους, η υπερδιαστασιολόγηση θα είναι ακόμα μεγαλύτερη και επομένως ο βαθμός απόδοσης αρκετά χαμηλός.

Προτείνεται η πλήρης αντικατάσταση των δύο ψυκτών με νέους, αρκετά μικρότερης ισχύος, και διατήρηση του τρίτου ψύκτη ως εφεδρεία. Οι νέοι ψύκτες θα είναι νερού - νερού, σύγχρονης τεχνολογίας, με ψυκτικό μέσο που θα πληροί τις επικείμενες αλλαγές στη νομοθεσία (π.χ. R32), τεχνολογίας κοχλιωτού (screw) ή σπειροειδή (scroll) και με ρύθμιση των στροφών του συμπιεστή (inverter).

Επιπλέον οι ψύκτες θα έχουν δυνατότητα ανάκτησης της θερμότητας στο συμπυκνωτή της μονάδας για ταυτόχρονη παραγωγή θερμού νερού. Η επιλογή αυτή θα χρησιμοποιείται κατά την περίοδο θέρμανσης όπου απαιτείται παραγωγή θερμού νερού για τη θέρμανση των χώρων και ταυτόχρονα ψύξη σε ειδικούς χώρους όπως τα στούντιο.

Παράλληλα, προτείνεται η εγκατάσταση δύο νέων αντίστοιχων πύργων ψύξης για τους νέους ψύκτες και ενός ακόμα για να καλύψει τους υφιστάμενους ψύκτες όταν απαιτηθεί να λειτουργήσουν, δεδομένου ότι οι υφιστάμενοι πύργοι ψύξης χρήζουν σε κάθε περίπτωση αντικατάστασης. Οι πύργοι ψύξης θα είναι σύγχρονοι, υψηλής απόδοσης, με ανεμιστήρες inverter. Θα εγκατασταθούν επίσης νέες σωληνώσεις και αντλίες για τη διασύνδεση των πύργων ψύξης με τους συμπυκνωτές των ψυκτών.

Επειδή όλοι οι χώροι του κτηρίου κλιματίζονται μέσω συστήματος αέρα, υπάρχει δυσκολία στον έλεγχο της λειτουργίας του κλιματισμού σε χώρους οι οποίοι κλιματίζονται με την ίδια ΚΚΜ. Η δυσκολία έγκειται στην έλλειψη ρύθμισης του αέρα σε κάθε χώρο ανάλογα με τις απαιτήσεις του και την αδυναμία παύσης της εγκατάστασης κλιματισμού σε χώρους τις ίδιας ζώνης που δε λειτουργούν. Σε συνδυασμό δε με την απουσία αποτύπωσης των οδεύσεων των αεραγωγών, σε κάποιες περιπτώσεις είναι αδύνατη και η όποια επέμβαση για βελτίωση της λειτουργίας.

Προτείνεται λοιπόν, σε ζώνες οι οποίες αποτελούνται από μεμονωμένους χώρους να τοποθετηθούν fan coils για την κάλυψη των απαιτήσεων θέρμανσης και ψύξης και οι νέες ΚΚΜ που θα εγκατασταθούν στα υφιστάμενα δίκτυα αεραγωγών να σχεδιαστούν μόνο για τις απαιτήσεις εξαερισμού των χώρων. Στις περιπτώσεις δε που δεν υπάρχουν οι διαθέσιμες οδεύσεις για τις σωληνώσεις νερού τροφοδοσίας των fan coils από το δίκτυο ψυχρού νερού, θα τοποθετηθούν αυτόνομα πολυδιαιρούμενα συστήματα απ' ευθείας εκτόνωσης μεταβλητής παροχής ψυκτικού μέσου (VRF) αντί των fan coils.

4.4.3 Εγκατάσταση συστοιχίας επίτοιχων λεβήτων συμπύκνωσης αερίου

Με δεδομένη αφενός τη μείωση των θερμικών απωλειών λόγω βελτίωσης του κελύφους αλλά και την κάλυψη μέρους αυτών από την ανάκτηση θερμότητας από το συμπυκνωτή των νέων ψυκτών, οι υφιστάμενοι λέβητες θα παρουσιάζουν πολύ μεγάλο συντελεστή υπερδιαστασιολόγησης και επομένως, σε συνδυασμό με την παλαιότητά τους, πολύ χαμηλή απόδοση.

Προτείνεται η εγκατάσταση μιας συστοιχίας επίτοιχων λεβήτων αερίου συμπύκνωσης, θερμικής ισχύος 100-120kW έκαστος, η οποία θα μπορεί να καλύπτει την απαίτηση θερμικής ισχύος της εγκατάστασης για τουλάχιστον το 95% της περιόδου θέρμανσης. Σε περίπτωση ακραία χαμηλών θερμοκρασιών (περίπου 5% της περιόδου θέρμανσης) και εφόσον απαιτηθεί, θα τίθεται σε λειτουργία και ένας εκ των υφιστάμενων λεβήτων για την κάλυψη των απαιτήσεων.

Τελικά, θα υπάρχουν δηλαδή τρεις πηγές θερμότητας στην εγκατάσταση. Η πρώτη, κατά σειρά προτεραιότητας στην αλληλουχία έναρξης-παύσης, θα είναι η ανάκτηση θερμότητας από τους νέους ψύκτες. Εφόσον αυτή δεν επαρκεί θα εκκινούν, σειριακά, οι επίτοιχοι λέβητες της συστοιχίας. Εφόσον, κατά την πλήρη λειτουργία της συστοιχίας, δεν καλύπτονται οι θερμικές απαιτήσεις θα εκκινεί και ο υφιστάμενος λέβητας.

Η παραπάνω διαδικασία ελέγχου εκκίνησης-παύσης κάθε συσκευής θα ελέγχεται από το σύστημα BEMS, το οποίο θα δίνει τις αντίστοιχες εντολές ανάλογα με το φορτίο. Παράλληλα, ανάλογα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας επιστροφής θα ρυθμίζει και τη θερμοκρασία προσαγωγής στο δίκτυο (αντιστάθμιση).

4.5 Εγκατάσταση Συστημάτων Α.Π.Ε.

Για περαιτέρω μείωση του ενεργειακού ισοζυγίου του κτηρίου προτείνεται η χρήση συστημάτων ΑΠΕ. Συγκεκριμένα προτείνεται

- Εγκατάσταση Φ/Β συστοιχίας
- Εγκατάσταση γεωθερμικού εναλλάκτη

Οι προτάσεις αυτές αναλύονται διεξοδικά παρακάτω.

4.5.1 Εγκατάσταση Φ/Β συστοιχίας

Προτείνεται η εγκατάσταση Φ/Β συστοιχίας στα ελεύθερα δώματα του κτηρίου και σε στέγαστρο που θα δημιουργηθεί στο χώρο στάθμευσης των οχημάτων. Ο ακριβής αριθμός και τύπος των Φ/Β πάνελ θα καθορισθεί από αντίστοιχη μελέτη, ώστε να καλύπτονται σε μέγιστο βαθμό οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας του κτηρίου. Θα γίνει χρήση του “net-metering”, δηλαδή εικονικός συμψηφισμός παραγωγής-κατανάλωσης.

4.5.2 Εγκατάσταση γεωθερμικού εναλλάκτη

Στο χώρο του οικοπέδου του κτηρίου υπάρχει εγκατεστημένη γεώτρηση. Προβλέπεται η εκμετάλλευση του νερού της γεώτρησης για την απαγωγή της θερμότητας των συμπυκνωτών των ψυκτών εναλλακτικά των πύργων ψύξης.

Για την ανάλυση της ποσότητας του νερού της γεώτρησης, θα εκπονηθεί μελέτη η οποία θα περιλαμβάνει:

- Την εγκατάσταση εναλλάκτη στο κύκλωμα του νερού του συμπυκνωτή των ψυκτών προς τους πύργους ψύξης. Στην άλλη πλευρά του εναλλάκτη θα διέρχεται το νερό από τη γεώτρηση.

- Τη δημιουργία νέας γεώτρησης για εκ νέου έγχυση του νερού στο έδαφος μετά τον εναλλάκτη.
- Τη δημιουργία πρόσθετων κατακόρυφων οπών και εγκατάσταση κατακόρυφων γεωεναλλακτών για τη συμπλήρωση της απαιτούμενης επιφάνειας για τη ψύξη του νερού συμπίκνωσης.

Η παραπάνω εγκατάσταση θα ελέγχεται και θα ρυθμίζεται από το σύστημα BEMS.

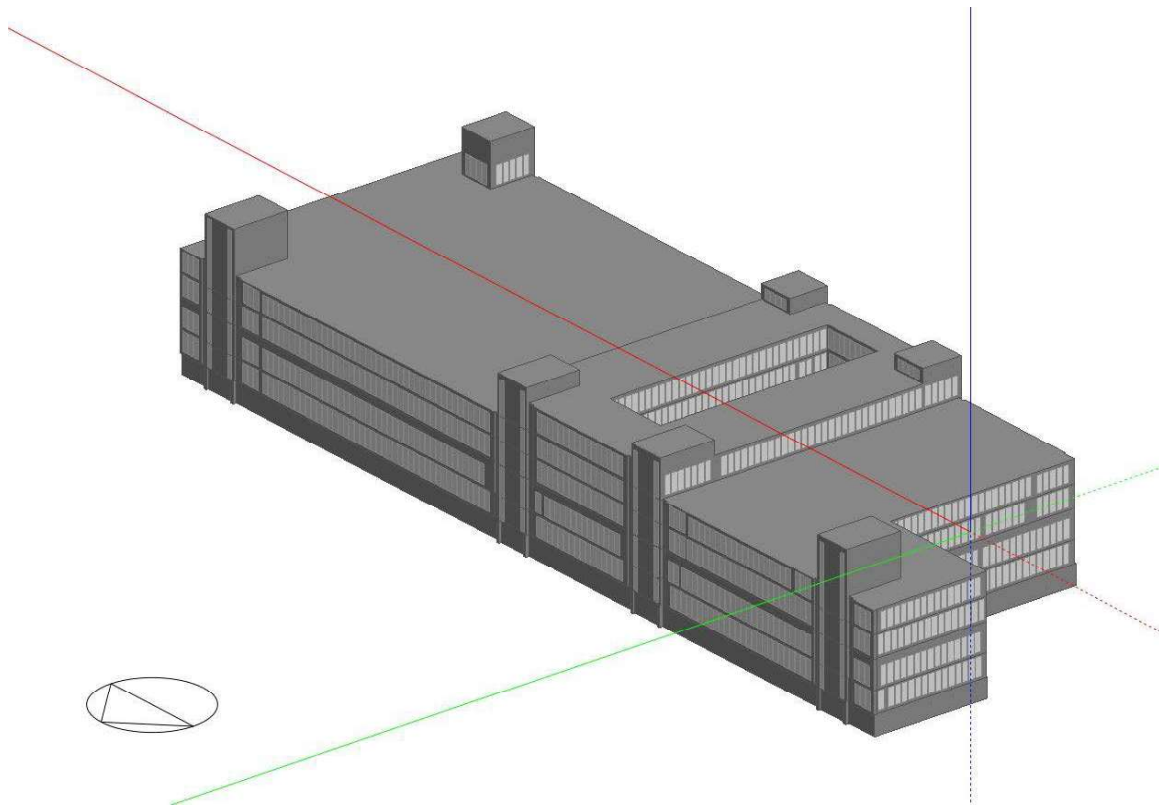
5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΗΡΙΟΥ DESIGNBUILDER

Για την καλύτερη ανάλυση και οπτικοποίηση της Μελέτης Ενεργειακής Αναβάθμισης του τηλεοπτικού σταθμού, το κτήριο μοντελοποιήθηκε στο περιβάλλον του λογισμικού του DesignBuilder.

