



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Ενεργειακή Ανάλυση και Αξιολόγηση Επεμβάσεων σε Νοσοκομειακή Κτηριακή
Εγκατάσταση»**

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Μασούρα Λευτέρη

Επιβλέπων

**Αντώνιος Μορώνης, Καθηγητής,
Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών**

Αθήνα, 2021

Μεταπτυχιακή Εργασία: «Ενεργειακή Ανάλυση και Αξιολόγηση Επεμβάσεων σε Νοσοκομειακή Κτηριακή Εγκατάσταση»

Φοιτητής: Λευτέρης Μασούρας

Επιβλέπων: Αντώνιος Μορώνης, Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών

Ακαδημαϊκό Έτος: 2020-2021

Σύνοψη

Με την παρούσα Διπλωματική Εργασία γίνεται ανάλυση και αξιολόγηση επεμβάσεων για την εξοικονόμηση ενέργειας Νοσοκομειακού κτηρίου το οποίο ανήκει στην κατηγορία κτηρίων Τριτογενούς Τομέα. Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τους σκοπούς της εργασίας προέκυψαν από ενεργειακή επιθεώρηση που έχει πραγματοποιηθεί σε αντίστοιχο κτήριο σε προκαταρκτικό στάδιο. Η μοντελοποίηση προσομοιώθηκε με το λογισμικό πακέτο Energy Plus.

Η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε είναι η μοντελοποίηση του κτηρίου με τα δεδομένα που προέκυψαν από ενεργειακή επιθεώρηση. Με βάσει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης πραγματοποιούνται επεμβάσεις αντικατάστασης του συστήματος φωτισμού και ελέγχου του φωτισμού, αναβάθμιση του συστήματος ψύξης και θέρμανσης, εξωτερικά σκίαστρα στα παράθυρα, εγκατάσταση θερμομόνωσης, αντικατάσταση παραθύρων και εγκατάσταση συστήματος BEMS για την εξοικονόμηση ενέργειας στο μοντέλο του κτηρίου. Στην συνέχεια αναλύεται η αποτελεσματικότητα των κύριων επεμβάσεων οι οποίες είναι η αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού, του συστήματος κλιματισμού, στο σύστημα ενεργειακής διαχείρισης και η συνεισφορά τους στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτηρίου.

Μετά την τεχνική αξιολόγηση των επεμβάσεων αναλύεται χρηματοοικονομικά ο χρόνος απόσβεσης σύμφωνα με την αποτελεσματικότητα της κάθε επέμβασης σε ότι αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και αξιολογείται η ενεργειακή και οικονομική αποδοτικότητα της κάθε μιας. Τέλος με βάση τα δεδομένα που προκύπτουν από την ενεργειακή ανάλυση αξιολογείται η πρόταση εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών του κτηρίου με την χρήση της τεχνικής του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού.

Λέξεις Κλειδιά

Αξιολόγηση, Αυτοματισμός, Βαθμός Απόδοσης, Ενέργεια, Κλιματισμός, Φωτισμός.

Post-Graduate Thesis: **«Analysis and Evaluation of Energy Performance Upgrade
in a Hospital Building»**

Student: **Lefteris Masouras**

Supervisor: **Antonios Moronis, Professor, Department of Electrical and
Electronic Engineering**

Academic Year: **2020-2021**

Summary

In this thesis, the energy consumption profile for a hospital building is analyzed, and different energy performance upgrade interventions have been evaluated, using a dynamic analysis model, implemented with Energy Plus software. The data used for modeling and the energy analysis are based on the energy audit performed at a preliminary stage.

The data imported to the Energy Plus software have been used by the dynamic model to evaluate the exported results, representing the energy consumption profile of the building. This profile has been further analyzed in order to suggest different energy performance upgrades which have been examined in the form of possible intervention scenarios. These energy performance upgrades include the HVAC system upgrade, the installation of external thermal insulation, the external window shadings and windows replacement, the installation of new energy efficient lighting systems as well as a new BEMS system installation. These upgrades have been analyzed individually at first, and then as a whole.

After simulating all energy performance upgrade interventions, the exported results were analyzed and compared with those before the interventions. Finally, an economic analysis of the interventions has been carried out by evaluating the payback period, the equivalent annual worth and the internal rate of return indices. Moreover, the use of renewable energy sources has been examined by evaluating the construction of a solar photovoltaic system implementing virtual net metering, in order to cover the energy demands of the building.

Keywords

Air Conditioning, Assessment, Automations, Energy, Energy Efficiency Index

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Αντώνιος Μορώνης Καθηγητής	Ιωαννίδης Γεώργιος Καθηγητής	Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Μασούρας Ελευθέριος του Νικολάου, με αριθμό μητρώου Energy-1808 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 31/8/2021 και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο Δηλών

Copyright © Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολής Μηχανικών, Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή της για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, Σχολής Μηχανικών, Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα Διπλωματική εργασία μου δόθηκε η ευκαιρία να συνεργαστώ με τον κ. Αντώνιο Μορώνη, καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του ΠΑΔΑ τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την συνεργασία καθώς και για τις ουσιαστικές και πολύτιμες κατευθύνσεις και οδηγίες που μου έδωσε. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δημήτρη Ζαχαρία, Ενεργειακό Μηχανολόγο Μηχανικό, για την συνεισφορά του στην κοστολόγηση των εργασιών των επεμβάσεων σύμφωνα με τις τρέχουσες τιμές της αγοράς.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Σύνοψη.....	iii
Λέξεις Κλειδιά	iii
Summary	v
Keywords	vi
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	9
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	10
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	12
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	16
1.1 Εισαγωγή.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	18
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	18
2.1 Εισαγωγή.....	18
2.2 Ενεργειακή Κατανάλωση Κτηρίων.....	18
2.2 Κτήρια μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών ενεργειακών εκπομπών (ZEB ή nZEB).....	20
2.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα	22
2.3.1 Εισαγωγή.....	22
2.3.2 Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	22
2.4 Ιδιότητες διαφανών και αδιαφανών δομικών στοιχείων	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	34
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΤΗΡΙΟΥ.....	34
3.1 Εισαγωγή.....	34
3.2 Δεδομένα κτηρίου	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	45
ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	45
4.1 Εισαγωγή.....	45
4.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων προσομοίωσης, παρατηρήσεις - συμπεράσματα.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	50
ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	50
5.1 Εισαγωγή.....	50
5.2 Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στο μοντέλο του κτηρίου	50
5.2.1 Αντικατάσταση φωτιστικών σωμάτων με φωτιστικά σώματα τύπου Led	50
5.2.2 Εγκατάσταση συστήματος ελέγχου του φωτισμού.....	52
5.2.3 Ενεργειακή αναβάθμιση του συστήματος ψύξης και του συστήματος θέρμανσης.....	53

5.2.4 Επεμβάσεις στα διαφανή και αδιαφανή στοιχεία του κτηρίου	54
5.2.5 Εγκατάσταση συστήματος ελέγχου ενέργειας BEMS	56
5.3 Ανάλυση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων	58
5.4 Οικονομική αξιολόγηση επεμβάσεων	62
5.4.1 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επέμβασης Αντικατάστασης φωτισμού	64
5.4.2 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επέμβασης συστήματος ελέγχου φωτισμού	65
5.4.3 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση αναβάθμισης του συστήματος ψύξης και θέρμανσης	66
5.4.4 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση εγκατάστασης συστήματος BEMS	67
5.4.5 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επέμβασης αντικατάστασης φωτισμού, Αναβάθμισης συστήματος Ψύξης και θέρμανσης και εγκατάσταση BEMS.....	68
5.5 Διαστασιολόγηση Φωτοβολταϊκού συστήματος εικονικού ενεργειακού	69
συμψηφισμού	69
5.6 Οικονομική αξιολόγηση Φωτοβολταϊκού συστήματος	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	77
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ...	77
6.1 Παρατηρήσεις και συμπεράσματα	77
6.2 Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.....	80
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Καταναλώσεις Ενέργειας κτηρίων ανά κλιματική Ζώνη.	19
Σχήμα 2: Τρισδιάστατη απεικόνιση ΦΒ στοιχείου	23
Σχήμα 3: Είδη ΦΒ Πλαισίων.	25
Σχήμα 4: Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας ΦΒ στοιχείου.	26
Σχήμα 5: Χαρακτηριστική καμπύλη τάσης-ισχύος ΦΒ.	27
Σχήμα 6: Καμπύλη βαθμού απόδοσης ΦΒ για διάφορες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας.	28
Σχήμα 7: Ποσοστιαία κατανομή εμβαδού ανά ζώνη δεδομένων από πίνακα 5.	36
Σχήμα 8: Κάτοψη Ισογείου.	37
Σχήμα 9: Κάτοψη Α ορόφου.	38
Σχήμα 10: Κάτοψη Β ορόφου.	39
Σχήμα 11: Κάτοψη Γ ορόφου	40
Σχήμα 12: Κατανομή καταναλώσεων ενέργειας ανά κατηγορία εξοπλισμού κτηρίου.	46
Σχήμα 13: Κατανομή καταναλώσεων ενέργειας με την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με φωτιστικά τύπου Led.	51
Σχήμα 14: Κατανομή καταναλώσεων ενέργειας με την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με φωτιστικά τύπου Led και εγκατάσταση συστήματος ελέγχου του φωτισμού.	52
Σχήμα 15: Καταναλώσεις ενέργειας με την αναβάθμιση του συστήματος ψύξης και του συστήματος θέρμανσης.....	54
Σχήμα 16: Καταναλώσεις ενέργειας με την εγκατάσταση του συστήματος ελέγχου και διαχείρισης ενέργειας.	56
Σχήμα 17: Διακύμανση καταναλώσεων ενέργειας πριν και μετά τις επεμβάσεις.	58
Σχήμα 18: Ποσοστιαία κατανομή συνεισφοράς των επεμβάσεων στην εξοικονόμηση ενέργειας.	59
Σχήμα 19: Ποσοστιαία κατανομή συνεισφοράς επεμβάσεων που επιφέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας.	60
Σχήμα 20: Γραφική παράσταση αποσβέσεων αντικατάστασης του συστήματος φωτισμού.	64
Σχήμα 21: Γραφική παράσταση αποσβέσεων συστήματος ελέγχου φωτισμού.	65
Σχήμα 22: Γραφική παράσταση αποσβέσεων αναβάθμισης του συστήματος ψύξης και θέρμανσης. ..	66
Σχήμα 23: Γραφική παράσταση αποσβέσεων συστήματος διαχείρισης ενέργειας.	67
Σχήμα 24: Γραφική παράσταση αποσβέσεων επεμβάσεων στα συστήματα φωτισμού, θέρμανσης, ψύξης και BEMS.	68
Σχήμα 25: Χάρτης κλιματικών ζωνών Ελλάδας.	72
Σχήμα 26: Γραφική παράσταση αποσβέσεων Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.	76
Σχήμα 27: Καταναλώσεις ενέργειας πριν και μετά το σύνολο των επεμβάσεων.	77

Σχήμα 28: Καταναλώσεις ενέργειας πριν και μετά την αναβάθμιση στο μοντέλο όπου το κτήριο θεωρείται ότι κατασκευάστηκε πριν τον κανονισμό θερμομόνωσης.79

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά ΦΒ συστημάτων για διαφορετικά είδη ΦΒ πλαισίων.	25
Πίνακας 2: Εμβαδό και πλήθος θερμικών ζωνών κτηρίου ανά επίπεδο.	35
Πίνακας 3: Συνολικό εμβαδό κάλυψης ανά ζώνη και ποσοστιαία κατανομή εμβαδού και όγκου του κτηρίου.	35
Πίνακας 4: Ωράριο λειτουργίας (Working Hours) νοσοκομείου σύμφωνα με την ενεργειακή επιθεώρηση.	41
Πίνακας 5: Παράμετροι ανά ζώνη ανάλογα με την Δραστηριότητα (Activity) νοσοκομείου σύμφωνα την ενεργειακή επιθεώρηση και με την TOTEE20701-1.	42
Πίνακας 6: Παράμετροι ανά ζώνη διαφανών και αδιαφανών στοιχείων νοσοκομείου σύμφωνα με την ενεργειακή επιθεώρηση και την TOTEE 20701-1.	42
Πίνακας 7: Παράμετροι ανά ζώνη φωτισμού νοσοκομείου σύμφωνα με την ενεργειακή επιθεώρηση και την TOTEE 20701-1.	43
Πίνακας 8: Παράμετροι ανά ζώνη HVAC νοσοκομείου σύμφωνα με την ενεργειακή επιθεώρηση και την TOTEE 20701-1.	43
Πίνακας 9: Αποτελέσματα προσομοιώσεων του με τα δεδομένα του κτηρίου.	45
Πίνακας 10: Καταναλώσεις ενέργειας ανά κατηγορία εξοπλισμού – Αποτελέσματα προσομοίωσης με τα δεδομένα του κτηρίου.	46
Πίνακας 11: Κατασκευαστικά δεδομένα κτηρίου (Energy Plus) και παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα CO2.	47
Πίνακας 12: Πυκνότητα ισχύος Φωτιστικών σωμάτων σύμφωνα με την TOTEE 20701-1.	50
Πίνακας 13: Σύγκριση καταναλώσεων ενέργειας πριν και μετά την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με φωτιστικά τύπου Led.	51
Πίνακας 14: Κατανομή καταναλώσεων ενέργειας με την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με φωτιστικά τύπου Led και την προσθήκη συστήματος ελέγχου του φωτισμού.	52
Πίνακας 15: SEER συστήματος ψύξης πριν και μετά την ενεργειακή αναβάθμιση.	53
Πίνακας 16: Σύγκριση καταναλώσεων ενέργειας πριν και μετά τις επεμβάσεις αναβάθμισης της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος ψύξης και θέρμανσης.	53
Πίνακας 17: Καταναλώσεις ενέργειας με την συνεισφορά της εγκατάστασης των εξωτερικών σκιάστρων, της αντικατάστασης των κουφωμάτων και την εγκατάσταση θερμομόνωσης	55
Πίνακας 18: Διαμόρφωση καταναλώσεων ενέργειας ανά επέμβαση.	57
Πίνακας 19: Πίνακας τιμών καταναλώσεων ενέργειας με τις επεμβάσεις.	59
Πίνακας 20: Πίνακας τιμών καταναλώσεων ενέργειας με τις επεμβάσεις που επιφέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας.	60

<i>Πίνακας 21: Απόσβεση επένδυσης αντικατάστασης φωτισμού.</i>	<i>64</i>
<i>Πίνακας 22: Απόσβεση επένδυσης συστήματος ελέγχου φωτισμού.</i>	<i>65</i>
<i>Πίνακας 23: Απόσβεση επένδυσης αναβάθμισης του συστήματος ψύξης και θέρμανσης.</i>	<i>66</i>
<i>Πίνακας 24: Απόσβεση επένδυσης συστήματος διαχείρισης ενέργειας.</i>	<i>67</i>
<i>Πίνακας 25: Απόσβεση επένδυσης επεμβάσεων στα συστήματα φωτισμού, θέρμανσης, ψύξης και BEMS.</i>	<i>68</i>
<i>Πίνακας 26: Στοιχεία ΦΒ πλαισίου JA Solar.</i>	<i>70</i>
<i>Πίνακας 27: Απόσβεση Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.</i>	<i>75</i>
<i>Πίνακας 28: Σύγκριση καταναλώσεων στην περίπτωση όπου το κτήριο ήταν κατασκευασμένο πριν τον κανονισμό θερμομόνωσης – καταναλώσεις πριν και μετά την αναβάθμιση.</i>	<i>78</i>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία πραγματοποιείται στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών “*Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων*” που διοργανώνεται από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση και αξιολόγηση επεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίου τριτογενούς τομέα και συγκεκριμένα σε νοσοκομειακό κτήριο. Επιπλέον διερευνάται η διαδικασία ενσωμάτωσης Φωτοβολταϊκού συστήματος με στόχο οι καταναλώσεις ενέργειας μετά τις επεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης να καλύπτονται από την Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την διαδικασία ενεργειακής ανάλυσης και αξιολόγησης των παρεμβάσεων στην παρούσα, προέρχονται αφενός από την ακαδημαϊκή βιβλιογραφία και αφετέρου από πρακτικές που εφαρμόζονται στην πράξη σε σχετικούς τομείς. Η παρούσα εργασία διαμορφώνεται σε έξι κεφάλαια και συγκεκριμένα:

Στο πρώτο κεφάλαιο (παρόν κεφάλαιο) γίνεται εισαγωγική αναφορά στο περιεχόμενο της εργασίας και παρουσιάζεται πιο αναλυτικά το περιεχόμενο του συγγράμματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε σχετικές δημοσιεύσεις και περιγράφονται οι καταναλώσεις ενέργειας ανά κατηγορία κτηρίου βάσει μετρήσεων και αναλύσεων από την βιβλιογραφία. Περιγράφονται οι καταναλώσεις ενέργειας των νοσοκομείων καθώς και το γενικό πλαίσιο το οποίο πρέπει να πληρείται για να χαρακτηριστεί ένα κτήριο μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών ενεργειακών εκπομπών. Τέλος γίνεται αναφορά στις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων και στις θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων των κτηρίων.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα δεδομένα του κτηρίου σύμφωνα με τα οποία πρόκειται να πραγματοποιηθεί η ανάλυση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ενεργειακή ανάλυση του κτηρίου. Στο ίδιο κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την μοντελοποίηση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιούνται οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας ανά κατηγορία εξοπλισμού. Αναλύεται η αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων και γίνεται σύγκριση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων. Στο ίδιο κεφάλαιο πραγματοποιείται η οικονομική αξιολόγηση των επεμβάσεων και παρουσιάζεται η πρόταση για την κατασκευή συστήματος παραγωγής ενέργειας με την χρήση της μεθοδολογίας του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού.

Στο έκτο κεφάλαιο αναφέρονται οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την παρούσα εργασία και γίνεται αναφορά σε προτάσεις για περεταίρω διερεύνηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στην ενεργειακή κατανάλωση των νοσοκομειακών κτηρίων σύμφωνα με αναλύσεις σχετικών δημοσιεύσεων. Παρουσιάζεται η ευρύτερη βιβλιογραφική ανασκόπηση για τους σκοπούς αυτής της εργασίας με αναφορά στις ενεργειακές καταναλώσεις των κτηρίων τριτογενούς τομέα, το ενεργειακό προφίλ των κτηρίων μηδενικών ενεργειακών εκπομπών και στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

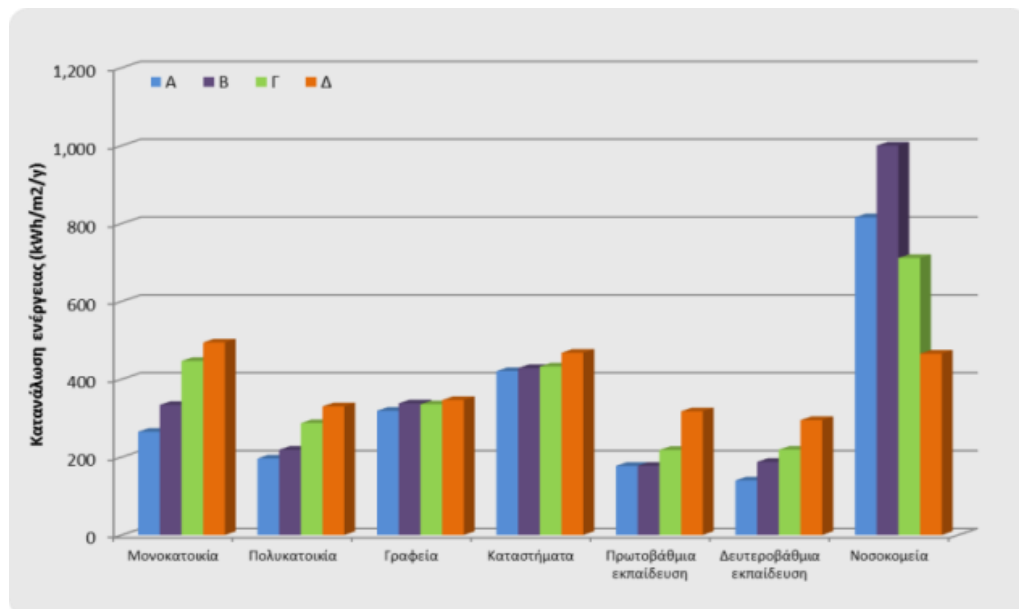
2.2 Ενεργειακή Κατανάλωση Κτηρίων

Παρά τις παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στον κτηριακό τομέα, η Ελλάδα διαθέτει ενεργοβόρο κτηριακό απόθεμα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες χώρες της Ευρώπης. Σε κλιματικά ομογενοποιημένες τιμές, η κατανάλωση μιας κατοικίας στην Αθήνα είναι δύο με τρεις φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη κατανάλωση ενός παρόμοιου κτηρίου στο Ελσίνκι. Το γεγονός αυτό έχει ιδιαίτερα σημαντικές συνέπειες στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, επιβαρύνει δραματικά τον προϋπολογισμό της κάθε οικογένειας και ιδίως των πολιτών χαμηλού εισοδήματος, αυξάνει το ηλεκτρικό φορτίο αιχμής και υποχρεώνει στην κατασκευή συνεχώς νέων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σχεδόν το 65% των κτηρίων που διαθέτουμε είναι κατασκευασμένα πριν από το 1980 και δεν ενσωματώνουν σχεδόν κανένα σύστημα θερμοπροστασίας όπως μόνωση, διπλούς υαλοπίνακες κλπ. Παράλληλα με τα παραπάνω, παρατηρείται εξαιρετικά σημαντική αύξηση του χώρου διαβίωσης ανά άτομο στην χώρα, γεγονός που αυξάνει την ενεργειακή ζήτηση ανά άτομο. Ένας πρόσθετος λόγος σχετίζεται με την διεύδυση του κλιματισμού κατά τα τελευταία χρόνια, που αφενός, αυξάνει την απόλυτη κατανάλωση του κτηριακού τομέα αλλά και το ηλεκτρικό φορτίο αιχμής. Επίσης, η εξαιρετικά σημαντική θερμική υποβάθμιση των αστικών περιοχών συντελεί στην πολύ σημαντική αύξηση του κλιματιστικού φορτίου κατά την θερινή περίοδο.

Σύμφωνα με την *“Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτηριακού αποθέματος (Άρθρο 4, Οδηγία 27/2012/ΕΕ)”* του Υπουργείου Περιβάλλοντος & Ενέργειας, η ενεργειακή κατανάλωση του κτηριακού τομέα της χώρας αυξήθηκε σημαντικά το 2012, σε σχέση με το 1990. Συγκεκριμένα, το 2012 τα νοικοκυριά παρουσίασαν αύξηση της κατανάλωσης κατά 64.8% σε σύγκριση με το 1990, ενώ ο τριτογενής τομέας αύξησε την κατανάλωση ενέργειας στο τριπλάσιο, φτάνοντας τα 2,233 Μtoe. Σύμφωνα με τα δεδομένα από την

έκδοση των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) μέχρι σήμερα, στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζονται οι διαφορετικές μέσες καταναλώσεις ενέργειας ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{y}$) που προκύπτουν ανά χρήση κτιρίου, σε κάθε κλιματική ζώνη.



Σχήμα 1: Καταναλώσεις Ενέργειας κτηρίων ανά κλιματική Ζώνη.