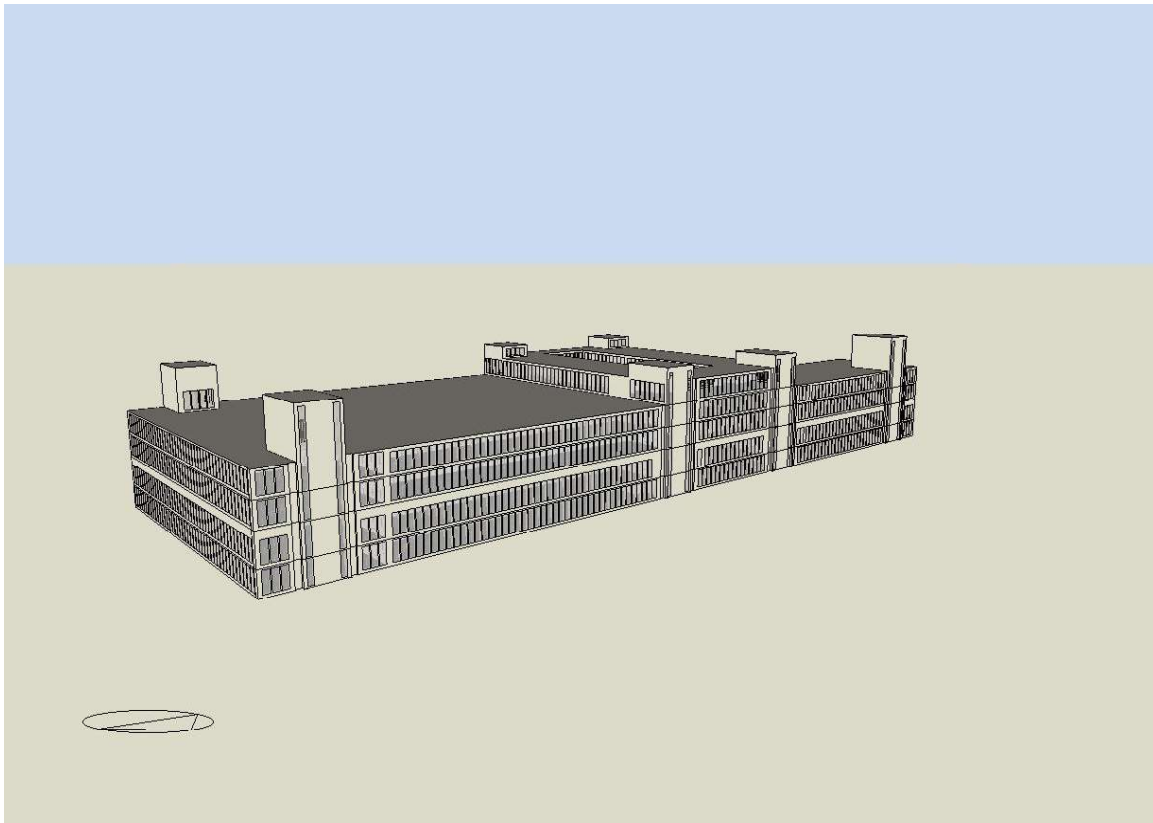
Στο περιβάλλον του προγράμματος, πραγματοποιήθηκε τόσο η τρισδιάστατη σχεδίαση του κτηρίου, όσο και η παραμετροποίηση της υφιστάμενης αλλά και της προτεινόμενης ενεργειακής αναβάθμισης.

5.1 Κατασκευή Γεωμετρίας

Η κατασκευή της γεωμετρίας του μοντέλου πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του λογισμικού, με βάση τις κατόψεις και τις τομές των ορόφων. Το μοντέλο που δημιουργήθηκε εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικ 5.1 Μοντέλο κτηρίου στο λογισμικό DesignBuilder



Εικ 5.2 Render μοντέλο κτηρίου στο λογισμικό DesignBuilder

5.2 Παραμετροποίηση

Κατά το στάδιο της παραμετροποίησης, ορίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του κτηρίου, που αφορούν στη λειτουργία των ζωνών, τα υλικά από τα οποία αποτελείται το κτήριο (διαφανείς και αδιαφανείς επιφάνειες), ο φωτισμός, τα συστήματα HVAC, καθώς και την πιθανή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εντός αυτού. Παρακάτω, αναλύονται οι βασικές κατηγορίες παραμετροποίησης.

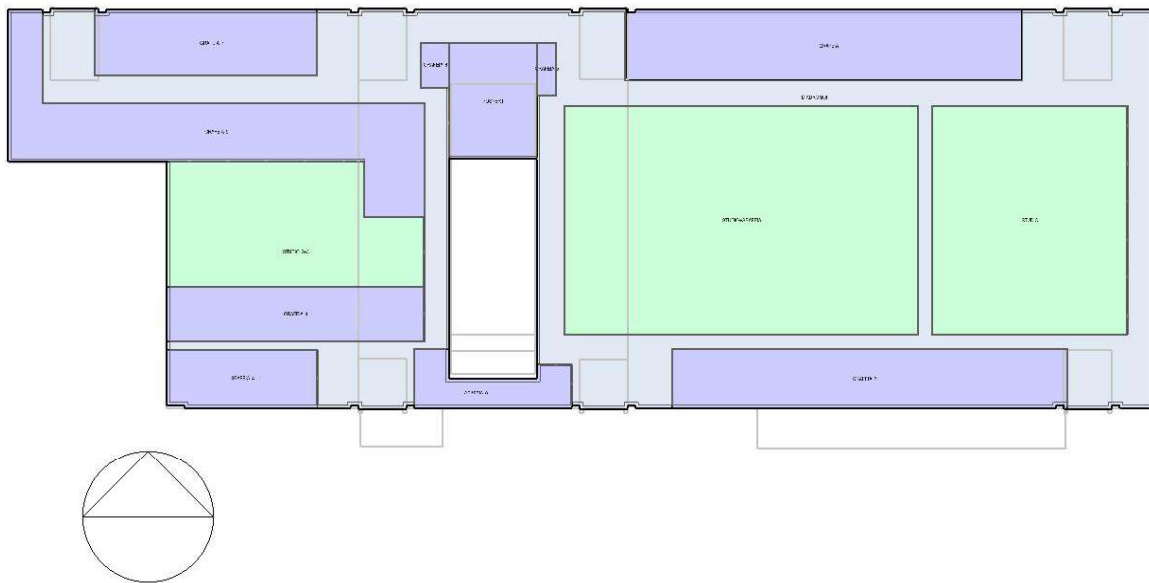
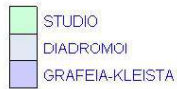
5.2.1 Χρήση ζώνης-Activity

Βασική προϋπόθεση για τον ορισμό των επιμέρους χρήσεων στους χώρους του κτηρίου, είναι η ταξινόμηση των χώρων σε ζώνες που έχουν κοινά χαρακτηριστικά λειτουργίας, κλιματισμού, ωραρίου κ.α. προκειμένου να ομαδοποιηθούν οι επιμέρους μικρότεροι χώροι, ειδικά σε κτήρια μεγάλου αριθμού χώρων -όπως το εξεταζόμενο.

Για το σκοπό αυτό, το κτήριο χωρίστηκε σε δέκα (10) βασικές χρήσεις:

- Χώροι γραφείων
- Ανοιχτοί χώροι γραφείων και διάδρομοι

- Εργαστήρια
- Κινηματογράφηση και επεξεργασία βίντεο
- Μακιγιάζ-αισθητική
- Κυλικείο
- Μηχανοστάσιο
- Στούντιο τηλεόρασης
- Στούντιο ραδιοφώνου
- Αποθήκες



Εικ 5.3 Ταξινόμηση χώρων σε ζώνες στον δεύτερο όροφο

Για τον καθορισμό της λειτουργίας των παραπάνω χώρων, το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα λεπτομερούς παραμετροποίησης των χρήσεων των ζωνών. Κατά την παραμετροποίηση, χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα που προσομοιώνουν τη χρήση των χώρων, όπως της ASHRAE 90.1 και 62.1-2007. Κάποια από τα στοιχεία που ορίστηκαν ήταν οι ώρες και οι ημέρες λειτουργίας της ζώνης, η πυκνότητα των ανθρώπων στον χώρο (άνθρωποι ανά τετραγωνικό μέτρο), επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας χώρου σε ψύξη και θέρμανση, ισχύς υπολογιστών, εξοπλισμός γραφείων και λοιπά φορτία. Συνολικά, σε όλους τους ορόφους, χρησιμοποιήθηκαν 54 ζώνες για την προσομοίωση των χώρων του κτηρίου.

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται ενδεικτικά χαρακτηριστικά των χώρων που ορίστηκαν για την χρήση τους.

Πιν. 5.1 Βασικά χαρακτηριστικά ζωνών κτηρίου

Ζώνες	Ωράριο λειτουργίας (Ημέρες/εβδομάδα-Ωρες/ημέρα)	Πυκνότητα ανθρώπων (άνθρωποι/m²)	Θερμοκρασία θέρμανσης/ψύξης (°C/°C)	Υπολογιστές (W/m²)	Εξοπλισμός γραφείων (W/m²)
Γραφεία	5 ημέρες 07:00-20:00	0,0538	20/26	5	7
Διάδρομοι	7 ημέρες 07:00-20:00	0,01	20/26	0	0
Εργαστήρια	5 ημέρες 07:00-18:00	0,25	20/26	5	0
Κινηματογράφηση	5 ημέρες 07:00-20:00	0,0538	20/26	7	7
Μακιγιάζ	7 ημέρες 07:00-20:00	0,2691	20/26	0	0
Κυλικείο	5 ημέρες 07:00-20:00	0.2153	20/26	0	0
Μηχανοστάσιο	5 ημέρες 07:00-18:00	0	Μη θερμαινόμενος	0	0
Στούντιο τηλεόρασης	7 ημέρες 07:00-18:00	0,1076	20/26	5	10
Στούντιο ραδιοφώνου	7 ημέρες 07:00-18:00	0,1076	20/26	5	10

Αποθήκες	5 ημέρες 07:00-18:00	0	Μη θερμαινόμενος	0	0
-----------------	-------------------------	---	---------------------	---	---

5.2.2 Κατασκευή-Construction

Στη συνέχεια, ορίζονται τα βασικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτηρίου. Πιο συγκεκριμένα, καθορίζεται το κέλυφος, δηλαδή οι εξωτερικοί τοίχοι, οι τοίχοι του υπογείου, οι οροφές, τα δάπεδα και άλλα χαρακτηριστικά του κτηρίου που σχετίζονται με την κατασκευή του. Κατά το σχεδιασμό των επιφανειών γίνεται λεπτομερής ορισμός των υλικών των επιφανειών και υπολογίζονται τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας διεθνή πρότυπα όπως το/τα ISO 6946 κ.α. Βάσει των υλικών και των χαρακτηριστικών του κτηρίου που έχουν αναλυθεί στην περιγραφή του κελύφους του κτηρίου (Ενότητα 2.2), παρουσιάζονται παρακάτω τα αποτελέσματα του λογισμικού.