Πηγή: "Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτιριακού αποθέματος (Άρθρο 4, Οδηγία 27/2012/ΕΕ)" - Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΝ).

Από το παραπάνω γράφημα παρατηρείται ότι στην ψυχρότερη κλιματική ζώνη Δ, όλα τα κτίρια διαφορετικής χρήσης, είναι πιο ενεργοβόρα από ότι σε άλλες περιοχές της χώρας, με τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας να καταγράφεται στις μονοκατοικίες ($494 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{y}$). Τα κτίρια γραφείων και τα καταστήματα εμφανίζουν παρόμοιες ενεργειακές καταναλώσεις σε όλες τις κλιματικές ζώνες, σε αντίθεση με τις κατοικίες και τα σχολεία, που παρουσιάζουν αυξητική τάση προς τις ψυχρότερες ζώνες, λόγω των θερμικών αναγκών τους. Αντίθετα, τα νοσοκομεία εμφανίζουν μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση στις πιο θερμές ζώνες (Α, Β), εξαιτίας των μεγάλων αναγκών τους για δροσισμό. Μάλιστα, η υψηλότερη τιμή στην κατανάλωση ενέργειας καταγράφεται στην κλιματική ζώνη Β, στις $1000 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{y}$.

Επισημαίνεται ότι, η υπολογισθείσα κατανάλωση των αναφερθέντων κτιρίων είναι θεωρητική (αφορά τα χαρακτηριστικά του κτιρίου) και όχι πραγματική με βάση τη λειτουργία του κτιρίου από τους χρήστες και με βάση τις πραγματικές καταναλώσεις των λογαριασμών.

2.2 Κτήρια μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών ενεργειακών εκπομπών (ZEB ή nZEB)

Ο όρος «κτήριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας», βάσει της ευρωπαϊκής οδηγίας 2010/31/ΕΕ, αφορά στο «κτήριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση» η οποία προσδιορίζεται με συγκεκριμένη μεθοδολογία. Περαιτέρω διευκρινίζεται πως «η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου, πρέπει να καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου». Τα παραπάνω ενσωματώθηκαν στο εθνικό δίκαιο (Ν. 4122/2013) όπου περαιτέρω αναφέρεται ότι:

- Από 1.1.2021, όλα τα νέα κτίρια πρέπει να είναι κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, ενώ για
- τα νέα κτίρια που στεγάζουν υπηρεσίες του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα, η υποχρέωση αυτή τίθεται σε ισχύ από 1.1.2019.

Παράλληλα, για την ταχύτερη εισαγωγή του κτιρίου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας στο υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα, η παραπάνω ευρωπαϊκή οδηγία προβλέπει τη σύνταξη και υλοποίηση εθνικών σχεδίων δράσης, αποσκοπώντας στη θέσπιση πολιτικών και μέτρων για την προώθηση αυτών των κτιρίων. Ο στόχος είναι αφενός η ενεργειακή αναβάθμιση του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος της χώρας και αφετέρου η κατασκευή νέων κτιρίων, που θα ικανοποιούν τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Ο συγκεκριμένος τύπος κτιρίου (Nearly Zero Energy Buildings – nZEB) ουσιαστικά θα πρέπει να εξασφαλίζει ιδανικές συνθήκες διαβίωσης - τόσο κατά τη διάρκεια του χειμώνα όσο και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού- με ελάχιστη ή μηδενική συμβατική θέρμανση και ψύξη και πολύ χαμηλή κατανάλωση ρεύματος. Τα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (nZEB) διαθέτουν δομικά στοιχεία υψηλών ενεργειακών προδιαγραφών τα οποία συνδυάζονται κατάλληλα κατά τη φάση του σχεδιασμού. Επίσης λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράμετροι όπως προσανατολισμός, ανοίγματα κλπ. Η/Μ εγκαταστάσεις ιδιαίτερα υψηλής ενεργειακής απόδοσης και κάλυψη σημαντικού ποσοστού της κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε τοπικό επίπεδο.

Για το χαρακτηρισμό ενός κτιρίου ως Κτήριο με Σχεδόν Μηδενική Κατανάλωση Ενέργειας (ΚΣΜΚΕ), η ευρωπαϊκή οδηγία προβλέπει ότι το κάθε κράτος μέλος οφείλει να προσδιορίσει τις παραμέτρους εφαρμογής του ορισμού αυτού. Πρακτικά δημιουργείται η υποχρέωση χρήσης ενός δείκτη που θα εκφράζει την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου, ανηγμένη στην επιφάνειά του (kWh/m^2). Αυτός ο δείκτης μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου, π.χ. κατοικία, εμπόριο, κτήριο γραφείων κ.α. καθώς και τις τοπικές συνθήκες που παρατηρούνται στην εκάστοτε περιφέρεια του κάθε κράτους μέλους.

Στην Ελλάδα βάσει και του ΦΕΚ 5447/Β/2018 ως κτήριο ΚΣΜΚΕ νοείται σε περίπτωση νέου κτιρίου εάν είναι ενεργειακής κατηγορίας «Α», ενώ σε περίπτωση υφιστάμενου να είναι ενεργειακής κατηγορίας «B+». Ο αριθμητικός δείκτης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας είναι αυτός που προκύπτει από τον ισχύοντα ΚΕΝΑΚ. Επίσης, συνδυαστικά απαιτείται από την ίδια οδηγία η εισαγωγή απαιτήσεων για χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές τόσο στα νέα κτήρια, όσο και στα υφιστάμενα κτήρια που υφίστανται ανακαίνιση μεγάλης κλίμακας. Επιπροσθέτως, το κάθε κράτος – μέλος υποχρεούται να λάβει τα απαιτούμενα μέτρα προώθησης και χρηματοδότησης για την προώθηση των κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Ειδικότερα, αναφορικά με τη μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων nZEB θα πρέπει καταρχάς να είναι εναρμονισμένη στα κράτη – μέλη και να προβλέπει μηχανισμούς ελέγχου ποιότητας της διαδικασίας ώστε σε περίπτωση μη εφαρμογής να επιβάλλονται οι ανάλογες ποινές. Περαιτέρω καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη κατ' ελάχιστο τα εξής:

- Τα πραγματικά θερμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου (συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών χωρισμάτων του), δηλαδή θερμοχωρητικότητα, θερμομόνωση και θερμογέφυρες.
- Το σχεδιασμό, τη θέση και τον προσανατολισμό του κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη και τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες.
- Την παθητική θέρμανση και το δροσισμό.
- Τις κλιματικές συνθήκες εσωτερικού χώρου, λαμβάνοντας υπόψη και τις συνθήκες σχεδιασμού εσωτερικού κλίματος.
- Τα εσωτερικά φορτία.
- Την εγκατάσταση θέρμανσης και παροχής ζεστού νερού (ZNX), συνυπολογίζοντας και τα χαρακτηριστικά θερμομόνωσής της
- Την εγκατάσταση κλιματισμού, ομοίως συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών θερμομόνωσής της.
- Το φυσικό και μηχανικό αερισμό, λαμβάνοντας υπόψη και την αεροστεγανότητα.
- Την εγκατάσταση του γενικού φωτισμού (στα κτίρια του τριτογενή τομέα).
- Τα παθητικά και υβριδικά ηλιακά συστήματα και την ηλιακή προστασία.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως υπάρχουν χώρες που κατά περίπτωση εξετάζουν πρόσθετους δείκτες αξιολόγησης όπως για παράδειγμα εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, υπερθέρμανση κ.ά. Τέλος, είναι κομβικής σημασίας να καθοριστεί το επίπεδο του βέλτιστου

κόστους σε σχέση με τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για νέα και υφιστάμενα κτίρια και δομικά στοιχεία. Συνεπώς, πρέπει να προδιαγράφονται οι κανόνες σύγκρισης των μέτρων ενεργειακής απόδοσης, των μέτρων ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και οι παραλλαγές όλων των παραπάνω μέτρων σε σχέση με την απόδοση πρωτογενούς ενέργειας και το κόστος υλοποίησης τους.

2.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα

2.3.1 Εισαγωγή

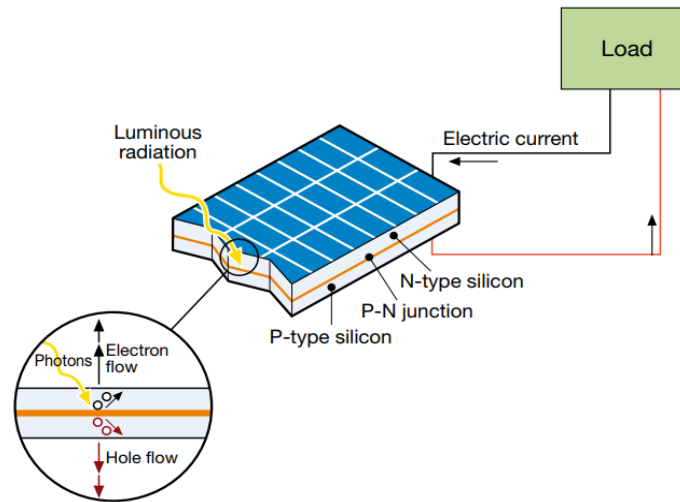
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Επίσης περιγράφεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών έργων και τα κριτήρια επιλογής τους.

2.3.2 Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα είναι μια τεχνολογία που μετατρέπει μέρος της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας απευθείας σε ηλεκτρισμό. Η χρήση των Φωτοβολταϊκών συστημάτων εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στη διαστημική τεχνολογία την δεκαετία του '60 ως μέσο για την παραγωγή ενέργειας σε διαστημόπλοια ενώ η χρήση τους εξαπλώθηκε την δεκαετία του '70 σε κτηριακές εφαρμογές κυρίως απομακρυσμένων περιοχών.

Η κύρια πηγή ενέργειας για την παραγωγή του ηλεκτρισμού είναι η ηλιακή ακτινοβολία η οποία μέσω της φωτοβολταϊκής διαδικασίας ή διαφορετικά του φωτοβολταϊκού φαινομένου μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Το υλικό το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως για την κατασκευή των Φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι το πυρίτιο. Το πυρίτιο είναι από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία στη φύση αφού αποτελεί το 25% του γήινου φλοιού. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό στοιχείο κατασκευάζεται με την τοποθέτηση ενός λεπτού στρώματος πυριτίου ενισχυμένου με φώσφορο σε επαφή με ένα στρώμα από πυρίτιο ενισχυμένο με βόριο. Όταν προσπίπτει ακτινοβολία πάνω στο στοιχείο, τα φωτόνια απορροφούνται και ελευθερώνονται τα ηλεκτρόνια. Στο κομμάτι του πυριτίου φωσφόρου που ονομάζεται N-πυρίτιο δημιουργούνται πρόσθετα ηλεκτρόνια γιατί τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο. Εάν συνδέσουμε με ένα χάλκινο αγωγό τα δύο στρώματα τότε ηλεκτρόνια από το πάνω στρώμα θα φύγουν και θα κατευθυνθούν μέσα από τον αγωγό στο κάτω στρώμα όπου και θα απορροφηθούν από το από το πυρίτιο – βόριο, που ονομάζεται P-πυρίτιο, μιας και το φορτίο είναι θετικό.



Σχήμα 2: Τρισδιάστατη απεικόνιση ΦΒ στοιχείου

Σε ανοικτό κύκλωμα, (χωρίς την σύνδεση χάλκινου αγωγού) η διαδικασία αυτή δημιουργεί διαφορά δυναμικού στα άκρα του στοιχείου η οποία σε ένα τυπικό ΦΒ στοιχείο είναι της τάξης του 0,5V και ισχύος 0,4W. Στο σχήμα 18 φαίνεται η απεικόνιση του φωτοβολταϊκού στοιχείου σε τρισδιάστατη μορφή.

Κατά την κατασκευή του Φ/Β στοιχείου στην επιφάνεια επαφής μεταξύ των δύο στρωμάτων μερικά από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στο N στρώμα διαχέονται σε μικρή απόσταση μέχρι την απέναντι επιφάνεια του P στρώματος καθώς προσελκύονται από τις οπές που υπάρχουν εκεί τις οποίες θέλουν να γεμίσουν. Αυτό αφήνει τα άτομα του φωσφόρου στο N στρώμα χωρίς αρκετά ηλεκτρόνια για να ισορροπήσει τα θετικά φορτία στα μόρια του, ενώ αρκετά ηλεκτρόνια βρίσκονται στο P στρώμα γύρω από τα άτομα του βόριου. Δημιουργείται έτσι ένα μικρό στρώμα ηλεκτρικού φορτίου κατά μήκος της επαφής των δύο στρωμάτων.

Λόγω του ότι τα ηλεκτρόνια είναι φορτισμένα σωματίδια είναι δύσκολο να περάσουν από τη ζώνη στατικού ηλεκτρικού φορτίου. Για το λόγο αυτό η φορτισμένη περιοχή δρα ως συνοριακή περιοχή για το στοιχείο. Όταν κατασκευάζεται το στοιχείο, το σύνορο αυτό δημιουργείται αυτόματα. Υπάρχει σε όλη τη διάρκεια ζωής του και ποτέ δεν εξασθενίζει. Τα μόνα που μπορούν να το διαπεράσουν είναι τα ηλεκτρόνια με υψηλά επίπεδα ενέργειας και αυτός είναι ο λόγος που λειτουργεί ως φίλτρο που αφήνει μόνο ηλεκτρόνια με υψηλά επίπεδα ενέργειας και σταματά τα ηλεκτρόνια με χαμηλά επίπεδα ενέργειας.

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου το πυρίτιο είναι ένα στοιχείο το οποίο είναι ευρέως διαδεδομένο στη φύση. Το καθαρό πυρίτιο παράγεται από άμμο της οποίας το κύριο χαρακτηριστικό είναι το οξείδιο του πυριτίου. Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός ο οποίος έχει επικρατήσει μέχρι σήμερα ως υλικό κατασκευής των ΦΒ στοιχείων. Ανάλογα με τη δομή του

βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο κατασκευής τα ΦΒ στοιχεία πυριτίου διακρίνονται σε τέσσερις τύπους (Περδίδς, 2011).

- ΦΒ στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου τα οποία αποτελούνται από μεγάλους κρυστάλλους, το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (περίπου 300μm) και έχουν χρώμα σκούρο μπλε. Σε εργαστηριακή μορφή το ΦΒ στοιχείο έχει απόδοση 21-24% ενώ σε μορφή ΦΒ πλαισίων έχει απόδοση 12-19%.
- Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου: Κόβονται σε στοιχεία τετραγωνικής μορφής και αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα πάχους 10-50 μm. Έχουν χρώμα γαλάζιο και στην επιφάνεια του στοιχείου διακρίνονται σε διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Σε εργαστηριακή μορφή το ΦΒ στοιχείο έχει απόδοση 17-20% ενώ σε μορφή ΦΒ πλαισίων η απόδοση είναι 12-19%. Το κόστος κατασκευής τους είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου.
- ΦΒ στοιχεία ταινίας. Είναι λεπτή ταινία πολυκρυσταλλικού πυριτίου η οποία δημιουργείται από τηγμένο υλικό. Το ΦΒ στοιχείο έχει απόδοση 13% και περιορισμένη χρήση λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής.
- ΦΒ στοιχεία άμορφου πυριτίου: Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό πυρίτιο. Το ενεργειακό χάσμα του κυμαίνεται από 1,2 eV έως και 1,6 eV ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του ενώ το ενεργειακό χάσμα του κρυσταλλικού πυριτίου έχει σταθερή τιμή 1,1 eV. Το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι ότι έχει πολύ μεγάλο συντελεστή απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να αρκεί ένα λεπτό στρώμα λίγων μm για την κατασκευή των ΦΒ στοιχείων. Η μικρή ποσότητα χρησιμοποιούμενου υλικού μειώνει το κόστος παραγωγής. Το άμορφο πυρίτιο έχει στρεβλωμένους χημικούς δεσμούς με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μέτριες ηλεκτρικές ιδιότητες. Η βελτίωση τους εξασφαλίζεται με την προσθήκη ατόμων υδρογόνου που συμπληρώνουν τους ατελείς χημικούς δεσμούς. Το ΦΒ στοιχείο άμορφου πυριτίου έχει απόδοση 6-8%. Σήμερα κατασκευάζονται διατάξεις από δύο ή τρία ΦΒ στοιχεία που τοποθετούνται το ένα πίσω από το άλλο, τα οποία είναι διαφορετικά κράματα άμορφου πυριτίου. Τα ΦΒ στοιχεία έχουν διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, εμπρός τοποθετείται εκείνο που έχει το μεγαλύτερο και τελευταίο εκείνο με το μικρότερο. Μια τέτοια διάταξη έχει απόδοση 10-12%. Στον πίνακα 13 δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά ΦΒ συστημάτων που αποτελούνται από διαφορετικά είδη ΦΒ στοιχείων πυριτίου.

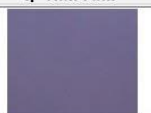


ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΙΔΗ ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ			
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ	ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ	ΑΜΟΡΦΟ
Απόδοση (%)	12 έως 19	12 έως 19	4 έως 7
Μέση ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση (kWh/kWp) και (kWh/m ²)	1300 και 160 έως 185	1300 και 130 έως 160	1300 έως 1400 και 65 έως 140
Απαιτούμενη επιφάνεια (m ²) / kWp	7 έως 8	8 έως 10	10 έως 20
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kgCO ₂ /kWp)	1300	1300,00	1300 έως 1400

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά ΦΒ συστημάτων για διαφορετικά είδη ΦΒ πλαισίων.

Πηγή: Περγίος Σταμάτης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Όπως προαναφέρθηκε η διαφορά δυναμικού η οποία αναπτύσσεται στα άκρα του στοιχείου είναι σε ένα τυπικό ΦΒ στοιχείο 0,5V και η ισχύς του είναι 0,4W. Είναι προφανές ότι οι τιμές αυτές θεωρούνται πολύ μικρές για την τροφοδοσία των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό τα ΦΒ στοιχεία συνδέονται σε σειρά, σε διάταξη όμοια με αυτή των ηλεκτρικών πηγών και συνθέτουν μια εύχρηστη σε μέγεθος και ισχύς μονάδα που ονομάζεται ΦΒ πλαίσιο. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

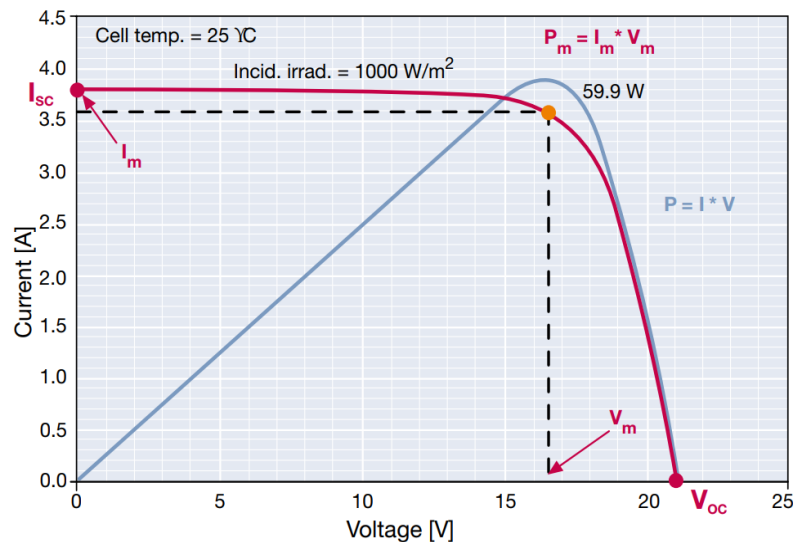
- Δυνατότητα συνδυασμού με ηλεκτρικό συσσωρευτή τυπικής ονομαστικής τάσης 12V για να είναι δυνατή η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ευκολία ενσωμάτωσης σε μεγαλύτερα σύνολα και αντικατάστασης σε περίπτωση βλάβης.

ΤΥΠΟΣ	'Λεπτού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση	a-Si: 4,2-6,6% μ-Si: 8,1-8,5% CIS-CIGS: 6-11% CdTe: 6-11,1%	11-14,8%	11-19,3%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	9-25 m ²	7-9 m ²	5,5-9 m ²
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	1.300-1.450	1.300	1.300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m ²) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	50-160	145-185	145-235
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO ₂ ανά kWp)	1.300-1.450	1.300	1.300

Σχήμα 3: Είδη ΦΒ Πλαισίων.

Για να είναι δυνατή η σύγκριση διαφορετικών ΦΒ στοιχείων έχουν καθοριστεί οι πρότυπες συνθήκες ελέγχου (Standard Test Conditions, STC) κάτω από τις οποίες προδιαγράφεται η ηλεκτρική συμπεριφορά των φωτοβολταϊκών από όπου και προκύπτει και η χαρακτηριστική καμπύλη (I-U). Οι πρότυπες συνθήκες ακολουθούν το πρότυπο IEC 60904/DIN EN 60904 σύμφωνα με το οποίο η κάθετα προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι ίση με 1000W/m^2 , η θερμοκρασία της ΦΒ επιφάνειας 25°C ($\pm 2\%$) και το φάσμα ακτινοβολίας του φωτός, σύμφωνα με τη φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας αναφοράς του προτύπου IEC 60904-3, μάζας αέρα $AM=1,5$. Η μάζα αέρα ορίζεται ως ο λόγος του μήκους της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα προς το πάχος της ατμόσφαιρας, καθορίζοντας την μείωση της έντασης της ακτινοβολίας από το μεγαλύτερο δρόμο (σε σχέση με την κατακόρυφη διαδρομή) που ακολουθούν οι ηλιακές ακτίνες μέσα στην ατμόσφαιρα (Βραχόπουλος, κ.α., 2011).

Με τη σύνδεση ενός ΦΒ πλαισίου σε κύκλωμα που παρεμβάλλεται ωμική αντίσταση η τάση U του πλαισίου μεταβάλλεται συναρτήσει της τιμής της αντίστασης από το μηδέν έως και την τιμή της τάσης ανοικτού κυκλώματος U_{oc} . Αυξάνοντας την αντίσταση η τιμή της έντασης του ρεύματος παραμένει σταθερή μέχρι ενός χαρακτηριστικού σημείου ενώ στη συνέχεια μειώνεται απότομα. Οι καμπύλη του σχήματος 20 αποτελεί τυπική χαρακτηριστική ΦΒ στοιχείων και προκύπτει για σταθερή τιμή της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας G και της θερμοκρασίας του πλαισίου.



Σχήμα 4: Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας ΦΒ στοιχείου.

Η καμπύλη λειτουργίας ενός ΦΒ χαρακτηρίζεται από το σημείο μέγιστης ισχύος όπου το ΦΒ λειτουργεί αποδίδοντας την μέγιστη ισχύ (P_{max}), το σημείο ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sc}) το οποίο είναι 5% έως 15% μεγαλύτερο από το ρεύμα της μέγιστης ισχύος (I_{mp}) και το σημείο τάσης ανοιχτοκύκλωσης (U_{oc}) το οποίο είναι περίπου 0,5 έως 0,6 V στα ΦΒ κρυσταλλικού πυριτίου και

0,6 έως 0,9 V στα άμορφου πυριτίου. Χαρακτηριστικό μέγεθος το οποίο καθορίζει την ποιότητα του ΦΒ στοιχείου είναι ο συντελεστής πλήρωσης (FF) ο οποίος ορίζεται από το λόγο της μέγιστης παραγόμενης ισχύος (P_{max}) προς τη μέγιστη θεωρητικά παραγόμενη ισχύ η οποία ορίζεται από το γινόμενο του ρεύματος βραχυκυκλώσεως (I_{sc}) επί την τάση ανοιχτοκύκλωσης (U_{oc}).

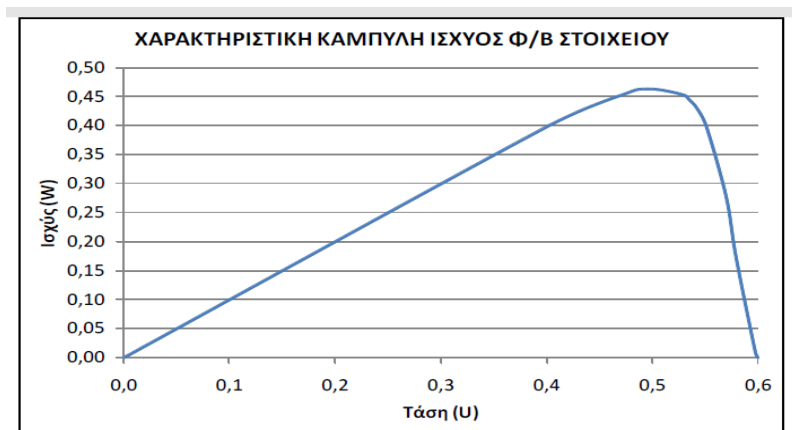
$$FF = \frac{P_{max}}{U_{oc} \cdot I_{sc}} \quad [2.2]$$

Ο συντελεστής πλήρωσης των ΦΒ κρυσταλλικού πυριτίου είναι περίπου $0,75 \div 0,85$ και των ΦΒ άμορφου πυριτίου $0,56 \div 0,61$.

Η ισχύς P_{max} που αποδίδει ένα ΦΒ στοιχείο δίνεται από τη σχέση:

$$P_{max} = U_{max} \cdot I_{max} \quad [2.3]$$

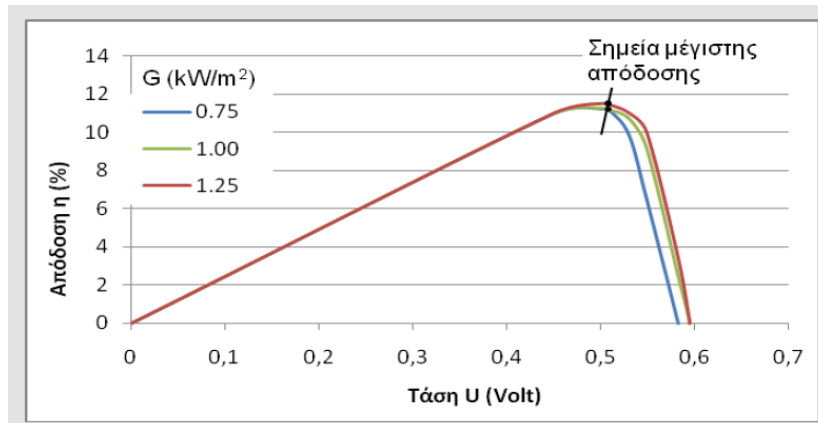
Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη τάσης – ισχύος για ένα ΦΒ καθώς και το σημείο μέγιστης απόδοσης.



Σχήμα 5: Χαρακτηριστική καμπύλη τάσης-ισχύος ΦΒ.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο των ΦΒ είναι ο βαθμός απόδοσης ή διαφορετικά ο βαθμός αξιοποίησης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Ο βαθμός απόδοσης είναι ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος (P_{max}) προς την διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια η οποία καθορίζεται ως το γινόμενο της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (P_{HA}) επί το εμβαδόν (S_{Π}) της επιφάνειας του ΦΒ.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{HA} \cdot S_{\Pi}} \quad [2.4]$$



Σχήμα 6: Καμπύλη βαθμού απόδοσης ΦΒ για διάφορες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας.

Ο βαθμός απόδοσης ενός ΦΒ συστήματος επηρεάζεται από τέσσερις παράγοντες (Περδίδος, 2011):

- Γήρανση: Η απόδοση του ΦΒ πλαισίου μειώνεται λόγω της αλλοίωσης των υλικών κατασκευής των ΦΒ στοιχείων. Η μείωση της απόδοσης είναι 1% για κάθε έτος λειτουργίας και εκφράζεται με το συντελεστή γήρανσης σ_g .
- Ρύπανση επιφάνειας: Η απόδοση του ΦΒ πλαισίου, ιδίως εκείνου που έχει μικρή κλίση μειώνεται λόγω της ρύπανσης της επιφάνειας του από την επικάθηση σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων, ακαθαρσιών κλπ. Η μείωση της απόδοσης είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης, γι' αυτό και απαιτείται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας με απορρυπαντικό. Σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ισχυρούς ανέμους το ΦΒ πλαίσιο πρέπει να τοποθετείται κάθετα ή ε κλίση 45° αντίστοιχα για να μην συγκρατείται το χιόνι ή και η σκόνη. Για τους παραπάνω λόγους λαμβάνεται ο συντελεστής ρύπανσης σ_p σύμφωνα με τις ακόλουθες τιμές:

$\sigma_p = 0,95$ για πλαίσια που καθαρίζονται συχνά.

$\sigma_p = 0,90$ για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα.

$\sigma_p = 0,80$ για πλαίσια οριζόντια και ακάθαρτα.

- Αύξηση της θερμοκρασίας: Η απόδοση του ΦΒ πλαισίου επηρεάζεται σημαντικά από την άνοδο της θερμοκρασίας των ΦΒ στοιχείων των οποίων η μέση θερμοκρασία είναι 30°C περίπου μεγαλύτερη από αυτή της λειτουργίας τους σε πρότυπες συνθήκες STC. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο συντελεστής θερμοκρασίας σ_θ .

$$\sigma_\theta = 1 - [(t_a + 30) - 25] \cdot 0,004 \quad [2.5]$$

Όπου t_a η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα.

- Δίοδος αντεπιστροφής: Χρησιμοποιείται για να εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου του ΦΒ πλαισίου, όταν αυτό δεν φορτίζεται προκαλεί απώλειες ενέργειας της τάξης του 1%. Οι απώλειες αυτές λαμβάνονται υπ' όψη με το συντελεστή απωλειών διόδου $\sigma_\delta = 0,99$.

Πλέον των ως άνω συντελεστών λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες για την διαστασιολόγηση των ΦΒ πλαισίων. Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται από τις κατατόπους συνθήκες και μελετώνται στα επόμενα κεφάλαια δεδομένου ότι λαμβάνονται υπόψη και κατασκευαστικά στοιχεία.

Για την υπολογισμό των ΦΒ συστημάτων, ο βαθμός απόδοσης η του ΦΒ πλαισίου ο οποίος δίνεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC θα πρέπει να πολλαπλασιάζεται με το γινόμενο των τεσσάρων συντελεστών μείωσης της απόδοσης ($\sigma_\gamma \cdot \sigma_\rho \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_\delta$). Λαμβάνοντας υπόψη τους τέσσερις συντελεστές μείωσης της απόδοσης, η μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια που παράγει το ΦΒ πλαίσιο επί ένα χρονικό διάστημα δίνεται από τη σχέση (Περδίδς, 2011):

$$E_{m\Pi} = E_{HA} \cdot S_{\Pi} \cdot \eta_{STC} \cdot \sigma_\gamma \cdot \sigma_\rho \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_\delta = E_{HA} \cdot S_{\Pi} \cdot \eta_{\Pi} \quad [kWh] \quad [2.6]$$

E_{HA} = Η ενέργεια της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (kWh/m^2)

S_{Π} = Η επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου (m^2).

η_{STC} = Ο βαθμός απόδοσης ΦΒ πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC ($\eta_{STC}=0,12 - 0,14$ για πλαίσια με πολυκρυσταλλικά ΦΒ στοιχεία).

$\sigma_\gamma, \sigma_\rho, \sigma_\theta, \sigma_\delta$ = συντελεστές γήρανσης, ρύπανσης, θερμοκρασίας και διόδου αντίστοιχα.

η_{Π} = βαθμός απόδοσης ΦΒ πλαισίου.

$$\eta_{\Pi} = \eta_{STC} \cdot \sigma_\gamma \cdot \sigma_\rho \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_\delta$$

Ο βαθμός απόδοσης ενός ΦΒ πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\eta_{STC} = \frac{P_{p\Pi}/P_{STC}}{S_{\Pi}} \quad [2.7]$$

$P_{p\Pi}$ = ισχύς αιχμής ΦΒ πλαισίου [W_p]

P_{STC} = ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC ($P_{STC} = 1000W/m^2$).

S_{Π} = Επιφάνεια πλαισίου (m^2).

Εάν γνωρίζουμε μόνο την ισχύ αιχμής $P_{p\Pi}$ ενός ΦΒ πλαισίου η μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια που παράγει το ΦΒ πλαίσιο επί ένα χρονικό διάστημα δίνεται από τη σχέση:

$$E_{m\Pi} = E_{HA} \cdot \frac{P_{p\Pi}}{P_{STC}} \cdot \sigma_\gamma \cdot \sigma_\rho \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_\delta \quad [kWh] \quad [2.8]$$

όπου

E_{HA} = Η ενέργεια της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (kWh/m²).

P_{pH} = ισχύς αιχμής ΦΒ πλαισίου [W_p]

P_{STC} = ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC ($P_{STC} = 1000\text{W/m}^2$).

σ_γ , σ_p , σ_θ , σ_δ = συντελεστές γήρανσης, ρύπανσης, θερμοκρασίας και διόδου αντίστοιχα.

Σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται ΦΒ πλαίσια όπου δεν αξιοποιείται όλη η επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου (π.χ. τετράγωνα πλαίσια με κομμένες τις γωνίες) και μειώνεται η αξιοποιήσιμη επιφάνεια του πλαισίου τότε χρησιμοποιείται ο συντελεστής κάλυψης με $\sigma_k = 0,8$.

2.4 Ιδιότητες διαφανών και αδιαφανών δομικών στοιχείων

Τα διαφανή στοιχεία (κουφώματα, παράθυρα) και τα αδιαφανή στοιχεία (κέλυφος) μιας κτηριακής εγκατάστασης αποτελούν σημαντική παράμετρο για την ενεργειακή κατανάλωση. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικοί ορισμοί και η μεθοδολογία υπολογισμού των επιμέρους δομικών διαφανών και αδιαφανών στοιχείων:

Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας (λ) : Είναι η ποσότητα θερμότητας (σε Watt) που περνά από τις απέναντι πλευρές ενός υλικού, πάχους ενός μέτρου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών αυτών είναι ίση με ένα βαθμό Κέλβιν (1°K). Ο συντελεστής (λ) ενός υλικού μετριέται σε βατ ανά μέτρο και βαθμό κέλβιν (W/m*k) επηρεάζεται από τη φύση του ίδιου του υλικού, τη δομή του, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση. Η θερμική αγωγιμότητα είναι υψηλή στα υλικά τα οποία αποκαλούνται *θερμικά αγωγίμα*, όπως είναι τα μέταλλα και είναι χαμηλή στα υλικά που αποκαλούνται *θερμομονωτικά*, γι αυτό όσο μικρότερος είναι ο συγκεκριμένος συντελεστής ενός υλικού τόσο καλύτερη θερμομόνωση έχει.

Συντελεστής Θερμοπερατότητας (U) : Είναι η ποσότητα θερμότητας (σε Watt) που περνά μέσα από ένα τετραγωνικό μέτρο ενός δομικού στοιχείου, ορισμένου πάχους d σε ορισμένο χρονικό διάστημα μίας ώρας, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κέλβιν (ή ενός βαθμού Κελσίου - °C). Μετρά δηλαδή με πόση ευκολία διαπερνά η θερμότητα ένα υλικό ή σύστημα μέσα στα πλαίσια που αναφέρθηκαν. Ο συντελεστής U-value μετριέται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο και βαθμό Κέλβιν (W/m²*K) και μαθηματικά εκφράζεται με τον τύπο $U=1/R$ όπου R είναι ο συντελεστής θερμικής αντίστασης. Όσο μικρότερος είναι ο συγκεκριμένος συντελεστής ενός δομικού στοιχείου, υλικού ή στρώσεων υλικών, τόσο καλύτερη θερμομόνωση

έχουμε. Ο συγκεκριμένος συντελεστής επηρεάζεται από το πάχος σε συνδυασμό με το συντελεστή (λ) των υλικών ενός συστήματος.

Συντελεστής Θερμικής Αντίστασης (R): Είναι το αντίστροφο του συντελεστή Θερμοπερατότητας. Μετρά δηλαδή με πόση δυσκολία (αντίσταση των μετρούμενων στοιχείων) περνά η θερμότητα, διαμέσου ενός υλικού ή στρώσεων υλικών (σύστημα) με διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του ίση με ένα βαθμό Κέλβιν. Ο συντελεστής R μετριέται σε τετραγωνικά μέτρα επί βαθμούς Κέλβιν ανά βατ ($m^2 K/W$) και μαθηματικά εκφράζεται με τον τύπο $R=d/\lambda$ όπου d το πάχος του υλικού και λ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Όσο μεγαλύτερος (αντίστροφα με τους προηγούμενους συντελεστές) είναι ο συντελεστής R ενός υλικού, τόσο καλύτερη θερμομόνωση έχει.

Θερμοχωρητικότητα (C): Είναι η ποσότητα θερμότητας που αποθηκεύει ένα δομικό στοιχείο ενός χώρου που θερμαίνεται (ή κλιματίζεται) όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών του είναι πάντα ίση με $1^\circ C$. Η ποσότητα της θερμότητας, η οποία αποθηκεύεται, αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του στοιχείου της κατασκευής και του αέρα που το περιβάλλει και είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι ειδική θερμοχωρητικότητα και η μάζα του στοιχείου. Στην περίπτωση όπου η θερμοχωρητικότητα είναι αυξημένη, ο ρυθμός θέρμανσης και ψύξης του χώρου είναι αργός και τις ζεστές ημέρες παρατηρείται ελαττωμένη θέρμανση του χώρου. Η αυξημένη θερμοχωρητικότητα συντελεί στην εξισορρόπηση της θερμοκρασίας κατά τις απότομες εναλλαγές θερμότητας-ψύχους.

Συντελεστής εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας (ε): Είναι η αναλογία εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας ενός σώματος προς την θερμική ακτινοβολία μελανού σώματος (τιμές από 0 έως 1).

Μεταφορά Θερμοπερατότητας: Όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε δύο αντικείμενα υπάρχει μεταφορά θερμότητας από το σώμα με την υψηλότερη θερμοκρασία στο σώμα με την χαμηλότερη θερμοκρασία. Η μεταφορά ή μετάδοση θερμότητας ανάμεσα σε δύο σώματα είναι ένα φυσικό φαινόμενο που πραγματοποιείται με τρεις τρόπους/μηχανισμούς:

- Αγωγή θερμότητας που πραγματοποιείται μέσω της μάζας ή των μορίων στερεών.
- Συναγωγή θερμότητας που πραγματοποιείται στα ρευστά.
- Θερμική ακτινοβολία που πραγματοποιείται μεταξύ σωμάτων που βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους.

Η μεταφορά θερμότητας ανά μονάδα χρόνου σε ένα σώμα ονομάζεται θερμική ροή Q και εξαρτάται από την θερμική του αγωγιμότητα ή αλλιώς θερμοπερατότητα.

Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας μονού κουφώματος: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας κουφώματος ορίζει την ποσότητα θερμότητας σε Watt, ανά μονάδα χρόνου, που μπορεί να διαπεράσει ένα κούφωμα με επιφάνεια 1m^2 όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο επιφανειών του (μέσα-έξω) είναι 1 βαθμός K ή 1 °C και σύμφωνα με την TOTEE 20701-1 υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$U_w = \frac{U_f * A_f + U_g * A_g * I_g * \Psi_g}{A_f + A_g} \quad [2.9]$$

U_w : Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κουφώματος ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

U_f : Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου του κουφώματος ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

U_g : Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

A_f : Το συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος (m^2).

A_g : Το συνολικό εμβαδόν του υαλοπίνακα (m^2).

I_g : Το συνολικό περιμετρικό μήκος του υαλοπίνακα (m).

Ψ_g : Η γραμμική θερμοπερατότητα στη συναρμογή του πλαισίου του υαλοπίνακα (αποστάτης) σε (W/mK).

A_f : Το συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος (m^2).

A_w : Το συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας του υαλοπίνακα του κουφώματος (m^2).

Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας πολυστρωματικών δομικών στοιχείων: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας πολυστρωματικών δομικών στοιχείων υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$U = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_i + \sum_i^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_\delta + R_a} \quad [2.10]$$

Όπου:

U : Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

R_0 : Η συνολική θερμική αντίσταση του δομικού στοιχείου ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$).

U_g : Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

n : Το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου.

R_i : Η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στην μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο ($m^2 \cdot K/W$).

R_δ : Η θερμική αντίσταση που προβάλλει τυχόν υφιστάμενο διάκενο αέρα ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου υπό την προϋπόθεση ότι ο αέρας αυτός δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον ($m^2 \cdot K/W$).

R_α : Η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στην μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο χώρο προς το εξωτερικό περιβάλλον ($m^2 \cdot K/W$).

Για πολυστρωματικά δομικά στοιχεία όπως δάπεδα που έρχονται σε επαφή με το έδαφος ο συντελεστής R_α μηδενίζεται και η σχέση 2.10 διαμορφώνεται ως εξής:

$$U = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_i + \sum_i^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_\delta} \quad [2.11]$$

Οι επιμέρους συντελεστές της σχέσης 2.11 υπολογίζονται όμοια με την σχέση 2.10.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΤΗΡΙΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το κτηριακό μοντέλο του νοσοκομείου όπως σχεδιάστηκε και αναλύθηκε με την χρήση του λογισμικού πακέτου Energy Plus. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από πραγματική εγκατάσταση με την παραδοχή ότι το κτήριο βρίσκεται στην ευρύτερη γεωγραφική περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας (κλιματική ζώνη Β).

Η ανάλυση γίνεται μοντελοποιώντας το κτήριο με την χρήση του προγράμματος Energy Plus. Οι παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν στο λογισμικό για το μοντέλο του κτηρίου λαμβάνονται από την ενεργειακή επιθεώρηση και για όσα δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα ή δεν προκύπτουν από την ενεργειακή επιθεώρηση λαμβάνονται από την Τεχνική Οδηγία TOTEE 20701-1 και την TOTEE 20701-2.

3.2 Δεδομένα κτηρίου

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου, για να σχεδιαστεί το κτήριο στο λογισμικό Energy Plus χρησιμοποιήθηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κτηρίου. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι κατόψεις από τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτηρίου σύμφωνα με τις οποίες σχεδιάστηκε το μοντέλο στο λογισμικό και αναπαριστούν την πραγματική διάταξη των χώρων. Στους πίνακες 2 και 3 παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιμέρους διαστάσεις των χώρων και οι θερμικές ζώνες του κτηρίου. Συνοπτικά τα δεδομένα είναι:

Δεδομένα Κτηρίου (Συνοπτικά)

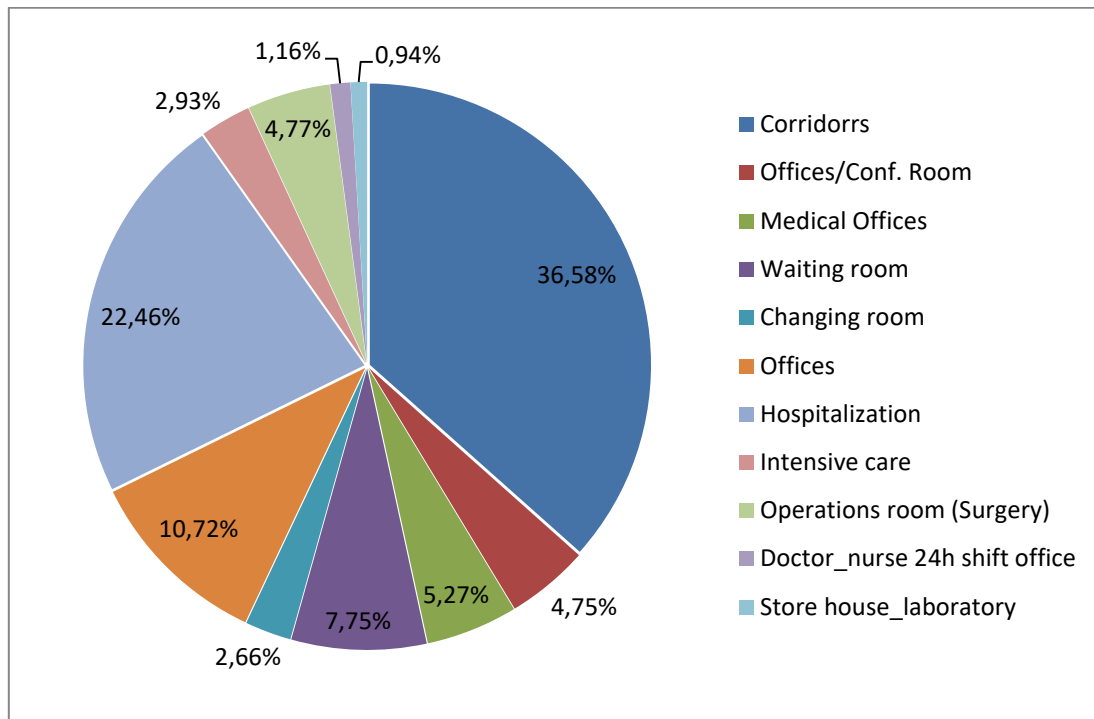
- Γεωγραφική περιοχή: Κεντρική Ελλάδα, κλιματική ζώνη Β.
- Προσανατολισμός: Νότιος
- Επίπεδα/όροφοι: Τέσσερις
- Συνολική επιφάνεια: 4471,92m²
- Χρήση Κτηρίου: Νοσοκομείο - Ορθοπαιδική μονάδα 78 κλινών
- Ωρες λειτουργίας: 24x7x12 και 8x5x12

Level	Zone	Area (m ²)	Volume (m ³)
Ground floor	Corridors	857,10	2914,15
	Offices/Conf. Room	212,43	746,96
	Medical Offices	235,46	807,37
	Waiting room	246,88	804,58
1st Floor	Changing room	119,15	309,78
	Offices	204,40	574,06
	Corridors	320,19	879,41
	Hospitalization	85,11	221,30
	Intensive care	131,19	341,10
	Operations room (Surgery)	213,38	554,79
	Store house_laboratory	42,15	109,59
	Waiting room	38,14	99,16
2nd Floor	Hospitalization	452,04	1226,96
	Waiting room	29,91	76,55
	Corridors	232,85	605,42
	Doctor_nurse 24h shift office	26,30	71,63
	Offices	138,87	385,97
3rd Floor	Hospitalization	467,37	1583,21
	Waiting room	31,85	105,1
	Corridors	225,75	785,77
	Doctor_nurse 24h shift office	25,41	83,85
	Offices	135,99	476,02
SUM:		4471,92	13762,73

Πίνακας 2: Εμβαδό και πλήθος θερμικών ζωνών κτηρίου ανά επίπεδο.