Πιν. 5.2 Συντελεστής θερμοπερατότητας εξωτερικών επιφανειών κτηρίου

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής Θερμοπερατότητας (W/m ² -K)
Εξωτερική τοιχοποιία	1,436
Τοίχοι σε επαφή με το έδαφος	2,071
Δάπεδο	1,463
Οροφή	1,540

5.2.3 Ανοίγματα-Openings

Στο περιβάλλον του λογισμικού, στην καρτέλα Openings, ορίζονται τα ανοίγματα του κτηρίου και πιο συγκεκριμένα τα παράθυρα, οι πόρτες, οι θυρίδες εξαερισμού και άλλου είδους ανοίγματα εσωτερικά ή εξωτερικά. Για τη μοντελοποίηση του υπό εξέταση κτηρίου, χρησιμοποιήθηκαν κουφώματα αλουμινίου με μονό τζάμι και συντελεστή θερμοπερατότητας 5,5 W/m²-K.

5.2.4 Φωτισμός-Lighting

Για τον ορισμό του συστήματος φωτισμού του κτηρίου, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία που έχουν καταγραφεί κατά τον Ενεργειακό Έλεγχο. Στο λογισμικό, καθορίστηκε ανά όροφο η κανονικοποιημένη ειδική ισχύς σε μονάδες W/m²-100 lx. Παρακάτω παρουσιάζονται ανά όροφο, τα στοιχεία που εισήχθησαν στο λογισμικό.

Πιν. 5.3 Ειδική ισχύς φωτισμού ανά όροφο

Όροφος	Ειδική ισχύς φωτισμού (W/m ² -100 lx)
Υπόγειο	0,99
Ισόγειο	2,15
Πρώτος όροφος	3,03
Δεύτερος όροφος	2,13
Τρίτος όροφος	2,55
Τέταρτος όροφος	3,01

5.2.5 Συστήματα κλιματισμού-HVAC

Για το σχεδιασμό και μοντελοποίηση του συστήματος κλιματισμού του κτηρίου, χρησιμοποιήθηκε η απλή μέθοδος (Simple) που χρησιμοποιεί το λογισμικό, στην οποία ορίζονται τα βασικά συστήματα ψύξης, θέρμανσης, αερισμού καθώς και το ωράριο λειτουργίας. Στα πλαίσια της απλής σχεδίασης των συστημάτων HVAC, πραγματοποιείται αυτόματη διαστασιολόγηση των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης με βάση τα θερμικά φορτία των ζωνών και τις ανάγκες των χώρων.

Στο εξεταζόμενο κτήριο, επιλέχθηκε ένας κεντρικός ψύκτης, ο οποίος ταξινομεί τις ζώνες αυτόματα και λέβητας φυσικού αερίου για τη θέρμανση, ενώ υπολογίστηκαν και τα φορτία των Κεντρικών Κλιματιστικών Μονάδων που εισήχθησαν ως σταθερό-βοηθητικό φορτίο.

Κατά την επιλογή Simple, το λογισμικό υπολογίζει τα φορτία των ζωνών και σε συνδυασμό με τον σταθερό εποχιακό βαθμό απόδοσης των συστημάτων HVAC υπολογίζει τις καταναλώσεις για θέρμανση και ψύξη του κτηρίου.

Πιν. 5.4 Συστήματα HVAC

Είδος συστήματος	Πηγή ενέργειας	Βαθμός Απόδοσης
Ψύκτης	Ηλεκτρισμός	2,20
Λέβητας	Φυσικό Αέριο	0,45
Βοηθητικά συστήματα	Ωράριο λειτουργίας (Ημέρες/εβδομάδα-Ωρες/ημέρα)	Φορτίο (kWh/m ²)

Ανεμιστήρες ΚΚΜ	7 ημέρες 07:00- 18:00	41,41
------------------------	--------------------------	-------

Τονίζεται ότι ο βαθμός απόδοσης αναφέρεται στο συνολικό εποχιακό βαθμό απόδοσης του συστήματος, συμπεριλαμβανομένου και των απωλειών διανομής της θερμότητας.

5.2.6 Παραγωγή ενέργειας-Generation

Στην καρτέλα του λογισμικού Παραγωγής ενέργειας στο κτήριο, δίνεται η δυνατότητα επιλογής του ηλεκτρικού σταθμού παραγωγής του κτηρίου, στον οποίο συνδέονται διάφορες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως Φωτοβολταϊκά, Ανεμογεννήτριες κ.α.

Στο υφιστάμενο κτήριο δεν χρησιμοποιείται η δυνατότητα της συγκεκριμένης καρτέλας.

5.3 Αποτελέσματα Υφιστάμενης Κατάστασης

Με τη καταχώριση των απαιτούμενων παραμέτρων, καθορίζονται τα επιθυμητά δεδομένα που χρειαζόμαστε κατά την προσομοίωση του κτηρίου και πλέον εμφανίζονται τα αποτελέσματα της.

Οι ρυθμίσεις της προσομοίωσης, ορίστηκαν ώστε να είναι διαθέσιμα στοιχεία ενός χρόνου με ωριαία και υποωριαία βήμα. Οι βασικές κατηγορίες των αποτελεσμάτων που δύναται να υπολογιστούν από το λογισμικό, αφορούν:

- Θερμικά κέρδη
- Αερισμό
- Θερμική άνεση
- Στοιχεία περιβάλλοντα χώρου
- Φορτία συστήματος (ψυκτικά και θερμικά φορτία)
- Σύνολο καυσίμων
- Επιμερισμό φορτίων με βάση το καύσιμο που καταναλώνουν

Όλα τα παραπάνω, αποτελούνται από επιμέρους κατηγορίες που παρουσιάζουν αναλυτικά την υφιστάμενη κατάσταση είτε συνολικά, είτε ανά χώρο και ζώνη. Τα αποτελέσματα, δύναται να εξαχθούν είτε σε πίνακα, είτε σε μορφή διαγράμματος.

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα βασικά αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Πιν. 5.5 Βασικά αποτελέσματα ατόμων και καταναλώσεων ανά είδος φορτίου

Μήνας	Πυκνότητα ατόμων	Φωτισμός	Ηλεκτρισμός	Φυσικό Αέριο	Ψύξη (Ηλεκτρισμός)	Βοηθητικές μονάδες (ΚΚΜ)
	Άτομα	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Ιαν.	2.129,08	117.180,10	339.247,70	227.530,70	1.774,45	119.196,30
Φεβ.	2.008,16	108.623,80	310.977,70	253.072,70	1.308,33	107.661,20
Μάρτ.	2.074,05	118.667,20	341.671,70	149.048,90	2.502,74	119.196,30
Απρ.	1.712,56	108.623,80	331.984,90	0,00	14.625,48	115.351,30
Μάιος	1.692,46	121.458,30	407.220,70	0,00	61.613,08	119.196,30
Ιούν.	1.487,06	114.389,10	473.373,70	0,00	146.184,20	115.351,30
Ιουλ.	1.560,04	121.458,30	570.128,30	0,00	224.520,70	119.196,30
Αύγ.	1.532,33	120.062,80	573.874,30	0,00	231.486,00	119.196,30
Σεπτ.	1.525,33	115.784,60	470.337,60	0,00	139.928,80	115.351,30
Οκτ.	1.712,81	121.458,30	395.295,80	1.425,50	49.688,26	119.196,30
Νοέμ.	1.876,60	115.784,60	338.703,50	57.460,20	8.294,69	115.351,30
Δεκέμ.	2.018,12	111.506,50	323.749,30	238.133,50	1.474,85	115.351,30
Σύνολο	-	1.394.997,40	4.876.565,20	926.671,50	883.401,58	1.399.595,50

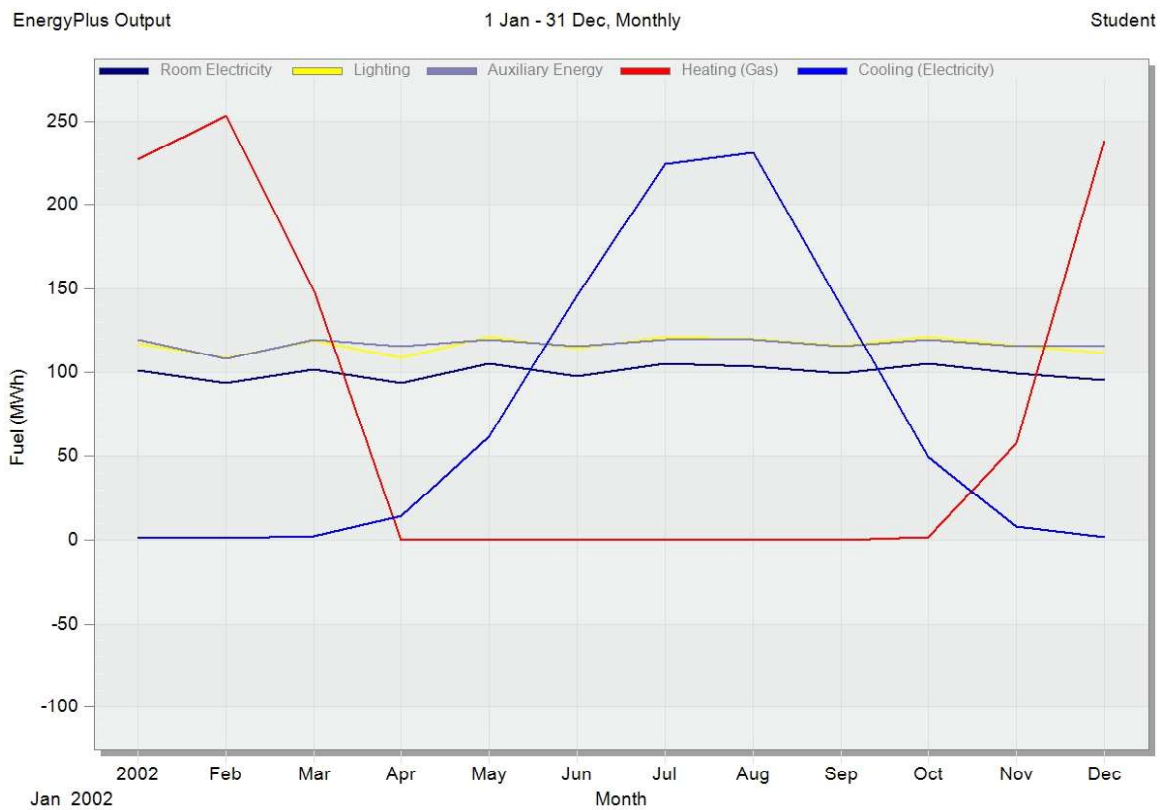
Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που απεικονίζεται παραπάνω, φαίνεται ότι αποκλίνει από την πραγματική κατανάλωση ηλεκτρισμού του κτηρίου. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά τη μοντελοποίηση δεν έχουν υπολογιστεί οι αυτόνομες μονάδες κλιματισμού όπως οι CCU που λειτουργούν για ζώνες, όπως οι χώροι ικριωμάτων, αλλά έχουν προσομοιωθεί στο κεντρικό σύστημα κλιματισμού. Ακόμη, διάφορα φορτία που οδηγούν σε κατανάλωση ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν στο λογισμικό.