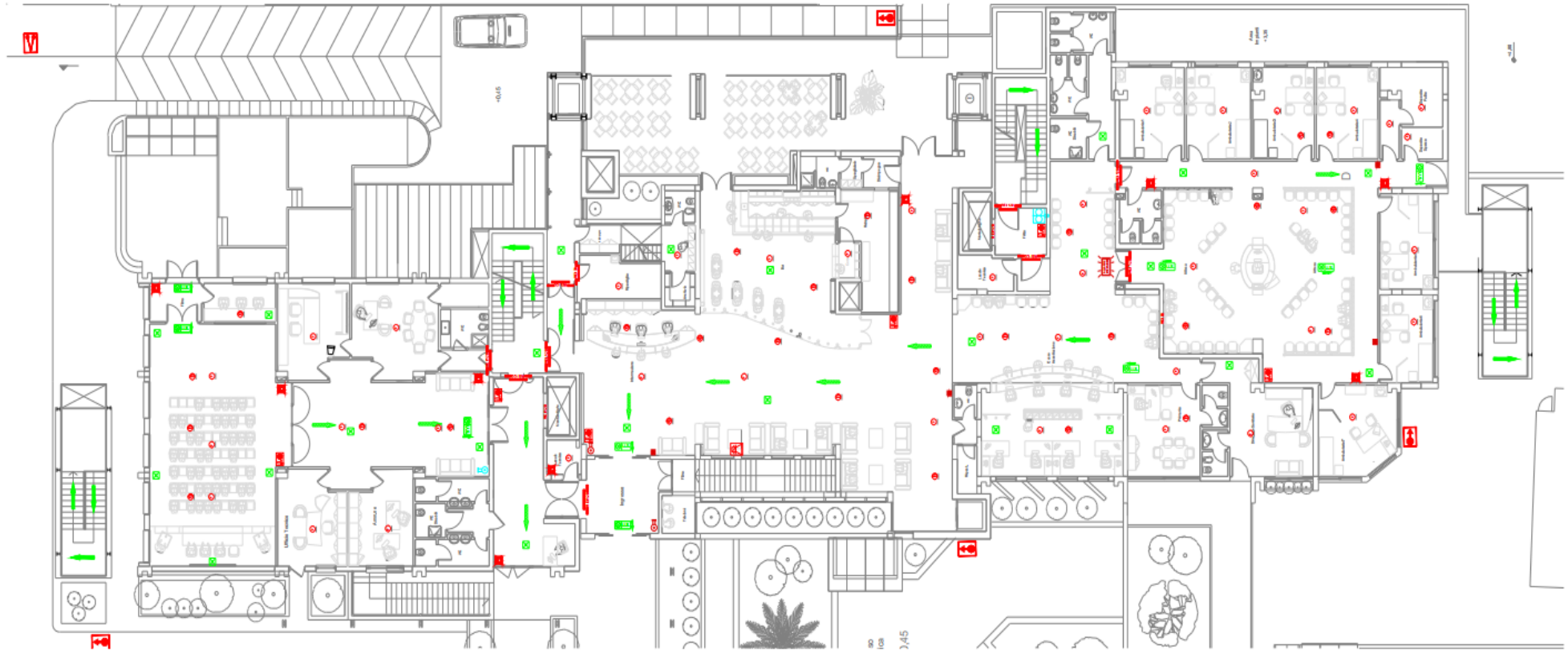
Zone	Area (m ²)	Area (%)	Volume (m ³)	Area (%)
Corridors	1635,89	36,58%	5184,75	37,67%
Offices/Conf. Room	212,43	4,75%	746,96	5,43%
Medical Offices	235,46	5,27%	807,37	5,87%
Waiting room	346,78	7,75%	1085,39	7,89%
Changing room	119,15	2,66%	309,78	2,25%
Offices	479,26	10,72%	1436,05	10,43%
Hospitalization	1004,52	22,46%	3031,47	22,03%
Intensive care	131,19	2,93%	341,1	2,48%
Operations room (Surgery)	213,38	4,77%	554,79	4,03%
Doctor_nurse 24h shift office	51,71	1,16%	155,48	1,13%
Store house_laboratory	42,15	0,94%	109,59	0,80%
SUM:	4471,92	100,00%	13762,73	100,00%

Πίνακας 3: Συνολικό εμβαδό κάλυψης ανά ζώνη και ποσοστιαία κατανομή εμβαδού και όγκου του κτηρίου.



Σχήμα 7: Ποσοστιαία κατανομή εμβαδού ανά ζώνη δεδομένων από πίνακα 5.

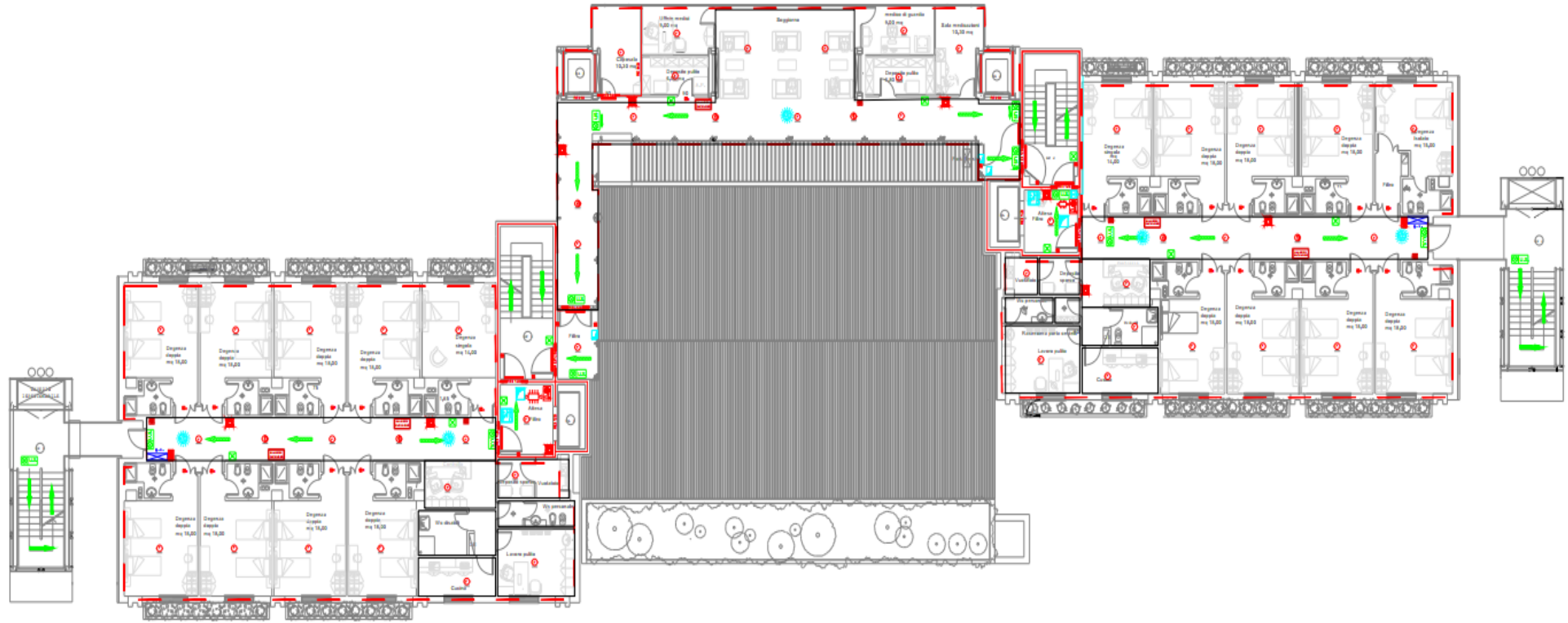
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι κατόψεις των ορόφων του κτηρίου.



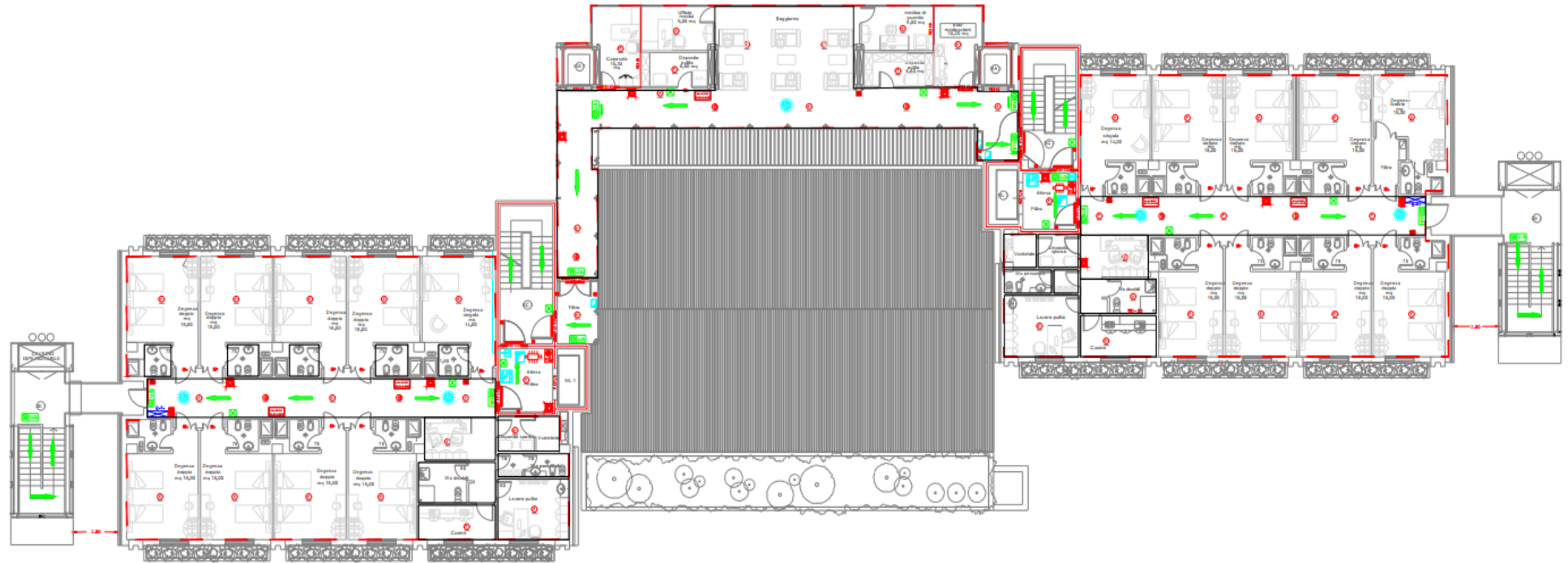
Σχήμα 8: Κάτοψη Ισογείου.



Σχήμα 9: Κάτοψη Α ορόφου.



Σχήμα 10: Κάτοψη Β ορόφου.



Σχήμα 11: Κάτοψη Γ ορόφου

Η ενεργειακή ανάλυση του κτηρίου βασίστηκε στην ενεργειακή επιθεώρηση και για δεδομένα που δεν ήταν διαθέσιμα χρησιμοποιήθηκαν από Τεχνική Οδηγία TOTEE 20701-1. Τα δεδομένα των παρακάτω πινάκων ενσωματώθηκαν στα αντίστοιχα πεδία του λογισμικού Energy Plus. Ο κάθε πίνακας περιλαμβάνει τα απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να συμπληρωθούν στα πεδία του προγράμματος για την αντίστοιχη θερμική ζώνη καθώς και το σύνολο των δεδομένων που ενσωματώθηκαν στο πρόγραμμα και είναι απαραίτητα για την προσομοίωση. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης παρουσιάζονται σε επόμενη παράγραφο.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα δεδομένα που προκύπτουν μετά την ενεργειακή επιθεώρηση. Όπου η καταγραφή των δεδομένων από την επιθεώρηση δεν ήταν εφικτή, το αντίστοιχο πεδίο στο πρόγραμμα συμπληρώθηκε με τιμή που λήφθηκε από την TOTEE 20701-1 και σημειώνεται με έντονο (Bold).

Building zones schedule				
Room	Hours	Days/Week	Months	Source
Corridors	24	7	12	Energy Audit
Changing Room	24	7	12	
Intensive care	24	7	12	
Offices	8	5	12	
Store House_Laboratory	8	5	12	
Operations room (surgery)	8	5	12	
Waiting Room	8	5	12	
Medical Offices	24	7	12	
Patients' room (Hospitalization)	24	7	12	
Doctors'_nurse 24h shift	24	7	12	

Πίνακας 4: Ωράριο λειτουργίας (Working Hours) νοσοκομείου σύμφωνα με την ενεργειακή επιθεώρηση.

Building Parameters per zone												
<u>I. Activity</u>	<u>Unit</u>	<u>Corridors</u>	<u>Changing Room</u>	<u>Intensive care</u>	<u>Offices</u>	<u>Store House Laboratory</u>	<u>Operations room (Surgery)</u>	<u>Waiting Room</u>	<u>Medical Offices</u>	<u>Patients' room (Hospitalization)</u>	<u>Doctors' nurse 24hshift</u>	<u>Source</u>
No of Zone		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Parameter description unit		Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	
Occupancy (Density)	People/m2	0,1	0,1	0,1	1,1	0,19	0,27	0,4	1,1	0,11	0,1	Energy Audit Marked in bold according to TOTEE - 207011-1
Water Consumption Rate	l/m2-day	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	
Heating Set Points Temp	°C	20	21	24	21	20	20	20	21	22	21	
Cooling Set Points Temp	°C	26	26	24	26	26	24	26	26	25	26	
Humidity Control - Humid. (Summer)	%	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Humidity Control - Dehumid. (Winder)	%	50	50	50	50	50	55	50	50	50	50	
Lighting target illuminance	lux	300	300	300	300	300	1000	200	500	100	300	
Power density	W/m2-100lux	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	
Default Display Lighting Density	W/m2	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	42	8,4	21	4,2	12,6	
Gain (Miscellaneous)	W/m2	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Schedule (Miscellaneous)	hours/day	24	24	24	8	8	8	8	8	24	24	

Πίνακας 5: Παράμετροι ανά ζώνη ανάλογα με την Δραστηριότητα (Activity) νοσοκομείου σύμφωνα με την ενεργειακή επιθεώρηση και με την TOTEE20701-1.

Building Parameters for construction			
<u>Description</u>	<u>Unit</u>	<u>Value</u>	<u>Source</u>
Roof	U-Value (W/m2-K)	0,31	Energy Audit
External wall in contact with external air	U-Value (W/m2-K)	0,81	
Floor	U-Value (W/m2-K)	1,75	

Building Parameters for openings				
<u>Frame type</u>	<u>frame (%)</u>	<u>Unit</u>	<u>Glass</u>	<u>Source</u>
Metallic frame without thermal break	20%	U-Value (W/m2-K)	4,1	TOTEE 20701-1
	30%	U-Value (W/m2-K)	4,7	Energy Audit
	40%	U-Value (W/m2-K)	4,8	TOTEE 20701-1
Glass Roof	30%	U-Value (W/m2-K)	4,7	Energy Audit
Glass Wall	30%	U-Value (W/m2-K)	4,7	Energy Audit

Πίνακας 6: Παράμετροι ανά ζώνη διαφανών και αδιαφανών στοιχείων νοσοκομείου σύμφωνα με την ενεργειακή επιθεώρηση και την TOTEE 20701-1.

Building Parameters for lighting											
General Lighting	Corridors	Changing Room	Intensive care	Offices	Store House	Surgery	Waiting Room	Medical Treatment	Patiens' room (Hospitalization)	Doctors' _nurse 24hshift	Source
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	
	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	
Normalized Power density (W/m2-100Lux)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	Energy Audit
Operating hours	8.760,00	8.760,00	8.760,00	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00	8.760,00	8.760,00	
Operating Schedule (Hours per day)	24,00	24,00	24,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	24,00	24,00	
Luminaire type	Recessed	Recessed	Recessed	Recessed	Recessed	Recessed	Recessed	Recessed	Recessed	Recessed	
Control option	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	

Πίνακας 7: Παράμετροι ανά ζώνη φωτισμού νοσοκομείου σύμφωνα με την ενεργειακή επιθεώρηση και την TOTEE 20701-1.

Building Parameters for HVAC										
General	Corridors	Changing Room	Intensive care	Offices	Store House	Surgery	Waiting Room	Medical Treatment	Patiens' room (Hospitalization)	Doctors' _nurse 24hshift
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>
	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value
Outside air definition method	By zone	By zone	By zone	By zone	By zone	By zone	By zone	By zone	By zone	By zone
Outside air (ac/h)	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	9,00	7,00	2,00	3,00	3,00
Economizer	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Auxiliary energy (W/m2)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Heating Fuel	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas
Heating System Efficiency	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Cooling System SEER	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
Humidity control	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Heating system delivery water temperature °C	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Mains Supply temperature °C	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

Πίνακας 8: Παράμετροι ανά ζώνη HVAC νοσοκομείου σύμφωνα με την ενεργειακή επιθεώρηση και την TOTEE 20701-1.

Σημειώνεται ότι εκτενής αναφορά για την ενεργειακή απόδοση των μοντέλων του κτηρίου γίνεται σε επόμενη παράγραφο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου από το λογισμικό Energy Plus. Σε επόμενη παράγραφο παρουσιάζονται πιο αναλυτικά τα αποτελέσματα όλων των προσομοιώσεων όπου γίνεται σύγκριση με τα δεδομένα που προκύπτουν μετά τις επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

4.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων προσομοίωσης, παρατηρήσεις - συμπεράσματα.

Στον πίνακα 9 παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου όπως αναλύθηκε από το μοντέλο του λογισμικού Energy Plus. Τα δεδομένα του προγράμματος (data entry) παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

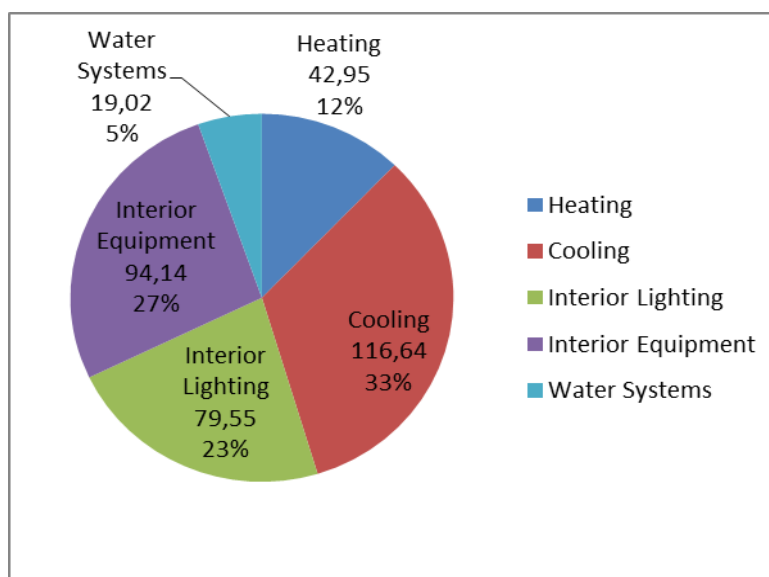
	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	1.575.467,76	352,27
Net Site Energy	1.575.467,76	352,27
Total Source Energy	4.019.369,64	898,73
Net Source Energy	4.019.369,64	898,73

Πίνακας 9: Αποτελέσματα προσομοιώσεων του με τα δεδομένα του κτηρίου.

Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ανά κατηγορία εξοπλισμού καθώς η ποσοστιαία κατανομή τους ανά τετραγωνικό μέτρο. Στο σχήμα 12 οι τιμές του πίνακα 10 παρουσιάζονται με την μορφή γραφήματος.

Simulation Model	Building documents from Audit		
	A		
Apparatus	[kWh]	kWh/m ²	Energy Consumption (%)
Heating	192.091,34	42,95	12,19%
Cooling	521.584,14	116,64	33,11%
Interior Lighting	355.746,95	79,55	22,58%
Interior Equipment	420.983,46	94,14	26,72%
Water Systems	85.064,87	19,02	5,40%
Sum	1.575.470,76	352,30	100,00%

Πίνακας 10: Καταναλώσεις ενέργειας ανά κατηγορία εξοπλισμού – Αποτελέσματα προσομοίωσης με τα δεδομένα του κτηρίου.



Σχήμα 12: Κατανομή καταναλώσεων ενέργειας ανά κατηγορία εξοπλισμού κτηρίου.

Τα δομικά στοιχεία του κτηρίου καθώς και πληροφορίες σχετικά με τα επιμέρους τεχνικά χαρακτηριστικά του κελύφους των διαφανών και αδιαφανών στοιχείων παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται η ισοδύναμη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και η διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κτηρίου.

Materials Embodied Carbon and Inventory	Area (m ²)	Embodied Carbon (kgCO ₂)	Equivalent CO ₂ (kgCO ₂)	Mass (kg)
2010 NCM insulation lambda 0.04	1510,8	0	0	1057,6
Cement/plaster/mortar - cement plaster sand aggregate	4717,7	33344,6	33344,6	175498,1
Cement/plaster/mortar - cement plaster	4757,7	36871,5	36871,5	194060,3
Cement/plaster/mortar - cement/lime plaster	1736,1	0	0	55553,7
Brick	4717,7	179347,7	187499,9	815216,9
Plastic Tiles	1736,1	21961,1	0	8680,3
Gypsum Plasterboard	4078,2	11011	11928,6	91758,5
Aluminium	35,6	1277,5	1374,6	149,4
EPS Expanded Polystyrene (Standard)	5605,7	6808,9	8878,9	2723,6
Concrete Reinforced (with 2% steel)	3246,9	36235	38572,7	116887,1
Cast Concrete (Lightweight)	3246,9	24935,9	24935,9	311698,9
Cast Concrete (Dense)	3085,8	51840,6	51840,6	648007,9
Aerated Concrete Slab	35,6	8,8	9,1	26,7
Sub Total		403642,7	395256,4	2421319
Constructions Embodied Carbon and Inventory	Area (m ²)	Embodied Carbon (kgCO ₂)	Equivalent CO ₂ (kgCO ₂)	
100mm concrete slab	973,7	16358,9	16358,9	
Hospital roof from Audit	1510,8	58256,8	60722,4	
Door	35,6	1286,3	1383,7	
Hospital Wall from Audit	2358,8	214903,7	223728,1	
Project partition	2039,1	11011	11928,6	
100mm concrete slab_Reversed	2112	35481,7	35481,7	
Hospital Ground floor	1736,1	66344,2	67614	
Sub Total	10766,1	403642,58	417217,44	
Glazing Embodied Carbon and Inventory	Area (m ²)	Embodied Carbon (kgCO ₂)	Equivalent CO ₂ (kgCO ₂)	
Diplomatiki double glazing from Audit	529,7	12713,5	12713,5	
Sgl Clr 3mm	227,9	2051,3	2051,3	
Local shading		0	0	
Window shading		0	0	
Sub Total	757,6	14764,8	14764,8	
Building Total	11523,8	418407,4	431.982,2	
Heating Design Capacity	(kW _{he})	957,95		
Cooling Design Capacity	(kW _c)	1.188,47		
Total Building Surface Area	(m ²)	6.044,5		

Πίνακας 11: Κατασκευαστικά δεδομένα κτηρίου (Energy Plus) και παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα CO₂.

Με βάσει τα παραπάνω αποτελέσματα από την προσομοίωση του μοντέλου μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Στο κτήριο η κατανάλωση σε ψύξη αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό καταναλώσεων και ανέρχεται στο 33% των συνολικών καταναλώσεων.
2. Η κατανάλωση για θέρμανση αποτελεί μόλις το 12% των καταναλώσεων και γίνεται επαλήθευση σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$P_{gen} = \left(A * U_m * 1,5 + \frac{V}{3} \right) * \Delta T \quad [3.1]$$

Όπου:

P_{gen} : Η υπολογιζόμενη μέγιστη απαιτούμενη θερμική ισχύς της μονάδας θέρμανσης του κτηρίου (W).

A: Η συνολική πραγματική εξωτερική επιφάνεια του κτηριακού κελύφους (τοίχοι, οροφές, πυλωτή, ανοίγματα), που είναι εκτεθειμένη στον εξωτερικό αέρα ή/και σε επαφή με όμορα κτήρια ή/και σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους ή/και σε επαφή με το έδαφος, όπως λαμβάνεται υπόψη κατά τον έλεγχο θερμομονωτικής επάρκειας του κτηρίου (m^2). Για την Νοσοκομειακή Κτηριακή εγκατάσταση $A=6.044,5m^2$.

- U_m , [$W/(m^2 * K)$] ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας για το σύνολο της επιφάνειας A ο οποίος είναι ίσος με $1,20 W/(m^2 * K)$ για τη Β κλιματική ζώνη.
 ΔT [$^{\circ}C$] ή [K] η διαφορά της θερμοκρασίας για τη διαστασιολόγηση του συστήματος:
 $20^{\circ}C$ για τη Β κλιματική ζώνη.
- 1,5 συντελεστής που περιλαμβάνει τους συντελεστές προσαύξησης λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας, απωλειών δικτύου διανομής κ.τ.λ.
- V η συνολική προσαγωγή νωπού αέρα στον θερμαινόμενο χώρο σε (m^3/h) και υπολογίζεται βάσει του Πίνακα 2.3 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1. Για το εξεταζόμενο κτήριο η προσαγωγή νωπού αέρα σύμφωνα με τον πίνακα 2.3 ανέρχεται σε $10,50m^3/h/m^2$, και η συνολική επιφάνεια του κτηρίου ανέρχεται σε $4471,92m^2$.

Με αντικατάσταση των παραπάνω στην σχέση 3.1 προκύπτει:

$$P_{gen} = \left(6.044,5 * 1,20 * 1,5 + \frac{10,50 * 4.471,92}{3} \right) * 20 = 530,572kW$$

3. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται σε 1.575.470,76kWh/έτος.

Στο κτήριο όπως παρατηρούμε υπάρχουν περιθώρια επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 5.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι επεμβάσεις που λαμβάνουν χώρα προκειμένου να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας στο κτήριο. Επίσης, στο μοντέλο του κτηρίου γίνονται επεμβάσεις και αξιολογείται τεχνικά η οικονομικά η επιμέρους συνεισφορά τους στην εξοικονόμηση ενέργειας.

5.2 Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στο μοντέλο του κτηρίου

5.2.1 Αντικατάσταση φωτιστικών σωμάτων με φωτιστικά σώματα τύπου Led

Ως πρώτη επέμβαση θα διερευνηθεί η αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με σώματα τύπου Led. Για το μοντέλο του κτηρίου από την ενεργειακή επιθεώρηση έχει χρησιμοποιηθεί η πυκνότητα ισχύος του φωτιστικού σώματος φθορισμού τύπου T8 συμπεριλαμβανομένου και του ballast. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η πυκνότητα ισχύος των υφιστάμενων φωτιστικών του κτηρίου καθώς και η πυκνότητα ισχύος των φωτιστικών σωμάτων τύπου LED που πρόκειται να εγκατασταθούν σύμφωνα με την TOTEE 20701-1, πίνακας 5.1α.

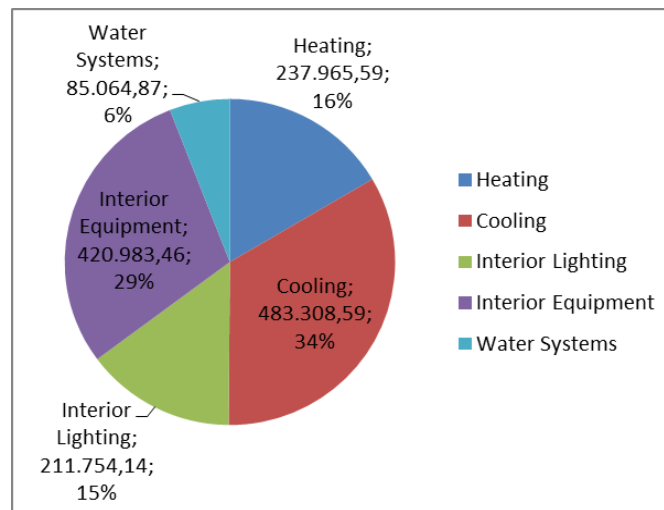
Τύπος Φωτιστικού	Πυκνότητα ισχύος ανά 100lx (W/m ² /100lx)
Γραμμικός φθορισμού T8 (συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρομαγνητικού Ballast)	4,2
Φωτοдиодοι (LED) με ενσωματωμένο driver	2,5

Πίνακας 12: Πυκνότητα ισχύος Φωτιστικών σωμάτων σύμφωνα με την TOTEE 20701-1.

Η αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με τύπου LED διαφοροποιεί την κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό. Τα αποτελέσματα της αντικατάστασης των φωτιστικών σωμάτων χωρίς την χρήση συστήματος ελέγχου των φωτιστικών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Simulation Model	Building documents from Audit			Lighting replacement		
	A			B		
Apparatus	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)
Heating	192.091,34	42,95	12,19%	237.965,59	53,21	16,54%
Cooling	521.584,14	116,64	33,11%	483.308,59	108,08	33,58%
Interior Lighting	355.746,95	79,55	22,58%	211.754,14	47,35	14,71%
Interior Equipment	420.983,46	94,14	26,72%	420.983,46	94,14	29,25%
Water Systems	85.064,87	19,02	5,40%	85.064,87	19,02	5,91%
Sum	1.575.470,76	352,30	100,00%	1.439.076,65	321,80	100,00%

Πίνακας 13: Σύγκριση καταναλώσεων ενέργειας πριν και μετά την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με φωτιστικά τύπου Led.



Σχήμα 13: Κατανομή καταναλώσεων ενέργειας με την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με φωτιστικά τύπου Led.

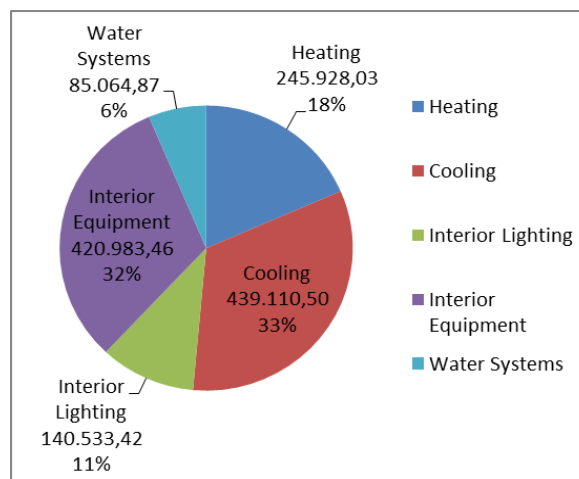
Όπως παρατηρούμε η χρήση των φωτιστικών Led έχει μειώσει αισθητά την κατανάλωση ενέργειας στον φωτισμό και συνολικά ανά τετραγωνικό μέτρο. Στην επόμενη παράγραφο γίνεται εγκατάσταση του συστήματος ελέγχου (γραμμικός έλεγχος) της στάθμης φωτισμού λαμβάνοντας υπόψη τον φυσικό φωτισμό που εισέρχεται στους χώρους του κτηρίου από τα αδιαφανή δομικά στοιχεία.

5.2.2 Εγκατάσταση συστήματος ελέγχου του φωτισμού

Η εγκατάσταση του συστήματος ελέγχου του φωτισμού ακολουθεί σε συνέχεια της αντικατάστασης των φωτιστικών σωμάτων. Με την επέμβαση αυτή γίνεται εγκατάσταση του συστήματος γραμμικού ελέγχου της στάθμης φωτισμού λαμβάνοντας υπόψη τον φυσικό φωτισμό που εισέρχεται στους χώρους του κτηρίου από τα αδιαφανή δομικά στοιχεία.

Simulation Model	Building documents from Audit			Linear Lighting control		
	A			C		
Apparatus	[kWh]	kWh/m ²	Energy Consumption (%)	[kWh]	kWh/m ²	Energy Consumption (%)
Heating	192.091,34	42,95	12,19%	245.928,03	54,99	18,47%
Cooling	521.584,14	116,64	33,11%	439.110,50	98,19	32,98%
Interior Lighting	355.746,95	79,55	22,58%	140.533,42	31,43	10,55%
Interior Equipment	420.983,46	94,14	26,72%	420.983,46	94,14	31,61%
Water Systems	85.064,87	19,02	5,40%	85.064,87	19,02	6,39%
Sum	1.575.470,76	352,30	100,00%	1.331.620,28	297,77	100,00%

Πίνακας 14: Κατανομή καταναλώσεων ενέργειας με την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με φωτιστικά τύπου Led και την προσθήκη συστήματος ελέγχου του φωτισμού.



Σχήμα 14: Κατανομή καταναλώσεων ενέργειας με την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με φωτιστικά τύπου Led και εγκατάσταση συστήματος ελέγχου του φωτισμού.

5.2.3 Ενεργειακή αναβάθμιση του συστήματος ψύξης και του συστήματος θέρμανσης

Με από την αντικατάσταση του συστήματος φωτισμού το σύστημα ψύξης όπως φαίνεται από το σχήμα 14 αποτελεί την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση του νοσοκομείου. Για το λόγο αυτό θα διερευνηθεί η ενεργειακή του αναβάθμιση με την αντικατάσταση του μηχανολογικού εξοπλισμού παραγωγής ψύξης με μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης. Το σύστημα ψύξης αποτελείται από ψύκτη (chiller) και fan coil, τετρασωλήνιο κύκλωμα αγωγών (δύο σωληνώσεις για θέρμανση και δύο για ψύξη – προσαγωγή και επιστροφή νερού) και έχει ως ψυκτικό μέσο το νερό. Το σύστημα θέρμανσης αποτελείται από λέβητα φυσικού αερίου με θερμαινόμενο μέσο το νερό η κυκλοφορία του οποίου γίνεται μέσω του παραπάνω συστήματος σωληνώσεων.

Στις προσομοιώσεις των προηγούμενων μοντέλων χρησιμοποιήθηκε συντελεστής απόδοσης του συστήματος ψύξης με SEER=1,67. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο υφιστάμενος βαθμός απόδοσης του συστήματος ψύξης καθώς και αυτός που θα χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της ενεργειακής αναβάθμισης ο οποίος θα είναι SEER=2,5.

Σύστημα ψύξης	SEER
Συντελεστής απόδοσης συστήματος ψύξης πριν την ενεργειακή αναβάθμιση.	1,67
Συντελεστής απόδοσης συστήματος ψύξης μετά την ενεργειακή αναβάθμιση.	2,5

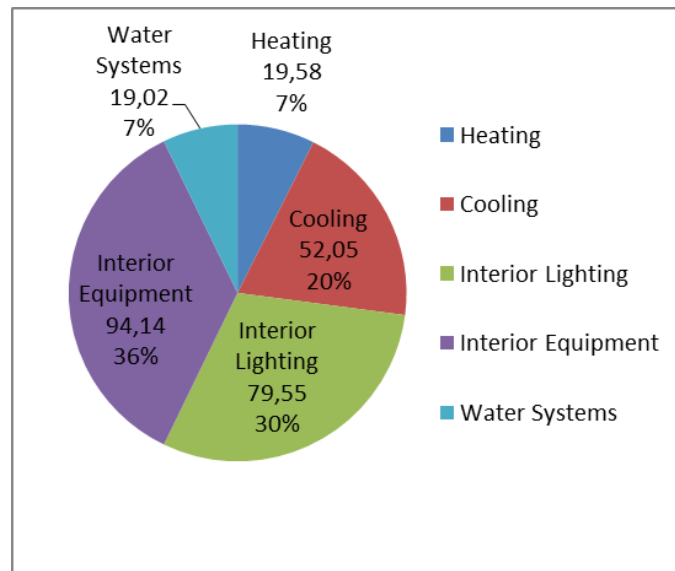
Πίνακας 15: SEER συστήματος ψύξης πριν και μετά την ενεργειακή αναβάθμιση.

Σε ότι αφορά την θέρμανση, γίνεται αναβάθμιση του συστήματος με βαθμό απόδοσης του boiler από 0,75 σε 0,89.

Στο σχήμα 18 παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας πριν και μετά τις παρεμβάσεις και στον πίνακα 25 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου του κτηρίου με την αναβάθμιση του συστήματος ψύξης και του συστήματος θέρμανσης.

Simulation Model	Building documents from Audit			HVAC Upgrade		
	A			D		
Apparatus	[kWh]	kWh/m ²	Energy Consumption (%)	[kWh]	kWh/m ²	Energy Consumption (%)
Heating	192.091,34	42,95	12,19%	87.571,60	19,58	7,41%
Cooling	521.584,14	116,64	33,11%	232.765,47	52,05	19,69%
Interior Lighting	355.746,95	79,55	22,58%	355.746,95	79,55	30,09%
Interior Equipment	420.983,46	94,14	26,72%	420.983,46	94,14	35,61%
Water Systems	85.064,87	19,02	5,40%	85.064,87	19,02	7,20%
Sum	1.575.470,76	352,30	100,00%	1.182.132,35	264,35	100,00%

Πίνακας 16: Σύγκριση καταναλώσεων ενέργειας πριν και μετά τις επεμβάσεις αναβάθμισης της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος ψύξης και θέρμανσης.



Σχήμα 15: Καταναλώσεις ενέργειας με την αναβάθμιση του συστήματος ψύξης και του συστήματος θέρμανσης

5.2.4 Επεμβάσεις στα διαφανή και αδιαφανή στοιχεία του κτηρίου

Μετά την αναβάθμιση του συστήματος ψύξης οι επεμβάσεις που ακολουθούν αφορούν τα αδιαφανή και τα διαφανή στοιχεία του κτηρίου. Λόγω του ότι δεν έχουν επιφέρει ουσιαστική εξοικονόμηση ενέργειας παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά η συνεισφορά τους στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτηρίου.

Οι επεμβάσεις που μοντελοποιήθηκαν είναι:

1. Εγκατάσταση εξωτερικών σταθερών σκίαστρων στα παράθυρα μήκους 1m.
2. Προσθήκη εξωτερικής θερμομόνωσης πάχους 60mm με συντελεστή Θερμικής Αγωγιμότητας $\lambda=0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{k})$. Με την προσθήκη της μόνωσης, ο συντελεστής θερμοπερατότητας μετατρέπεται από $U=0,81\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ σε $U=0,335\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$.
3. Αντικατάσταση κουφωμάτων αλουμινίου, όπου ο συντελεστής θερμοπερατότητας από $U_w=4,7 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ μετατρέπεται σε $U_w=1,4 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$.

Όπως θα δούμε και παρακάτω, η συνεισφορά των επεμβάσεων αυτών είναι πολύ μικρή στο σύνολο της εξοικονόμησης ενέργειας και για το λόγο αυτό δεν διερευνούνται περαιτέρω χρηματοοικονομικά.

Simulation Model	Building documents from Audit			Window external Shadings			Thermal external insulation			Windows replacement		
	A			E			F			G		
Apparatus	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)
Heating	192.091,34	42,95	12,19%	199.583,44	44,63	13,03%	175.869,10	39,33	11,25%	170.418,05	38,11	10,86%
Cooling	521.584,14	116,64	33,11%	470.028,79	105,11	30,69%	525.869,32	117,59	34,34%	536.840,98	120,05	34,21%
Interior Lighting	355.746,95	79,55	22,58%	355.746,95	79,55	23,23%	355.746,95	79,55	23,23%	355.746,95	79,55	22,67%
Interior Equipment	420.983,46	94,14	26,72%	420.983,46	94,14	27,49%	420.983,46	94,14	27,49%	420.983,46	94,14	26,83%
Water Systems	85.064,87	19,02	5,40%	85.064,87	19,02	5,55%	85.064,87	19,02	5,55%	85.064,87	19,02	5,42%
Sum	1.575.470,76	352,30	100,00%	1.531.407,51	342,45	100,00%	1.563.533,70	349,63	100,00%	1.569.054,31	350,87	100,00%

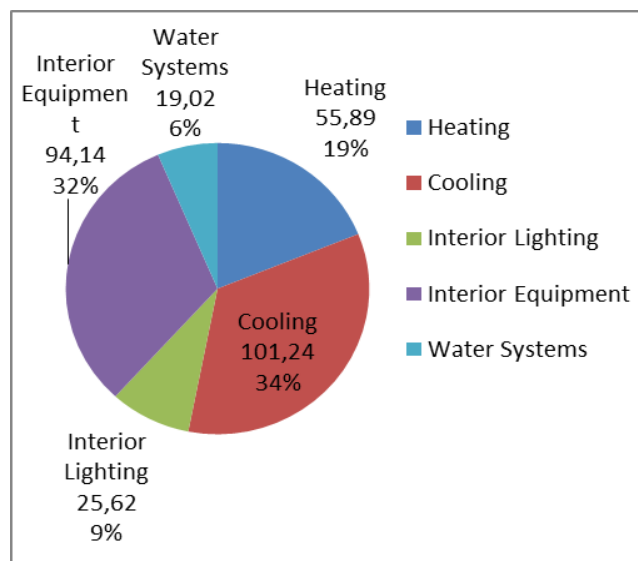
Πίνακας 17: Καταναλώσεις ενέργειας με την συνεισφορά της εγκατάστασης των εξωτερικών σκιάστρων, της αντικατάστασης των κουρβωμάτων και την εγκατάσταση θερμομόνωσης

5.2.5 Εγκατάσταση συστήματος ελέγχου ενέργειας BEMS

Στην παράγραφο 5.2.2 είδαμε την σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας η οποία προήλθε από την αναβάθμιση του συστήματος ψύξης και του συστήματος θέρμανσης. Στην παράγραφο αυτή θα εξετάσουμε την εγκατάσταση συστήματος διαχείρισης ενέργειας για την συνολική παρακολούθηση και έλεγχο των καταναλώσεων. Επίσης από το πρόγραμμα δίνεται η δυνατότητα να επέμβουμε στην διακοπή της λειτουργίας του φωτισμού λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία ατόμων στο χώρο.

Όπως παρατηρήθηκε από τα δεδομένα που προέκυψαν από την ενεργειακή επιθεώρηση, οι ώρες λειτουργίας του νοσοκομείου στους περισσότερους χώρους είναι 24x7x12. Πρακτικά στους χώρους αυτούς δεν υπάρχει πάντοτε προσωπικό, ασθενείς ή επισκέπτες. Για τον λόγο αυτό επεμβαίνουμε στον έλεγχο του φωτισμού με την λειτουργία Linear/off του προγράμματος.

Παρακάτω στο σχήμα 16 βλέπουμε την κατανομή των καταναλώσεων ενέργειας και στον πίνακα 18 αναλυτικά τις καταναλώσεις ενέργειας όπως διαμορφώθηκαν με την εγκατάσταση συστήματος ελέγχου.



Σχήμα 16: Καταναλώσεις ενέργειας με την εγκατάσταση του συστήματος ελέγχου και διαχείρισης ενέργειας.

Simulation Model	Building documents from Audit			Lighting replacement			Linear Lighting control		
	A			B			C		
Apparatus	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)
Heating	192.091,34	42,95	12,19%	237.965,59	53,21	16,54%	245.928,03	54,99	18,47%
Cooling	521.584,14	116,64	33,11%	483.308,59	108,08	33,58%	439.110,50	98,19	32,98%
Interior Lighting	355.746,95	79,55	22,58%	211.754,14	47,35	14,71%	140.533,42	31,43	10,55%
Interior Equipment	420.983,46	94,14	26,72%	420.983,46	94,14	29,25%	420.983,46	94,14	31,61%
Water Systems	85.064,87	19,02	5,40%	85.064,87	19,02	5,91%	85.064,87	19,02	6,39%
Sum	1.575.470,76	352,30	100,00%	1.439.076,65	321,80	100,00%	1.331.620,28	297,77	100,00%

HVAC Upgrade			Window external Shadings			Thermal external insulation			Windows replacement			Operating schedule control With BEMS		
D			E			F			G			H		
[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)	[kWh]	kWh/m2	Energy Consumption (%)
87.571,60	19,58	7,41%	199.583,44	44,63	13,03%	175.869,10	39,33	11,25%	170.418,05	38,11	10,86%	249.927,24	55,89	18,89%
232.765,47	52,05	19,69%	470.028,79	105,11	30,69%	525.869,32	117,59	34,34%	536.840,98	120,05	34,21%	452.753,01	101,24	28,86%
355.746,95	79,55	30,09%	355.746,95	79,55	23,23%	355.746,95	79,55	23,23%	355.746,95	79,55	22,67%	114.553,35	25,62	7,30%
420.983,46	94,14	35,61%	420.983,46	94,14	27,49%	420.983,46	94,14	27,49%	420.983,46	94,14	26,83%	420.983,46	94,14	26,83%
85.064,87	19,02	7,20%	85.064,87	19,02	5,55%	85.064,87	19,02	5,55%	85.064,87	19,02	5,42%	85.064,87	19,02	5,42%
1.182.132,35	264,35	100,00%	1.531.407,51	342,45	100,00%	1.563.533,70	349,63	100,00%	1.569.054,31	350,87	100,00%	1.323.281,93	295,91	100,00%

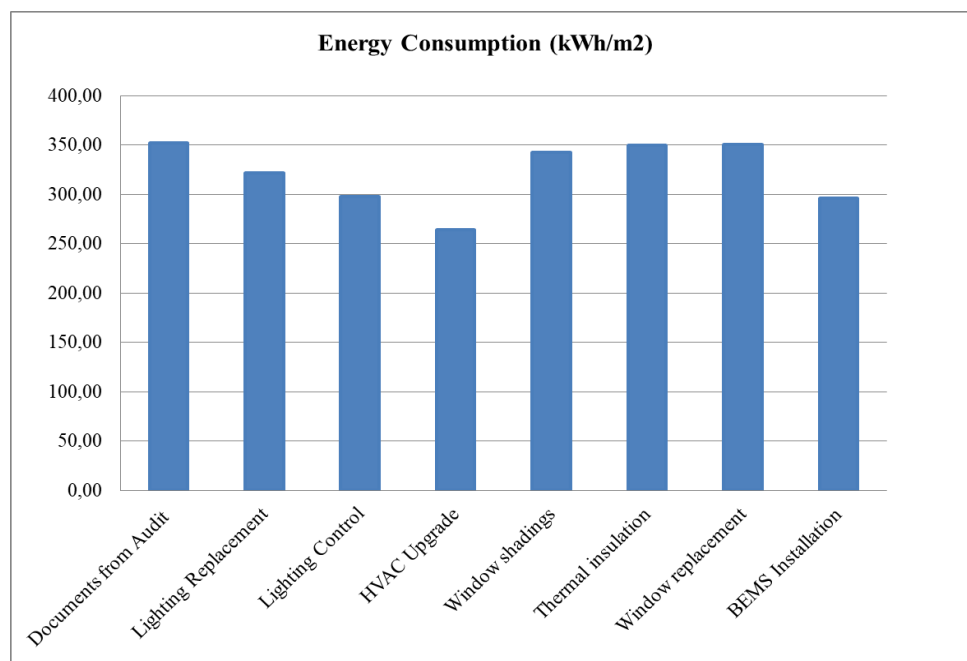
Πίνακας 18: Διαμόρφωση καταναλώσεων ενέργειας ανά επέμβαση.