Πιν. 5.6 Μηνιαίες Καταναλώσεις κτηρίου βάσει Ενεργειακού Ελέγχου

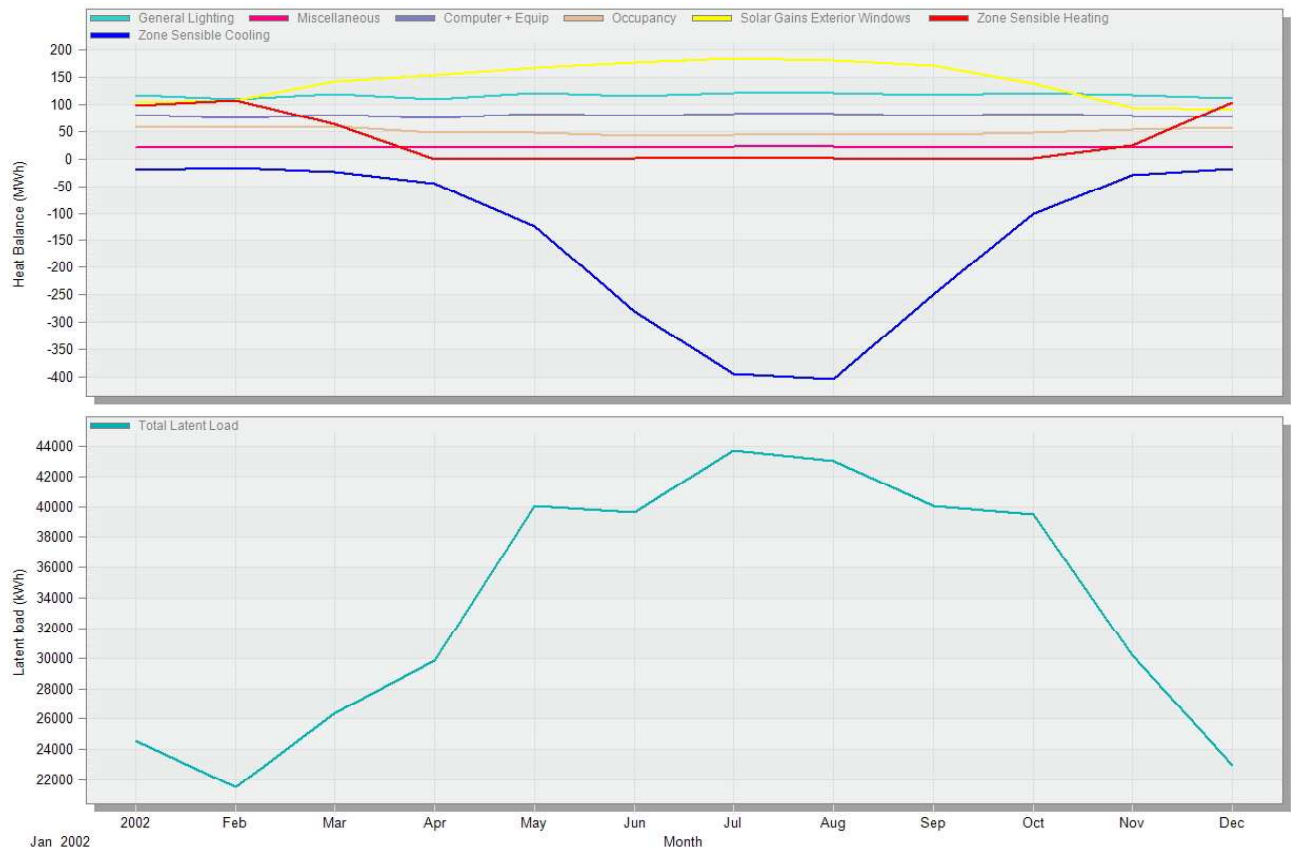
Μήνας	Φωτισμός	Ηλεκτρισμός	Φυσικό Αέριο	Ψύκτες+Πύργοι Ψύξης	Βοηθητικές μονάδες (ΚΚΜ)
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Ιαν.	112.680,37	375.245,27	338.377,43	128.249,87	128.249,87
Φεβ.	102.057,65	339.261,93	256.177,11	115.867,78	115.867,78
Μάρτ.	116.067,22	361.499,29	76.636,53	130.830,07	130.830,07
Απρ.	107.410,98	383.435,78	0,00	123.513,62	123.513,62
Μάιος	115.321,52	447.278,69	0,00	129.625,96	129.625,96
Ιούν.	106.902,08	519.989,22	0,00	124.509,72	124.509,72
Ιούλ.	105.245,51	571.779,68	0,00	127.402,41	127.402,41
Αύγ.	96.737,15	566.164,11	0,00	127.587,81	127.587,81
Σεπτ.	110.812,55	524.434,77	0,00	125.044,80	125.044,80
Οκτ.	118.068,17	407.398,97	0,00	129.925,11	129.925,11
Νοέμ.	114.387,19	356.247,21	67.626,51	126.596,56	126.596,56
Δεκέμ.	109.766,73	363.312,32	277.213,89	125.596,90	125.596,90
Σύνολο	1.315.457,11	5.216.047,24	1.016.031,47	899.425,71	1.514.750,59
Απόκλιση	6,05%	6,51%	8,80%	1,78%	7,60%

Στον Πίνακα 5.5, παρουσιάζονται τα μηνιαία αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση του κτηρίου, ενώ στον επόμενο Πίνακα 5.6, οι αντίστοιχες καταναλώσεις που προέκυψαν από τον Ενεργειακό Έλεγχο (μετρήσεις, διαθέσιμα στοιχεία κλπ.). Παράλληλα, υπολογίζεται η απόκλιση των δύο αυτών αποτελεσμάτων, για κάθε είδος κατανάλωσης. Παρατηρείται, ότι με εξαίρεση την κατανάλωση για την θέρμανση, δηλαδή την κατανάλωση φυσικού αερίου, οι τιμές της προσομοίωσης, προσομοιώνουν σε μεγάλο βαθμό την κατάσταση που αποτυπώνεται στον Ενεργειακό Έλεγχο. Η απόκλιση αυτή, οφείλεται στο γεγονός ότι ο σχεδιασμός του συστήματος θέρμανσης έχει γίνει με την απλή μέθοδο και όχι αναλυτικά, ώστε να μοντελοποιηθούν τα συστήματα διανομής, οι απώλειες κ.α.

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.



Εικ 5.4 Επιμερισμός καταναλώσεων προσομοίωσης κτηρίου



Εικ 5.5 Θερμικά κέρδη προσομοίωσης κτηρίου

Πιν. 5.7 Τελική κατανάλωση ενέργειας προσομοίωσης κτηρίου

	Electricity [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]
Heating	-	-	425.866,15
Cooling	-	1.953.534,71	-
Interior Lighting	1.394.997,33	-	-
Exterior Lighting	-	-	-
Interior Equipment	1.198.571,00	-	-
Total End Uses	2.593.568,33	1.953.534,71	425.866,15

Πιν 5.8 Ειδική κατανάλωση ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας δαπέδου

	Electricity Intensity [kWh/m ²]	District Cooling Intensity [kWh/m ²]	District Heating Intensity [kWh/m ²]	Water Intensity [m ³ /m ²]
Lighting	39,41	-	-	-
HVAC	-	55,18	12,03	-
Other	33,86	-	-	-
Total	73,26	55,18	12,03	-

6 ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΣΤΟ DESIGNBUILDER

Σε συνέχεια των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης της υφιστάμενης κατάστασης, εφαρμόζονται στο μοντέλο του κτηρίου οι παρεμβάσεις που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 4.

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο οι παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης του κτηρίου, εφαρμόστηκαν στο μοντέλο, καθώς και τα αποτελέσματα της νέας προσομοίωσης.

6.1 Εφαρμογή παρεμβάσεων

Παρακάτω, αναλύεται η παραμετροποίηση των παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης ανά κατηγορία παρέμβασης.

6.1.1 Κτηριακό κέλυφος

Όπως έχει περιγραφεί, το κτηριακό κέλυφος του κτηρίου, αποτελεί μία παλιά κατασκευή που χαρακτηρίζεται από την έλλειψη θερμομόνωσης, τους μονούς υαλοπίνακες και γενικότερα την μεγάλη συναλλαγή θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον που οδηγεί σε αυξημένες απώλειες και ενεργειακές απαιτήσεις.

Οι παρεμβάσεις στο κτηριακό κέλυφος οφείλουν να υλοποιούνται πρώτες, καθώς επηρεάζουν σημαντικά τις επόμενες δράσεις ενεργειακής αναβάθμισης, όπως τα συστήματα HVAC.

6.1.1.1 Εξωτερική θερμομόνωση

Στο λογισμικό, τοποθετείται θερμομόνωση στους εξωτερικούς τοίχους, το δάπεδο και την οροφή. Πιο συγκεκριμένα, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το υλικό της θερμομόνωσης και ο τελικός συντελεστής θερμοπερατότητας όπως υπολογίζεται από το λογισμικό.

Πιν. 6.1 Χαρακτηριστικά θερμομόνωσης εξωτερικών διαφανών επιφανειών

Είδος επιφάνειας	Θερμομονωτικό υλικό	Παλιός Συντελεστής Θερμοπερατότητας (W/m ² -K)	Νέος Συντελεστής Θερμοπερατότητας (W/m ² -K)
Εξωτερική τοιχοποιία	Εξηλεασμένη πολυστερίνη 0,792 mm	1,436	0,351

Τοίχοι σε επαφή με το έδαφος	Εξηλεασμένη πολυστερίνη 0,792 mm	2,071	0,351
Δάπεδο	Αφρός ουρίας-φορμαλδεΰδης 100 mm	1,463	0,314
Οροφή	Υαλοβάμβακας 100 mm Κενό αέρα 200 mm	1,540	0,346

6.1.1.2 Αντικατάσταση εξωτερικών κουφωμάτων

Το μεγαλύτερο ποσοστό των εξωτερικών επιφανειών, αφορά παράθυρα ή τζαμαρίες αλουμινίου, μονού υαλοπίνακα με συντελεστή θερμοπερατότητας $5,5 \text{ W/m}^2\text{-K}$. Τα κουφώματα αυτά, αντικαθίστανται με ενεργειακά αποδοτικότερα κουφώματα αλουμινίου, διπλού υαλοπίνακα και εσωτερικής επιφάνειας δεκαέξι (16) χιλιοστών αερίου αργού. Παράλληλα, τα τζάμια που χρησιμοποιήθηκαν διαθέτουν ειδική επίστρωση για χαμηλό συντελεστή σκίασης με μεγάλη μετάδοση του φωτός για την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας των νέων κουφωμάτων είναι $1,349 \text{ W/m}^2\text{-K}$.

Εσωτερικά των κουφωμάτων, τοποθετούνται περσίδες με δυνατότητα ελέγχου της κλίσης και υψηλή ανακλαστικότητα ώστε να μειώνουν τα θερμικά φορτία κατά τους θερινούς μήνες.