Όπως παρατηρούμε, οι καταναλώσεις ενέργειας σε φωτισμό και ψύξη έχουν μειωθεί σημαντικά μετά και την εγκατάσταση του συστήματος διαχείρισης ενέργειας. Παρατηρούμε επίσης μια αύξηση των καταναλώσεων σε θέρμανση η οποία οφείλεται στην μείωση των κερδών από το φωτισμό στην χειμερινή περίοδο.

5.3 Ανάλυση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων

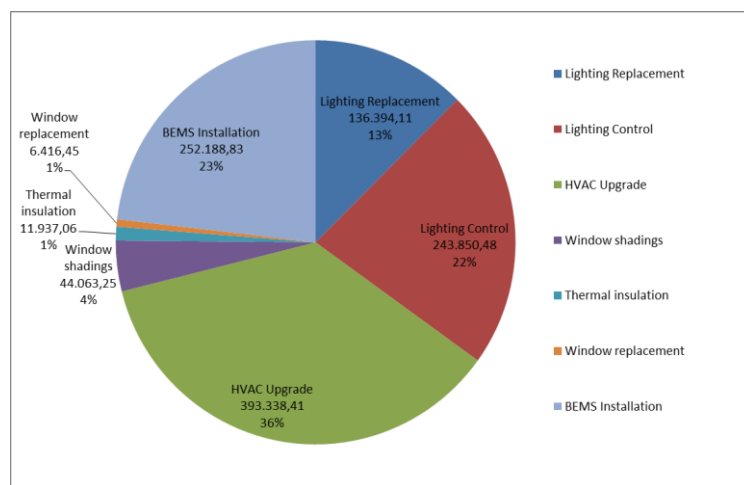
Οι επεμβάσεις που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους έλαβαν χώρα σε εξοπλισμό και υποδομές που σχετίζονται με κοινόχρηστες υποδομές και όχι σε ιατρικό ή άλλο νοσοκομειακό εξοπλισμό. Αυτό γίνεται αφενός λόγω του ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμα τα στοιχεία των μηχανημάτων, οι ώρες λειτουργίας και άλλες σχετικές με τις καταναλώσεις ενέργειας πληροφορίες και αφετέρου διότι οι επεμβάσεις αυτές ξεφεύγουν από τους σκοπούς αυτής της εργασίας καθώς οι επεμβάσεις ενέργειας σε τέτοιου είδους εξοπλισμό σχετίζονται με ιατρικά ζητήματα και δεν μπορούν να αναλυθούν μόνο από ενεργειακής οπτικής. Συνεπώς οι επεμβάσεις και η ανάλυση των αποτελεσμάτων αφορά τον κοινόχρηστο Ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και τα διαφανή και τα αδιαφανή στοιχεία του κτηρίου.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των επεμβάσεων με την σειρά την οποία προσομοιώθηκαν τα μοντέλα.



Σχήμα 17: Διακύμανση καταναλώσεων ενέργειας πριν και μετά τις επεμβάσεις.

Στο παραπάνω γράφημα παρατηρούμε την διαμόρφωση των καταναλώσεων ενέργειας πριν τις επεμβάσεις καθώς και με την ολοκλήρωση αυτών. Η συνεισφορά της κάθε επέμβασης σε σχέση με τις αρχικές καταναλώσεις ενέργειας του πραγματικού κτηρίου παρουσιάζονται στο σχήμα 18. Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 18 οι επεμβάσεις οι οποίες διαφοροποιούν σημαντικά τις καταναλώσεις είναι η αντικατάσταση του συστήματος φωτισμού με την χρήση συστήματος ελέγχου, η αναβάθμιση του συστήματος ψύξης και η εγκατάσταση του συστήματος διαχείρισης ενέργειας όπου γίνεται έλεγχος των χώρων που δεν είναι σε χρήση πέραν των ωρών εργασίας και με την παρουσία ατόμων στο χώρο.



Σχήμα 18: Ποσοστιαία κατανομή συνεισφοράς των επεμβάσεων στην εξοικονόμηση ενέργειας.

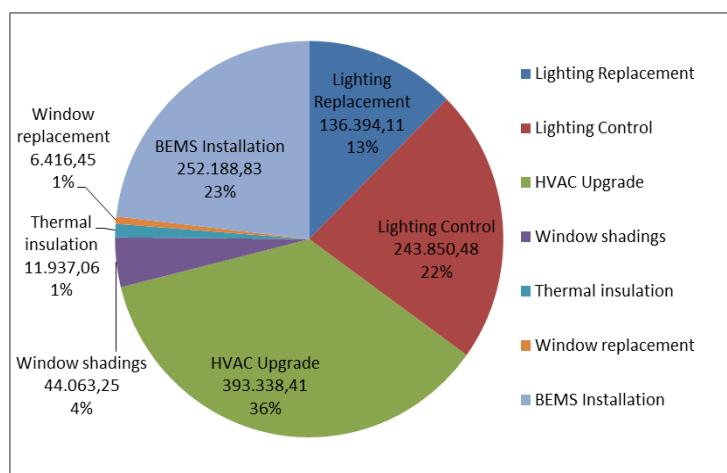
Μοντέλο προσομοίωσης	kWh/m2	kWh/έτος	Εξοικονόμηση Ενέργειας/επέμβαση (kWh)	Ποσοστό (%) επί του συνόλου των επεμβάσεων
Documents from Audit	352,30	1.575.470,76	-	-
Lighting Replacement	321,80	1.439.076,65	136.394,11	8,66%
Lighting Control	297,77	1.331.620,28	243.850,48	15,48%
HVAC Upgrade	264,35	1.182.132,35	393.338,41	24,97%
Window shadings	342,45	1.531.407,51	44.063,25	2,80%
Thermal insulation	349,63	1.563.533,70	11.937,06	0,76%
Window replacement	350,87	1.569.054,31	6.416,45	0,41%
BEMS Installation	295,91	1.323.281,93	252.188,83	16,01%
Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας		-	707.944,00	-
Συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας kWh/έτος			867.526,76	
Συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας kWh/m2			194,01	
Συνολική τελική εξοικονόμηση ενέργειας			44,94%	
Συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας/κλίνη			11.122,14	

Πίνακας 19: Πίνακας τιμών καταναλώσεων ενέργειας με τις επεμβάσεις.

Στις παραπάνω προσομοιώσεις αναλύθηκε η αποτελεσματικότητα της κάθε επέμβασης σε σχέση με την αρχική κατάσταση του κτηρίου και όπως περιγράφεται και στην συνέχεια οι επεμβάσεις οι οποίες παρουσιάζουν την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα είναι η αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης και ψύξης, η αντικατάσταση του συστήματος φωτισμού και η εγκατάσταση του συστήματος BEMS. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης με τις επεμβάσεις στο σύνολο τους μόνο στα συστήματα αυτά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Μοντέλο προσομοίωσης	kWh/m2	kWh/έτος	Εξοικονόμηση Ενέργειας/επέμβαση (kWh)	Ποσοστό (%) επί του συνόλου των επεμβάσεων
Documents from Audit	352,30	1.575.470,76	-	-
Lighting Replacement	321,80	1.439.076,65	136.394,11	8,66%
HVAC Upgrade	264,35	1.182.132,35	393.338,41	24,97%
BEMS Installation	295,91	1.323.281,93	252.188,83	16,01%
Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας		-	645.527,24	-
Συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας kWh/έτος			929.943,52	
Συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας kWh/m2			207,97	
Συνολική τελική εξοικονόμηση ενέργειας			40,97%	
Συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας/κλίνη			11.922,35	

Πίνακας 20: Πίνακας τιμών καταναλώσεων ενέργειας με τις επεμβάσεις που επιφέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας.



Σχήμα 19: Ποσοστιαία κατανομή συνεισφοράς επεμβάσεων που επιφέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας.

Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

1. Η παρέμβαση με την οποία επιτυγχάνεται μεγαλύτερη η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας είναι η αναβάθμιση του συστήματος ψύξης και η βελτίωση του συντελεστή απόδοσης του συστήματος θέρμανσης.
2. Η παρεμβάσεις στον φωτισμό με την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων καθώς και η εγκατάσταση του συστήματος ελέγχου του φωτισμού είναι εξίσου αποτελεσματική και μπορεί να επιφέρει ουσιαστικά αποτελέσματα στην εξοικονόμηση ενέργειας. Η επέμβαση αυτή αποτελεί την δεύτερη πιο αποτελεσματική επέμβαση εξοικονόμησης ενέργειας.
3. Η εγκατάσταση του συστήματος διαχείρισης ενέργειας με την παρέμβαση στον έλεγχο του φωτισμού και του κλιματισμού τις ώρες που οι χώροι δεν είναι σε χρήση αποτελεί επέμβαση με την οποία η οποία επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.
4. Οι επεμβάσεις στα διαφανή και στα αδιαφανή στοιχεία του κτηρίου δεν επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στην κατανάλωση ενέργειας. Για τον λόγο αυτό από χρηματοοικονομικής σκοπιάς σε επόμενη παράγραφο αξιολογούνται μόνο οι παρακάτω επεμβάσεις:
 - Αντικατάσταση συστήματος φωτισμού.
 - Εγκατάσταση συστήματος ελέγχου του φωτισμού (μετά την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων).
 - Ενεργειακή αναβάθμιση του συστήματος ψύξης και θέρμανσης.
 - Εγκατάσταση συστήματος διαχείρισης ενέργειας (μετά την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων).
5. Καθώς οι καταναλώσεις ενέργειας είναι σημαντικά υψηλές και με δεδομένο ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμοι χώροι για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, το κτήριο δεν μπορεί να μετατραπεί ως κτήριο μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών ενεργειακών εκπομπών (nZEB ή ZEB). Σε επόμενο κεφάλαιο θα εξεταστεί η εναλλακτική λύση για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος με την μέθοδο του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού (Virtual net Metering).

5.4 Οικονομική αξιολόγηση επεμβάσεων

Για την οικονομική αξιολόγηση των επεμβάσεων θα χρησιμοποιηθούν οι πιο συνηθισμένοι δείκτες όπως περιγράφονται παρακάτω:

1. Η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) μίας επένδυσης είναι η αξία αυτής ανηγμένη στη χρονική στιγμή έναρξης της εμπορικής της λειτουργίας και δίνεται από τη σχέση:

$$NPV = -K_0 + \sum_{t=1}^N \frac{A_t}{(1+k)^t} + \frac{YA_N}{(1+k)^N} \quad [5.1]$$

Όπου:

K_0 = Το κόστος της επένδυσης.

A_t = Καθαρή αξία στην περίοδο t .

k = η ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται (επιτόκιο αναγωγής).

N = η διάρκεια της επένδυσης σε έτη.

YA_N = η υπολειμματική αξία της επένδυσης στο N -οστό έτος.

Η καθαρή αξία A κάθε έτους είναι η διαφορά μεταξύ των εσόδων της επιχείρησης/επένδυσης από τις πωλήσεις (ταμειακές εισροές) και των πληρωμών για τους διάφορους συντελεστές παραγωγής και τη διάθεση των προϊόντων (ταμειακές εκροές) παραπάνω διαδικασία εφαρμόζεται για κάθε εναλλακτική επενδυτική πρόταση και επιλέγεται εκείνη με την αλγεβρικά μεγαλύτερη Καθαρά Παρούσα Αξία

2. Ο δείκτης IRR (Internal Rate of Return – Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης) είναι η τιμή του επιτοκίου αναγωγής, που κάνει την NPV της επένδυσης, για τη διάρκεια της οικονομικής αξιολόγησης, ίση με το μηδέν. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης εκφράζει την απόδοση κεφαλαίου της αρχικής επένδυσης κατά τη διάρκεια του οικονομικού κύκλου ζωής της. Εκφράζει δηλαδή με την μορφή επιτοκίου το κέρδος μιας επένδυσης ως προς το κεφάλαιο που επενδύεται. Ο IRR της επένδυσης προσδιορίζεται από τη λύση της εξίσωσης:

$$-K_0 + \sum_{t=1}^N \frac{A_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad [5.2]$$

Ο υπολογισμός του εσωτερικού βαθμού απόδοσης γίνεται συνήθως με δοκιμές και με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής υπολογίζεται το ζητούμενο επιτόκιο για το οποίο η εξίσωση

μηδενίζεται. Η αξιολόγηση μιας επένδυσης γίνεται με βάση την ελάχιστη αποδεκτή απόδοση που καταγράφεται ως ο ελάχιστος αποδεκτός ρυθμός απόδοσης (Minimum Attractive Rate of Return).

Το κριτήριο επιλογής ή απόρριψης μιας επένδυσης είναι το παρακάτω:

Αν $IRR > MARR$ προτείνεται η υλοποίηση της επένδυσης.

Αν $IRR = MARR$ οποιαδήποτε απόφαση έχει το ίδιο οικονομικό αποτέλεσμα.

Αν $IRR < MARR$ προτείνεται η απόρριψη της επένδυσης.

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης δίνει ένα σχετικό επί τοις εκατό (%) μέτρο απόδοσης αλλά δεν εμπεριέχει το ύψος της επένδυσης και με αυτό τον τρόπο δεν περιγράφονται πλήρως οι δύο προτάσεις. Όταν συγκρίνονται αμοιβαία αποκλειόμενες προτάσεις η διαφορά μεταξύ των δύο είναι εκείνη που καθορίζει την οικονομική ελκυστικότητα της μιας έναντι της άλλης. Πιο συγκεκριμένα το κριτήριο του ρυθμού απόδοσης για τη σύγκριση δύο αμοιβαία αποκλειόμενων προτάσεων Α και Β με την προϋπόθεση ότι το αρχικό κόστος της Α είναι μικρότερο από αρχικό κόστος της Β ισχύει το εξής:

Αν $IRR_{B-A} > MARR$ επιλέγεται η Β έναντι της Α.

Αν $IRR_{B-A} = MARR$ οι δύο προτάσεις έχουν το ίδιο οικονομικό αποτέλεσμα.

Αν $IRR_{B-A} < MARR$ επιλέγεται η Α έναντι της Β.

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμες οικονομικές προσφορές για να είναι γνωστά τα κόστη των επεμβάσεων ανά κατηγορίας εξοπλισμού, γίνεται η παραδοχή ότι ως μέγιστη αποδεκτή χρονική διάρκεια αποσβέσεων των επεμβάσεων θεωρούμε τα 3,5 – 4,5 έτη, μέγιστο αποδεκτό επιτόκιο δανεισμού 7% και η υπολειμματική αξία του εξοπλισμού είναι μηδενική. Σύμφωνα με τα παραπάνω αξιολογούνται οι επεμβάσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτηρίου.

Στις επόμενες παραγράφους αναλύονται οι αποσβέσεις των επενδύσεων βάσει των παραπάνω δεδομένων.

5.4.1 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επέμβασης Αντικατάστασης φωτισμού

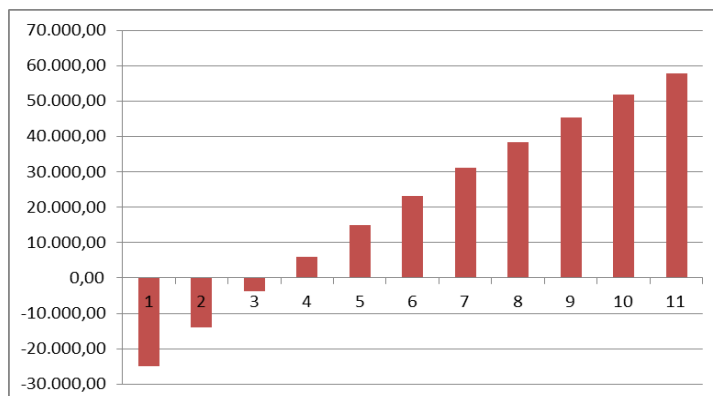
Lighting replacement

Λεδομένα επένδυσης

Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας πριν την παρέμβαση (kWh/έτος)	1.575.471
Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας μετά την παρέμβαση (kWh/έτος)	1.439.077
Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής Ενέργειας από την επέμβαση (kWh/έτος)	136.394
Επιτόκιο Δανεισμού	7,00%
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)	0,090
Εκτιμώμενο Κόστος επένδυσης (€)	25.000,00
Τετραγωνικά μέτρα κτηρίου (m ²)	4.472,00
Ετήσια έξοδα συντήρησης (€)	500,00
Αρχικό κόστος επένδυσης ανά τετραγωνικό μέτρο (€/m ²)	5,59
Μέγιστος αποδεκτός χρόνος απόσβεσης επένδυσης (έτη)	3,5-4,5

Έτος	Έξοδα	Έσοδα	Κ.Τ.Ρ	NPV	Σ NPV
0	25.000,00	0,00	-25.000,00	-25.000,00	-25.000,00
1	500,00	12.275,47	11.775,47	11.005,11	-13.994,89
2	500,00	12.275,47	11.775,47	10.285,15	-3.709,74
3	500,00	12.275,47	11.775,47	9.612,29	5.902,55
4	500,00	12.275,47	11.775,47	8.983,45	14.886,00
5	500,00	12.275,47	11.775,47	8.395,75	23.281,75
6	500,00	12.275,47	11.775,47	7.846,49	31.128,24
7	500,00	12.275,47	11.775,47	7.333,17	38.461,42
8	500,00	12.275,47	11.775,47	6.853,43	45.314,85
9	500,00	12.275,47	11.775,47	6.405,08	51.719,92
10	500,00	12.275,47	11.775,47	5.986,05	57.705,97
				NPV	54.014,36
				IRR	46,03%
				EAW	5.501,48

Πίνακας 21: Απόσβεση επένδυσης αντικατάστασης φωτισμού.



Σχήμα 20: Γραφική παράσταση αποσβέσεων αντικατάστασης του συστήματος φωτισμού.

5.4.2 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επέμβασης συστήματος ελέγχου φωτισμού

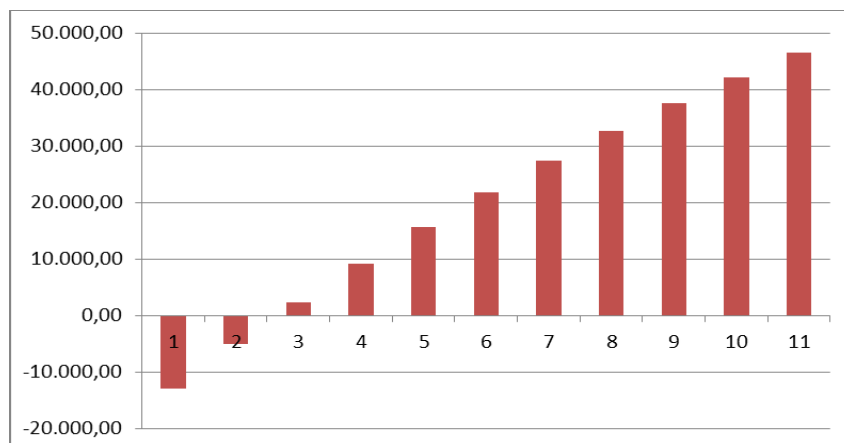
Linear Lighting control

Δεδομένα επένδυσης

Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας πριν την παρέμβαση (kWh/έτος)	1.439.077
Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας μετά την παρέμβαση (kWh/έτος)	1.331.620
Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής Ενέργειας από την επέμβαση (kWh/έτος)	107.456
Επιτόκιο Δανεισμού	7,00%
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)	0,090
Εκτιμώμενο Κόστος επένδυσης (€)	13.000,00
Τετραγωνικά μέτρα κτηρίου (m ²)	4.472,00
Ετήσια έξοδα συντήρησης (€)	1.200,00
Αρχικό κόστος επένδυσης ανά τετραγωνικό μέτρο (€/m ²)	2,91
Μέγιστος αποδεκτός χρόνος απόσβεσης επένδυσης (έτη)	3,5-4,5

Έτος	Έξοδα	Έσοδα	Κ.Τ.Ρ	NPV	Σ NPV
0	13.000,00	0,00	-13.000,00	-13.000,00	-13.000,00
1	1.200,00	9.671,07	8.471,07	7.916,89	-5.083,11
2	1.200,00	9.671,07	8.471,07	7.398,96	2.315,85
3	1.200,00	9.671,07	8.471,07	6.914,92	9.230,77
4	1.200,00	9.671,07	8.471,07	6.462,54	15.693,31
5	1.200,00	9.671,07	8.471,07	6.039,76	21.733,07
6	1.200,00	9.671,07	8.471,07	5.644,63	27.377,71
7	1.200,00	9.671,07	8.471,07	5.275,36	32.653,07
8	1.200,00	9.671,07	8.471,07	4.930,24	37.583,31
9	1.200,00	9.671,07	8.471,07	4.607,70	42.191,01
10	1.200,00	9.671,07	8.471,07	4.306,26	46.497,27
				NPV	43.841,59
				IRR	64,72%
				EAW	4.465,36

Πίνακας 22: Απόσβεση επένδυσης συστήματος ελέγχου φωτισμού.



Σχήμα 21: Γραφική παράσταση αποσβέσεων συστήματος ελέγχου φωτισμού.

5.4.3 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση αναβάθμισης του συστήματος ψύξης και θέρμανσης

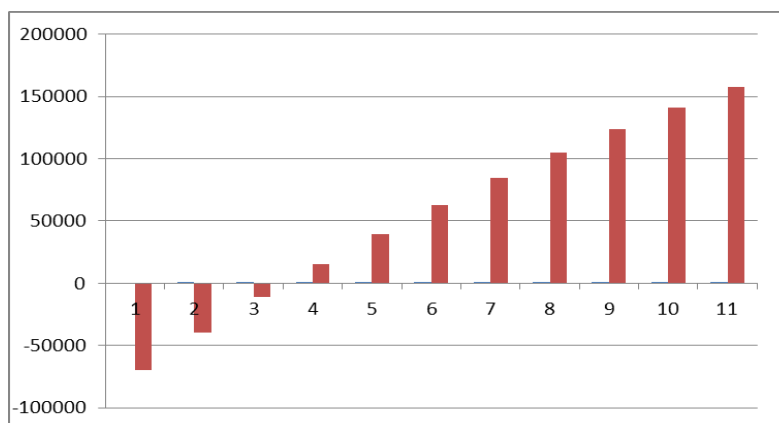
SCOP Upgrade

Λεδομένα επένδυσης

Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας πριν την παρέμβαση (kWh/έτος)	1.575.471
Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας μετά την παρέμβαση (kWh/έτος)	1.182.132
Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής Ενέργειας από την επέμβαση (kWh/έτος)	393.338
Επιτόκιο Δανεισμού	7,00%
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)	0,090
Εκτιμώμενο Κόστος επένδυσης (€)	70.000,00
Τετραγωνικά μέτρα κτηρίου (m ²)	4.472,00
Ετήσια έξοδα συντήρησης (€)	3.000,00
Αρχικό κόστος επένδυσης ανά τετραγωνικό μέτρο (€/m ²)	15,65
Μέγιστος αποδεκτός χρόνος απόσβεσης επένδυσης (έτη)	3,5-4,5

Έτος	Έξοδα	Έσοδα	Κ.Τ.Ρ	NPV	Σ NPV
0	70.000,00	0,00	-70.000,00	-70.000,00	-70.000,00
1	3.000,00	35.400,46	32.400,46	30.280,80	-39.719,20
2	3.000,00	35.400,46	32.400,46	28.299,81	-11.419,39
3	3.000,00	35.400,46	32.400,46	26.448,42	15.029,04
4	3.000,00	35.400,46	32.400,46	24.718,15	39.747,19
5	3.000,00	35.400,46	32.400,46	23.101,08	62.848,27
6	3.000,00	35.400,46	32.400,46	21.589,79	84.438,06
7	3.000,00	35.400,46	32.400,46	20.177,38	104.615,44
8	3.000,00	35.400,46	32.400,46	18.857,36	123.472,80
9	3.000,00	35.400,46	32.400,46	17.623,70	141.096,50
10	3.000,00	35.400,46	32.400,46	16.470,75	157.567,25
				NPV	147.409,70
				IRR	45,17%
				EAW	15.014,00

Πίνακας 23: Απόσβεση επένδυσης αναβάθμισης του συστήματος ψύξης και θέρμανσης.