6.1.2 Αντικατάσταση συστήματος φωτισμού

Όπως παρουσιάστηκε στην υποενότητα 5.2.4, κατά την παραμετροποίηση, το σύστημα φωτισμού προσομοιώθηκε ανά όροφο και με μονάδες $\text{W/m}^2\text{-100 lx}$. Τα νέα δεδομένα παρουσιάζονται παρακάτω, όπου οι παλαιοί λαμπτήρες έχουν αντικατασταθεί με λαμπτήρες σύγχρονης τεχνολογίας LED και εγκατεστημένης ισχύος περίπου κατά 40 % μειωμένης σε σχέση με το προηγούμενο σύστημα, ενώ παράλληλα εγκαθίσταται σύστημα αυτόματης ρύθμισης της έντασης του φωτισμού μέσω ανιχνευτών φυσικού φωτισμού.

Πιν. 6.2 Ειδική ισχύς νέου συστήματος φωτισμού ανά όροφο

Όροφος	Ειδική ισχύς φωτισμού (W/m ² -100 lx)
Υπόγειο	0,494
Ισόγειο	1,075
Πρώτος	1,516
Δεύτερος	1,066
Τρίτος	1,274
Τέταρτος	1,652

6.1.3 Συστήματα κλιματισμού-αερισμού

Για την παραμετροποίηση του συστήματος κλιματισμού και αερισμού χρησιμοποιείται η απλή μέθοδος, δηλαδή ο ορισμός του είδους του συστήματος που χρησιμοποιείται για θέρμανση, ψύξη, καθώς και τα βοηθητικά συστήματα αλλά με αυτόματη διαστασιολόγηση της εγκατεστημένης τους ισχύος. Η προσομοίωση, πέρα από την αποτύπωση συγκριτικών αποτελεσμάτων σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας, δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού των θερμικών φορτίων που πρέπει να καλυφθούν από τα συστήματα κλιματισμού, υπολογίζοντας παράλληλα με διάφορους δείκτες την θερμική άνεση των ατόμων στις επιμέρους ζώνες. Ταυτόχρονα, υπολογίζονται τα θερμικά και ψυκτικά φορτία συνολικά του κτηρίου ανά ώρα και επομένως διαστασιολογούνται τα συστήματα που χρειάζονται για την κάλυψή τους. Τα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση του ενεργειακά αναβαθμισμένου κτηρίου, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πιν 6.3 Συστήματα HVAC ενεργειακής αναβάθμισης

Είδος συστήματος	Πηγή ενέργειας	Βαθμός Απόδοσης
Ψύκτης	Ηλεκτρισμός	3,00
Λέβητας	Φυσικό Αέριο	0,70
Βοηθητικά συστήματα	Ωράριο λειτουργίας (Ημέρες/εβδομάδα- Ώρες/ημέρα)	Φορτίο (kWh/m²)
Ανεμιστήρες ΚΚΜ	7 ημέρες 07:00- 18:00	16,57

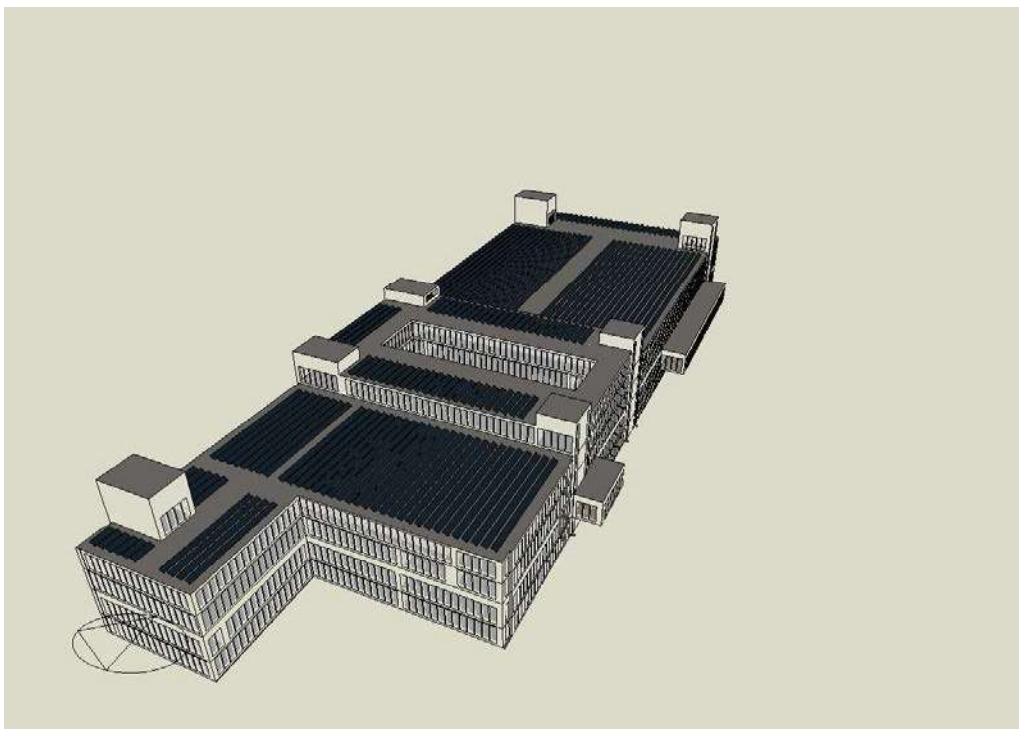
Για τον αερισμό των χώρων, χρησιμοποιείται στο νέο σύστημα μηχανικός αερισμός με ανεμιστήρες inverter και ανάκτηση θερμότητας, αναμειγνύοντας νωπό αέρα με τον κλιματιζόμενο αέρα των χώρων.

Στην καρτέλα HVAC, χρησιμοποιείται επίσης το γεωθερμικό σύστημα για την παροχή αέρα στους χώρους τόσο κατά τους θερινούς όσο και κατά τους χειμερινούς μήνες. Για την προσομοίωση στο λογισμικό, θεωρείται ότι η κυκλοφορία του αέρα στον εναλλάκτη γίνεται με φυσικό τρόπο χωρίς τη χρήση ανεμιστήρων.

Σημειώνεται, ότι η εγκατάσταση του γεωθερμικού εναλλάκτη χρήζει περαιτέρω μελέτης και διαστασιολόγησης όλων των βοηθητικών συστημάτων του.

6.1.4 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Στο δώμα του κτηρίου, τοποθετήθηκαν φωτοβολταϊκά πλαίσια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω inverter. Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών έγινε με Νότιο προσανατολισμό και κλίση 31° για τη μεγιστοποίηση της ετήσιας απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Στην φωτογραφία που ακολουθεί, απεικονίζεται η μοντελοποίηση των πλαισίων στο δώμα του κτηρίου. Η συνολική επιφάνεια των πλαισίων που τοποθετήθηκαν είναι περίπου 2978 m^2 , τα οποία αντιστοιχούν σε εγκατεστημένη ισχύ 550 kW . Ο inverter που χρησιμοποιήθηκε στα πάνελ, για την ρύθμιση του ρεύματος, έχει βαθμό απόδοσης 0,96.



Εικ 6.1 Μοντέλο ενεργειακά αναβαθμισμένου κτηρίου

6.2 Αποτελέσματα

Παρακάτω, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του αναβαθμισμένου ενεργειακά μοντέλου που δημιουργήθηκε. Το αρνητικό πρόσημο στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών, δείχνει την παραγωγή, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα μεγέθη που αποτελούν κατανάλωση του κτηρίου.

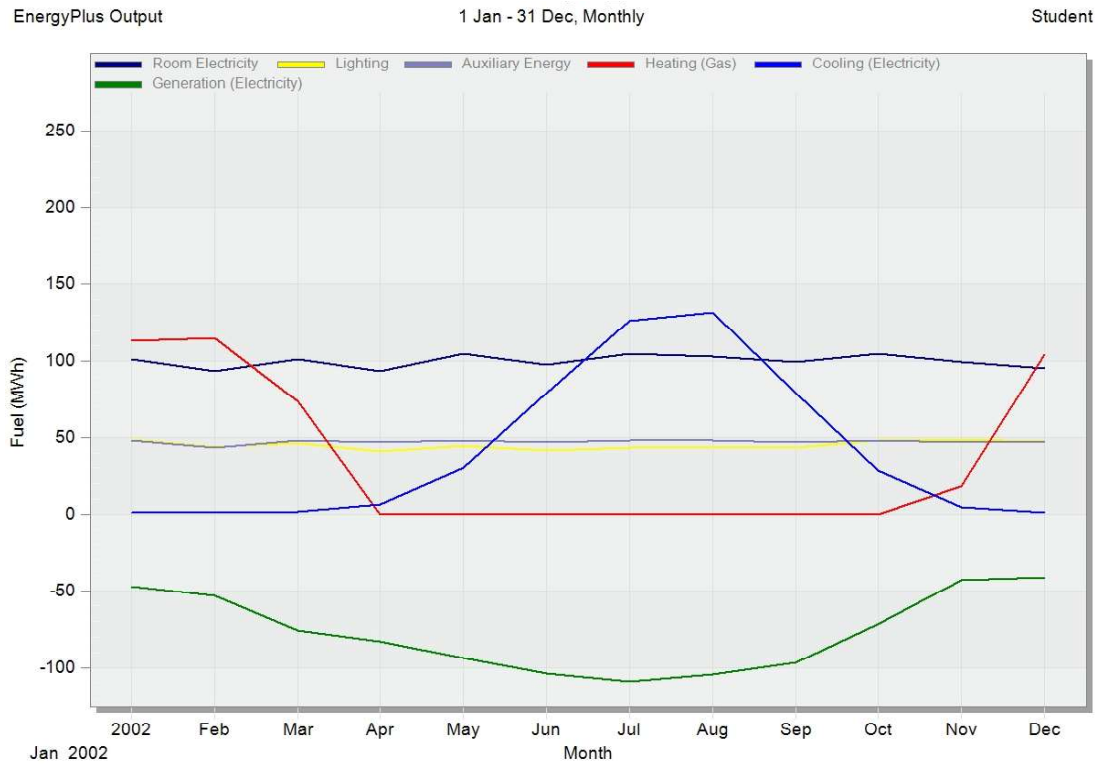
Πιν. 6.4 Βασικές καταναλώσεις μοντέλου νέου κτηρίου

Μήνας	Φωτισμός	Ηλεκτρισμός	Φυσικό Αέριο	Ψύξη (Ηλεκτρισμός)	Βοηθητικές μονάδες (KKM)	Παραγωγή ΦΒ	Κατανάλωση ηλ. Ενέργειας με συμψηφισμό
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Ιαν.	48.972,98	199.416,60	113.160,10	1.123,08	48.288,56	-47.462,66	151.953,94
Φεβ.	44.183,04	181.991,60	114.774,60	868,30	43.615,48	-53.389,57	128.602,03
Μάρτ.	46.537,70	197.531,00	73.514,94	1.463,08	48.288,56	-75.688,63	121.842,37
Απρ.	41.243,83	187.760,70	0,00	6.461,17	46.730,87	-82.904,70	104.856,00
Μάιος	44.794,12	228.443,30	0,00	30.475,07	48.288,56	-93.476,77	134.966,53
Ιούν.	41.386,57	264.458,60	0,00	78.953,10	46.730,87	-103.720,90	160.737,70
Ιούλ.	43.663,70	323.111,00	0,00	126.273,20	48.288,56	-109.365,70	213.745,30
Αύγ.	44.045,26	326.874,90	0,00	131.477,50	48.288,56	-104.586,80	222.288,10
Σεπτ.	43.537,08	268.819,60	0,00	79.341,64	46.730,87	-96.453,61	172.365,99
Οκτ.	48.144,73	230.054,30	2,91	28.735,37	48.288,56	-71.544,76	158.509,54
Νοέμ.	48.614,69	198.950,60	18.573,11	4.395,04	46.730,87	-43.305,80	155.644,80
Δεκέμ.	47.533,59	190.713,50	103.963,00	1.092,56	46.730,87	-41.070,38	149.643,12
Σύνολο	542.657,29	2.798.125,70	423.988,66	490.659,11	567.001,19	-922.970,28	1.875.155,42