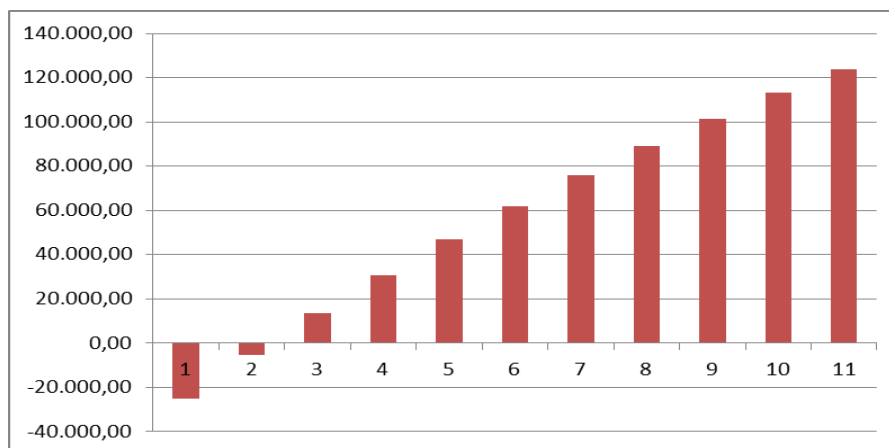
Σχήμα 22: Γραφική παράσταση αποσβέσεων αναβάθμισης του συστήματος ψύξης και θέρμανσης.

5.4.4 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση εγκατάστασης συστήματος BEMS

Operating schedule control With BEMS					
Δεδομένα επένδυσης					
Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας πριν την παρέμβαση (kWh/έτος)					1.575.471
Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας μετά την παρέμβαση (kWh/έτος)					1.323.282
Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής Ενέργειας από την επέμβαση (kWh/έτος)					252.189
Επιτόκιο Δανεισμού					7,00%
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)					0,090
Εκτιμώμενο Κόστος επένδυσης (€)					25.000,00
Τετραγωνικά μέτρα κτηρίου (m ²)					4.472,00
Ετήσια έξοδα συντήρησης (€)					1.500,00
Αρχικό κόστος επένδυσης ανά τετραγωνικό μέτρο (€/m ²)					5,59
Μέγιστος αποδεκτός χρόνος απόσβεσης επένδυσης (έτη)					3,5-4,5

Έτος	Έξοδα	Έσοδα	Κ.Τ.Ρ	NPV	Σ NPV
0	25.000,00	0,00	-25.000,00	-25.000,00	-25.000,00
1	1.500,00	22.696,99	21.196,99	19.810,28	-5.189,72
2	1.500,00	22.696,99	21.196,99	18.514,28	13.324,55
3	1.500,00	22.696,99	21.196,99	17.303,06	30.627,61
4	1.500,00	22.696,99	21.196,99	16.171,09	46.798,70
5	1.500,00	22.696,99	21.196,99	15.113,16	61.911,86
6	1.500,00	22.696,99	21.196,99	14.124,45	76.036,32
7	1.500,00	22.696,99	21.196,99	13.200,42	89.236,74
8	1.500,00	22.696,99	21.196,99	12.336,84	101.573,58
9	1.500,00	22.696,99	21.196,99	11.529,76	113.103,34
10	1.500,00	22.696,99	21.196,99	10.775,48	123.878,82
			NPV	117.233,56	
			IRR	84,60%	
			EAW	11.940,50	

Πίνακας 24: Απόσβεση επένδυσης συστήματος διαχείρισης ενέργειας.



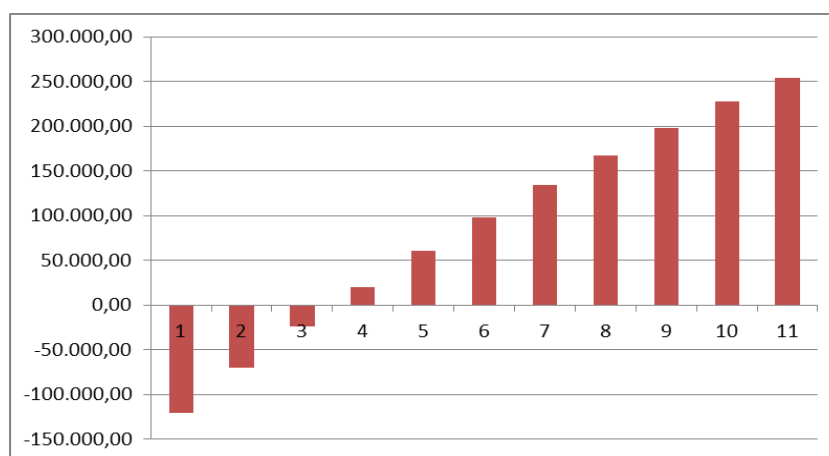
Σχήμα 23: Γραφική παράσταση αποσβέσεων συστήματος διαχείρισης ενέργειας.

5.4.5 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επέμβασης αντικατάστασης φωτισμού, Αναβάθμισης συστήματος Ψύξης και θέρμανσης και εγκατάσταση BEMS

<u>Συνολική απόσβεση επεμβάσεων</u>	
<u>Λεδομένα επένδυσης</u>	
Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας πριν την παρέμβαση (kWh/έτος)	1.575.471
Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας μετά τις επεμβάσεις (kWh/έτος)	927.605,68
Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής Ενέργειας από τις επεμβάσεις (kWh/έτος)	647.865
Επιτόκιο Δανεισμού	7,00%
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)	0,090
Εκτιμώμενο Κόστος επένδυσης (€)	120.000,00
Τετραγωνικά μέτρα κτηρίου (m ²)	4.472,00
Ετήσια έξοδα συντήρησης (€)	5.000,00
Αρχικό κόστος επένδυσης ανά τετραγωνικό μέτρο (€/m ²)	26,83
Μέγιστος αποδεκτός χρόνος απόσβεσης επένδυσης (έτη)	3,5-4,5

Έτος	Έξοδα	Έσοδα	Κ.Τ.Ρ	NPV	Σ NPV
0	120.000,00	0,00	-120.000,00	-120.000,00	-120.000,00
1	5.000,00	58.307,86	53.307,86	49.820,43	-70.179,57
2	5.000,00	58.307,86	53.307,86	46.561,15	-23.618,43
3	5.000,00	58.307,86	53.307,86	43.515,09	19.896,66
4	5.000,00	58.307,86	53.307,86	40.668,31	60.564,97
5	5.000,00	58.307,86	53.307,86	38.007,77	98.572,74
6	5.000,00	58.307,86	53.307,86	35.521,28	134.094,02
7	5.000,00	58.307,86	53.307,86	33.197,45	167.291,47
8	5.000,00	58.307,86	53.307,86	31.025,66	198.317,13
9	5.000,00	58.307,86	53.307,86	28.995,94	227.313,07
10	5.000,00	58.307,86	53.307,86	27.099,01	254.412,08
				NPV	237.700,06
				IRR	43,20%
				EAW	24.210,28

Πίνακας 25: Απόσβεση επένδυσης επεμβάσεων στα συστήματα φωτισμού, θέρμανσης, ψύξης και BEMS.



Σχήμα 24: Γραφική παράσταση αποσβέσεων επεμβάσεων στα συστήματα φωτισμού, θέρμανσης, ψύξης και BEMS.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι επεμβάσεις οι οποίες μπορούν να έχουν άμεσο οικονομικό όφελος στην ενεργειακή διαχείριση του κτηρίου είναι αυτές οι οποίες είναι δυνατό να εφαρμοστούν με προτεραιότητα.

5.5 Διαστασιολόγηση Φωτοβολταϊκού συστήματος εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού

Η διαστασιολόγηση των Φωτοβολταϊκών συστημάτων πραγματοποιείται με γνώμονα την βέλτιστη απόδοση του συστήματος παραγωγής ενέργειας αξιοποιώντας την λιγότερη δυνατή επιφάνεια κάλυψης των πλαισίων είτε όταν αυτά είναι εγκατεστημένα στο έδαφος είτε σε στέγη. Για να επιτευχθεί αυτό, σημαντική παράμετρος είναι η ισχύς του φωτοβολταϊκού πλαισίου καθώς και οι διαστάσεις του. Τα σύγχρονα Φωτοβολταϊκά πλαίσια σχέση με τα πλαίσια παλαιότερων ετών καλύπτουν πολύ μικρότερες επιφάνειες αποδίδοντας μεγαλύτερη ισχύ. Για παράδειγμα στο εμπόριο διατίθενται πλαίσια τα οποία είναι ισχύος μέχρι και 450W με διαστάσεις της τάξης των δύο τετραγωνικών μέτρων.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα σημαντικότερα στοιχεία των φωτοβολταϊκών πλαισίων τα οποία αξιοποιούνται στην διαστασιολόγηση ενός φωτοβολταϊκού έργου κατασκευαστή JA - Solar.

JA SOLAR PV Panel: ELECTRICAL PARAMETERS AT STC - JAM72S10

<u>Parameter Description</u>	<u>JAM72S10 -405/PR</u>
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	405
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49,81
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41,46
Short Circuit Current(Isc) [A]	10,32
Maximum Power Current(Imp) [A]	9,77
Module Efficiency [%]	20,2
Power Tolerance	0~+5W
Temperature Coefficient of Isc(α_{Isc})	+0.051%/°C
Temperature Coefficient of Voc(β_{Voc})	-0.289%/°C
Temperature Coefficient of Pmax(γ_{Pmp})	-0.350%/°C
Operating Temperature	-40°C~+85°C
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G
Maximum System Voltage	1000-1500V DC (IEC)
Maximum Series Fuse	20A
Cell	Mono
Weight	22.7kg±3%
Dimensions	2015±2mm×996±2mm×40±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ²
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10-35
12-year product warranty	
25-year linear power output warranty	

Πίνακας 26: Στοιχεία ΦΒ πλαισίου JA Solar.

Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής που θα κατασκευαστεί το έργο αποτελούν την σημαντικότερη παράμετρο δεδομένου ότι η ηλιοφάνεια, οι μέγιστες και ελάχιστες καταγεγραμμένες θερμοκρασίες της περιοχής καθορίζουν κυρίως τον μέγιστο αριθμό αλλά και την διάταξη των πλαισίων στην σύνδεση της κάθε στοιχοσειράς (string) με τον αντιστροφέα (inverter). Για το λόγο αυτό ο μέγιστος αριθμός πλαισίων που μπορούν να συνδεθούν σε σειρά και να αποτελέσουν ένα string καθορίζεται από την τάση ανοικτού κυκλώματος η οποία κατά IEC-60891 υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{oc,i} = V_{oc,stc} \cdot \left[1 + a \cdot \ln \left(\frac{G_i}{G_{stc}} \right) + \beta \cdot (T_i - T_{stc}) \right] \quad [5,3]$$

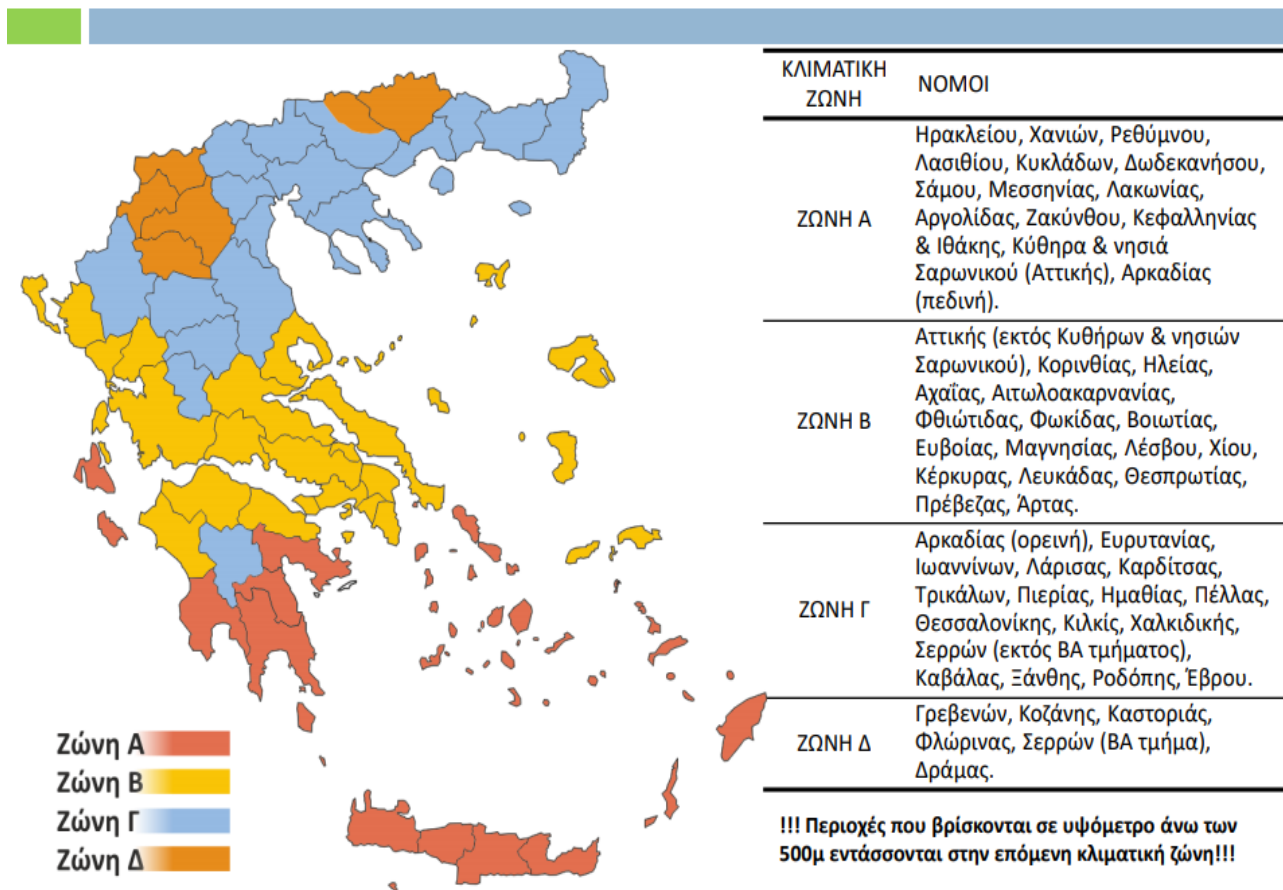
Όπου:

- α είναι ο συντελεστής διόρθωσης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ο οποίος είναι συνδεδεμένος με την τάση της διόδου και τον αριθμό των κυψελών που είναι συνδεδεμένες

στο κάθε ΦΒ πλαίσιο. Για σύγχρονα μονοκρυσταλλικά πλαίσια ο συντελεστής αυτός ορίζεται ίσος με 0,04.

- β είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας (temperature coefficient) η τιμή του οποίου αναγράφεται στο εγχειρίδιο (datasheet) του κατασκευαστή του πλαισίου που θα χρησιμοποιηθεί στο έργο. Οι αντίστοιχες τιμές για το πλαίσιο JA SOLAR 405W bifacial αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα.
- T_{stc} είναι οι τιμές της θερμοκρασίας του πλαισίου στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (Standard Test Conditions) και είναι ίση με 25°C .
- T_i είναι η θερμοκρασία του πλαισίου για την νέα τιμή της τάσης ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} .
- G_i είναι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του πλαισίου (Plain of Array) η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τάσης V_{oc} .
- G_{STC} είναι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC, $1000\text{W}/\text{m}^2$) η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τάσης V_{oc} .
- V_{oc_i} είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος η οποία υπολογίζεται.
- $V_{oc_{STC}}$ είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC).

Η ισχύς της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας της περιοχής εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού έργου καθορίζει αφενός την απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και αφετέρου το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του έργου. Σε περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια είναι δυνατό να υπάρξει μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, να επιτευχθεί μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης, μικρότερος χρόνος απόσβεσης και κόστους λειτουργίας του έργου και μεγαλύτερο όφελος από την επένδυση. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ο χάρτης της Ελλάδας με τις με τις αντίστοιχες κλιματικές ζώνες.



Σχήμα 25: Χάρτης κλιματικών ζωνών Ελλάδας.

Πέρα από την κατάλληλη επιλογή της τοποθεσίας για την κατασκευή και λειτουργία του έργου είναι εξίσου σημαντικό να ληφθεί υπόψη από τον μελετητή ο προσανατολισμός των πλαισίων και η αποφυγή σκιάσεων. Γενικά ο κανόνας που εφαρμόζεται είναι στις εγκαταστάσεις στο Βόρειο ημισφαίριο της γης, ο προσανατολισμός των πλαισίων είναι Νότιος ενώ για εγκαταστάσεις στο Νότιο ημισφαίριο ο προσανατολισμός είναι Βόρειος. Μια ικανοποιητική κλίση των ΦΒ πλαισίων προς το Νότο για την Ελλάδα είναι 25° . Εκτενέστερη αναφορά για λεπτομέρειες που λαμβάνονται υπόψη στην διαστασιολόγηση ΦΒ εγκατάστασης θα γίνει σε επόμενη παράγραφο όπου γίνεται και η αντίστοιχη μελέτη περίπτωσης. Για τις μελέτες διαστασιολόγησης, λειτουργίας και συντήρησης (Operations and Maintenance – O&M) ΦΒ έργων χρησιμοποιούνται κυρίως τα παρακάτω διεθνή πρότυπα (IEC):

- Appropriate PV Design – IEC 62548
- Electrical activities of a Utility Scale Power Plant – IEC 62738
- Installation Quality – IEC 63049
- Commissioning & Operations – IEC 62446-1
- Onsite IV measurement – to be in-line with IEC 61829

- System Maintenance – IEC 62446-2
- Performance Monitoring – IEC 61724-1
- Capacity Evaluation – IEC 61724-2
- Energy Evaluation – IEC 61724-3

Σε ότι αφορά τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις των ΦΒ έργων αυτές οφείλουν να συμμορφώνονται με τα αντίστοιχα πρότυπα και κυρίως με την σειρά προτύπων κατά IEC – 60364 και 60502. Σημαντικό ρόλο κατά το σχεδιασμό ενός Φ/Β συστήματος, διαδραματίζουν η διαθέσιμη επιφάνεια της στέγης ή του οικοπέδου στα οποία θα εγκατασταθούν τα Φ/Β πλαίσια, η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των πλαισίων (στην Ελλάδα, με μέση κλίση 20°-25°, επιτυγχάνεται μέγιστη απόδοση), η αζιμούθια γωνία της εγκατάστασης των πλαισίων καθώς και ο προσανατολισμός τους (νότιος για το Βόρειο Ημισφαίριο). Για τον υπολογισμό του μέγιστου αριθμού Φ/Β πλαισίων που θα χρειαστούν, τα βασικά χαρακτηριστικά που μας απασχολούν είναι η μέγιστη ισχύς του συστήματος και η ονομαστική ισχύς του κάθε Φ/Β πλαισίου που θα χρησιμοποιηθεί. Στην παρούσα εργασία για την κάλυψη όλων των φορτίων η απαιτούμενη παραγόμενη ενέργεια είναι περίπου 950.000kWh/έτος (λαμβάνοντας υπόψη και μια μικρή προσαύξηση των καταναλώσεων ενέργειας). Αυτός ο στόχος επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση ΦΒ έργου ισχύος 500kWp αντίστοιχα για περιοχή στην κεντρική Ελλάδα (Κλιματική Ζώνη Β).