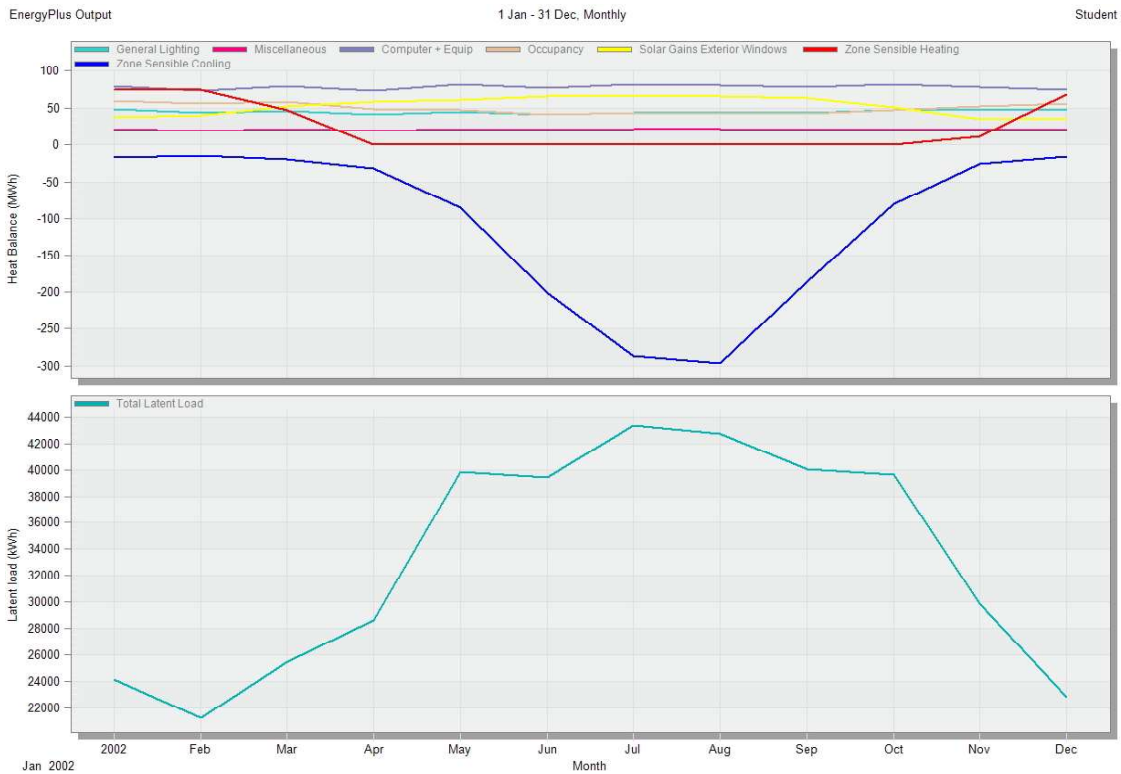
Σημειώνεται ότι στα παραπάνω αποτελέσματα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά, δεν έχει συμψηφιστεί με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά εμφανίζεται ως ξεχωριστό μέγεθος. Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών εγχύεται απευθείας στο κτήριο όταν υπάρχει ηλιοφάνεια, ενώ όταν δεν υπάρχει παραγωγή, το κτήριο

καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο. Στο τέλος χαρακτηριστικών περιόδων, γίνεται συμψηφισμός της παραγωγής και της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως προκύπτει, τα φωτοβολταϊκά που τοποθετήθηκαν καλύπτουν το 33 % της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Από την προσομοίωση του μοντέλου προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



Εικ 6.2 Επιμερισμός καταναλώσεων αναβαθμισμένου κτηρίου



Εικ 6.3 Θερμικά κέρδη αναβαθμισμένου κτηρίου

Πιν. 6.5 Τελικές καταναλώσεις αναβαθμισμένου κτηρίου

	Electricity [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]
Heating	-	-	291.786,69
Cooling	-	1.461.117,79	-
Interior Lighting	542.657,28	-	-
Exterior Lighting	-	-	-
Interior Equipment	1.197.808,24	-	-
Total End Uses	1.740.465,53	1.461.117,79	291.786,69

Πιν. 6.6 Ειδική κατανάλωση ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας δαπέδου στο νέο κτήριο

	Electricity Intensity [kWh/m ²]	District Cooling Intensity [kWh/m ²]	District Heating Intensity [kWh/m ²]
Lighting	15,34	-	-
HVAC	-	41,31	8,25
Other	33,86	-	-
Total	49,21	41,31	8,25

7 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν παραπάνω και σύγκριση της υφιστάμενης κατάστασης με την πρόταση ενεργειακής αναβάθμισής του κτηρίου. Θα παρατεθούν σχετικά διαγράμματα και πίνακες, καθώς θα πραγματοποιηθεί και ανάλυση κόστους των παρεμβάσεων μέσω Ανάλυσης Κύκλου Κόστους Ζωής.

Σημειώνεται, ότι η σύγκριση αφορά τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων των δύο περιπτώσεων που εξετάστηκαν για το υφιστάμενο κτήριο.

7.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα μηνιαία αποτελέσματα βασικών καταναλώσεων του κτηρίου. Οι παρεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης που πραγματοποιήθηκαν βέβαια, έχουν πληθώρα επιδράσεων, οι οποίες όμως δεν αποτελούν μετρήσιμα μεγέθη (όπως ο χρόνος προγραμματισμού, η συντήρηση, η άνεση κ.α.) και επομένως, στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται μόνο τα ενεργειακά στοιχεία που προέκυψαν.

Πιν. 7.1 Εξοικονόμηση ενέργειας ανά είδος φορτίου

Μήνας	Φωτισμός	Ηλεκτρισμός	Φυσικό Αέριο	Ψύκτες+Πύργοι Ψύξης	Βοηθητικές μονάδες (KKM)
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Ιαν.	58.751,82	125.942,50	96.297,30	732,97	66.392,94
Φεβ.	55.682,84	116.208,90	116.818,00	498,77	59.967,82
Μάρτ.	62.576,80	130.120,80	67.829,56	1.087,34	66.392,94
Απρ.	58.622,05	130.735,30	-	7.802,56	64.251,23
Μάιος	66.860,18	164.417,10	-	31.096,59	66.392,94
Ιούν.	63.798,43	201.212,80	-	73.102,00	64.251,23
Ιούλ.	67.990,60	244.378,40	-	109.927,40	66.392,94
Αύγ.	66.339,14	245.534,90	-	112.737,20	66.392,94
Σεπτ.	62.917,82	192.999,50	-	65.767,46	64.251,23

Οκτ.	63.509,57	150.698,20	2.007,45	20.728,36	66.392,94
Νοέμ.	57.840,21	125.757,00	38.079,70	3.602,55	64.251,23
Δεκέμ.	54.991,81	119.749,40	113.521,50	446,02	64.251,23
Σύνολο	739.881,27	1.947.754,80	34.553,51	427.529,21	779.581,61
Ποσοστό Εξοικ.	57,69%	41,04%	50,62%	46,56%	57,89%

Παρατηρείται ότι στα αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας του Πίνακα 7.1, το μεγαλύτερο ποσοστό εξοικονόμησης, επιτυγχάνεται στα βοηθητικά συστήματα διανομής του κλιματιζόμενου αέρα, δηλαδή τις Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες (ΚΚΜ), με ποσοστό 57,89%. Το αποτέλεσμα αυτό, οφείλεται τόσο στην αντικατάσταση των ενεργοβόρων ανεμιστήρων και μονάδων του κτηρίου, με καινούρια που έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης των στροφών, όσο και στην αυτοματοποιημένη λειτουργία μέσω του συστήματος BEMS. Στην υφιστάμενη κατάσταση και όπως αναλύθηκε κατά τον Ενεργειακό Έλεγχο, φαίνεται ότι οι μονάδες ΚΚΜ λειτουργούν περισσότερες ώρες από το επιθυμητό, ακόμα και κατά τις ώρες στις οποίες δεν λειτουργούν οι μονάδες ψύξης ή θέρμανσης.

Από άποψη καθαρής ενεργειακής εξοικονόμησης, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας έχει μειωθεί κατά 1.947.754,80 kWh και σε ποσοστό κατά 41,04%.

7.2 Ανάλυση κόστους παρεμβάσεων

Η ανάλυση του κόστους παρεμβάσεων, θα πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο της Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής (LCCA). Η μέθοδος αυτή, συγκρίνει τις εναλλακτικές παρεμβάσεις εξοικονόμησης, χρησιμοποιώντας δείκτες που λαμβάνουν υπόψιν τους τα οικονομικά μεγέθη που αφορούν όλο τον κύκλο ζωής της εκάστοτε παρέμβασης. Ορισμένες από τις παραμέτρους που λαμβάνει υπόψη, είναι το αρχικό κόστος της επένδυσης, τα έξοδα συντήρησης, τα λειτουργικά έξοδα αλλά και τον πληθωρισμό και τα επιτόκια προεξόφλησης. Τέλος, στην Ανάλυση του Κόστους Κύκλου Ζωής, συμπεριλαμβάνονται τα τελικά κόστη μεταπώλησης, καταστροφής ή η αξία εκποίησης.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου, είναι ότι μπορούν να αξιολογηθούν οι διαφορετικές εναλλακτικές προτάσεις εξοικονόμησης, καθώς και η κατανομή χρηματοδότησης σε διαφορετικές επενδύσεις χρησιμοποιώντας το λόγο Εξοικονόμησης προς Επένδυση (SIR) ή το Προσαρμοσμένο Εσωτερικό Επιτόκιο Αναγωγής (AIRR).

Ακόμη, ο δείκτης της Καθαρής Εξοικονόμησης (Net Saving) αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη που βοηθάει στην εύρεση της οικονομικά αποδοτικότερης εναλλακτικής λύσης μέσω της πρότασης με τις μεγαλύτερες καθαρές εξοικονομήσεις.

Οι βασικές παραδοχές που λαμβάνονται υπόψη στην οικονομική ανάλυση που ακολουθεί, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πιν 7.2 Αρχικές Παραδοχές Οικονομικής Ανάλυσης

Οικονομικό μέγεθος	Τιμή
Πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο (Τ.ΠκΔ.)	4,00%
Έτος έναρξης επένδυσης	1
Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)	0,11
Τιμή φυσικού αερίου (€/kWh)	0,057

Όσον αφορά το κόστος συντήρησης, θεωρούνται μηδενικά κατά την ανάλυση του κύκλου ζωής, καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία συντήρησης της υφιστάμενης κατάστασης και θεωρείται δεδομένο ότι η νέα αναβαθμισμένη κατάσταση, θα απαιτεί μικρότερο κόστος συντήρησης.

Το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο λαμβάνεται ίσο με 4 % από στοιχεία του Ταμείου Παρακαταθηκών και Δανείων για δανεισμό σε τομείς του δημοσίου.

7.2.1 Αναβάθμιση κελύφους

Η αναβάθμιση του κελύφους του κτηρίου, παρουσιάστηκε αναλυτικά σε προηγούμενες ενότητες. Οι προτάσεις αυτές, μειώνουν τα θερμικά και ψυκτικά φορτία του κτηρίου και στη παρούσα υποενότητα εξετάζεται ως ξεχωριστή παρέμβαση που μειώνει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι εξοικονομήσεις των καυσίμων σε ενέργεια και σε κόστος ανά έτος, καθώς και το κόστος της επένδυσης.

Πιν. 7.3 Κόστος αναβάθμισης κτηριακού κελύφους

Είδος επιφάνειας	Επιφάνεια (m ²)	Κόστος (€)
Εξωτερικοί τοίχοι	7.586,80	303.472,00
Κουφώματα	5.646,19	846.928,50
Οροφή	8.100,00	202.500,00
Δάπεδο	5.884,10	117.682,00
Σύνολο	27.217,09	1.470.582,50

Πιν. 7.4 Επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους ανά έτος Π1

Εξοικονομούμενο φορτίο	Εξοικονόμηση ενέργειας (kWh)	Εξοικονόμηση (€)
Ηλεκτρική ενέργεια	265.223	29.175 €
Φυσικό Αέριο	222.836	12.702 €
Σύνολο	488.059	41.876 €

7.2.2 Αντικατάσταση συστήματος φωτισμού

Η αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού, περιλαμβάνει τόσο την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων όσο και τη χρήση αισθητήρων φυσικού φωτισμού. Η εξοικονόμηση ενέργειας από τις παραπάνω δράσεις, επιτυγχάνεται λόγω μείωσης της ισχύος και του αριθμού των φωτιστικών και θα προκύψει από τη νέα φωτοτεχνική μελέτη που πρέπει να εκπονηθεί, προκειμένου να επιτευχθούν τα απαραίτητα επίπεδα φωτισμού. Το κόστος της πρότασης αυτής ανέρχεται σε 210.000 €, ενώ η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας προέκυψε από τον Πίνακα 7.1 σε ποσοστό 57,69%.

Η αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με αντίστοιχα χαμηλότερης ισχύος, θα οδηγήσει σε αύξηση της κατανάλωσης για θέρμανση, δηλαδή φυσικό αέριο αλλά και μείωση των καταναλώσεων για ψύξη λόγω μείωσης των θερμικών φορτίων από τον φωτισμό.

Πιν. 7.5 Επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους ανά έτος Π2

Εξοικονομούμενο φορτίο	Εξοικονόμηση ενέργειας (kWh)	Εξοικονόμηση (€)
Ηλεκτρική ενέργεια	829.881	91.287 €
Φυσικό Αέριο	-100.000	-5.700 €
Σύνολο	729881	85.587 €

7.2.3 Αναβάθμιση HVAC συστημάτων

Η πρόταση αυτή εξετάζεται σε συνδυασμό με τις δύο προηγούμενες προτάσεις. Θεωρείται δηλαδή ότι θα υλοποιηθεί τόσο η αναβάθμιση του κελύφους όσο και η αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων. Αυτό γίνεται γιατί με την υλοποίηση και των προτάσεων θα είναι

διαφορετικό το κόστος υλοποίησης της αναβάθμισης κλιματισμού λόγω των μικρότερων φορτίων της εγκατάστασης.

Το κόστος υλοποίησης της πρότασης αυτής ανέρχεται στο ποσό των 1.500.000€ και αναλύεται ως εξής:

Πιν. 7.6 Κόστη αναβάθμισης συστήματος κλιματισμού

Είδος επιφάνειας	Κόστος (€)
Πύργοι ψύξης και ψύκτες	430.000
Λέβητες συμπύκνωσης	80.000
ΚΚΜ και αντλίες	640.000
Σωληνώσεις και αεραγωγοί	240.000
Σύστημα BEMS	110.000
Σύνολο	1.500.000 €

Πιν. 7.7 Επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους ανά έτος Π3

Εξοικονομούμενο φορτίο	Εξοικονόμηση ενέργειας (kWh)	Εξοικονόμηση (€)
Ηλεκτρική ενέργεια	1.207.111	132.782 €
Φυσικό Αέριο	434.554	24.770 €
Σύνολο	1.641.662	157.552 €

7.2.4 Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στην οροφή του κτηρίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι 922.970,28 kWh. Η εγκατάσταση και η παραγωγή της συστοιχίας των φωτοβολταϊκών θα γίνεται με τη μέθοδο του ενεργειακού συμψηφισμού και το ετήσιο κόστος συμψηφισμού θα είναι ίσο με 0,10 €/kWh.

Το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των inverter ανέρχεται σε 339.200 €.

Πιν. 7.8 Επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους ανά έτος Π4

Εξοικονομούμενο φορτίο	Εξοικονόμηση ενέργειας (kWh)	Εξοικονόμηση (€)
Ηλεκτρική ενέργεια	922.970	92.297 €
Φυσικό Αέριο	-	-
Σύνολο	922.970	92.297 €

Για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, έχει χρησιμοποιηθεί το μοντέλο της Aleo solar P23 ισχύος 325 W ανά πλαίσιο. Κατά την ανάλυση κόστους έχει ληφθεί υπόψη η μείωση της απόδοσης των πλαισίων σύμφωνα με τα στοιχεία του κατασκευαστή που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικ 7.1 Εγγυημένη απόδοση φωτοβολταϊκών πλαισίων στην πάροδο των χρόνων

Ακόμη, έχει ληφθεί υπόψη το κόστος αντικατάστασης των inverters στα δέκα (10) και είκοσι (20) χρόνια αντίστοιχα.

7.2.5 Εγκατάσταση γεωθερμικού εναλλάκτη

Με την εγκατάσταση του γεωθερμικού εναλλάκτη επιτυγχάνεται μείωση των καταναλώσεων των πύργων ψύξης αλλά και μια μικρή μείωση των καταναλώσεων των ψυκτών λόγω βελτίωσης των θερμοκρασιών στο συμπυκνωτή.

Το κόστος για την υλοποίηση της πρότασης αυτής, όπως αναλυτικά περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα, εκτιμάται σε 250.000€. Στην περίπτωση εφαρμογής όμως του γεωθερμικού εναλλάκτη θα μπορέσει να εξοικονομηθεί το κόστος των πύργων ψύξης, επομένως το πραγματικό πρόσθετο κόστος της πρότασης αυτής εκτιμάται σε 130.000€ και η αναμενόμενη εξοικονόμηση είναι 80% στη, μειωμένη από τις προηγούμενες δράσεις, κατανάλωση των πύργων ψύξης (όπου έχει συνυπολογιστεί και η αύξηση της κατανάλωσης λόγω της αντλίας του γεωεναλλάκτη) και 5% στην κατανάλωση των ψυκτών.

Πιν. 7.9 Επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους ανά έτος Π5

Εξοικονομούμενο φορτίο	Εξοικονόμηση ενέργειας (kWh)	Εξοικονόμηση (€)
Ηλεκτρική ενέργεια	55.774	6.135 €
Φυσικό Αέριο	-	-
Σύνολο	55.774	6.135 €

7.3 Σύνοψη προτάσεων αναβάθμισης

Συνοψίζοντας, οι παραπάνω προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης είναι οι παρακάτω:

Πιν. 7.10 Σύνοψη παρεμβάσεων

Αριθμός Παρέμβασης	Είδος	Σημείωση	Ετήσια εξοικονόμηση (€)
Π1	Αναβάθμιση κτηριακού κελύφους	-	41.876 €
Π2	Αντικατάσταση συστήματος φωτισμού	-	85.587 €
Π3	Αναβάθμιση HVAC συστημάτων	Σε συνδυασμό με Π1, Π2	157.552 €
Π4	Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών	-	92.297 €
Π5	Εγκατάσταση γεωθερμικού εναλλάκτη	Σε συνδυασμό με Π1, Π2, Π3	6.135 €

Για τη διάρκεια ζωής των παραπάνω παρεμβάσεων έχει θεωρηθεί ως βάση αναφοράς τα εικοσιπέντε (25) έτη, ενώ οι παρεμβάσεις θεωρείται ότι εφαρμόζονται το έτος ένα (1).

Για την Ανάλυση Κύκλου Κόστους Ζωής των παρεμβάσεων, έχουν ληφθεί τα παρακάτω δεδομένα:

- Κόστος αρχικής επένδυσης
- Επισκευή κεφαλαίου
- Αντικατάσταση κεφαλαίου
- Υπολειμματική αξία
- Ενεργειακό κόστος
- Συντήρηση

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά οικονομικά αποτελέσματα των επενδύσεων-παραεμβάσεων.

Πιν 7.11 Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους

α/α	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού (kWh)	Εξοικονόμηση Καυσίμου (kWh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού (€)	Εξοικονόμηση Καυσίμου (€)	Εξοικ. Συντήρ. (€)	Συνολικές Εξοικ. κόστους (€)	Διάρκεια Ζωής (χρόνια)	Κόστος Επένδυσης
Π-1	265.223	222.836	29.175	12.702	0	41.876	25	1.470.583
Π-2	829.881	-100.000	91.287	-5.700	0	85.587	5	210.000
Π-3	1.207.111	434.554	132.782	24.770	0	157.552	25	1.500.000
Π-4	922.970	-	92.297	0	0	92.297	25	339.200
Π-5	55.774	-	6.135	0	0	6.135	20	130.000
ΣΥΝΟΛΟ	3.280.959	57.389,83	351.676	31.771	0	383.446,89		3.649.783

Πιν 7.12 Ανάλυση Κύκλου Ζωής παρεμβάσεων

α/α	Περιγραφή Παρεμβάσεων	Αποπληρωμή				Κόστος Κύκλου ζωής				
		Σύνολο Δαπανών(€)	IRR (over Life of Measure)	NPV(€)	Simple Payback (χρόνια)	LCC(€)	Καθαρές Εξοικονομήσεις NS(€)	SIR	AIRR	
Π1	Αναβάθμιση κτηριακού κελύφους	1.470.583	-2%	-816.390	35,12	9.222.011,81	-838.494 €	0,43	0,53%	
Π2	Αντικατάσταση συστήματος φωτισμού	210.000	30%	171.018	2,45	7.674.071,53	709.446	2,27	7,47%	
Π3	Αναβάθμιση HVAC συστημάτων	1.500.000	8%	749.353	9,52	7.728.351,88	655.166	1,39	5,39%	
Π4	Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών	339.200	26%	977.232	3,68	7.480.868,65	902.649	2,95	8,60%	
Π5	Εγκατάσταση γεωθερμικού εναλλάκτη	130.000	-1%	-46.623	21,19	8.405.988,66	-22.471	0,82	3,18%	
	ΣΥΝΟΛΟ	3.649.783		972.505			1.475.949			

7.4 Συμπεράσματα

Για την αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων, λαμβάνονται υπόψη τα εξής κριτήρια:

- Η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV), μετράει το πλεόνασμα ή την έλλειψη ταμειακών ροών, σε όρους παρούσας αξίας, σε σχέση με το κόστος κεφαλαίων για μια επένδυση. Όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο μεγαλύτερη αξία έχει μία επένδυση με αναγωγή των ταμειακών ροών στο παρόν.
- Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο στο οποίο η εκτιμώμενη καθαρή παρούσα αξία (NPV) είναι ίση με το μηδέν. Προκειμένου μία επένδυση να είναι συμφέρουσα, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από το επιτόκιο προεξόφλησης που έχει χρησιμοποιηθεί, δηλαδή μεγαλύτερο του 4 %.
- Η PP είναι ο χρόνος που απαιτείται για την απόσβεση της αρχικής επένδυσης. Η «απλή» PP (simple PP) αγνοεί την χρονική αξία του χρήματος. Αποτυπώνει την περίοδο αποπληρωμής μίας επένδυσης και όσο μικρότερη είναι τόσο πιο γρήγορα αποσβένεται το κόστος μίας επένδυσης.
- Όσο μικρότερο είναι το LCC, τόσο πιο αποδοτική είναι μία επένδυση.
- Όσο πιο μεγάλες είναι οι Καθαρές Εξοικονομήσεις (NS), τόσο πιο συμφέρουσα είναι μία επένδυση.
- Ο Συντελεστής Εξοικονόμησης προς Επενδυτικό Κεφάλαιο (SIR) είναι ο λόγος της παρούσας αξίας της εξοικονόμησης λειτουργικών δαπανών προς το κόστος επενδυτικού κεφαλαίου. Για να είναι βιώσιμη η επένδυση, ο συντελεστής SIR πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 1%.
- Το Προσαρμοσμένο Εσωτερικό Επιτόκιο Αναγωγής (AIRR), έχει παρόμοια έννοια με τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (IRR) αλλά είναι ένα σταθμισμένο μέγεθος που λαμβάνει υπόψη του περισσότερες παραμέτρους σε σχέση με τον Κύκλο Ζωής της επένδυσης. Όσο μεγαλύτερος είναι, τόσο πιο αποδοτική είναι μία επένδυση.

Για την αξιολόγηση των διαφορετικών παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας, χρειάζεται να ληφθεί υπόψη ότι η απόφαση για την υλοποίηση ή όχι μίας παρέμβασης δεν καθορίζεται μόνο από τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης. Ειδικά σε παλιά κτήρια, όπως το συγκεκριμένο, με γερασμένες και ενεργοβόρες εγκαταστάσεις, απαιτείται η υλοποίηση συγκεκριμένων παρεμβάσεων, είτε λόγω επικινδυνότητας, είτε λόγω νομικών απαιτήσεων.

Καθώς οι παρεμβάσεις μεταξύ τους είναι διαφορετικής σημαντικότητας, εκτός της οικονομικής ανάλυσης, χρειάζεται να ταξινομηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες σε σχέση με το κόστος επένδυσης και την ένταση. Με βάση αυτά τα κριτήρια, η πρώτη κατηγορία αφορά παρεμβάσεις μεγάλης έντασης και αρχικού κεφαλαίου, ενώ η δεύτερη χαμηλού ή μέσου κόστους και χαμηλότερης έντασης. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι παρεμβάσεις

αναβάθμισης του κτηριακού κελύφους (Π1), η αναβάθμιση των συστημάτων κλιματισμού (Π3) και η εγκατάσταση γεωθερμικού εναλλάκτη (Π5). Στην δεύτερη κατηγορία, ανήκουν αντίστοιχα οι παρεμβάσεις αντικατάστασης φωτιστικών σωμάτων (Π2) και η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος (Π4).

Βάσει αυτών των κατηγοριών και αναλύοντας την οικονομική ανάλυση, φαίνεται ότι οι παρεμβάσεις της πρώτης κατηγορίας έχουν μεγάλο αρχικό κόστος 3.100.583 € και μεγάλη περίοδο αποπληρωμής, που όμως έχουν συνολικές εξοικονομήσεις 205.563 € ετησίως. Οι παρεμβάσεις που ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 7.12 έχουν μεγάλη απόδοση, καθώς το αρχικό κόστος κεφαλαίου είναι συνολικά 549.200 €, ενώ οι ετήσιες εξοικονομήσεις είναι πολύ μεγάλες και συγκεκριμένα 177.884 €.

Σημειώνεται ότι, δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός των δύο ειδών κατηγοριών, καθώς όπως έχει αιτιολογηθεί λεπτομερώς, οι παρεμβάσεις της δεύτερης κατηγορίας αποδίδουν περισσότερο σε συνδυασμό με τις παρεμβάσεις της πρώτης κατηγορίας.

Συνολικά, η ενεργειακή αναβάθμιση του κτηρίου με την υλοποίηση όλων των παραπάνω παρεμβάσεων, έχει αρχικό κόστος κεφαλαίου 3.649.783 €, ενώ οι ετήσιες μέσες εξοικονομήσεις που αποφέρουν είναι 383.446,89 €. Όπως σημειώθηκε στην ενότητα 7.2, λόγω έλλειψης στοιχείων συντήρησης της υφιστάμενης κατάστασης, λήφθηκε η παραδοχή του ίδιου κόστους στην υφιστάμενη κατάσταση και τις προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης. Από την άλλη όμως, η νέα κατάσταση θα έχει σημαντικό όφελος από εξοικονομήσεις στη συντήρηση του κτηρίου και των εξοπλισμών του, κάνοντας τις παρεμβάσεις ακόμα πιο αποδοτικές.

Επιπλέον του οικονομικού οφέλους για τη λειτουργία του κτηρίου και τους ιδιοκτήτες, η ενεργειακή αναβάθμιση του κτηρίου, έχει ως αποτέλεσμα την ριζική ανακαίνισή του, δηλαδή την αύξηση της ζωής του, καθώς και την βελτίωση των καθημερινών συνθηκών εντός του χώρου.

7.5 Προτάσεις μελλοντικής εργασίας

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτηρίων τίθεται πλέον στο προσκήνιο, τόσο για μεγάλες εγκαταστάσεις όπως η εξεταζόμενη, όσο ακόμα και νοικοκυριά και μικρότερα κτήρια. Οι νομικές υποχρεώσεις και τα επιδοτούμενα προγράμματα που προκηρύσσονται και σχεδιάζονται, αποτελούν αναγκαία συνθήκη για την βελτίωση των καθημερινών συνθηκών άνεσης, μειώνοντας παράλληλα την άσκοπη και ενεργοβόρα παρούσα κατάσταση. Οι νέες τεχνολογίες και η πρόοδος σε επιστημονικό επίπεδο των διαθέσιμων προϊόντων παράλληλα με τον γερασμένο κτηριακό τομέα στην Ελλάδα, οφείλουν να συνδυαστούν, ανανεώνοντας την υφιστάμενη κατάσταση και μειώνοντας τις ενεργειακές απαιτήσεις και την κατανάλωση, με επακόλουθο την μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου.

Στην παρούσα διπλωματική, εξετάστηκε η μελέτη ενεργειακής αναβάθμισης συνολικά των κτηρίων και συγκεκριμένα των κτηρίων Μέσων Μαζικής Ενημέρωσης κρίσιμου μεγέθους και ενεργειακής κατανάλωσης. Η μελέτη αυτή, πραγματοποιήθηκε τόσο μέσω των διαθέσιμων στοιχείων της υφιστάμενης κατάστασης, αλλά και με την μοντελοποίηση σε λογισμικό της παρούσας κατάστασης και των προτάσεων ενεργειακής αναβάθμισης του κτηρίου.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ριζικές παρεμβάσεις σε τέτοιου μεγέθους και χρήσης κτήρια παρότι έχει μεγάλο αρχικό κόστος κεφαλαίου, συμβάλλει ουσιαστικά στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και του λειτουργικού κόστους, ενώ παράλληλα οδηγεί στην μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου.

Στις προτάσεις για περαιτέρω μελέτη του παρόντος κτηρίου, αποτελεί η πιο λεπτομερής καταγραφή των διαθέσιμων δεδομένων, όπως για παράδειγμα η λήψη μετρήσεων μέσω μόνιμων μετρητών για μεγάλο χρονικό διάστημα, με στόχο την μεγαλύτερη ακρίβεια στην κατανάλωση των επιμέρους καταναλώσεων. Η καταγραφή αυτή, μαζί με την επεξεργασία μεγαλύτερου όγκου στοιχείων που αφορούν τη λειτουργία του κτηρίου, όπως οι επισκέπτες, τα στοιχεία συντήρησης κ.α. θα συμβάλλουν στην μεγαλύτερη προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης με την μοντελοποίηση του λογισμικού.

Κατά την μοντελοποίηση του κτηρίου στο λογισμικό, λήφθηκαν παραδοχές σε σχέση με το σύστημα κλιματισμού. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία του απλού σχεδιασμού βάσει των θερμικών και ψυκτικών φορτίων του κτηρίου και όχι ο λεπτομερής σχεδιασμός τους που οδηγεί σε ακριβέστερα αποτελέσματα. Μελλοντική εργασία, μπορεί να αναλύσει λεπτομερέστερα το σύστημα κλιματισμού και το σχεδιασμό του που όμως απαιτεί περισσότερα διαθέσιμα στοιχεία και ανάλυση.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, (2013), «Βάσει του Άρθρου 7, Παράγραφος 9 της οδηγίας 2012/27/ΕΕ, του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου, για την ενεργειακή απόδοση, την τροποποίηση των οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την κατάργηση των οδηγιών 2004/8/ΕΚ και 2006/32/ΕΚ»,
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/article7_el_greece.pdf, [cited 20/10/2020].
2. Eurostat, (2020), Energy Balances in EU,
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>, [cited 20/10/2020].
3. Ελληνική Στατιστική Αρχή, (2013) «Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά, 2011-2012», <https://www.statistics.gr/census-buildings-2011>, [cited 20/10/2020].
4. Αλεβίζος, Γ., (2013), *Εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια*, Διπλωματική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
5. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), (2011), «Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC»,
http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_HVAC.pdf, [cited 20/10/2020].
6. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ), Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701/2017
7. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), (1999), «Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας μέσω θερμομόνωσης»,
http://www.cres.gr/cres/files/xrisima/ekdoseis/ekdoseis_GR21.pdf, [cited 20/10/2020].
8. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), (2016), «Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε οικιστικά σύνολα»,
<http://www.cres.gr/kape/education/Apeoikistika.pdf>, [cited 20/10/2020].
9. Σταγάκης Ι., (2018), «Ενεργειακή Επιθεώρηση σε Κτίριο του Δημόσιου Τομέα»,
<http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/13713/1/DT2018-0041.pdf>, [cited 20/10/2020].

10. Τεχνικά Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πάνελ Aleo solar P23,
https://www.aleo-solar.com/app/uploads/2016/01/P23_320-325W_EN_web.pdf,
[cited 20/10/2020].

11. Παναγιωτόπουλος Ι., (2015), «Μελέτη βιωσιμότητας Εταιρίας Ανακύκλωσης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στην Ελλάδα»,
<http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/6590/Panagiotopoulos.pdf?sequence=2&isAllowed=y>, [cited 20/10/2020].