Λόγω του ότι τα μετεωρολογικά δεδομένα στα οποία να καταγράφεται τόσο η ισχύς της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας όσο και η αντίστοιχη θερμοκρασία του πλαισίου δεν είναι διαθέσιμα για την διαστασιολόγηση της εγκατάστασης ο έλεγχος της τάσης ανοικτού κυκλώματος θα γίνει από την παρακάτω σχέση:

$$V_{OC(T)} = V_{OC,STC} - N_S \cdot \beta \cdot (25 - T_{CEL}) \quad [5.4]$$

Όπου:

N_S : είναι ο αριθμός των σε σειρά Φ/Β πλαισίων,

T_{CEL} : η θερμοκρασία του πλαισίου και

β : ο συντελεστής μεταβολής της τάσης σύμφωνα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας, ο οποίος παίρνει τιμές: $-0,289\% \cdot V_{OC} / ^\circ C$

Δεδομένα εγκατάστασης:

- Θέση εγκατάστασης: Κεντρική Ελλάδα.
- Γωνία κίνησης κατασκευής: $\pm 45^\circ$ κατασκευές τύπου τράκερ
- Απόσταση μεταξύ των κατασκευών: 7m
- Αριθμός κατασκευών: 23

- Αριθμός στοιχειοσειρών / κατασκευή : 2
- Τύπος κατασκευής: 2x27 (max)
- Απόσταση από το έδαφος: 0,5m
- Ισχύς εγκατάστασης 0,5MWp
- Αριθμός Πάνελ ισχύος 405Wp: 1.234τεμ.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα μπορούν να υπολογιστούν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των στοιχειοσειρών από την σχέση 5.4 και με βάση τα δεδομένα του πίνακα 26.

$$V_{oc} = V_{oc,STC} - N_s \cdot \beta \cdot (25 - T_{CEL})$$

$$\text{Μέγιστη Τάση: } V_{oc} = 49,81 + 0,143 \cdot (25 + 10) = 54,81V$$

$$\text{Ελάχιστη Τάση MPP : } V_{min} = 41,46 + 0,143 \cdot (25 + 70) = 35,02V$$

$$\text{Μέγιστη Τάση MPP : } V_{max} = 41,46 + 0,143 \cdot (25 + 10) = 46,65V$$

$$\text{Ρεύμα βραχυκύκλωσης : } I_{sc} = I_{sc,panel} \cdot 1,25 = 10,32 \cdot 1,25 = 12,9A$$

$$\text{Μέγιστη Τάση πλαισίου } V_{MPP} = 18 \cdot 41,46 = 746,28V$$

$$\text{Μέγιστο ρεύμα στοιχειοσειράς } I_{MPP} = 10,32 \cdot 1,25 = 12,9A$$

$$\text{Μέγιστη τάση ανοικτού κυκλώματος } V_{max,OC} = 18 \cdot 54,81 = 986,58V$$

$$\text{Ελάχιστη τάση λειτουργίας } V_{MPP,min} = 17 \cdot 35,02 = 595,34V$$

$$\text{Μέγιστη τάση λειτουργίας } V_{MPP,max} = 20 \cdot 46,65 = 933,70V$$

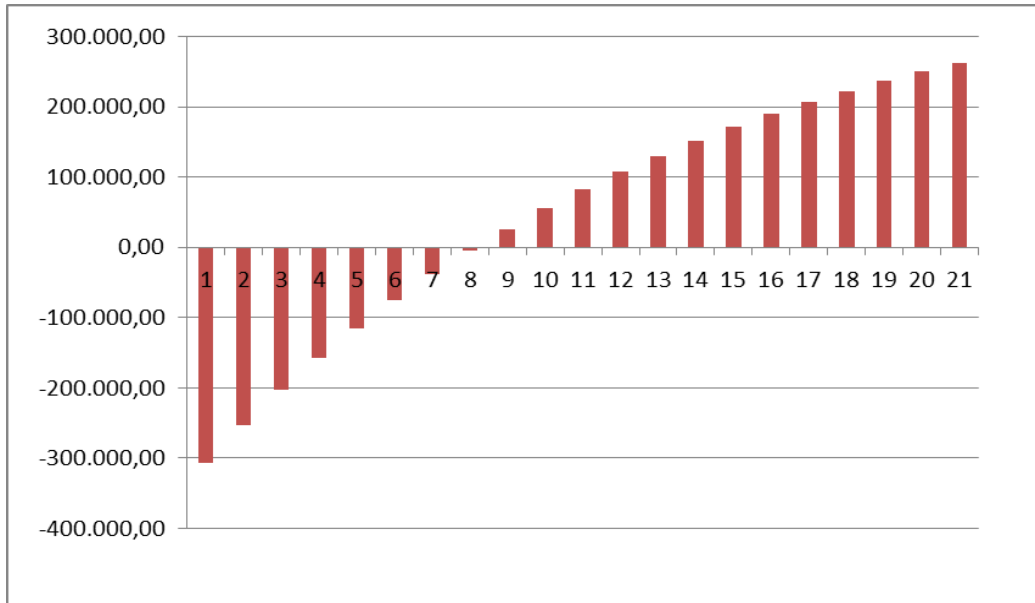
Με βάση τα δεδομένα που υπολογίστηκαν, ο αντιστροφέας που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να πληροί τις παραπάνω προδιαγραφές.

5.6 Οικονομική αξιολόγηση Φωτοβολταϊκού συστήματος

Για την των ενεργειακών αναγκών με την μέθοδο του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού (virtual net metering) αξιολογείται οικονομικά η εγκατάσταση φωτοβολταϊκής μονάδας παραγωγής ενέργειας σύμφωνα με τα παρακάτω δεδομένα.

Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια kWh/έτος	950.000,00				
Επιτόκιο Δανεισμού	7,00%				
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	0,070 €				
Δαπάνη EPC contractor	280.000,00 €				
Δαπάνη όρων σύνδεσης ΔΕΔΔΗΕ	18.000,00 €				
Κόστος ενοικίασης οικοπέδου/έτος	200,00 €				
Ετήσια σταθερά έξοδα	9.000,00 €				
Λοιπά έκτακτα/απρόβλεπτα έξοδα/έτος	500,00 €				
Έτος	Έξοδα	Έσοδα	K.T.P	NPV	Σ NPV
0	307.000,00	0,00	-307.000,00	-307.000,00	-307.000,00
1	9.700,00	66.500,00	56.800,00	52.592,59	-254.407,41
2	9.700,00	66.500,00	56.800,00	48.696,84	-205.710,56
3	9.700,00	66.500,00	56.800,00	45.089,67	-160.620,89
4	9.700,00	66.500,00	56.800,00	41.749,70	-118.871,20
5	9.700,00	66.500,00	56.800,00	38.657,13	-80.214,07
6	9.700,00	66.500,00	56.800,00	35.793,63	-44.420,44
7	9.700,00	66.500,00	56.800,00	33.142,25	-11.278,18
8	9.700,00	66.500,00	56.800,00	30.687,27	19.409,09
9	9.700,00	66.500,00	56.800,00	28.414,14	47.823,23
10	9.700,00	66.500,00	56.800,00	26.309,39	74.132,62
11	9.700,00	66.500,00	56.800,00	24.360,55	98.493,17
12	9.700,00	66.500,00	56.800,00	22.556,06	121.049,23
13	9.700,00	66.500,00	56.800,00	20.885,24	141.934,47
14	9.700,00	66.500,00	56.800,00	19.338,19	161.272,66
15	9.700,00	66.500,00	56.800,00	17.905,73	179.178,39
16	9.700,00	66.500,00	56.800,00	16.579,38	195.757,77
17	9.700,00	66.500,00	56.800,00	15.351,28	211.109,04
18	9.700,00	66.500,00	56.800,00	14.214,14	225.323,19
19	9.700,00	66.500,00	56.800,00	13.161,25	238.484,43
20	9.700,00	66.500,00	56.800,00	12.186,34	250.670,77
NPV				250.670,77	
IRR				17,80%	
EAW				25.531,37	

Πίνακας 27: Απόσβεση Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.



Σχήμα 26: Γραφική παράσταση αποσβέσεων Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

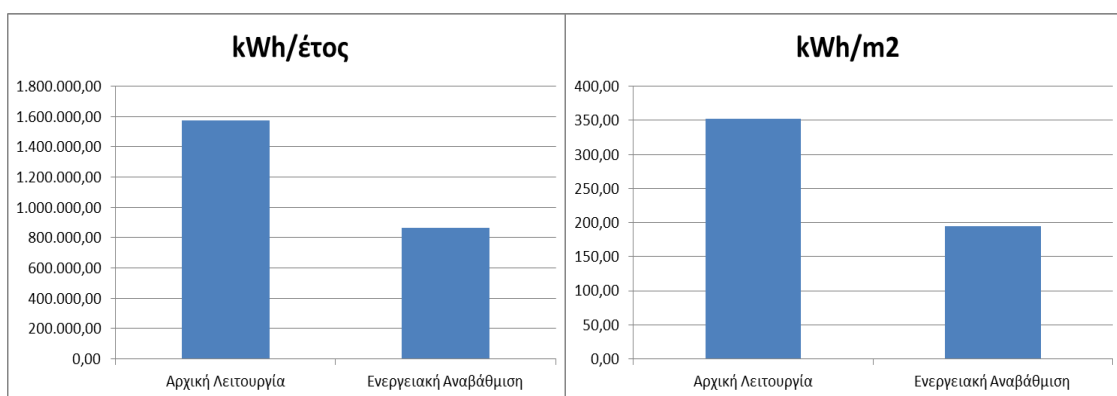
Παρατηρούμε ότι η απόσβεση της επένδυσης στην κατασκευή της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης επιτυγχάνεται στο τέλος του όγδοου έτους. Το όφελος με την μέθοδο του ενεργειακού συμψηφισμού αναφέρεται ως το κόστος που εξοικονομείται με την αντίστοιχη κατανάλωση ενέργειας μετά τις επεμβάσεις. Να σημειωθεί ότι το κόστος/kWh για την εκτίμηση του χρόνου απόσβεσης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι σύμφωνα με τις τρέχουσες τιμές της αγοράς για πώληση ηλεκτρικής ενέργειας από παραγωγή και αποτελεί την δυσμενέστερη περίπτωση. Για πιο ακριβείς υπολογισμούς θα πρέπει να γίνει ανάλυση καταναλώσεων από τιμολόγια αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

6.1 Παρατηρήσεις και συμπεράσματα

Για την ενεργειακή ανάλυση του κτηρίου όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, λαμβάνονται υπόψη τόσο τα κατασκευαστικά δεδομένα του κτηρίου όπως το κέλυφος, το πλήθος και το είδος των ανοιγμάτων όσο η χρήση και τα φορτία. Σημαντική παράμετρος όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποτελεί και η τοποθεσία και ο προσανατολισμός του κτηρίου, τα κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής, αν υπάρχουν γειτονικά κτήρια και οι σκιάσεις.

Για τους σκοπούς αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την χρήση και κατάσταση του κτηρίου. Όπου δεν ήταν εφικτό να ληφθούν υπόψη δεδομένα, χρησιμοποιήθηκαν από το πρόγραμμα Energy Plus στοιχεία που είναι προσαρμοσμένα στις ανάγκες των νοσοκομείων. Στο μοντέλο του κτηρίου τα στοιχεία που δεν ήταν διαθέσιμα χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα από την TOTEE 20701-1. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου πριν και μετά τις επεμβάσεις.



Σχήμα 27: Καταναλώσεις ενέργειας πριν και μετά το σύνολο των επεμβάσεων.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, τα ωφέλει από την ενεργειακή αναβάθμιση είναι σημαντικά. Οι παράμετροι που επηρεάζουν ουσιαστικά την ενεργειακή κατάσταση του κτηρίου είναι το σύστημα κλιματισμού, το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης, το σύστημα φωτισμού και το σύστημα ελέγχου του φωτισμού. Η ενεργειακή αναβάθμιση και προσθήκη των συστημάτων αυτών επιφέρει ουσιαστική εξοικονόμηση ενέργειας η οποία ανέρχεται περίπου στο 40,97%. Αντίθετα η μοντελοποίηση του κτηρίου έχοντας προσθέσει

θερμομόνωση δεν έφερε ουσιαστική εξοικονόμηση ενέργειας όπως αναφέρεται και σε προηγούμενη παράγραφο. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι το κτήριο διαθέτει ήδη πολύ καλή μόνωση δεδομένου ότι είναι κατασκευασμένο με κανονισμό θερμομόνωσης. Το ίδιο ισχύει και για την μοντελοποίηση του κτηρίου με την προσθήκη εξωτερικών σκιάστρων καθώς και με την αντικατάσταση των κουφωμάτων αλουμινίου όπου παρατηρείται επίσης ότι έχει επιτευχθεί ουσιαστική εξοικονόμηση ενέργειας. Η προσθήκη μόνωσης και κουφωμάτων αλουμινίου χαμηλού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας είναι δυνατό να επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας σε κτήρια που είναι κατασκευασμένα πριν από τον κανονισμό θερμομόνωσης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μοντέλου του κτηρίου θεωρώντας ότι είναι κατασκευασμένο χωρίς κανονισμό θερμομόνωσης (πριν την 1 Ιανουαρίου του 1980). Για την μοντελοποίηση του κτηρίου λαμβάνονται οι παρακάτω συντελεστές από τους πίνακες 3.5α και 3.5β και 3.8 από την ΤΟΤΕΕ 20701-1.

- Οπτοπλινθοδομή επιχρισμένη και από τις δύο όψεις: $U=2,20W/(m^2 \cdot K)$.
- Επιστεγάσεις με συμβατικού τύπου δώμα: $U=3,05W/(m^2 \cdot K)$.
- Δάπεδα επί εδάφους: $U=3,10W/(m^2 \cdot K)$.
- Συντελεστής θερμοπερατότητας μονού υαλοπίνακα: $5,7W/(m^2 \cdot K)$.

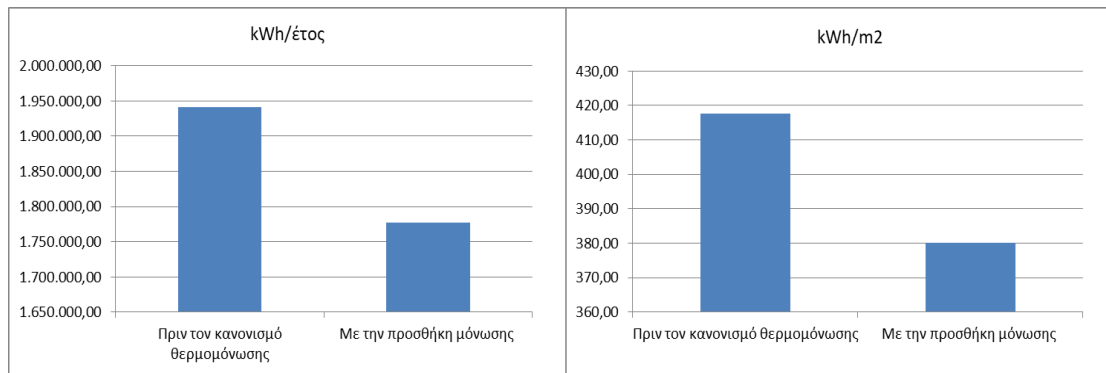
Με την προσθήκη θερμομόνωσης πάχους 60mm και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,04W/m \cdot k$ στο δώμα και στο κέλυφος του κτηρίου επιτυγχάνονται οι παρακάτω συντελεστές θερμοπερατότητας των αδιαφανών και διαφανών στοιχείων:

- Οπτοπλινθοδομή επιχρισμένη και από τις δύο όψεις και εξωτερική μόνωση με $\lambda=0,04 W/(m \cdot k)$: $U=0,351W/(m^2 \cdot K)$.
- Επιστεγάσεις με συμβατικού τύπου δώμα και εξωτερική μόνωση με $\lambda=0,04 W/(m \cdot k)$: $U=0,547W/(m^2 \cdot K)$.
- Συντελεστής θερμοπερατότητας ανοιγμάτων χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας: $1,4W/(m^2 \cdot K)$.

Σημειώνεται ότι το δάπεδο έρχεται σε επαφή με το έδαφος και δεν εγκαθίσταται μόνωση. Τα αποτελέσματα των μοντέλων παρουσιάζονται στον πίνακα 28 και στο σχήμα 27.

Μοντέλο	kWh/m ²	kWh/έτος	Αριθμός Κρεβατιών	kWh/κρεβάτι
Πριν τον κανονισμό θερμομόνωσης	417,56	1.941.075,97	78,00	24.885,59
Με την προσθήκη μόνωσης	380,05	1.776.584,59	78,00	22.776,73

Πίνακας 28: Σύγκριση καταναλώσεων στην περίπτωση όπου το κτήριο ήταν κατασκευασμένο πριν τον κανονισμό θερμομόνωσης – καταναλώσεις πριν και μετά την αναβάθμιση.



Σχήμα 28: Καταναλώσεις ενέργειας πριν και μετά την αναβάθμιση στο μοντέλο όπου το κτήριο θεωρείται ότι κατασκευάστηκε πριν τον κανονισμό θερμομόνωσης.

Όπως παρατηρούμε εάν το κτήριο είχε κατασκευαστεί πριν το 1980 όπου δεν υπήρχε κανονισμός θερμομόνωσης η προσθήκη μόνωσης και ανοιγμάτων χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας θα επέφερε ουσιαστικά αποτελέσματα στην εξοικονόμηση ενέργειας η οποία σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα ανέρχεται περίπου σε 10%.

Η μετατροπή του κτηρίου σε κτήριο μηδενικών ενεργειακών εκπομπών δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί λόγω των αυξημένων καταναλώσεων που ακόμα παρουσιάζει παρά τις επεμβάσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας. Κατά συνέπεια δεν αξιολογείται περαιτέρω σε ότι αφορά την ενεργειακή κλάση κλπ. καθώς και στην εγκατάσταση αντλιών θερμότητας που είναι απαραίτητα για την μετατροπή του κτηρίου σε κτήριο μηδενικών (ή σχεδόν μηδενικών) εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου. Επίσης στο κτήριο δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μονάδων στην οροφή ή σε παρακείμενους χώρους. Για τον λόγο αυτό αξιολογήθηκε η λύση της επένδυσης σε Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με την μέθοδο του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού.

Η χρήση του κτηρίου οδηγεί και στην βέλτιστη επιλογή των επεμβάσεων που είναι δυνατό να εφαρμοστούν για την εξοικονόμηση ενέργειας. Η επιλογή της ενεργειακής αναβάθμισης με την του υφιστάμενου συστήματος ψύξης έγινε κυρίως λόγω τη χρήσης του κτηρίου. Η αντικατάσταση του συστήματος chiller – fan coil με αντλίες θερμότητας θα μείωνε επιπλέον την κατανάλωση ενέργειας σε ψύξη και θέρμανση. Όμως λόγω της εικοσιτετράωρης λειτουργίας του κτηρίου και με δεδομένο ότι δεν υπάρχει περίοδος όπου δεν γίνεται χρήση των χώρων επιλέχθηκε μια πιο ήπια μορφής επέμβαση. Στο μοντέλο της παρούσας εργασίας η βέλτιστη επιλογή για την εξοικονόμηση ενέργειας είναι ο συνδυασμός των επεμβάσεων στα συστήματα φωτισμού, κλιματισμού και ενεργειακής διαχείρισης.

6.2 Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση

Από τα συμπεράσματα που μπορεί να εξαχθούν από την παρούσα εργασία προτείνονται τα παρακάτω πεδία προς περεταίρω διερεύνηση:

1. Την περεταίρω αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού σε κτήρια τριτογενούς τομέα όπου παρατηρούνται μεγάλες καταναλώσεις ενέργειας για φωτισμό.
2. Την διερεύνηση για την αξιολόγηση εγκαταστάσεων συστημάτων αδιαβατικής ψύξης για την ψύξη χώρων που βρίσκονται σε εικοσιτετράωρη λειτουργία (Data Center, Νοσοκομεία).
3. Την αξιολόγηση τακτικής αναβάθμισης συσκευών υψηλών καταναλώσεων όπως συσκευών ιατρικών μηχανημάτων.
4. Αξιολόγηση των παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης σε χωροταξικό πλαίσιο (π.χ. σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου, γειτονιάς ή κοινότητας).
5. Ολιστική προσέγγιση με μελέτη για την συνεισφορά του οικιστικού περιβάλλοντος, των χώρων εργασίας και των κοινόχρηστων εξωτερικών χώρων και συνεργασία ενεργειακών συστημάτων αυτών (τηλεθέρμανση, τηλεψύξη κ.α.).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία:

- [1] Αγερίδης Γ., κ.α. (2011). *Εισαγωγή στον τομέα της Ενέργειας* (Α εκδ.). Αθήνα: ΤΕΕ.
- [2] Αλεξιάκης, Α. (2003). *Ηλιακή Ενέργεια*. Αθήνα: Εκδόσεις Σιδέρη Μιχάλη.
- [3] Βραχόπουλος, κ.α. (2011). *Τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας*. Αθήνα: ΤΕΕ.
- [4] Καγκαράκης, Κ. (1987). *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- [5] Καπλάνης, Σ. (2004). *Μηχανική των Φωτοβολταϊκών*. Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ.
- [6] Κορρές Γ., Χ. (2003). *Οικονομικά Τεχνικών Έργων*. Πάτρα: ΕΑΠ.
- [7] Κορρές Γιώργος, Χ. Α. (2003). *Οικονομικά Τεχνικών Έργων*. Πάτρα: ΕΑΠ.
- [8] Λάσκος, κ.α.. (2012, Μάιος). Παράδειγμα εφαρμογής λογισμικού ΤΕΕ-KENAK (έκδοση 1.29). Αθήνα: ΤΕΕ.
- [9] Μαμάσης Δ., κ.α. (2015). *Υδροηλεκτρικά έργα - Οικονομικά της ενέργειας*. Αθήνα: ΕΜΠ.
- [10] Μαμάσης Ν., κ.α. (2016). *Υδροηλεκτρικά έργα - Ενέργεια, ηλεκτρική ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια*. Αθήνα: ΕΜΠ.
- [11] Μπιτζιώνης, Β. (2011). *Εναλλακτικές μορφές ενέργειας φωτοβολταϊκά συστήματα, αιολικά συστήματα, υβριδικά συστήματα*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- [12] Νεοκλέους, Α. Κ. (1991). *Μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με φωτοβολταϊκά συστήματα*. Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ.
- [13] Οδηγία 2010/31/ΕΕ Του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Μαΐου 2010 για την ενεργειακή απόδοση κτηρίων (αναδιατύπωση) (2010, Ιούνιος 16).. L 153/13. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- [14] Περγίος, Σ. (2011). *Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις*. Αθήνα: ΤεΚεκδοτική.
- [15] ΤΕΕ (2017). *Τεχνική Οδηγία TOTEE-20701-1*. Αθήνα: ΥΠΕΝ.
- [16] ΤΕΕ (2017). *Τεχνική Οδηγία TOTEE-20701-2*. Αθήνα: ΥΠΕΝ.
- [17] Φραγκιαδάκης, Ι. (2006). *Φωτοβολταϊκά συστήματα*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΖΗΤΗ.
- [18] Δ., Κ., χ.χ.. *Ηλιακή Ενέργεια - Ηλιακοί συλλέκτες*, Ηράκλειο Κρήτης: ΤΕΙ Κρήτης.
- [19] ΥΠΕΝ.(2017). *Εθνικό Σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας*, Αθήνα:Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

Ξενογλώσση βιβλιογραφία:

- [1] ABB. (2014). Technical application papers No10. Bergamo: A division of ABB S.p.a.
- [2] Dimoudi, e. a. (n.d.). Zero Energy Hospitals - The prospects for energy upgrade of hospital buildings in the Balkan region. Interreg Balkan - Mediterranean NenH Balkan.
- [3] Alouminco. (n.d.). W450.
- [4] et.al., Maasnen. (2017, January). Zero Energy Hospital Buildings. Rotterdam: TU/e
- [5] et.al., Viloría. (2016). Energy Efficiency Index of Ambulatories and Hospitals, pp. 59-64.
- [6] et.al., K. J. (2007, November). Comparing wind and photovoltaic stand-alone power systems used for the electrification of remote consumers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 57-77.
- [7] Georgilakis S. Pavlos, K. A. (2008, June). Reliability and economic evaluation of small autonomous power systems containing only renewable energy sources. *Renewable Energy*, pp. 65-70.
- [8] Kaldellis J.K., e. (2005, April). Investigating the real situation of Greek solar water heating market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 499-520.
- [9] Kaldellis J.K., e. (2012, November). Comparing recent views of public attitude on wind energy, photovoltaic and small hydro applications. *Renewable Energy*, pp. 197-208.
- [10] Koçaka Emrah, Ş. A. (2016, October). The renewable energy and economic growth nexus in Black Sea and Balkan countries. *Energy Policy*, pp. 51-57.
- [11] Martin, P. (2016, November). Global investment in renewable energy projects: How the whole world is jumping on the renewables bandwagon. *Renewable Energy Focus*, pp. 229-230.
- [12] Nehrir M. H., e. (2011, OCTOBER). A Review of Hybrid Renewable/Alternative Energy Systems for Electric Power Generation: Configurations, Control, and Applications. *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY*, pp. 392-403.
- [13] Tsolakis Naoum, A. L. (2015, March). Eco-cities: An integrated system dynamics framework and a concise research taxonomy. *Sustainable Cities and Society*, pp. 1-14.
- [14] University, I. (2016, 9 30). Engineering Reference. United States, Illinois.
- [15] Viloría, A. e. (2016, June 06). Energy Efficiency Index of Ambulatories and Hospitals. *International Journal of Control Theory and Applications*, p. 7.

Υπολογιστικά πακέτα:

- [1] EnergyPlus-9.0.1
- [2] https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP