



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Οικονομοτεχνική Μελέτη Εγκατάστασης
Διασυνδεδεμένων Φωτοβολταϊκών με Ενεργειακό
Συμψηφισμό και εγκατάσταση Αντλίας
Θερμότητας σε Μονοκατοικία

ΠΑΠΑΝΙΚΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

A.M.: HN07965

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΟΛΑΣΙΩΤΗΣ

Υπόδειγμα φύλλου τίτλου (πίσω σελίδα) του αντιτύπου που υποβάλλεται στις βιβλιοθήκες (πτυχιακή εργασία)

(Υπογραφή)

.....

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Τ.Ε., Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

© 2012 – All rights reserved

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η μελέτη διερευνά τις δυνατότητες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης σε κτίρια κατοικιών μέσω της εφαρμογής φωτοβολταϊκών (PV) πάνελ, ηλιακών θερμοσίφωνων και συστημάτων αντλιών θερμότητας. Μια μονοκατοικία στην Ξάνθη της Ελλάδας χρησιμεύει ως μελέτη περίπτωσης, με τις παρεμβάσεις να οδηγούν σε σημαντική βελτίωση της ενεργειακής βαθμολογίας του κτιρίου από την κατηγορία Δ σε A+, που αντιπροσωπεύει σχεδόν μηδενικό επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας. Η μελέτη υπογραμμίζει επίσης τη σημασία της εξέτασης της τοποθεσίας και των κλιματικών συνθηκών κατά την επιλογή και τον προσδιορισμό του μεγέθους του συστήματος αντλίας θερμότητας. Μια οικονομική ανάλυση αποκαλύπτει ότι η εγκατάσταση ενός συστήματος αντλίας θερμότητας, σε συνδυασμό με Φ/Β πάνελ και ηλιακό θερμοσίφωνα, θα μπορούσε να είναι μια οικονομικά αποδοτική λύση για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση του ενεργειακού κόστους μακροπρόθεσμα. Τα ευρήματα ευθυγραμμίζονται με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, ενισχύοντας τον ρόλο των ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και συστημάτων στην προώθηση της αειφόρου χρήσης ενέργειας σε κτίρια κατοικιών. Η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να διερευνήσει άλλες ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες και στρατηγικές, όπως προηγμένα μονωτικά υλικά και έξυπνα οικιακά συστήματα.

Λέξεις-κλειδιά: Ενεργειακή απόδοση, Κτίρια κατοικιών, Φωτοβολταϊκά πάνελ, Ηλιακοί Θερμοσίφωνες, Συστήματα Αντλιών Θερμότητας, Ενεργειακή Διαβάθμιση, Αειφόρος Χρήση Ενέργειας, Χρηματοοικονομική Ανάλυση.

Λέξεις Κλειδιά: (π.χ.) Αρμονικές, Μετρήσεις, Κτίρια Τριτογενούς Τομέα

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

ABSTRACT

This study investigates the potential for energy efficiency improvements in residential buildings through the implementation of photovoltaic (PV) panels, solar water heaters, and heat pump systems. A single-family house in Xanthi, Greece, serves as a case study, with the interventions leading to a significant improvement in the building's energy rating from category D to A+, representing a near-zero energy consumption level. The study also underscores the importance of considering location and climatic conditions when selecting and sizing the heat pump system. A financial analysis reveals that the installation of a heat pump system, in combination with PV panels and a solar water heater, could be a cost-effective solution for improving energy efficiency and reducing energy costs in the long run. The findings align with existing literature, reinforcing the role of energy-efficient technologies and systems in promoting sustainable energy use in residential buildings. Future research could explore other energy-efficient technologies and strategies, such as advanced insulation materials and smart home systems.

Keywords: Energy Efficiency, Residential Buildings, Photovoltaic Panels, Solar Water Heaters, Heat Pump Systems, Energy Rating, Sustainable Energy Use, Financial Analysis.

Keywords: Harmonics, Measurements, Tertiary Buildings

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα πτυχιακή εργασία θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς όλους όσους συνέβαλαν σε αυτό. Ειδικότερα ευχαριστώ πολύ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ Μολασιώτη Βασίλη του ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας για την υποστήριξη και τη διαρκή βοήθεια που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους διδάσκοντες καθηγητές μου για τις γνώσεις και τα πολύτιμα εφόδια που μου μεταβίβασαν όλα αυτά τα χρόνια, όπως επίσης και την οικογένειά μου για την υποστήριξή της σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	i
Abstract	iii
Ευχαριστίες	v
Πίνακας Περιεχομένων	vii
Πίνακας Εικόνων.....	ix
Κατάλογος Πινάκων.....	x
Εισαγωγή.....	1
.Ιστορικό και κίνητρο	1
.Στόχοι της μελέτης	2
Πεδίο εφαρμογής και περιορισμοί.....	2
Κεφάλαιο 1: Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας	5
1.1 Επισκόπηση φωτοβολταϊκών συστημάτων	5
1.2 Επισκόπηση συστημάτων αντλιών θερμότητας	7
1.3 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών και αντλιών θερμότητας σε κτίρια κατοικιών	9
1.4 Προηγούμενες μελέτες για οικονομικές και τεχνικές πτυχές.....	11
Κεφάλαιο 2: Μεθοδολογία.....	14
2.1. Περιγραφή της περιοχής μελέτης	14
2.2. Μονοκατοικία μελέτης	15
2.3. Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων και Εργαλεία Μελέτης.....	21
2.4. Μεθοδολογία επιλογής και διαστασιολόγησης φωτοβολταϊκού συστήματος.....	23
2.5. Επιλογή και μέγεθος συστήματος αντλίας θερμότητας.....	24
2.6. Θέματα εγκατάστασης και ρύθμισης.....	26
Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα αναλυσεων	28
3.1. Θερμικές Ζώνες Μονοκατοικίας Μελέτης	28
3.2. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά κτηριακού κελύφους.....	29
3.2.1. Δομικά στοιχεία αδιαφανών επιφανειών σε εξωτερικό αέρα	29
3.2.2. Δομικά στοιχεία αδιαφανών επιφανειών σε επαφή με το έδαφος	35
3.2.3. Δομικά στοιχεία διαφανών επιφανειών	35
3.2.4. Συντελεστές σκίασης δομικών στοιχείων κτηρίου (αδιαφανών και διαφανών).....	37
3.2.4.1 Συντελεστές σκίασης λόγω ορίζοντα Fhor	37
3.2.4.2.Συντελεστές σκίασης οριζόντιων σκιάστρων Fov	39
3.2.4.3 Συντελεστές σκίασης από πλευρικές προεξοχές Ffin	40
3.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων κτηρίου	42
3.3.1. Σύστημα παραγωγής θέρμανσης	42
3.3.2. Σύστημα ψύξης χώρων	45
3.3.3. Σύστημα Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης.....	45
3.4. Αποτελέσματα ενεργειακής επιθεώρησης υφισταμένου κτηρίου.....	46
3.5. Σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίου.....	49
3.5.1. Σενάριο 1. Προσθήκη Μόνωσης στην Οροφή του Κτηρίου.....	49
3.5.1.1. Οικονομική αποτίμηση παρεμβάσεων του Σεναρίου 1.	49
3.5.2. Σενάριο 2. Εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη.....	52
3.5.2.1. Οικονομική αποτίμηση παρεμβάσεων του Σεναρίου 2	52
3.5.3. Σενάριο 3. Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών Πάνελ στην οροφή του κτηρίου με ταυτόχρονη εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη και μόνωσης δώματος.....	54
3.5.3.1. Οικονομική αποτίμηση παρεμβάσεων του Σεναρίου 3	63
3.5.4. Σενάριο 4. Εγκατάσταση Αντλίας Θερμότητας, συνδυαστικά με εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών Πάνελ στην οροφή του κτηρίου και ταυτόχρονη εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη και μόνωσης δώματος.....	65
3.5.4.1. Οικονομική αποτίμηση παρεμβάσεων του Σεναρίου 4	67
3.5.5. Αποτίμηση της NPV των τεσσάρων σεναρίων.....	69

Κεφάλαιο 5. Συμπερασματα	71
5.1. Συζήτηση και σύνδεση με βιβλιογραφία	71
5.2. Σύνοψη Συμπερασμάτων.....	71
Βιβλιογραφικές Αναφορές	73

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ενσωματωμένες σε κτίρια φωτοβολταϊκά (BIPV) μονάδες, τεχνολογίες, εφαρμογές και υλικά-συμβατικά και αναδυόμενα. (Πηγή: Alshaikh et al. 2019)	6
Εικόνα 2: Απόδοση Αντλίας Θερμότητας (Πηγή: Automatic Heating, 2023)	8
Εικόνα 3: Ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών συστημάτων και αντλιών θερμότητας σε κατοικίες (πηγή: Kneifel et al.,2016)	10
Εικόνα 4: Σχηματικό πλαίσιο φωτοβολταϊκού συστήματος. (Mahmud et al.,2018)	13
Εικόνα 5: Κάτοψη Κτηρίου.....	15
Εικόνα 6: Σήμανση εμποδίων από όμορα κτήρια σε δισδιάστατο επίπεδο στη μονοκατοικία μελέτης	16
Εικόνα 7: Τρισδιάστατη άποψη εμποδίων από όμορα κτήρια	16
Εικόνα 8: Απεικόνιση προβόλου στην μία όψη της μονοκατοικίας όπου βρίσκεται και η είσοδος.....	17
Εικόνα 9: Τρισδιάστατη άποψη από την πίσω πλευρά της μονόροφης κατοικίας μελέτης.....	17
Εικόνα 10: Ιδιότητες καθέτων αδιαφανών δομικών υλικών	18
Εικόνα 11: Ιδιότητες οριζοντίων αδιαφανών δομικών υλικών.....	18
Εικόνα 12: Απεικόνιση όψεων κουφωμάτων μονοκατοικίας μελέτης.....	19
Εικόνα 13: Απεικόνιση υφισταμένου συστήματος θέρμανσης πριν την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας	20
Εικόνα 14: Energy labels των air-condition που υπάρχουν στο κτήριο μελέτης.....	21
Εικόνα 15. Εύρεση ποσοστού θερμικών απωλειών από το δίκτυο διανομής.....	48
Εικόνα 16. Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων στο λογισμικό SAM	59
Εικόνα 17.Επιλογή μοντέλου PV	60
Εικόνα 18. Επιλογή μοντέλου Inverter.....	60
Εικόνα 19. Επιλογή αριθμού συστοιχίας panel	61
Εικόνα 20. Καρτέλα εισαγωγής κλίσης και προσανατολισμού.....	61
Εικόνα 21. Μηνιαία ενέργεια κατά το πρώτο έτος.....	62
Εικόνα 22. Ενεργειακές απώλειες	63
Εικόνα 23. Μηνιαία ενέργεια κατά το έτος 1 σε kW	63
Εικόνα 24. Μηνιαία ενέργεια και φορτίο κατά το 1 ^ο έτος.....	64
Εικόνα 25. Χρηματοροές ΦΒ συστήματος κατά τη διάρκεια ζωής του	65
Εικόνα 26. Καθαρή παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια ζωής του ΦΒ συστήματος	65
Εικόνα 27. Εύρεση βέλτιστου προσανατολισμού ΦΒ με επίλυση στο Skelion (Azimuth = 177.56, Tilt=30.10).....	65

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Γενικά στοιχεία Ζώνης 1.....	31
Πίνακας 2. Γενικά στοιχεία Ζώνης 2.....	31
Πίνακας 3. Αδιαφανή στοιχεία Α θερμικής ζώνης κτηρίου	37
Πίνακας 4: Αδιαφανή στοιχεία Β θερμικής ζώνης κτηρίου	38
Πίνακας 5: Εισαγωγή στοιχείων δαπέδου Α και Β θερμικής ζώνης κτηρίου.....	38
Πίνακας 6: Διαφανή στοιχεία θερμικής ζώνης 1.....	40
Πίνακας 7: Διαφανή στοιχεία θερμικής ζώνης 2.....	40
Πίνακας 8: Συντελεστές σκίασης αδιαφανών επιφανειών θερμικής ζώνης 1	47
Πίνακας 9: Συντελεστές σκίασης αδιαφανών επιφανειών θερμικής ζώνης 2	47
Πίνακας 10: Συντελεστές σκίασης διαφανών επιφανειών θερμικής ζώνης 1.....	47
Πίνακας 11: Συντελεστές σκίασης διαφανών επιφανειών θερμικής ζώνης 2.....	47
Πίνακας 12.Σύστημα Θέρμανσης για Θερμική Ζώνη 1	48
Πίνακας 13.Σύστημα Θέρμανσης για Θερμική Ζώνη 2	48
Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά δικτύου διανομής για θερμική Ζώνη 1 και 2.....	48
Πίνακας 15. Εισαγωγή δεδομένων τερματικών μονάδων στο TEE KENAK για ζώνη 1 και 2	49
Πίνακας 16. Εισαγωγή δεδομένων βοηθητικό συστημάτων στο TEE KENAK για ζώνη 1 και 2	50
Πίνακας 17. Στοιχεία για συστήματα ψύξης κτηρίου στη Θερμική Ζώνη Α και Β	50
Πίνακας 18. Δεδομένα ΖΝΧ για θερμική ζώνη 1 και 2 του κτηρίου μελέτης.....	51
Πίνακας 19. Ενεργειακές Απαιτήσεις Κτηρίου Αναφοράς	52
Πίνακας 20. Ενεργειακές απαιτήσεις υπάρχοντος κτηρίου	53
Πίνακας 21. Ενεργειακή Κατάταξη Υπάρχοντος Κτηρίου (Σενάριο 0)	53
Πίνακας 22. Ενεργειακή Κατάταξη Κτηρίου με Προσθήκη Μόνωσης στην οροφή (Σενάριο 1)	54
Πίνακας 23. Ενεργειακή Κατάταξη Κτηρίου με Προσθήκη Ηλιακού Συλλέκτη (Σενάριο 2).....	57
Πίνακας 24. Καρτέλα αποτελεσμάτων Φ/Β συστήματος.....	62
Πίνακας 25. Σενάρια Μελέτης Τοποθέτησης ΦΒ στοιχείων στο δώμα της μονοκατοικίας μελέτης	66
Πίνακας 26. Σύνοψη αποτελεσμάτων σεναρίου 2.....	66
Πίνακας 27. Σύνοψη αποτελεσμάτων σεναρίου 3.....	67
Πίνακας 28. Σύνοψη αποτελεσμάτων σεναρίου 4.....	67
Πίνακας 29. Ενεργειακή Κατάταξη κτηρίου με προσθήκη ΦΒ πάνελ στην οροφή του κτηρίου (Σενάριο 3)	68
Πίνακας 30. Ενεργειακή Κατάταξη κτηρίου με προσθήκη αντλίας θερμότητας και ΦΒ πάνελ στην οροφή του κτηρίου (Σενάριο 4).....	72

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

.Ιστορικό και κίνητρο

Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει μια αυξανόμενη ανησυχία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των παραδοσιακών πηγών ενέργειας και ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών. Ο οικιακός τομέας συμβάλλει σημαντικά στη συνολική κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθιστώντας τον κρίσιμο στόχο για την εφαρμογή λύσεων βιώσιμης ενέργειας (Smith et al., 2019; IEA, 2020).

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ), τα οποία μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια, έχουν κερδίσει σημαντική προσοχή ως καθαρή και άφθονη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας (Li et al., 2021; Razykov et al., 2011). Ομοίως, οι αντλίες θερμότητας έχουν αναδειχθεί ως μια ενεργειακά αποδοτική εναλλακτική λύση στα συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης, χρησιμοποιώντας τη λανθάνουσα θερμότητα που υπάρχει στο περιβάλλον (Li et al., 2022· Saidur et al., 2011). Με την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων με αντλίες θερμότητας σε κτίρια κατοικιών, είναι δυνατό να μειωθεί η εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας (Hong et al., 2017; Wang et al., 2019).

Η εγκατάσταση διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών με ενεργειακή αντιστάθμιση και η υιοθέτηση της τεχνολογίας αντλιών θερμότητας σε μια μονοκατοικία αποτελούν μια ευκαιρία να διερευνηθεί η οικονομική και τεχνική σκοπιμότητα ενός τέτοιου συστήματος. Αυτή η μελέτη στοχεύει να αξιολογήσει τα πιθανά οφέλη από την ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών, την αντικατάσταση ενός συμβατικού λέβητα ξύλου και την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός νοικοκυριού τεσσάρων ατόμων.

Οι στόχοι αυτής της έρευνας είναι διπλοί. Πρώτον, να υπολογιστούν οι ενεργειακές απαιτήσεις της μονοκατοικίας και να αναλυθούν οι πιθανές ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της εγκατάστασης διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών και συστήματος αντλίας θερμότητας. Δεύτερον, να αξιολογηθεί η οικονομική βιωσιμότητα της εφαρμογής αυτών των τεχνολογιών, λαμβάνοντας υπόψη το αρχικό κόστος επένδυσης και την περίοδο απόσβεσης.

Με την αντιμετώπιση αυτών των στόχων, αυτή η μελέτη επιδιώκει να συμβάλει στη βάση γνώσεων για την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κτίρια κατοικιών και να παρέχει πρακτικές γνώσεις για ιδιοκτήτες κατοικιών, υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και επαγγελματίες της ενέργειας που ενδιαφέρονται για λύσεις βιώσιμης ενέργειας.

.Στόχοι της μελέτης

Οι στόχοι αυτής της μελέτης είναι οι εξής:

1. Υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών της μονοκατοικίας: Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση των τρεχουσών προτύπων κατανάλωσης ενέργειας του σπιτιού και τον προσδιορισμό των ενεργειακών απαιτήσεων για διάφορες δραστηριότητες όπως θέρμανση, ψύξη και χρήση ζεστού νερού.
2. Ανάλυση πιθανών ευκαιριών εξοικονόμησης ενέργειας: Με την εγκατάσταση διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών πλαισίων και συστήματος αντλίας θερμότητας, η μελέτη στοχεύει στην αξιολόγηση της πιθανής εξοικονόμησης ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί σε σύγκριση με το υπάρχον σύστημα λέβητα ξύλου. Αυτή η ανάλυση θα εξετάσει την ενεργειακή αντιστάθμιση που παρέχεται από τα φωτοβολταϊκά και την απόδοση της αντλίας θερμότητας.
3. Αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας του προτεινόμενου συστήματος: Η μελέτη θα υπολογίσει το αρχικό κόστος επένδυσης που σχετίζεται με την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων και του συστήματος αντλίας θερμότητας. Επιπλέον, θα εκτιμήσει την πιθανή εξοικονόμηση κόστους ενέργειας με την πάροδο του χρόνου. Ο στόχος είναι να καθοριστεί η περίοδος απόσβεσης και να αξιολογηθεί η οικονομική σκοπιμότητα του προτεινόμενου συστήματος.
4. Αξιολόγηση της τεχνικής σκοπιμότητας του ολοκληρωμένου συστήματος: Αυτό περιλαμβάνει την ανάλυση των τεχνικών πτυχών της ενοποίησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων και του συστήματος αντλίας θερμότητας. Περιλαμβάνει ζητήματα όπως ο σχεδιασμός του συστήματος, το μέγεθος, η συμβατότητα και η χρήση αυτόματων διακοπών ή αισθητήρων για τη ρύθμιση του συστήματος.

Με την αντιμετώπιση αυτών των στόχων, η μελέτη στοχεύει να παρέχει πληροφορίες για τα πιθανά οφέλη, τις προκλήσεις και τις οικονομικές επιπτώσεις της ενσωμάτωσης διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών με ενεργειακή μετατόπιση και εγκατάστασης αντλίας θερμότητας σε μονοκατοικία. Τα ευρήματα μπορούν να συμβάλουν στη βάση γνώσεων για λύσεις βιώσιμης ενέργειας για κτίρια κατοικιών και να ενημερώσουν τους ιδιοκτήτες κατοικιών, τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους επαγγελματίες της ενέργειας στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων.

Πεδίο εφαρμογής και περιορισμοί

Το αντικείμενο της παρούσας μελέτης επικεντρώνεται στη διενέργεια οικονομικής και τεχνικής ανάλυσης εγκατάστασης διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών με ενεργειακή μετατόπιση και συστήματος αντλίας θερμότητας σε μονοκατοικία. Η μελέτη στοχεύει συγκεκριμένα σε ένα

σπίτι που κατοικείται από τέσσερα άτομα και στοχεύει στην αξιολόγηση των ενεργειακών αναγκών, της πιθανής εξοικονόμησης ενέργειας και της οικονομικής σκοπιμότητας του προτεινόμενου συστήματος.

Η μελέτη θα περιλαμβάνει τις ακόλουθες πτυχές:

1. Υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών: Η ανάλυση θα περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση, ψύξη και χρήση ζεστού νερού στο σπίτι. Θα εξετάσει τα τρέχοντα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας και θα αξιολογήσει τη δυνητική εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών και ενός συστήματος αντλίας θερμότητας.

2. Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος: Η μελέτη θα καλύψει το σχεδιασμό και το μέγεθος του φωτοβολταϊκού συστήματος για να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις του σπιτιού. Θα περιλαμβάνει την επιλογή της κατάλληλης φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, τη διάταξη του συστήματος και την εκτίμηση της παραγωγής ενέργειας.

3. Εγκατάσταση συστήματος αντλίας θερμότητας: Η ανάλυση θα περιλαμβάνει την επιλογή και το μέγεθος του συστήματος αντλίας θερμότητας που είναι κατάλληλο για το σπίτι. Θα εξετάσει την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας της αντλίας θερμότητας, τα εξαρτήματα και τις απαιτήσεις εγκατάστασης.

4. Ολοκλήρωση και ρύθμιση: Η μελέτη θα διερευνήσει την ενοποίηση των συστημάτων φωτοβολταϊκών και αντλιών θερμότητας, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης αυτόματων διακοπών ή αισθητήρων για τη ρύθμιση του συστήματος. Θα αξιολογήσει πώς μπορεί να γίνει αποτελεσματική διαχείριση και έλεγχος της ενεργειακής αντιστάθμισης και της θέρμανσης ζεστού νερού.

5. Οικονομική Ανάλυση: Η μελέτη θα υπολογίσει το αρχικό κόστος επένδυσης που σχετίζεται με την εγκατάσταση των διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών και του συστήματος αντλίας θερμότητας. Θα εκτιμήσει την πιθανή εξοικονόμηση κόστους ενέργειας με την πάροδο του χρόνου και θα καθορίσει την περίοδο απόσβεσης για το σύστημα.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ορισμένους περιορισμούς:

1. Περιφερειακές και κλιματικές εκτιμήσεις: Η μελέτη θα διεξαχθεί με βάση συγκεκριμένες περιφερειακές συνθήκες και κλιματικές παραμέτρους. Τα αποτελέσματα και τα ευρήματα μπορεί να έχουν εφαρμογή σε παρόμοιες γεωγραφικές τοποθεσίες, αλλά ενδέχεται να μην είναι άμεσα μεταβιβάσιμα σε άλλες περιοχές με διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά.

2. Απλοποιημένη ενεργειακή μοντελοποίηση: Οι ενεργειακές ανάγκες και η πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας θα υπολογιστούν χρησιμοποιώντας απλουστευμένα μοντέλα και

υποθέσεις με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων μπορεί να επηρεαστεί από αυτές τις παραδοχές και τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του σπιτιού.

3. Εκτιμήσεις κόστους: Η οικονομική ανάλυση θα βασίζεται σε εκτιμήσεις κόστους για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ και του συστήματος αντλίας θερμότητας. Το πραγματικό κόστος μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες όπως οι συνθήκες της αγοράς, η πολυπλοκότητα της εγκατάστασης και οι συγκεκριμένες επιλογές εξοπλισμού.

4. Απόδοση Συστήματος και Μακροπρόθεσμη Ανάλυση: Η μελέτη θα επικεντρωθεί στην αρχική οικονομική και τεχνική αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος. Η μακροπρόθεσμη απόδοση, το κόστος συντήρησης του συστήματος και οι πιθανές αλλαγές στα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας με την πάροδο του χρόνου ενδέχεται να μην ληφθούν πλήρως υπόψη σε αυτήν την ανάλυση.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, η μελέτη στοχεύει να παράσχει πολύτιμες γνώσεις σχετικά με την οικονομική και τεχνική σκοπιμότητα της ενσωμάτωσης διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών με ενεργειακή μετατόπιση και συστήματος αντλίας θερμότητας σε μια μονοκατοικία, συμβάλλοντας στη βάση γνώσεων για λύσεις βιώσιμης ενέργειας για κτίρια κατοικιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

1.1 Επισκόπηση φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ), τα οποία μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια, έχουν κερδίσει σημαντική προσοχή ως καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η ενότητα που ακολουθεί παρέχει μια επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, συζητώντας την τεχνολογία, τις επιδόσεις και τις εφαρμογές τους.

Φ/Β τεχνολογία και εξαρτήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από διάφορα εξαρτήματα που συνεργάζονται για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Το βασικό συστατικό είναι το φωτοβολταϊκό στοιχείο, το οποίο αποτελείται από ηλιακές κυψέλες που μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρισμό συνεχούς ρεύματος (DC) (Green et al., 2019; Kazmerski, 2012). Αυτές οι μονάδες κατασκευάζονται συνήθως από υλικά ημιαγωγών, όπως το πυρίτιο, και μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικές γενιές με βάση την αποτελεσματικότητά τους και τις διαδικασίες κατασκευής τους (Kumar et al., 2021; Green et al., 2019).

Εκτός από τις φωτοβολταϊκές μονάδες, τα φωτοβολταϊκά συστήματα περιλαμβάνουν άλλα βασικά εξαρτήματα, όπως μετατροπείς, οι οποίοι μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) για χρήση στο ηλεκτρικό δίκτυο ή στα κτίρια (Green et al., 2019; Kazmerski, 2012). Τα στοιχεία Balance of System (BOS), συμπεριλαμβανομένων των καλωδιώσεων, των δομών τοποθέτησης και των συστημάτων παρακολούθησης, αποτελούν επίσης αναπόσπαστα μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (Green et al., 2019; Kumar et al., 2021).

Απόδοση και Αποτελεσματικότητα

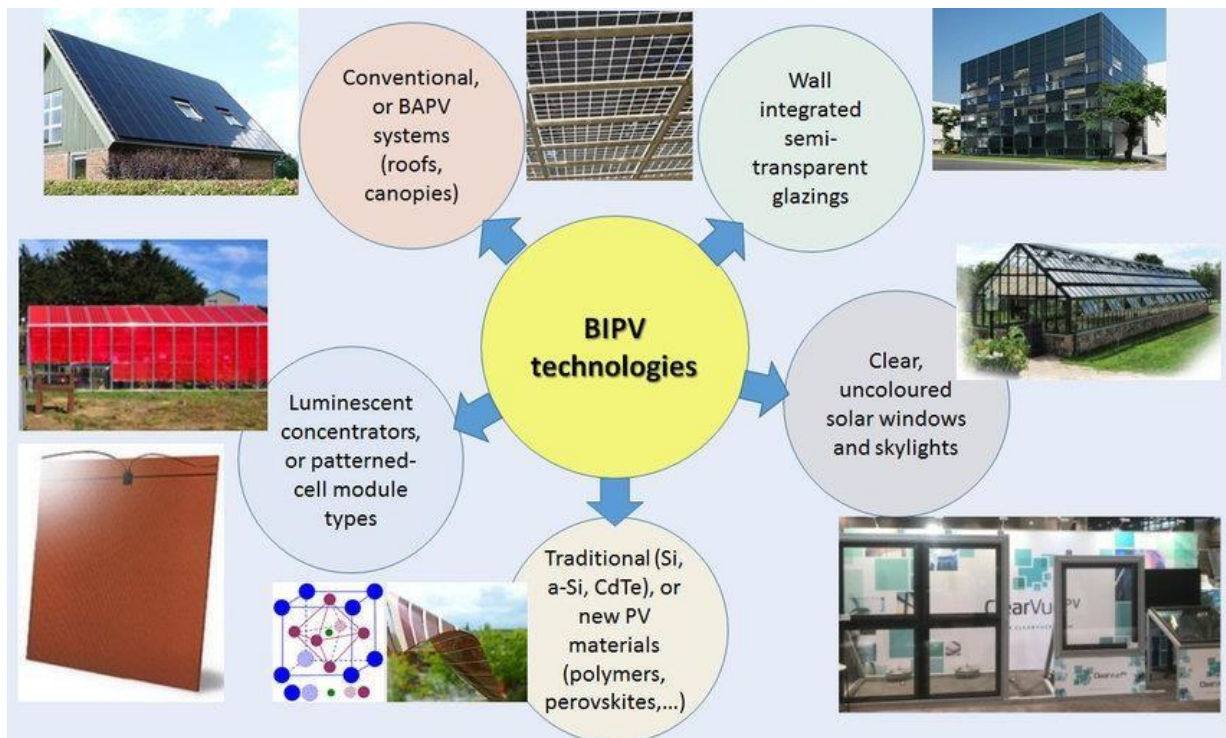
Η απόδοση και η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η σκίαση και τα χαρακτηριστικά της μονάδας. Οι ερευνητές έχουν μελετήσει εκτενώς αυτούς τους παράγοντες για να βελτιώσουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και να βελτιστοποιήσουν την ενέργεια που παράγουν. (Kazmerski, 2012; Green et al., 2019).

Βελτιώσεις απόδοσης στις φωτοβολταϊκές μονάδες έχουν επιτευχθεί μέσω της προόδου στα υλικά και τις τεχνικές κατασκευής. Αυτές οι εξελίξεις είχαν ως αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις μετατροπής ισχύος και μειωμένο κόστος, καθιστώντας τα φωτοβολταϊκά συστήματα πιο οικονομικά βιώσιμα (Green et al., 2019; Kumar et al., 2021).

Εφαρμογές ΦΒ σε Κτίρια Κατοικιών

Τα Φ/Β συστήματα έχουν βρει ευρεία εφαρμογή σε κτίρια κατοικιών, συμβάλλοντας σε βιώσιμες ενεργειακές λύσεις και μειώνοντας τα αποτυπώματα άνθρακα. Μελέτες έχουν εξετάσει την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε διάφορα οικιστικά περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων μονοκατοικιών, πολυώροφων κτιρίων και συγκροτημάτων κατοικιών.

Η έρευνα έχει επισημάνει τη δυνατότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων να αντισταθμίζουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε οικίες και να μειώνουν την εξάρτηση από την ηλεκτρική ενέργεια που βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα (Nassar et al., 2018; Mekhilef et al., 2012). Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια κατοικιών προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την προώθηση της ενεργειακής αυτάρκειας (Kazmerski, 2012; Nassar et al., 2018).



Εικόνα 1: Ενσωματωμένες σε κτίρια φωτοβολταϊκά (BIPV) μονάδες, τεχνολογίες, εφαρμογές και υλικά-συμβατικά και αναδύμενα. (Πηγή: Alshaikh et al. 2019)

Επιπλέον, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να συνδυαστούν με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, επιτρέποντας στους ιδιοκτήτες του σπιτιού να αποθηκεύουν την περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια για μελλοντική χρήση και να βελτιώνουν την ενεργειακή ανθεκτικότητα (Zahedi et al., 2021; Yang et al., 2021). Αυτή η ενοποίηση διευκολύνει την αποτελεσματική χρήση της ηλιακής ενέργειας και βελτιώνει τη συνολική απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση καταδεικνύει ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ικανή να παρέχει βιώσιμες λύσεις ηλεκτρικής ενέργειας για κτίρια κατοικιών. Οι συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών, σε συνδυασμό με το μειωμένο κόστος, έχουν συμβάλει στην ευρεία υιοθέτησή τους σε οικιακά περιβάλλοντα. Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια κατοικιών όχι μόνο μειώνει τις εκπομπές άνθρακα αλλά προσφέρει επίσης τη δυνατότητα ενεργειακής αυτάρκειας και ανθεκτικότητας.

1.2 Επισκόπηση συστημάτων αντλιών θερμότητας

Τα συστήματα αντλιών θερμότητας έχουν κερδίσει σημαντική προσοχή ως ενεργειακά αποδοτικές εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Αυτή η ενότητα παρέχει μια επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας για τα συστήματα αντλιών θερμότητας, συζητώντας την τεχνολογία, την απόδοση και τις εφαρμογές τους.

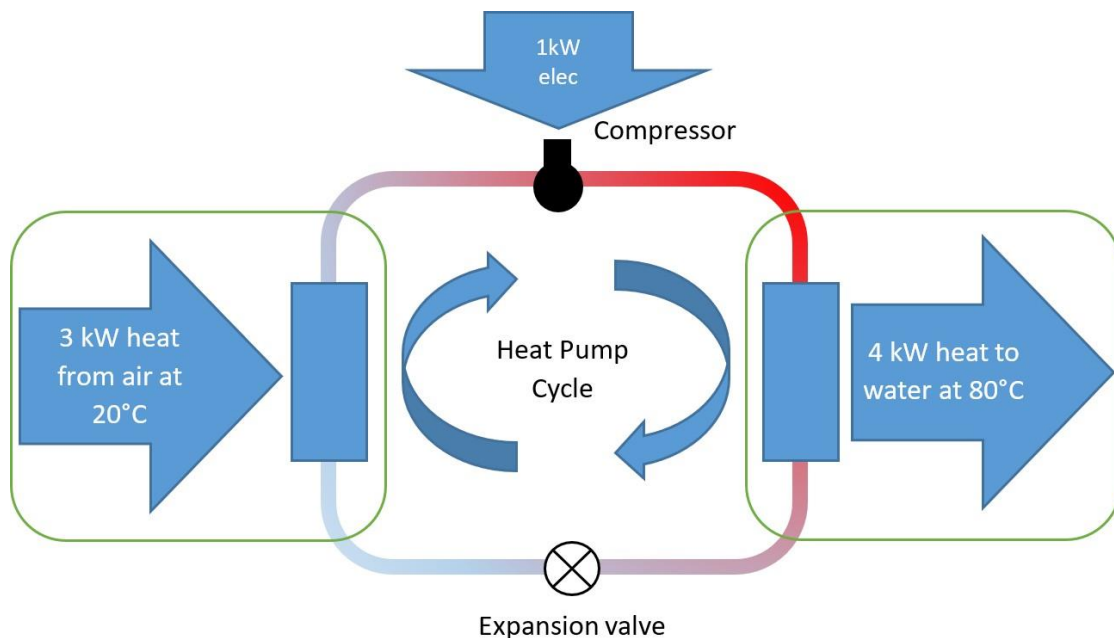
Οι αντλίες θερμότητας είναι συσκευές που μεταφέρουν θερμότητα από μια πηγή χαμηλής θερμοκρασίας σε μια καταβόθρα υψηλότερης θερμοκρασίας, χρησιμοποιώντας τις αρχές της θερμοδυναμικής (Deng et al., 2020; Reay et al., 2013). Τα κύρια εξαρτήματα ενός συστήματος αντλίας θερμότητας περιλαμβάνουν έναν συμπιεστή, έναν εξαμιστή, έναν συμπυκνωτή και μια βαλβίδα εκτόνωσης (Deng et al., 2020; Rosen, 2014). Αυτά τα εξαρτήματα συνεργάζονται για την κυκλοφορία ενός ψυκτικού μέσου και την εξαγωγή θερμότητας από την πηγή, μεταφέροντας το στο νεροχύτη για σκοπούς θέρμανσης.

Διατίθενται διάφοροι τύποι αντλιών θερμότητας, συμπεριλαμβανομένων αντλιών θερμότητας πηγής αέρα, εδάφους (γεωθερμικής) και αντλιών θερμότητας με πηγή νερού. Οι αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα εξάγουν θερμότητα από τον ατμοσφαιρικό αέρα, ενώ οι αντλίες θερμότητας εδάφους χρησιμοποιούν τη σχετικά σταθερή θερμοκρασία του εδάφους ή των υδάτινων σωμάτων ως πηγή θερμότητας (Lu et al., 2019; Rosen, 2014). Η επιλογή της τεχνολογίας αντλίας θερμότητας εξαρτάται από παράγοντες όπως το κλίμα, οι συνθήκες της τοποθεσίας και οι ενεργειακές απαιτήσεις.

Η απόδοση των συστημάτων αντλιών θερμότητας αξιολογούνται με βάση διάφορους παράγοντες, όπως ο συντελεστής απόδοσης (COP), ο συντελεστής εποχικής απόδοσης (SPF) και ο λόγος ενεργειακής απόδοσης (EER). Το COP αντιπροσωπεύει την αναλογία της εξόδου θέρμανσης ή ψύξης προς την ηλεκτρική είσοδο της αντλίας θερμότητας, ενώ το SPF λαμβάνει υπόψη την απόδοση του συστήματος για μια ολόκληρη περίοδο θέρμανσης ή ψύξης (Lu et al., 2019; Rosen, 2014). Το EER μετρά συγκεκριμένα την απόδοση ψύξης των αντλιών θερμότητας.

Οι ερευνητές έχουν επικεντρωθεί στη βελτίωση της απόδοσης και της αποδοτικότητας των συστημάτων αντλιών θερμότητας μέσω των εξελίξεων στην τεχνολογία συμπιεστών, τα ψυκτικά μέσα και τις στρατηγικές ελέγχου (Lu et al., 2019; Deng et al., 2020). Επιπλέον, η ενοποίηση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τα ηλιακά θερμικά συστήματα, έχει διερευνηθεί για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης και βιωσιμότητας των συστημάτων αντλιών θερμότητας (Zhang et al., 2018; Peng et al., 2021).

Τα συστήματα αντλιών θερμότητας έχουν βρει ευρείες εφαρμογές σε κτίρια κατοικιών για θέρμανση χώρων, ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Προσφέρουν πλεονεκτήματα όπως υψηλή ενεργειακή απόδοση, ευελιξία και μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης και ψύξης (Lu et al., 2019; Reay et al., 2013).



Εικόνα 2: Απόδοση Αντλίας Θερμότητας (Πηγή: Automatic Heating, 2023)

Μελέτες έχουν εξετάσει την απόδοση και την πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας των συστημάτων αντλιών θερμότητας σε διαφορετικά οικιστικά περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων μονοκατοικιών, κτιρίων πολλαπλών μονάδων και ανακαινίσεων (Zhang et al., 2018; Deng et al., 2020). Η ενοποίηση συστημάτων αντλιών θερμότητας με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και έξυπνου ελέγχου έχει διερευνηθεί για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους και τη μεγιστοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας (Peng et al., 2021; Yilmaz et al., 2016).

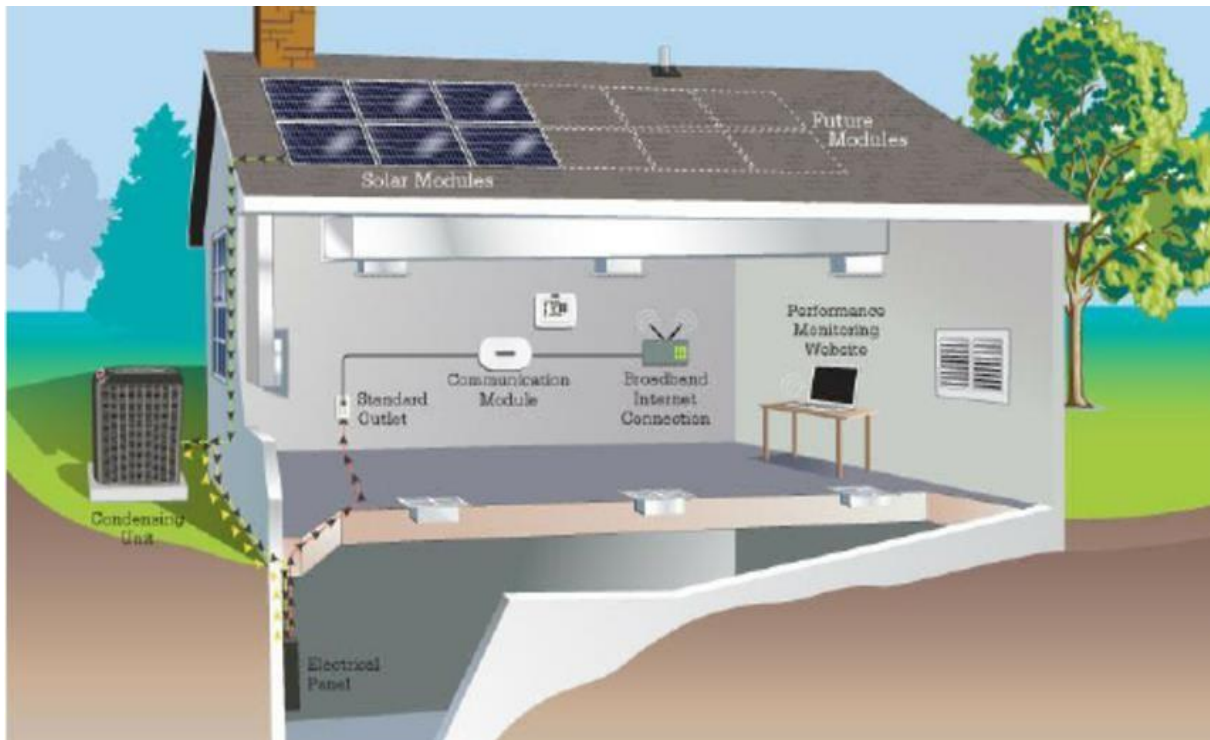
Τα συστήματα αντλιών θερμότητας έχουν αναδειχθεί ως ενεργειακά αποδοτικές λύσεις για θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού σε κτίρια κατοικιών. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία

και τις στρατηγικές ελέγχου έχουν βελτιώσει την απόδοση και την αποτελεσματικότητά τους. Η ενοποίηση συστημάτων αντλιών θερμότητας με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και έξυπνες τεχνολογίες προσφέρει δυνατότητες για περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας και βιωσιμότητα. Τα συστήματα αντλιών θερμότητας αποτελούν μια βιώσιμη επιλογή για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την επίτευξη ενός βιώσιμου και άνετου περιβάλλοντος διαβίωσης.

1.3 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών και αντλιών θερμότητας σε κτίρια κατοικιών

Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών (ΦΒ) συστημάτων και αντλιών θερμότητας σε κτίρια κατοικιών προσφέρει μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτή η ενότητα παρέχει μια επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας σχετικά με την ενοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων και αντλιών θερμότητας, συζητώντας τα οφέλη, τις προκλήσεις και τις πιθανές λύσεις.

Ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών συστημάτων και αντλιών θερμότητας επιτρέπει την ενεργειακή αντιστάθμιση και τη συνέργεια συστημάτων σε κτίρια κατοικιών. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια, η οποία μπορεί να τροφοδοτήσει άμεσα τις αντλίες θερμότητας, μειώνοντας την εξάρτηση από την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου (Li et al., 2021; Patel et al., 2018). Το πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να ανατροφοδοτηθεί στο δίκτυο ή να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση, βελτιστοποιώντας περαιτέρω τη συνολική κατανάλωση ενέργειας και την εξοικονόμηση κόστους (Li et al., 2021; Wang et al., 2020).



Εικόνα 3: Ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών συστημάτων και αντλιών θερμότητας σε κατοικίες (πηγή: Kneifel et al., 2016)

Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων και αντλιών θερμότητας σε κτίρια κατοικιών προσφέρει πολλά οφέλη. Πρώτον, το Φ/Β σύστημα μπορεί να παρέχει ανανεώσιμη και καθαρή ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδοσία των αντλιών θερμότητας, μειώνοντας την εξάρτηση από πηγές ενέργειας που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα και μειώνοντας τις εκπομπές άνθρακα (Hirata et al., 2018; Radhi et al., 2019). Δεύτερον, το πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη άλλων ενεργειακών αναγκών του νοικοκυριού, όπως φωτισμό, συσκευές και ηλεκτρικά οχήματα, ενισχύοντας την ενεργειακή αυτόρκεια (Li et al., 2021; Todeschini et al., 2019). Τρίτον, το συνδυασμένο σύστημα μπορεί να παρέχει δυνατότητες θέρμανσης και ψύξης, προσφέροντας άνεση και ευελιξία όλο το χρόνο (Hong et al., 2017; Lu et al., 2020).

Παρά τα πολυάριθμα οφέλη, η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων και αντλιών θερμότητας σε κτίρια κατοικιών παρουσιάζει ορισμένες προκλήσεις. Μια σημαντική πρόκληση είναι η διακοπόμενη φύση της ηλιακής ενέργειας, καθώς η παραγωγή ενέργειας των φωτοβολταϊκών συστημάτων ποικίλλει ανάλογα με τη διαθεσιμότητα του ηλιακού φωτός (Santbergen et al., 2019; Zhang et al., 2020). Αυτή η διακοπή μπορεί να δημιουργήσει προκλήσεις για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας και την αντιστοίχιση ενέργειας. Ωστόσο, στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί αρκετές πιθανές λύσεις. Αυτά περιλαμβάνουν τη χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, για την αποθήκευση περίσσειας ηλεκτρικής

ενέργειας που παράγεται από ΦΒ για μεταγενέστερη χρήση σε περιόδους χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας (Davoudpour et al., 2021; Zhang et al., 2020). Μια άλλη λύση είναι η εφαρμογή στρατηγικών έξυπνου ελέγχου, οι οποίες βελτιστοποιούν τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας με βάση την έξοδο του φωτοβολταϊκού συστήματος, τη ζήτηση ενέργειας και τις συνθήκες του δικτύου (Li et al., 2021; Su et al., 2020).

Η οικονομική βιωσιμότητα της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων και αντλιών θερμότητας σε κτίρια κατοικιών είναι μια σημαντική πτυχή που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Μελέτες έχουν δείξει ότι η ενοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση κόστους μειώνοντας τους λογαριασμούς ενέργειας και παρέχοντας πιθανά έσοδα από την πλεονάζουσα παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Balaras et al., 2020; Deng et al., 2021). Ωστόσο, παράγοντες όπως το αρχικό κόστος εγκατάστασης, τα έξοδα συντήρησης και οι κυβερνητικές πολιτικές και κίνητρα πρέπει να ληφθούν υπόψη για μια ολοκληρωμένη οικονομική ανάλυση (Shin et al., 2020; Zhang et al., 2020).

Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων και αντλιών θερμότητας σε κτίρια κατοικιών προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για ενεργειακή απόδοση, μείωση του άνθρακα και αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το συνδυασμένο σύστημα παρέχει ενεργειακή αντιστάθμιση, συνέργεια συστήματος και πολλαπλά οφέλη, όπως μειωμένη εξάρτηση από την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου, βελτιωμένη ενεργειακή αυτάρκεια και άνεση όλο το χρόνο. Η υπέρβαση των προκλήσεων που σχετίζονται με τη διακοπή και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος μέσω στρατηγικών αποθήκευσης ενέργειας και έξυπνου ελέγχου μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω την απόδοση του συστήματος. Η οικονομική βιωσιμότητα και η πολιτική διαδραματίζουν κρίσιμους ρόλους στην προώθηση της υιοθέτησης ολοκληρωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων και αντλιών θερμότητας σε κτίρια κατοικιών, συμβάλλοντας σε ένα βιώσιμο και ανθεκτικό ενεργειακό μέλλον.

1.4 Προηγούμενες μελέτες για οικονομικές και τεχνικές πτυχές

Έχουν διεξαχθεί πολυάριθμες μελέτες για τη διερεύνηση των οικονομικών και τεχνικών πτυχών της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών (ΦΒ) συστημάτων και αντλιών θερμότητας σε κτίρια κατοικιών. Αυτή η ενότητα παρέχει μια επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, επισημαίνοντας βασικά ευρήματα και γνώσεις από αυτές τις μελέτες.

Αρκετές μελέτες έχουν εξετάσει την οικονομική βιωσιμότητα και τις οικονομικές πτυχές της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων και αντλιών θερμότητας σε κτίρια κατοικιών. Οι Wang et al. (2019) διεξήγαγε μια τεχνοοικονομική ανάλυση ενός συστήματος αντλίας θερμότητας με πηγή αέρα σε συνδυασμό με Φ/Β συστήματα, λαμβάνοντας υπόψη το αρχικό

κόστος επένδυσης, την εξοικονόμηση ενέργειας και την περίοδο απόσβεσης. Διαπίστωσαν ότι το ολοκληρωμένο σύστημα παρείχε σημαντική εξοικονόμηση κόστους μακροπρόθεσμα, με αποτέλεσμα μια λογική περίοδο απόσβεσης.

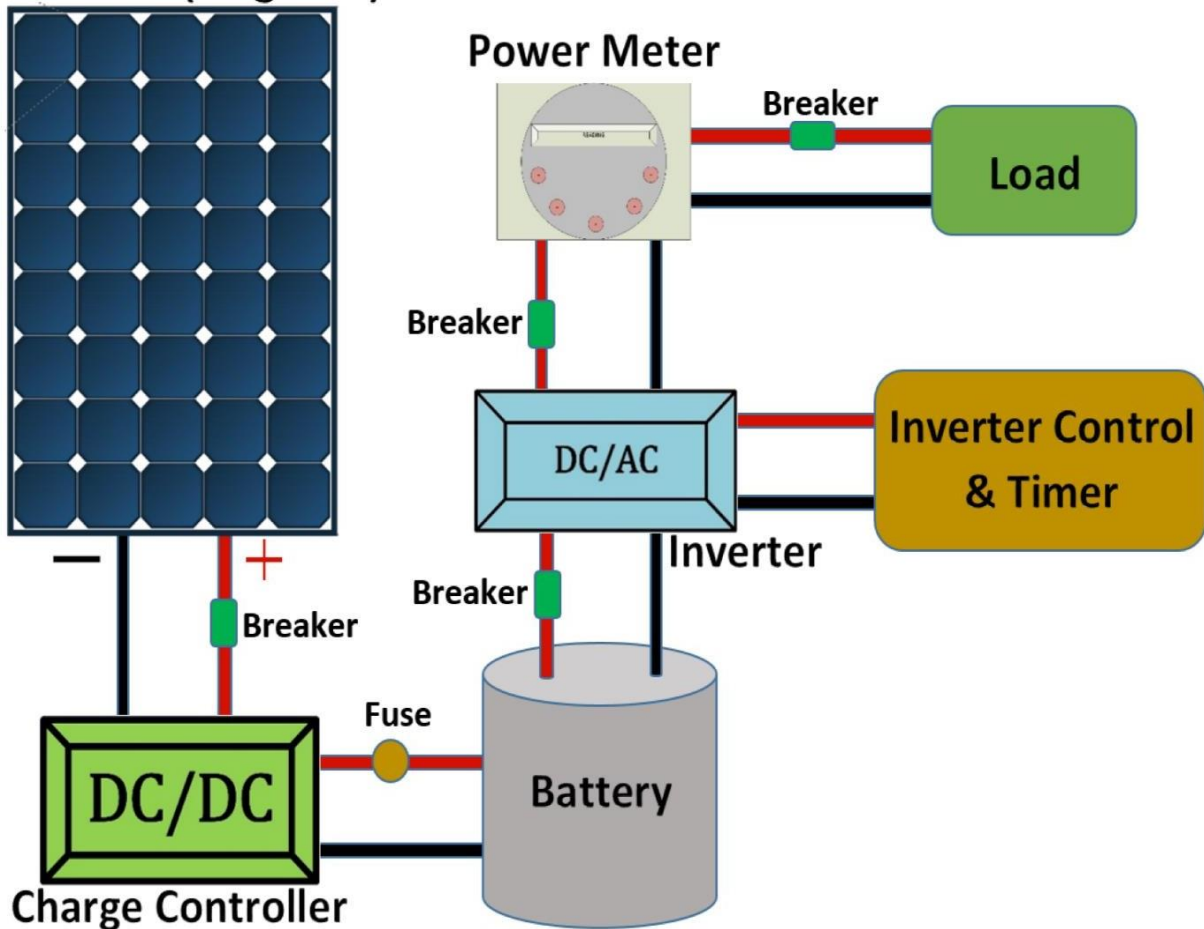
Σε παρόμοιο πνεύμα, οι Shin et al. (2020) πραγματοποίησε μια τεχνοοικονομική ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη τον αντίκτυπο των τιμολογίων ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα φωτοβολταϊκών-αντλιών θερμότητας στο κτίριο. Η μελέτη τους έδειξε ότι η ενοποίηση των φωτοβολταϊκών και των αντλιών θερμότητας, σε συνδυασμό με ευνοϊκά τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας, θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντικά οικονομικά οφέλη για τους ιδιοκτήτες κατοικιών.

Η τεχνική απόδοση των ολοκληρωμένων συστημάτων αντλίας θερμότητας-φωτοβολταϊκών έχει επίσης διερευνηθεί εκτενώς. Οι Lu et al. (2020) πραγματοποίησε μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση των τεχνικών ενοποίησης, των στρατηγικών ελέγχου και της βελτιστοποίησης της απόδοσης του συστήματος. Διαπίστωσαν ότι ο σωστός σχεδιασμός του συστήματος, το μέγεθος και οι στρατηγικές ελέγχου ήταν ζωτικής σημασίας για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης και ενεργειακής απόδοσης.

Επιπλέον, οι Zhang et al. (2020) επανεξέτασε τον έλεγχο βελτιστοποίησης των συστημάτων φωτοβολταϊκών-αντλιών θερμότητας και τόνισε τη σημασία των ευφυών αλγορίθμων ελέγχου και των προηγμένων στρατηγικών ελέγχου. Η μελέτη τους τόνισε τη δυνατότητα βελτιωμένης απόδοσης του συστήματος μέσω προηγμένων τεχνικών ελέγχου, όπως ο προγνωστικός έλεγχος μοντέλων και οι αλγόριθμοι που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη.

Έχουν διεξαχθεί μελέτες αξιολόγησης κύκλου ζωής (LCA) για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ολοκληρωμένων συστημάτων φωτοβολταϊκών-αντλιών θερμότητας. Οι Zhang et al. (2020) πραγματοποίησε μια μελέτη LCA που συνέκρινε ένα σύστημα αντλίας θερμότητας-φωτοβολταϊκών με συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ολοκληρωμένο σύστημα είχε χαμηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλο τον κύκλο ζωής του.

PV Panel (Single -Si)



Εικόνα 4: Σχηματικό πλαίσιο φωτοβολταϊκού συστήματος. (Mahmud et al.,2018)

Οι μελέτες έχουν επίσης διερευνήσει τις πτυχές της πολιτικής και της αγοράς της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων και αντλιών θερμότητας. Οι Deng et al. (2021) διεξήγαγε μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση των ενεργειακών, οικονομικών και περιβαλλοντικών επιδόσεων των συνδυασμένων συστημάτων φωτοβολταϊκών-αντλιών θερμότητας. Τόνισαν τη σημασία της υποστήριξης πολιτικής, των κινήτρων και των ευνοϊκών συνθηκών της αγοράς για την προώθηση της υιοθέτησης αυτών των ολοκληρωμένων συστημάτων.

Προηγούμενες μελέτες έχουν παράσχει πολύτιμες πληροφορίες για τις οικονομικές και τεχνικές πτυχές της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων και αντλιών θερμότητας σε κτίρια κατοικιών. Η έρευνα έδειξε τη δυνατότητα για εξοικονόμηση κόστους, βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση και περιβαλλοντικά οφέλη που σχετίζονται με αυτά τα ολοκληρωμένα συστήματα. Επιπλέον, οι μελέτες υπογραμμίζουν τη σημασία του κατάλληλου σχεδιασμού συστήματος, στρατηγικών ελέγχου και υποστηρικτικών πολιτικών για τη μεγιστοποίηση των οφελών των ολοκληρωμένων συστημάτων αντλίας θερμότητας-φωτοβολταϊκών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Περιγραφή της περιοχής μελέτης

Το υπό μελέτη σπίτι βρίσκεται στην πόλη της Ξάνθης, μια περιοχή που κατατάσσεται στην Κλιματική Ζώνη Γ. Αυτή η ταξινόμηση είναι ζωτικής σημασίας καθώς επηρεάζει διάφορες πτυχές της ενεργειακής απόδοσης του σπιτιού, συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων θέρμανσης και ψύξης.

Χτισμένο το 1976, το σπίτι είναι μια μονοκατοικία. Έχει ύψος 3 μέτρα, χαρακτηριστικό ύψος για κτίρια κατοικιών της εποχής του. Αυτή η κατασκευή ενός ορόφου απλοποιεί την ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης καθώς εξαλείφει την ανάγκη να ληφθεί υπόψη η μεταφορά θερμότητας μεταξύ των δαπέδων.

Ο προσανατολισμός του σπιτιού παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή του απόδοση. Σε αυτή την περίπτωση, το κτίριο αποκλίνει 30° από το Βορρά. Αυτή η απόκλιση σημαίνει ότι το σπίτι δεν βλέπει απευθείας στον Βορρά, κάτι που μπορεί να έχει επιπτώσεις στην έκθεση στο ηλιακό φως και, κατά συνέπεια, στις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του σπιτιού.

Το σπίτι βρίσκεται σε άμεση επαφή με το έδαφος, γεγονός που μπορεί να συμβάλει σε απώλεια ή κέρδος θερμότητας ανάλογα με την εποχή. Το χειμώνα, το σπίτι μπορεί να χάσει θερμότητα από το πιο δροσερό έδαφος, ενώ το καλοκαίρι, το σχετικά πιο δροσερό έδαφος μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της θερμοκρασίας του σπιτιού.

Συνοπτικά, η τοποθεσία, η ηλικία, η δομή, ο προσανατολισμός και η επαφή με το έδαφος του σπιτιού είναι όλοι παράγοντες που συμβάλλουν στη συνολική ενεργειακή του απόδοση. Αυτοί οι παράγοντες θα ληφθούν υπόψη στην επακόλουθη ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης του σπιτιού και των πιθανών βελτιώσεων.

Η Ξάνθη, μια πόλη στην Ελλάδα, βρίσκεται στην Κλιματική Ζώνη Γ. Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται από εύκρατο κλίμα, το οποίο έχει σημαντικό αντίκτυπο στις συνολικές καιρικές συνθήκες της πόλης και, κατά συνέπεια, στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων εντός της πόλης. Το κλίμα της πόλης χαρακτηρίζεται από μια κατανομή θερμοκρασιών και ύψους βροχόπτωσης που ποικίλλουν κατά τη διάρκεια του έτους.

2.2. Μονοκατοικία μελέτης

Προκειμένου να είναι εφικτή η παραμετρική ανάλυση της εξοικονόμησης ενέργειας συναρτήσει του εμβαδού και των διαστάσεων των πλευρών, επιλέγεται η κάτοψη του σπιτιού που φαίνεται στην εικόνα 6. Η μονοκατοικία αυτή στην Ξάνθη έχει 2 θερμικές ζώνες που επισημαίνονται στην κάτοψη και επιλέγονται ως μελέτη περίπτωσης για τις μεταβλητές διαστάσεις της μονοκατοικίας τα ακόλουθα στοιχεία:

$X=8, Y=2, Z=4$.

Απόσταση: $(Z+2)$ m οπότε Απόσταση: $4+2 = 6$ m

Ύψος Παραθύρου: $(X+Y+Z)*0,1$ m οπότε Ύψος Παραθύρου: $(8+2+4)*0,1 = 1,4$ m

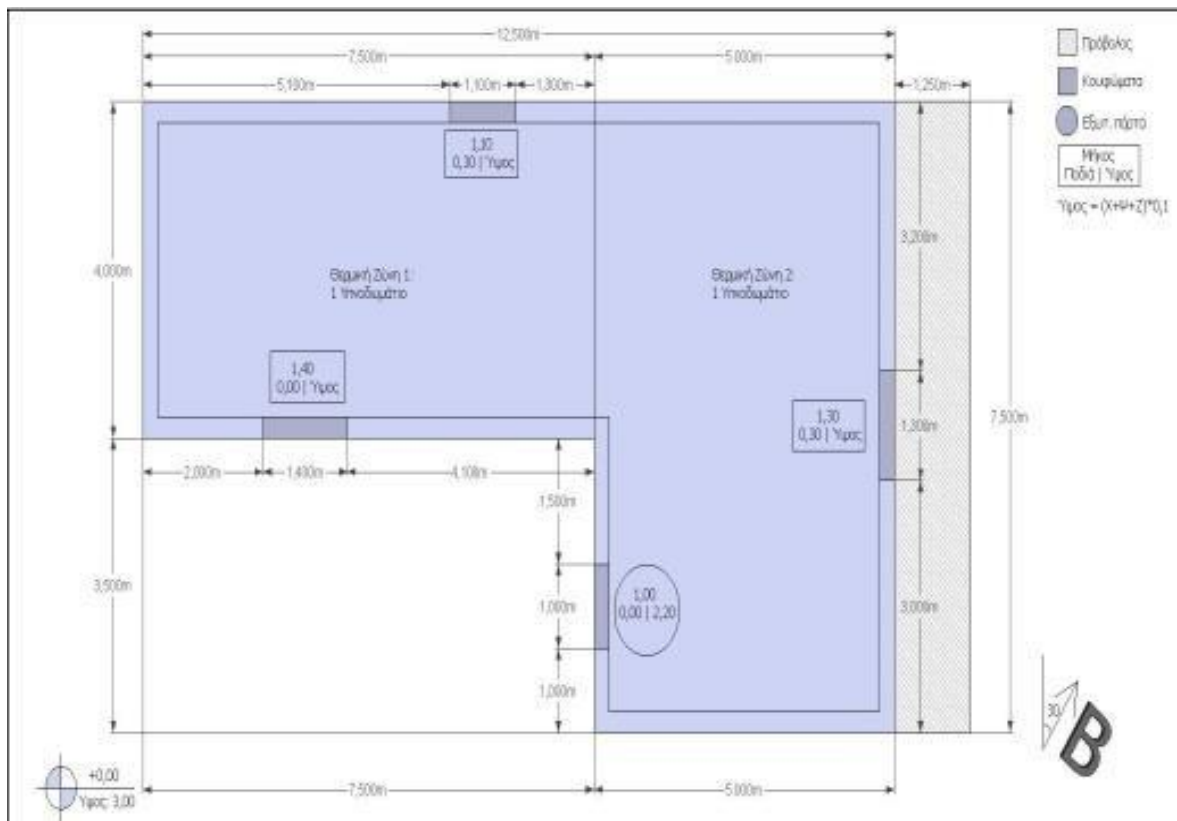
Ισχύς Λέβητα -Καυστήρα: $(Y*Z)+35$ kW οπότε ισχύς λέβητα - καυστήρα: $8+35 = 117$ kW

Το εμβαδόν του σπιτιού του οποίου η κάτοψη φαίνεται παρακάτω προκύπτει ως:

$$E = 12.5 * 7.5 - 3.5 * 7.5 = 67.5m^2$$

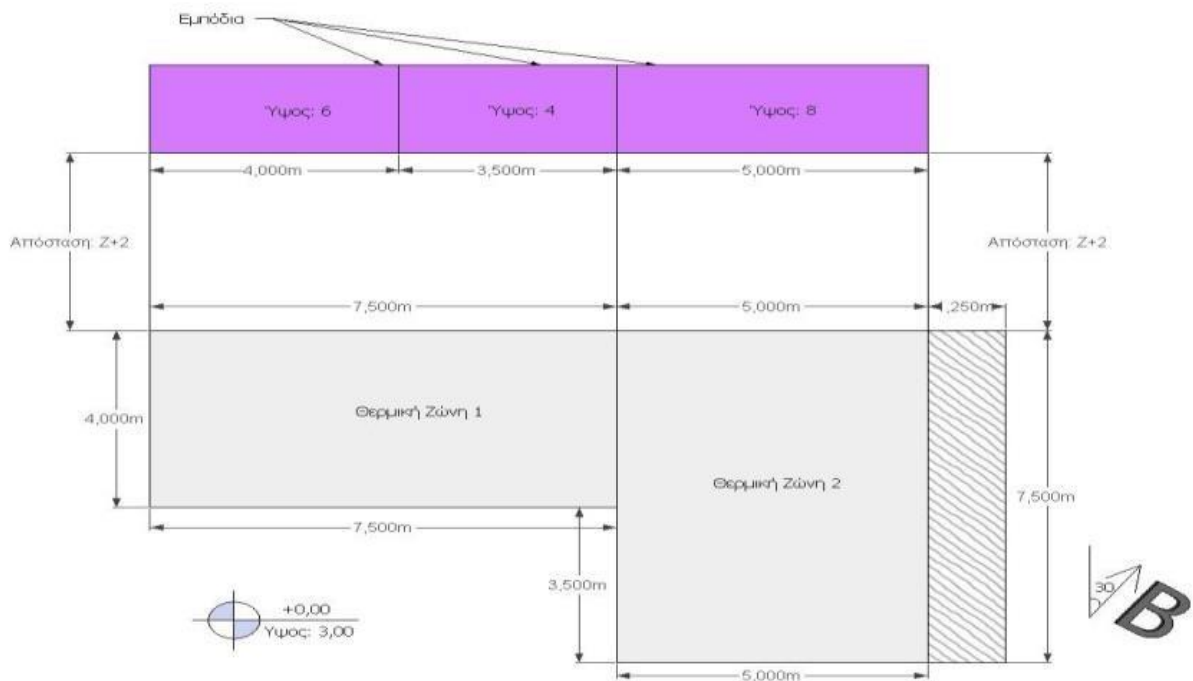
Άρα και ο συνολικός όγκος είναι ίσος με:

$$V = 67.5 * 3 = 202.5m^3$$

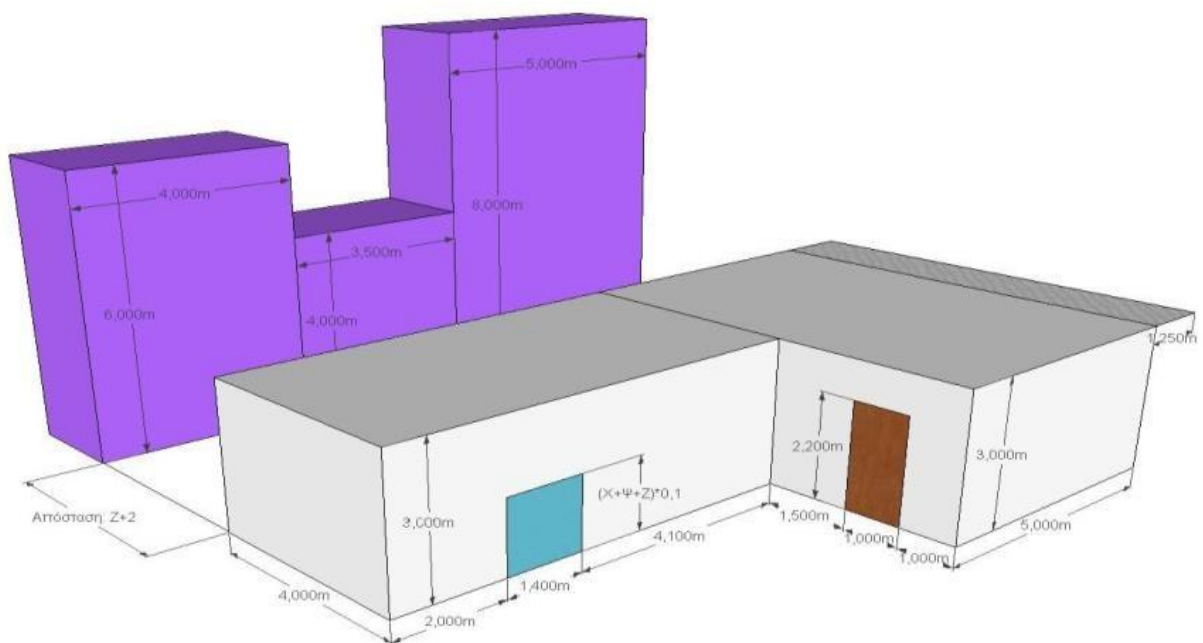


Εικόνα 5: Κάτοψη Κτηρίου

Ακολουθούν τα σχέδια που απεικονίζουν περιμετρικά τη σκίαση που δέχεται η εν λόγω μονοκατοικία στην Ξάνθη.

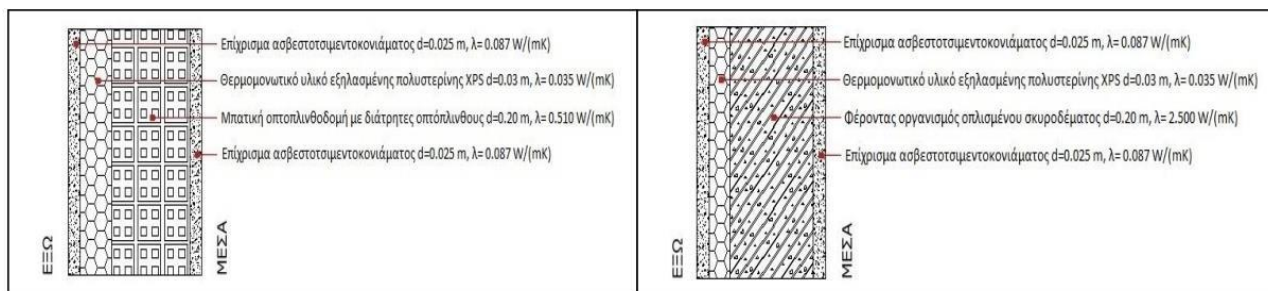


Εικόνα 6: Σήμανση εμποδίων από όμορα κτήρια σε διδιάστατο επίπεδο στη μονοκατοικία μελέτης



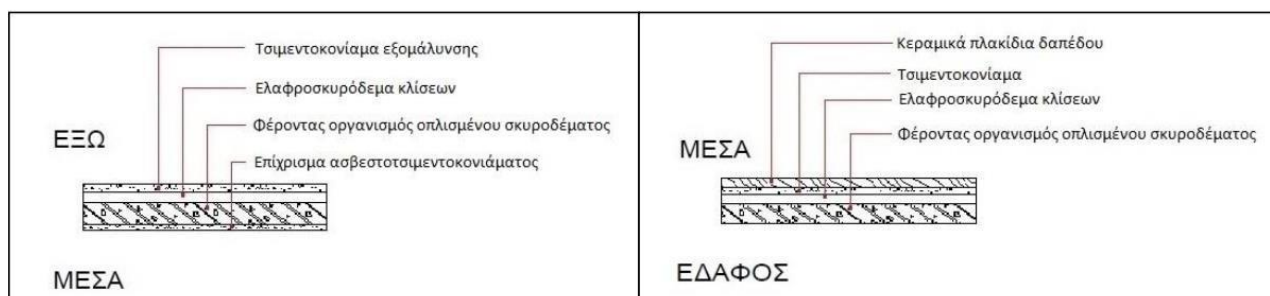
Εικόνα 7: Τρισδιάστατη άποψη εμποδίων από όμορα κτήρια

Κάθετα αδιαφανή δομικά στοιχεία (τοιχοποιία, υποστυλώματα, δοκοί)¹



Εικόνα 10: Ιδιότητες κάθετων αδιαφανών δομικών υλικών

Οριζόντια αδιαφανή δομικά στοιχεία (οροφή, δάπεδο)¹



Εικόνα 11: Ιδιότητες οριζοντίων αδιαφανών δομικών υλικών

Εξωτερικά Κουφώματα:

Απλή Ξύλινη Πόρτα: Τα εξωτερικά κουφώματα αποτελούν σημαντικό στοιχείο της μελέτης της μονοκατοικίας, διασφαλίζοντας την ασφάλεια, την ενεργειακή απόδοση και την αισθητική του κτηρίου. Συγκεκριμένα, τα κουφώματα αποτελούνται από γυαλοπίνακες και μονά μεταλλικά πλαίσια.

Υαλοπίνακες: Οι γυαλοπίνακες αποτελούν το κύριο μέρος των εξωτερικών κουφωμάτων και επιτρέπουν τη διέλευση φυσικού φωτός στο εσωτερικό του κτηρίου. Επιλέγονται υαλοπίνακες με κατάλληλη μόνωση, ηχομόνωση και αντοχή στις καιρικές συνθήκες.

Πλαίσιο: Τα μονόσχισμα μεταλλικά πλαίσια συνδέουν τους γυαλοπίνακες και παρέχουν σταθερή στήριξη. Επιλέγονται πλαίσια από ανθεκτικά μέταλλα, τα οποία διασφαλίζουν την αντοχή των κουφωμάτων στις εξωτερικές συνθήκες.

Ποσοστό: Το ποσοστό των κουφωμάτων υπολογίζεται βάσει των παρακάτω διαστάσεων, λαμβάνοντας υπόψη τον συνολικό αριθμό κουφωμάτων στην κατοικία.

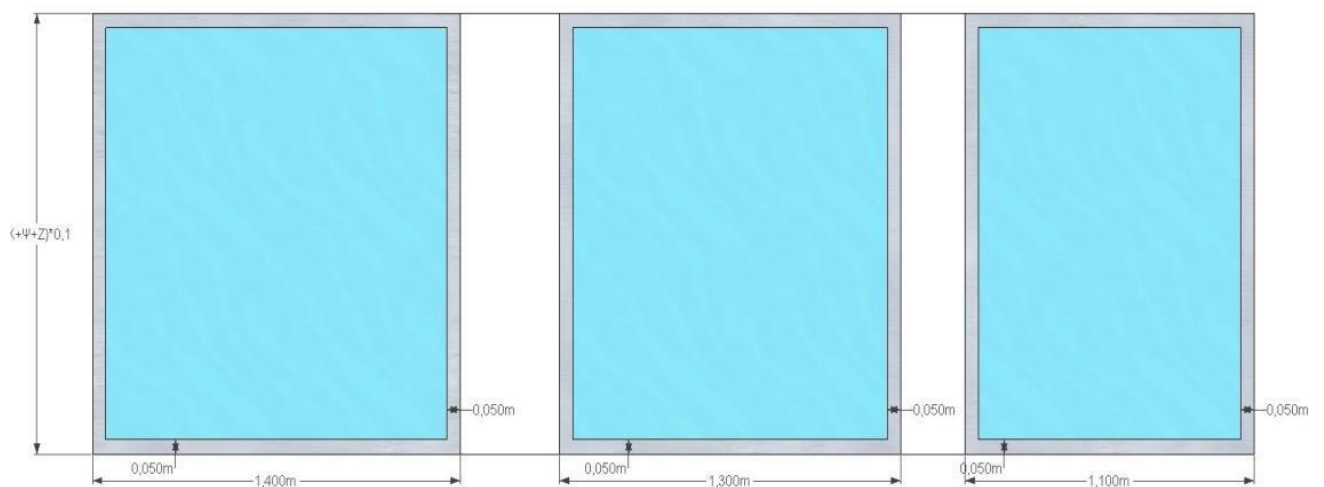
Εξωτερική Προστασία Κουφωμάτων:

Προστατευτικά Φύλλα: Για την προστασία των κουφωμάτων από εξωτερικές επιδράσεις και καιρικές συνθήκες, εφαρμόζονται προστατευτικά φύλλα. Τα προστατευτικά φύλλα περιλαμβάνουν μεταλλικές περσίδες και χαμηλή αεροστεγανότητα.

Μεταλλικές Περσίδες: Οι μεταλλικές περσίδες προστατεύουν τους γυαλοπίνακες από κλοπές και ανεπιθύμητη θέα από τρίτους. Επιλέγονται ανθεκτικές και ασφαλείς περσίδες, προσαρμοσμένες στο στυλ της κατοικίας.

Χαμηλή Αεροστεγανότητα: Η χαμηλή αεροστεγανότητα διασφαλίζει ότι τα κουφώματα θα παραμένουν στεγνά και προστατευμένα από την εισροή υγρασίας και υδροκαταστάσεων. Επιλέγονται κατάλληλα υλικά και στεγανωτικά, εξασφαλίζοντας την ορθή λειτουργία των κουφωμάτων.

Συνολικά, η σωστή εγκατάσταση και ρύθμιση των εξωτερικών κουφωμάτων προσφέρει υψηλή απόδοση και προστασία στην μονοκατοικία, διασφαλίζοντας μια άνετη και ασφαλή κατοικία για τους κατοίκους της.



Εικόνα 12: Απεικόνιση όψεων κουφωμάτων μονοκατοικίας μελέτης

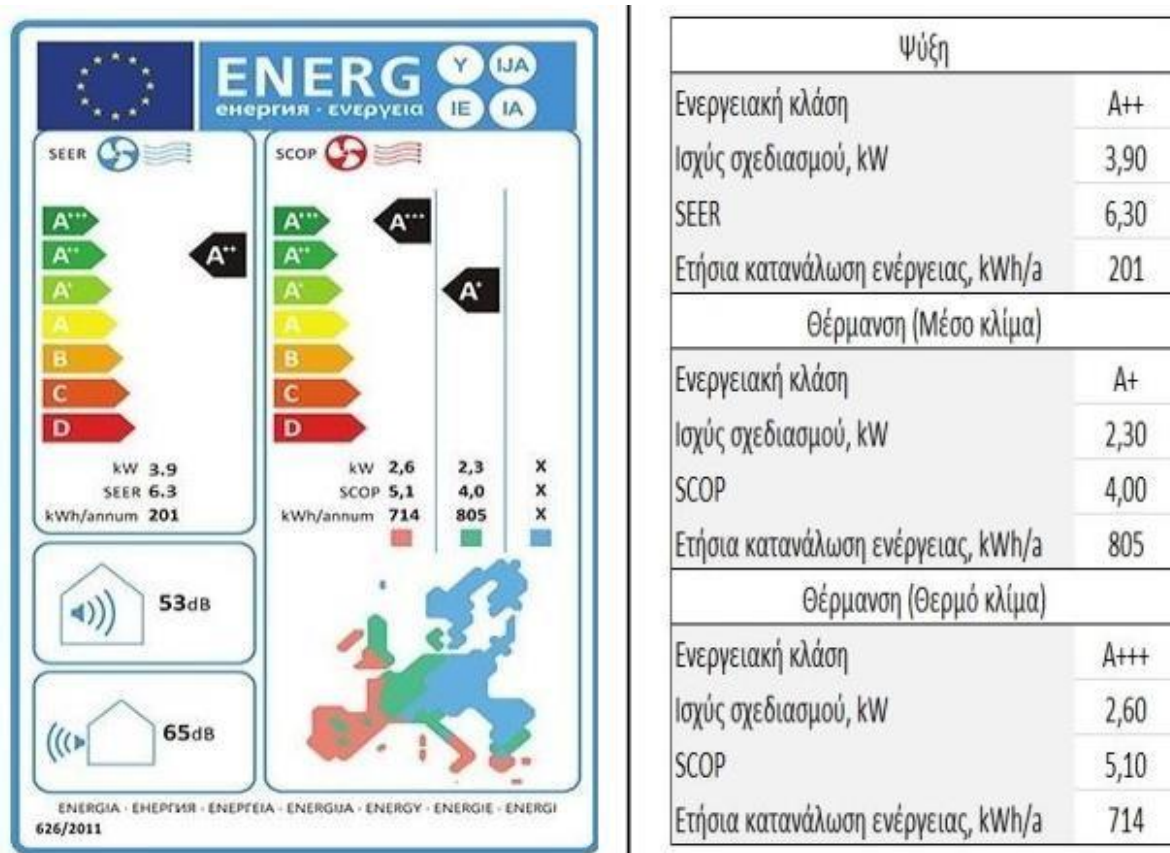
Όσον αφορά τη θέρμανση, στο βασικό σενάριο πριν την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας, το κτίριο διαθέτει κεντρική μονάδα παραγωγής θερμότητας για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης του συνόλου των χώρων του, με λεβητοποιημένη τυποποιημένη βιομάζα (pellet) χωρίς στοιχεία, χωρίς φύλλο συντήρησης και ενεργειακή σήμανση, όμως πραγματική κεραμική ισχύς $P_m = (117) \text{ kW}$. Για τη μεταφορά του κερμού (νερό κερμοκρασίας $T=70/85^\circ\text{C}$), το δίκτυο διανομής του συστήματος περιλαμβάνει σωληνώσεις με μόνωση ίση με του κτιρίου αναφοράς (κάλυμμα μόνωση), με διάλεια σε εσωτερικούς χώρους ή και 20% σε εξωτερικούς χώρους. Η απόδοση θερμότητας στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου γίνεται μέσω τερματικών μονάδων θερμαντικών σωμάτων άμεσης απόδοσης σε εξωτερικό τοίχο (σώματα καλοριφέρ), συνεχούς λειτουργίας και σύστημα εκτός ισορροπίας. Τα βοηθητικά συστήματα που διαθέτει το σύστημα θέρμανσης για την κυκλοφορία και τη διανομή του κερμού, είναι κυκλοφορητές ισχύος σύμφωνα με την φωτογραφία.



Εικόνα 13: Απεικόνιση υφισταμένου συστήματος θέρμανσης πριν την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας

Το κτίριο διαθέτει τοπική αντλία θερμότητας με ψυχόμενο νερό από τον αέρα για τις ανάγκες θέρμανσης του συνόλου των χώρων του, η οποία είναι σύμφωνη με τον κανονισμό Οικολογικού Σχεδιασμού και συνοδεύεται από Ενεργειακή Σήμανση, σύμφωνα με τον κανονισμό Ενεργειακής Επισημάνσης της ΕΕ 626/2011, με ψυκτική ισχύ και εποχιακό βαθμό ενεργειακής απόδοσης SEER/ΗΣ σύμφωνα με την φωτογραφία. Δεν υπάρχει δίκτυο διανομής θέρμανσης, οπότε δεν υπάρχουν απώλειες. Η τερματική μονάδα είναι η τοπική αντλία

θερμότητας, με διακοπτόμενη λειτουργία και υδραυλικά εξισορρόπηση συστήματα. Το σύστημα ψύξης δε διαθέτει βοηθητικά συστήματα.



Εικόνα 14: Energy labels των air-condition που υπάρχουν στο κτήριο μελέτης

Για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης το κτίριο διαθέτει τοπικό κερμαντήρα διπλής ενέργειας με εναλλάκτη θερμότητας (boiler). Η κάλυψη των αναγκών Ζ.Ν.Χ. της χειμερινής περιόδου καλύπτεται από τον υπάρχον λέβητα ενέργειας και για την καλοκαιρινή περίοδο από ηλεκτρικό κερμαντήρα 4 kW. Το δίκτυο διανομής του συστήματος περιλαμβάνει σωληνώσεις με διάλειψη σε εσωτερικούς χώρους και 20% σε εξωτερικούς χώρους. Η τερματική μονάδα απόδοσης θερμότητας για το Ζ.Ν.Χ. είναι τοπική δεξαμενή αποθήκευσης (θερμαντήρας) με εναλλάκτη θερμότητας (σερπαντίνα) σε εξωτερικό χώρο.

2.3. Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων και Εργαλεία Μελέτης

Η διαδικασία συλλογής δεδομένων για αυτή τη μελέτη πραγματοποιήθηκε σχολαστικά για να διασφαλιστεί η ακρίβεια και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν απευθείας από το σπίτι, εστιάζοντας στα φυσικά χαρακτηριστικά, τον προσανατολισμό και την τοποθεσία του. Συγκεντρώθηκαν επίσης πληροφορίες για το έτος κατασκευής, το ύψος και την απόκλιση του σπιτιού από τον Βορρά. Σημειώθηκε η επαφή του σπιτιού με το έδαφος, καθώς έχει σημαντικό αντίκτυπο στη θερμική του απόδοση.

Τα κλιματικά στοιχεία για την πόλη της Ξάνθης, όπου βρίσκεται το σπίτι, προέρχονται από αξιόπιστες μετεωρολογικές πηγές. Αυτά τα δεδομένα είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση των τοπικών καιρικών συνθηκών στις οποίες εκτίθεται το σπίτι, γεγονός που με τη σειρά του επηρεάζει την ενεργειακή του απόδοση.

Το κύριο εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα μελέτη είναι το ενεργειακό κτιριακό λογισμικό TEE KENAK. Αυτό το λογισμικό έχει σχεδιαστεί ειδικά για να αναλύει την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, καθιστώντας το ιδανικό εργαλείο για αυτή τη μελέτη.

Η ανάλυση στο TEE KENAK θα γίνει με βάση ένα βασικό σενάριο και τρία εναλλακτικά σενάρια. Το βασικό σενάριο περιλαμβάνει την τρέχουσα κατάσταση του σπιτιού χωρίς καμία τροποποίηση. Αυτό το σενάριο θα χρησιμεύσει ως σημείο αναφοράς με το οποίο θα συγκριθούν τα εναλλακτικά σενάρια.

Τα τρία εναλλακτικά σενάρια είναι τα εξής:

- Σενάριο 1: Μόνωση δώματος – Αυτό το σενάριο διερευνά την επίδραση της κατάλληλης μόνωσης του δώματος της μονοκατοικίας ώστε να μειώνονται όσο το δυνατόν περισσότερο οι θερμικές απώλειες από την εν λόγω οριζόντια επιφάνεια.
- Σενάριο 2. Προσθήκη ηλιακού θερμοσίφωνα - Αυτό το σενάριο διερευνά την επίδραση της εγκατάστασης ηλιακού θερμοσίφωνα στην ενεργειακή απόδοση του σπιτιού. Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες μπορούν να μειώσουν σημαντικά την ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση του νερού, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική ενεργειακή απόδοση του σπιτιού.
- Σενάριο 3: Προσθήκη ηλιακού θερμοσίφωνα, μόνωση δώματος και προσθήκη φωτοβολταϊκών πάνελ στην ταράτσα. Εκτός από ηλιακό θερμοσίφωνα και τη μόνωση δώματος, αυτό το σενάριο περιλαμβάνει την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών (ΦΒ) πάνελ στην οροφή του σπιτιού. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια, μειώνοντας περαιτέρω την εξάρτηση του σπιτιού από την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου.
- Σενάριο 4: Προσθήκη ηλιακού θερμοσίφωνα, μόνωσης δώματος, φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή και εγκατάσταση αντλίας θερμότητας. Αυτό το σενάριο περιλαμβάνει όλες τις τροποποιήσεις των προηγούμενων σεναρίων και προσθέτει μια αντλία θερμότητας. Οι αντλίες θερμότητας είναι συστήματα θέρμανσης και ψύξης υψηλής απόδοσης που μπορούν να βελτιώσουν περαιτέρω την ενεργειακή απόδοση του σπιτιού.

Κάθε σενάριο θα αναλυθεί στο TEE KENAK για να προσδιοριστεί ο αντίκτυπός του στην ενεργειακή απόδοση του σπιτιού. Τα αποτελέσματα θα παράσχουν πολύτιμες πληροφορίες για τα πιθανά οφέλη αυτών των τροποποιήσεων εξοικονόμησης ενέργειας.

Εκτός από το TEE KENAK, σε αυτή τη μελέτη θα χρησιμοποιηθεί το System Advisory Model (Μοντέλο Συμβούλου Συστήματος - SAM). Το SAM είναι ένα μοντέλο απόδοσης και χρηματοδότησης που έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων για άτομα που εμπλέκονται στη βιομηχανία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρέχει λεπτομερή ανάλυση για ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των ηλιακών φωτοβολταϊκών (ΦΒ) συστημάτων και των αντλιών θερμότητας.

Στο πλαίσιο αυτής της μελέτης, το SAM θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας της εγκατάστασης ηλιακών φωτοβολταϊκών συλλεκτών και αντλίας θερμότητας στο σπίτι. Το μοντέλο θα λάβει υπόψη διάφορους παράγοντες όπως το κόστος του εξοπλισμού, την εγκατάσταση, τη συντήρηση και την αναμενόμενη εξοικονόμηση ενέργειας. Θα λάβει επίσης υπόψη τα τοπικά κλιματικά δεδομένα και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του σπιτιού.

Η ολοκληρωμένη οικονομική ανάλυση του SAM περιλαμβάνει μετρήσεις όπως η περίοδος απόσβεσης, η καθαρή παρούσα αξία (NPV) και ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR). Αυτές οι μετρήσεις παρέχουν μια σαφή εικόνα των οικονομικών οφελών και της πιθανής απόδοσης επένδυσης (ROI) των προτεινόμενων τροποποιήσεων εξοικονόμησης ενέργειας.

Χρησιμοποιώντας το SAM σε συνδυασμό με το TEE KENAK, αυτή η μελέτη όχι μόνο θα αξιολογήσει τις βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση του σπιτιού αλλά και την οικονομική σκοπιμότητα των προτεινόμενων τροποποιήσεων. Αυτή η διπλή προσέγγιση εξασφαλίζει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση που λαμβάνει υπόψη τόσο τις περιβαλλοντικές όσο και τις οικονομικές πτυχές της ενεργειακής απόδοσης.

2.4. Μεθοδολογία επιλογής και διαστασιολόγησης φωτοβολταϊκού συστήματος

Η επιλογή και το μέγεθος ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (ΦΒ) είναι ένα κρίσιμο βήμα στη διαδικασία σχεδιασμού. Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του κατάλληλου τύπου και μεγέθους του φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του σπιτιού. Η διαδικασία καθοδηγείται από διάφορους παράγοντες, όπως ο διαθέσιμος ηλιακός πόρος, η ενεργειακή ζήτηση του σπιτιού, ο διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης και ο προϋπολογισμός.

Βήμα 1: Προσδιορίστε τη ζήτηση ενέργειας

Το πρώτο βήμα για τον καθορισμό του μεγέθους ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ο προσδιορισμός της ενεργειακής ζήτησης του σπιτιού. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί αθροίζοντας την κατανάλωση ενέργειας όλων των ηλεκτρικών συσκευών και συστημάτων στο σπίτι για μια δεδομένη περίοδο (συνήθως ένα χρόνο). Η ζήτηση ενέργειας (ED) μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$ED = \sum_{i=1}^n P_i \times T_i$$

Όπου:

- (P_i) είναι η ονομαστική ισχύς της της συσκευής (σε kW) και
- (T_i) είναι ο χρόνος λειτουργίας της της συσκευής ανά ημέρα (σε ώρες).

Βήμα 2: Υπολογίστε τον πόρο ηλιακής ενέργειας

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογιστεί ο διαθέσιμος πόρος ηλιακής ενέργειας στην τοποθεσία του σπιτιού. Αυτό συνήθως εκφράζεται με όρους ηλιακής ακτινοβολίας, που είναι η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας που λαμβάνεται από τον Ήλιο. Τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να ληφθούν από μετεωρολογικές πηγές ή ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων ηλιακής ενέργειας.

Βήμα 3: Προσδιορίστε το μέγεθος Φ/Β συστήματος

Μόλις καθοριστεί η ζήτηση ενέργειας και ο ηλιακός πόρος, μπορεί να υπολογιστεί το μέγεθος του Φ/Β συστήματος. Το μέγεθος του φωτοβολταϊκού συστήματος (SPV) που απαιτείται για την κάλυψη της ζήτησης ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$SPV = \frac{ED}{SI \times CF}$$

- (SI) είναι η μέση ηλιακή ακτινοβολία (σε kWh/m²/ημέρα), και
- (CF) είναι ο συντελεστής χωρητικότητας του φωτοβολταϊκού συστήματος, ο οποίος ευθύνεται για απώλειες λόγω παραγόντων όπως η θερμοκρασία, η σκόνη και η αναποτελεσματικότητα του συστήματος.

Βήμα 4: Επιλέξτε το Φ/Β σύστημα

Το τελευταίο βήμα είναι να επιλέξετε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα που ταιριάζει με το υπολογισμένο μέγεθος. Αυτό περιλαμβάνει την επιλογή του τύπου των φωτοβολταϊκών πάνελ (π.χ. μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή λεπτής μεμβράνης) και του συστήματος τοποθέτησης (π.χ. σταθερό, παρακολούθησης). Η επιλογή θα πρέπει επίσης να λαμβάνει υπόψη τον διαθέσιμο χώρο εγκατάστασης, τον προϋπολογισμό και τις αισθητικές προτιμήσεις του ιδιοκτήτη του σπιτιού.

Ακολουθώντας αυτή τη μεθοδολογία, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να επιλεγεί και να διαστασιοποιηθεί ώστε να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του σπιτιού μεγιστοποιώντας παράλληλα τη χρήση του διαθέσιμου ηλιακού πόρου.

2.5. Επιλογή και μέγεθος συστήματος αντλίας θερμότητας

Η επιλογή και το μέγεθος ενός συστήματος αντλίας θερμότητας είναι μια κρίσιμη διαδικασία που περιλαμβάνει την κατανόηση των αναγκών θέρμανσης και ψύξης του σπιτιού, τις τοπικές κλιματικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά των διαφορετικών τύπων αντλιών θερμότητας. Ο στόχος είναι να επιλέξετε ένα σύστημα που μπορεί να παρέχει άνετες εσωτερικές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, μεγιστοποιώντας παράλληλα την ενεργειακή απόδοση.

Βήμα 1: Προσδιορίστε το φορτίο θέρμανσης και ψύξης

Το πρώτο βήμα για τον καθορισμό του μεγέθους ενός συστήματος αντλίας θερμότητας είναι ο προσδιορισμός του φορτίου θέρμανσης και ψύξης του σπιτιού. Αυτή είναι η ποσότητα θερμικής ενέργειας που πρέπει να προστεθεί ή να αφαιρεθεί για να διατηρηθούν άνετες εσωτερικές θερμοκρασίες. Το φορτίο θέρμανσης και ψύξης εξαρτάται από παράγοντες όπως το μέγεθος και η μόνωση του σπιτιού, ο αριθμός και ο τύπος των παραθύρων και το τοπικό κλίμα.

Το φορτίο θέρμανσης (HL) και το φορτίο ψύξης (CL) μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας τους ακόλουθους τύπους:

$$HL = UA \times (T_i - T_o)$$
$$CL = UA \times (T_o - T_i) + G \times A_w$$

που:

- (UA) είναι ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του σπιτιού (σε $W/^\circ C$),
- (T_i) είναι η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία (σε $^\circ C$),
- (T_o) είναι η εξωτερική θερμοκρασία (σε $^\circ C$),
- (G) είναι ο συντελεστής απολαβής ηλιακής θερμότητας των παραθύρων, και
- (A_w) είναι η συνολική επιφάνεια παραθύρου (σε m^2).

Βήμα 2: Επιλέξτε τον τύπο της αντλίας θερμότητας

Το επόμενο βήμα είναι να επιλέξετε τον τύπο της αντλίας θερμότητας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αντλιών θερμότητας, συμπεριλαμβανομένων των αντλιών θερμότητας πηγών αέρα, εδάφους και νερού. Η επιλογή εξαρτάται από παράγοντες όπως το τοπικό κλίμα, ο διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης και ο προϋπολογισμός.

Βήμα 3: Προσδιορίστε το μέγεθος της αντλίας θερμότητας

Αφού καθοριστεί το φορτίο θέρμανσης και ψύξης και ο τύπος της αντλίας θερμότητας, μπορεί να υπολογιστεί το μέγεθος της αντλίας θερμότητας. Το μέγεθος της αντλίας θερμότητας (HP) που απαιτείται για την κάλυψη του φορτίου θέρμανσης και ψύξης μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$HP = \frac{\max(HL, CL)}{COP}$$

Όπου:

- (COP) είναι ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας, ο οποίος αποτελεί μέτρο της απόδοσής της.

Βήμα 4: Επιλέξτε το σύστημα αντλίας θερμότητας

Το τελευταίο βήμα είναι να επιλέξετε ένα σύστημα αντλίας θερμότητας που ταιριάζει με το υπολογισμένο μέγεθος. Αυτό περιλαμβάνει την επιλογή της μάρκας και του μοντέλου της αντλίας θερμότητας, καθώς και τυχόν πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως ένας θερμοαντήρας υπερθέρμανσης ή ένας συμπίεστής μεταβλητής ταχύτητας.

Ακολουθώντας αυτή τη μεθοδολογία, ένα σύστημα αντλίας θερμότητας μπορεί να επιλεγεί και να διαστασιολογηθεί ώστε να καλύπτει τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του σπιτιού μεγιστοποιώντας παράλληλα την ενεργειακή απόδοση.

2.6. Θέματα εγκατάστασης και ρύθμισης

Η επιτυχής ενσωμάτωση ηλιακών φωτοβολταϊκών πάνελ και αντλιών θερμότητας σε κτίρια κατοικιών βασίζεται σε αποτελεσματικές διαδικασίες εγκατάστασης. Αυτή η ενότητα διερευνά τα βασικά ζητήματα εγκατάστασης που προσδιορίζονται στη σχετική βιβλιογραφία και εξετάζει πιθανές λύσεις.

Τοποθέτηση και προσανατολισμός

Η σωστή τοποθέτηση και ο προσανατολισμός των ηλιακών φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ζωτικής σημασίας για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας. Οι Zhang et al. (2018) τόνισε τη σημασία της επιλογής κατάλληλων κατασκευών και γωνιών τοποθέτησης με βάση τη θέση του κτιρίου και την ηλιακή έκθεση. Ο λανθασμένος προσανατολισμός μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη δέσμευση ενέργειας και να έχει επιπτώσεις στη συνολική απόδοση του συστήματος.

Χώρος οροφής και διάταξη

Η διαθεσιμότητα επαρκούς χώρου οροφής και η διάταξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι βασικά ζητήματα κατά την εγκατάσταση. Οι Balaras et al. (2020) τόνισε την ανάγκη αξιολόγησης της χωρητικότητας φόρτωσης οροφής και διασφάλισης της σωστής απόστασης μεταξύ των πάνελ για την αποφυγή της σκίασης και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης.

Μέγεθος και θέση μετατροπέα

Το μέγεθος και η τοποθέτηση των μετατροπέων παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση του Φ/Β συστήματος. Οι Lu et al. (2019) συνέστησε την επιλογή μετατροπέων με κατάλληλη χωρητικότητα και την τοποθέτησή τους σε καλά αεριζόμενους χώρους για την αποφυγή υπερθέρμανσης και απωλειών.

Ηλεκτρική καλωδίωση και ασφάλεια

Η σωστή ηλεκτρική καλωδίωση και τα μέτρα ασφαλείας είναι ζωτικής σημασίας κατά την εγκατάσταση. Οι Patel et al. (2018) τόνισε τη σημασία της συμμόρφωσης με τους ηλεκτρικούς κώδικες και κανονισμούς για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αξιόπιστης λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Φόρτιση ψυκτικού μέσου και σωληνώσεις

Για τις αντλίες θερμότητας, η σωστή πλήρωση ψυκτικού μέσου και οι σωληνώσεις είναι κρίσιμες για βέλτιστη απόδοση. Οι Alshaiikh et al. (2019) τόνισε τη σημασία της ακριβούς φόρτισης του ψυκτικού μέσου και της εξασφάλισης κατάλληλων συνδέσεων σωληνώσεων για την αποφυγή διαρροών και αναποτελεσματικότητας.

Ενοποίηση Συστήματος Ελέγχου

Η ενσωμάτωση των συστημάτων ελέγχου τόσο των φωτοβολταϊκών πάνελ όσο και των αντλιών θερμότητας είναι απαραίτητη για τη συντονισμένη λειτουργία και την ενεργειακή βελτιστοποίηση. Οι Su et al. (2020) πρότεινε έξυπνους αλγόριθμους ελέγχου για τη συνεργική διαχείριση των συστημάτων φωτοβολταϊκών και αντλιών θερμότητας, μεγιστοποιώντας τη χρήση ενέργειας.

Έξυπνο δίκτυο ενσωμάτωσης

Η ενοποίηση έξυπνων δικτύων γίνεται όλο και πιο σημαντική για τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι Davoudpour et al. (2021) πρότεινε την ενσωμάτωση χαρακτηριστικών έξυπνου δικτύου σε συστήματα αντλιών θερμότητας - φωτοβολταϊκών για τη διευκόλυνση των στρατηγικών απόκρισης ζήτησης και της αλληλεπίδρασης με το δίκτυο.

Συντήρηση και Παρακολούθηση

Η τακτική συντήρηση και παρακολούθηση είναι απαραίτητες για τη μακροπρόθεσμη απόδοση του συστήματος. Οι Deng et al. (2020) τόνισε την ανάγκη για περιοδικές επιθεωρήσεις, καθαρισμό και παρακολούθηση της απόδοσης για τον εντοπισμό και την έγκαιρη αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων.

Η αποτελεσματική εγκατάσταση ηλιακών Φ/Β πάνελ και αντλιών θερμότητας είναι ζωτικής σημασίας για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος και τη διασφάλιση μακροπρόθεσμης αξιοπιστίας. Η προσοχή στην τοποθέτηση, τον προσανατολισμό, τη διάταξη, τους μετατροπείς, την ηλεκτρική καλωδίωση, τη φόρτιση ψυκτικού, τα συστήματα ελέγχου, την ενσωμάτωση έξυπνου δικτύου και τη συντήρηση θα συμβάλουν στην επιτυχή ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κτίρια κατοικιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

3.1. Θερμικές Ζώνες Μονοκατοικίας Μελέτης

Η συγκεκριμένη εργασία αφορά στην έκδοση ΠΕΑ ενός κτιρίου που έχει κύρια χρήση: **Μονοκατοικία, Πολυκατοικία** και για την μελέτη του έγινε ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες. Η κατοικία χωρίστηκε σε **δύο** θερμικές ζώνες, στη Θερμική Ζώνη 1 με συνολική επιφάνεια $4 \cdot 7.5 = 30 \text{ m}^2$ και στη Θερμική Ζώνη 2 με συνολική επιφάνεια $5 \cdot 7.5 = 37.5 \text{ m}^2$. Το κτίριο αποτελείται από: **Φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα και στοιχεία πλήρωσης από διάτρητους οπτόπλινθους** οπότε η αναγόμενη θερμοχωρητικότητα του είναι: **280 kJ/m²K**.

Ακολουθεί η αναλυτική επεξήγηση και οι υπολογισμοί των πεδίων που συμπληρώνονται στο μενού των θερμικών ζωνών του TEE KENAK. Συγκεκριμένα έχουμε ότι:

Μέση Κατανάλωση ZNX (m³/έτος) = 27.38 (έχουμε ένα υποδομάτιο ανά θερμική ζώνη συνεπώς λαμβάνουμε τη συγκεκριμένη τιμή από τον Πίνακα 2.5. του TEE/KENAK).

Υπολογίζουμε κατόπιν σε κάθε θερμική ζώνη τη διείσδυση αέρα από τα κουφώματα.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.24 της TEE/KENAK για ξύλινο κούφωμα εξώθυρας χωρίς πιστοποίηση (εφόσον αναφερόμαστε σε παλαιά κατασκευή) και μονό υαλοπίνακα λαμβάνουμε τιμή διείσδυσης αέρα $11.8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. Για μεταλλικά παράθυρα με μονό υαλοπίνακα λαμβάνουμε τιμή διείσδυσης αέρα $8.7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. Κατόπιν για να βρούμε τη συνολική διείσδυση αέρα εξετάζουμε το εμβαδόν κουφωμάτων σε κάθε θερμική ζώνη. Συγκεκριμένα:

$$\text{Εμβαδόν Κουφωμάτων Θερμικής Ζώνης 1} = 1.1 \cdot (1.4 - 0.3) + 1.4 \cdot (1.4 - 0.0) = 3.17 \text{ m}^2$$

$$\text{Διείσδυση Αέρα Θερμικής Ζώνης 1} = 3.17 \cdot 8.7 = \frac{27.58 \text{ m}^3}{h} / \text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν Κουφωμάτων Θερμικής Ζώνης 2} = 1.3 \cdot (1.4 - 0.3) = 1.43 \text{ m}^2 \text{ παράθυρα, } 1.0 \cdot 2.2 = 2.2 \text{ m}^2 \text{ εξώθυρα}$$

$$\text{Διείσδυση Αέρα Θερμικής Ζώνης 2} = 1.43 \cdot 8.7 + 2.2 \cdot 11.8 = \frac{38.401 \text{ m}^3}{h} / \text{m}^2$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.5. της κατηγορίας διατάξεων ελέγχου και αυτοματισμών του κτηρίου, εφόσον για το κτήριο που μελετάται ισχύουν τα ακόλουθα:

1. Ο έλεγχος της λειτουργίας των τερματικών μονάδων και του δικτύου διανομής είναι χειροκίνητος χωρίς θερμοστάτες χώρου.
2. Ο έλεγχος των κυκλοφορητών του δικτύου διανομής είναι χειροκίνητος ή χωρίς χρονοπρόγραμμα, χωρίς καμία ανάδραση από τη ζήτηση θερμικού/ψυκτικού φορτίου.

3. Η μονάδα παραγωγής θέρμανσης / ψύξης λειτουργεί με σταθερή θερμοκρασία παροχής μέσου προς το δίκτυο διανομής.

4. Σε περίπτωση αλληλουχίας μεταξύ διαφορετικών μονάδων παραγωγής θέρμανσης / ψύξης δεν ελέγχεται η προτεραιότητα.

Επιλέγεται και για τις δύο θερμικές ζώνες η Θέρμανση και Ψύξη Κατηγορία Δ Ελέγχου και Αυτοματισμών.

Στους πίνακες 1,2 παρουσιάζονται τα γενικά στοιχεία των ζωνών της κατοικίας όπως έχουν εισαχθεί στο λογισμικό TEE - KENAK.

Πίνακας 1. Γενικά στοιχεία Ζώνης 1

The screenshot shows the configuration for Zone 1. The 'Χρήση' (Use) field is set to 'Μονοκατοικία, πολυκατοικία'. The 'Συνολική επιφάνεια (m²)' is 30, 'Μέση κατανάλωση ZNX (m³/έτος)' is 27.38, and 'Ανηγγεμένη θερμοχωρητικότητα (kJ/m³K)' is 280. The 'Κατηγορία διατάξεων ελέγχου - αυτοματισμών' is set to 'Θέρμανση' and 'Ψύξη' both to 'Τύπος Δ'. The 'Διείσδυση αέρα' section shows 'Διείσδυση αέρα από κουφώματα (m³/h)' as 27.58, and 'Αρ. καμινάδων', 'Αρ. θυρίδων εξαερισμού', and 'Αρ. εξώθυρων' all set to 0. The 'Υβριδικό σύστημα δροσισμού' section has 'Αριθμός ανεμιστήρων οροφής' set to 0.

Πίνακας 2. Γενικά στοιχεία Ζώνης 2

The screenshot shows the configuration for Zone 2. The 'Χρήση' (Use) field is set to 'Μονοκατοικία, πολυκατοικία'. The 'Συνολική επιφάνεια (m²)' is 37.5, 'Μέση κατανάλωση ZNX (m³/έτος)' is 27.38, and 'Ανηγγεμένη θερμοχωρητικότητα (kJ/m³K)' is 280. The 'Κατηγορία διατάξεων ελέγχου - αυτοματισμών' is set to 'Θέρμανση' and 'Ψύξη' both to 'Τύπος Δ'. The 'Διείσδυση αέρα' section shows 'Διείσδυση αέρα από κουφώματα (m³/h)' as 38.401, and 'Αρ. καμινάδων', 'Αρ. θυρίδων εξαερισμού' set to 0, and 'Αρ. εξώθυρων' set to 1. The 'Υβριδικό σύστημα δροσισμού' section has 'Αριθμός ανεμιστήρων οροφής' set to 0.

3.2. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά κτηριακού κελύφους

3.2.1. Δομικά στοιχεία αδιαφανών επιφανειών σε εξωτερικό αέρα

Τα κύρια δομικά στοιχεία της τοιχοποιίας του κτιρίου είναι από μπατική οπτοπλινθοδομή και από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η τοιχοποιία του κτιρίου (δεν) φέρει θερμομόνωση 3 cm. Τα κύρια δομικά στοιχεία της οροφής του κτιρίου είναι από Οπλισμένο σκυρόδεμα. Η οροφή του κτιρίου δεν φέρει

θερμομόνωση. Τα κύρια δομικά στοιχεία του δαπέδου του κτιρίου είναι από Οπλισμένο σκυρόδεμα. Το δάπεδο του κτιρίου δεν φέρει θερμομόνωση.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U των δομικών στοιχείων της τοιχοποιίας υπολογίστηκε αναλυτικά με βάση τα χαρακτηριστικά των στρώσεων τους. Συγκεκριμένα έχουμε ότι:

Για την μπατική οπτοπλινθοδομή

$$\frac{1}{U} = R_i + \sum_{j=1}^n R_j + R_a$$

Ή αλλιώς:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_\delta + R_a}$$

Όπου R_i είναι η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο. Εν προκειμένω, Η θερμική αντίσταση του στρώματος του επιφανειακού αέρα, γνωστή ως R_i , εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία του αέρα και τα χαρακτηριστικά της ίδιας της επιφάνειας. Οι τυπικές τιμές για το R_i μπορεί να ποικίλλουν ευρέως, αλλά ένα γενικό εύρος είναι μεταξύ 0,1 και 0,2 $m^2 K/W$ για συνθήκες ηρεμίας. Ωστόσο, υπό συνθήκες ανέμου, η τιμή του R_i μπορεί να πέσει σημαντικά, ακόμη και σε τιμές τόσο χαμηλές όσο 0,01 $m^2 K/W$ ή λιγότερο. Αξίζει να σημειωθεί ότι πρόκειται για γενικές τιμές και η πραγματική τιμή του R_i μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τις συγκεκριμένες συνθήκες και τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας θα τεθεί τιμή $R_i=0.015 m^2 K/W$.

Επιπλέον $R_\delta [m^2 \cdot K/W]$ είναι η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος. Επειδή στην προκειμένη περίπτωση του κτηρίου δεν έχουμε υφιστάμενο διάκενο θα ληφθεί $R_\delta=0$.

Τέλος $R_a [m^2 \cdot K/W]$ είναι η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον. Η αντίσταση θερμικής μετάπτωσης του στρώματος του επιφανειακού αέρα, R_a , επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία του αέρα και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας, συμπεριλαμβανομένης της τραχύτητας και της εκπομπής. Οι τυπικές τιμές του R_a μπορεί να ποικίλλουν ευρέως, αλλά ένα γενικό εύρος για

εξωτερικές συνθήκες είναι μεταξύ 0,04 και 0,12 m² K/W για συνθήκες ακίνητου αέρα. Υπό συνθήκες ανέμου, η τιμή του Ra μπορεί να πέσει σημαντικά, ακόμη και σε τιμές τόσο χαμηλές όσο 0,01 m² K/W ή λιγότερο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτές οι τιμές είναι γενικές και μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τις συγκεκριμένες συνθήκες και τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας θα λάβουμε υπόψιν τιμή Ra=(0.08m² K)/W.

Συνεπώς ο συντελεστής θερμοπερατότητας μπατικής οπτοπλινθοδομής προκύπτει με βάση τις τιμές κάθε στρώσης που δίνονται από την εκφώνηση ίσως με:

$$U_{\text{μπατικής}} = \frac{1}{\frac{0.025}{0.015} + \frac{0.03}{(0.087 + 0.035 + 0.510 + 0.087)} + \frac{0.025}{0} + 0.08} = \frac{0.521 \text{ m}^2 \text{ K}}{\text{W}}$$

Για το οπλισμένο σκυρόδεμα

Χρησιμοποιώντας τις ίδιες παραδοχές όπως και στην μπατική οπτοπλινθοδομή και χρησιμοποιώντας τις τιμές που δίνει η εκφώνηση για κάθε στρώση, προκύπτει ότι:

$$U_{\text{μπατικής}} = \frac{1}{\frac{0.025}{0.015} + \frac{0.03}{(0.087 + 0.035 + 2.500 + 0.087)} + \frac{0.025}{0} + 0.08} = \frac{0.622 \text{ m}^2 \text{ K}}{\text{W}}$$

Για το σύνολο των εξωτερικών καθέτων επιφανειών

Τα σύνθετα δομικά στοιχεία (εν προκειμένω οπλισμένο σκυρόδεμα και μπατική τοιχοποιία) μπορούν να υπεισέλθουν στους υπολογισμούς και να ελεγχθούν ως προς την ικανοποίηση των απαιτήσεων του κανονισμού με δύο τρόπους:

- είτε λαμβάνοντας ξεχωριστά υπόψη το συντελεστή θερμοπερατότητας για κάθε επί μέρους διατομή του σύνθετου δομικού στοιχείου κατά το εμβαδό που αναλογεί σε μια εκάστη εξ αυτών
- είτε με έναν ενιαίο συντελεστή θερμοπερατότητας, που προκύπτει από τους συντελεστές των επί μέρους διατομών κατά την αναλογία εμβαδού, που αυτοί καταλαμβάνουν στο συνολικό εμβαδό του δομικού στοιχείου σύμφωνα με τον τύπο:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Εν προκειμένω θα χρησιμοποιηθεί η δεύτερη προσέγγιση. Εφόσον δεν δίνονται οι διατομές των δομικών μελών (υποστυλώματα, δοκοί) του κτηρίου που μελετάται θα γίνουν κάποιες εύλογες παραδοχές. Εν προκειμένω θα εκτιμηθεί ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν τεθεί στις ακμές του κτηρίου, έχουν τετραγωνική διατομή 50cm x 50cm και όλες οι δοκοί έχουν διατομή 25cm x 60cm, ενώ τέλος το δάπεδο και η οροφή λαμβάνονται με πάχη 15cm (συνήθεις διαστάσεις

μελών για μονώροφη οικοδομή εκείνης της εποχής).

Υπολογίζουμε σε κάθε όψη το εμβαδόν της επιφάνειας τοιχοπλήρωσης και της επιφάνειας του οπλισμένου σκυροδέματος. Οι υπολογισμοί αναλυτικά φαίνονται ακολούθως.

Βόρεια Όψη

$$\text{Σύνολο Εμβαδού Όψης} = 3\text{m} * 12.5\text{m} = 37.5\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν κουφωμάτων} = 1.1\text{m} * 1.1\text{m} = 1.21\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν όψης πλάκας σκυροδέματος οροφής} = 12.5\text{m} * 0.15\text{m} = 1.875\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν όψης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος υποστυλωμάτων (2 γωνιακά υποστυλώματα)} = 2 * 0.5\text{m} * (3\text{m} - 0.15\text{m}) = 2.85\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν όψης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος δοκών (κρέμαση δοκού} = 0.60 - 0.15 = 0.45\text{m} \text{ σε όλο το μήκος της όψης)} = 0.45\text{m} * 12.5\text{m} = 5.625\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν Μπετόν Βόρειας Όψης} = 5.625 + 2.85 = 8.475\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν Μπατικής Οπτοπλινθοδομής Βόρειας Όψης} = 37.5 - 1.21 - 1.875 - 8.475 = 25.94\text{m}^2$$

Ανατολική Όψη

$$\text{Σύνολο Εμβαδού Όψης} = 3\text{m} * 7.5\text{m} = 22.5\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν κουφωμάτων} = 1.3\text{m} * 1.1\text{m} = 1.43\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν όψης πλάκας σκυροδέματος οροφής} = 7.5\text{m} * 0.15\text{m} = 1.125\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν όψης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος υποστυλωμάτων (2 γωνιακά υποστυλώματα)} = 2 * 0.5\text{m} * (3\text{m} - 0.15\text{m}) = 2.85\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν όψης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος δοκών (κρέμαση δοκού} = 0.60 - 0.15 = 0.45\text{m} \text{ σε όλο το μήκος της όψης)} = 0.45\text{m} * 7.5\text{m} = 3.375\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν Μπετόν Ανατολικής Όψης} = 3.375 + 2.85 = 6.225\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν Μπατικής Οπτοπλινθοδομής Ανατολικής Όψης} = 22.5 - 1.43 - 1.125 - 6.225 = 13.72 \text{ m}^2$$

Νότια Όψη

$$\text{Σύνολο Εμβαδού Όψης} = 3\text{m} * 12.5\text{m} = 37.5\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν κουφωμάτων} = 1.4\text{m} * 1.4\text{m} = 1.96\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν όψης πλάκας σκυροδέματος οροφής} = 12.5\text{m} * 0.15\text{m} = 1.875\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν όψης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος υποστυλωμάτων (3 γωνιακά υποστυλώματα)} = 3 * 0.5\text{m} * (3\text{m} - 0.15\text{m}) = 4.275\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν όψης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος δοκών (κρέμαση δοκού} = 0.60 - 0.15 = 0.45\text{m} \text{ σε όλο το μήκος της όψης)} = 0.45\text{m} * 12.5\text{m} = 5.625\text{m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν Μπετόν Νότιας Όψης} = 5.625 + 4.275 = 9.9 \text{ m}^2$$

$$\text{Εμβαδόν Μπατικής Οπτοπλινθοδομής Νότιας Όψης} = 37.5 - 1.96 - 1.875 - 9.9 = 23.765\text{m}^2$$

Δυτική Όψη

$$\text{Σύνολο Εμβαδού Όψης} = 3\text{m} * 7.5\text{m} = 22.5\text{m}^2$$

Εμβαδόν κουφωμάτων = 2.2m * 1.0m = 2.20m²

Εμβαδόν όψης πλάκας σκυροδέματος οροφής = 7.5m * 0.15m = 1.125m²

Εμβαδόν όψης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος υποστυλωμάτων (3 γωνιακά υποστυλώματα) = 3* 0.5m * (3m-0.15m)= 4.275m²

Εμβαδόν όψης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος δοκών (κρέμαση δοκού = 0.60-0.15=0.45m σε όλο το μήκος της όψης) = 0.45m*7.5m=3.375m²

Εμβαδόν Μπετόν Ανατολικής Όψης = 3.375+4.275=7.65m²

Εμβαδόν Μπατικής Οπτοπλινθοδομής Ανατολικής Όψης = 22.5-2.20-1.125-7.65=11.525 m²

Άρα το συνολικό εμβαδόν όψεων υλικών είναι:

SUM εμβαδόν μπατικής οπτοπλινθοδομής = 25.94m²+13.72 m²+23.765m²+11.525 m²=74.95m²

SUM εμβαδόν οπλισμένου σκυροδέματος = 8.475m²+6.225m² +9.9 m² +7.65m²=32.25m²

SUM εμβαδού όψεων = 74.95+32.25=107.2m²

Εν τέλει, αντικαθιστώντας στον τύπο του σύνθετου υλικού, προκύπτει ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας που θα εισαχθεί για τις κατακόρυφες επιφάνειες στο λογισμικό του TEE KENAK και είναι ίσος με:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{0.521 * 74.95 + 0.622 * 32.25}{107.2} = 0.551$$

Απλοποιητικά θα τεθεί η συγκεκριμένη τιμή U για όλες τις κατακόρυφες σύνθετες επιφάνειες (μπετόν και μπατική οπτοπλινθοδομή) με το σκεπτικό ότι σε κάθε όψη το εμβαδόν αναλογίας μπετού και μπατικής οπτοπλινθοδομής είναι περίπου ίσο, άρα θα προκύπτει παρόμοια τιμή U σε όλες τις περιπτώσεις.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U της οροφής, του δαπέδου και της εξωτερικής πόρτας λήφθηκε από τους πίνακες 3.5β και 3.13α της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 (ελλείψη συγκεκριμένων στοιχείων της εκφώνησης). Σημειώνεται ότι το εμβαδόν οροφής και δαπέδου είναι ίσο με 67.5m² ενώ το εμβαδόν της κατακόρυφης ξύλινης πόρτας ελήφθη ίσο με 2.2 m². Συγκεκριμένα επιλέχθηκε ότι:

Εφόσον η κατασκευή έγινε πριν το 1980 θεωρείται ότι έχει γίνει μερική πρόνοια θερμομονωτικής προστασίας και χρησιμοποιούνται οι τιμές του πίνακα 3.5β για την οροφή από τις στήλες «Με ανεπαρκή θερμομονωτική προστασία κατά Κ.Θ.Κ.». Λαμβάνουμε την τιμή που δίδεται για «Οριζόντια οροφή κάτω από μη θερμομονωμένη στέγη» άρα U=(3.70m² K)/W .

Αντιστοίχως, με το ίδιο σκεπτικό, για την πλάκα επί εδάφους και την στήλη «Με ανεπαρκή θερμομονωτική προστασία κατά Κ.Θ.Κ.» λαμβάνουμε τιμή U=(3.10m² K)/W.

Για εξωτερικές πόρτες χωρίς υαλοπίνακες από ξύλο σε επαφή με εξωτερικό αέρα λαμβάνουμε την τιμή από τον πίνακα 3.13α $U=(3.50m^2 K)/W$.

Τα δομικά υλικά των αδιαφανών επιφανειών είναι συνήθη οπότε ο συντελεστής εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας (ϵ) είναι 0,80. Η τοιχοποιία είναι ανοιχτόχρωμη οπότε ο συντελεστής ηλιακής απορροφητικότητας (α) είναι 0,40, η εξωτερική πόρτα είναι σκουρόχρωμη οπότε ο συντελεστής ηλιακής απορροφητικότητας (α) είναι 0,40 και η οροφή έχει εξωτερικά κόκκινο κεραμίδι οπότε ο συντελεστής ηλιακής απορροφητικότητας (α) είναι 0,60.

Στους πίνακες 3 και 4 παρατίθενται αναλυτικές περιγραφές κατασκευής για όλα τα αδιαφανή δομικά στοιχεία της κατοικίας (τοιχοποιία, οροφή, εξωτερική πόρτα).

Πίνακας 3. Αδιαφανή στοιχεία Α θερμικής ζώνης κτηρίου

Αδιαφανείς επιφάνειες		Σε επαφή με το έδαφος		Διαφανείς επιφάνειες		Εισάγονται τα δεδομένα για τις αδιαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα			
	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m ²)	U^* (W/m ² K)	a^* (-)	ϵ^* (-)	
1	Τοίχος	Βόρεια Όψη	30	90	20.165	0.551	0.40	0.80	
2	Τοίχος	Νότια Όψη	210	90	19.415	0.551	0.40	0.80	
▶ 3	Τοίχος	Δυτική Όψη	300	90	11.55	0.551	0.40	0.80	
4	Οροφή	Οροφή Ζώνης 1	30	0	30	3.7	0.65	0.80	
* 5									

Σημειώνεται ότι στους προσανατολισμούς τέθηκε η απόκλιση από το Βορρά που δίνεται από την εκφώνηση. Δηλαδή για τον τοίχο της Βόρειας Όψης ο προσανατολισμός σύμφωνα με τη σύμβαση του ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ είναι 0ο+απόκλιση = 0+30=30ο. Κατά αντίστοιχο τρόπο στη Νότια Όψη είναι 180+30=210ο και στη Δυτική είναι 270+30=300ο.

Τα εμβαδά επιφανειών κάθε όψης υπολογίστηκαν με βάση τη γεωμετρία που δίδεται για την κάθε ζώνη του κτηρίου. Εν προκειμένω σε κάθε τμήμα όψης απλά αφαιρούνται τα κουφώματα αυτής και το εμβαδόν της πλάκας σκυροδέματος οροφής (που αναφέρθηκε προηγουμένως ότι είναι ίσο με 0.15m πάχους). Επί παραδείγματι για τη Θερμική Ζώνη 1 του κτηρίου και τη βόρεια όψη το εμβαδόν που τέθηκε υπολογίστηκε ως εξής:

$$E = \text{μήκος όψης} \times \text{ύψος κτηρίου} - \text{εμβαδόν κουφώματος} - \text{εμβαδόν πλάκας } 0.15m \text{ πάχους} = 7,5 \times 3 - 0,15 \times 7,5 - 1,1 \times 1,1 = 20.165m^2.$$

Πίνακας 4: Αδιαφανή στοιχεία Β θερμικής ζώνης κτηρίου

	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m ²)	U* (W/m ² K)	a* (-)	e* (-)
1	Τοίχος	Βόρειος Τοίχος	30	90	14.25	0.551	0.40	0.80
2	Τοίχος	Ανατολικός Τοίχος	120	90	19.945	0.551	0.40	0.80
3	Τοίχος	Νότιος Τοίχος	210	90	14.25	0.551	0.40	0.80
4	Τοίχος	Δυτικός Τοίχος	300	90	7.775	0.551	0.40	0.80
5	Πόρτα	Δυτικός Τοίχος	300	90	2.2	3.50	0.2	0.20
▶ 6	Οροφή	Οροφή Β Θερμικής Ζώνης	30	0	37.5	3.70	0.80	0.80
*								

3.2.2. Δομικά στοιχεία αδιαφανών επιφανειών σε επαφή με το έδαφος

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U του δομικού στοιχείου λήφθηκε από τους πίνακες της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1/2017. Το κτίριο βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους οπότε το κατώτερο βάθος έδρασης είναι 0. Η περίμετρος της κάθε θερμικής ζώνης υπολογίστηκε λαμβάνοντας την εκτεθειμένη περίμετρο της πλάκας και ισούται με το άθροισμα των μηκών των πλευρών της που δεν έρχονται σε επαφή με τα όμορα κτίσματα ή με τον ελεύθερο εξωτερικό αέρα.

Συγκεκριμένα ο υπολογισμός της περιμέτρου για κάθε θερμική ζώνη δίνεται ως ακολούθως:

Περίμετρος για Θερμική Ζώνη A = 7.5+4+ 7.5=19m

Περίμετρος για Θερμική Ζώνη B = 5+7.5+5+3.5=21m

Στον πίνακα 6 παρατίθεται αναλυτική περιγραφή κατασκευής για το δάπεδο της κατοικίας στην Θερμική Ζώνη A και B.

Πίνακας 5: Εισαγωγή στοιχείων δαπέδου A και B θερμικής ζώνης κτηρίου

	Τύπος	Περιγραφή	Εμβαδόν (m ²)	U* (W/m ² K)	Κ. Βάθος (m)	Α. Βάθος (m)	Περίμετρος (m)
1	Δάπεδο -	Δάπεδο Ζώνης A	30	3.1	0		19
▶*							

Εισάγονται τα δεδομένα για τις αδιαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το έδαφος

	Τύπος	Περιγραφή	Εμβαδόν (m ²)	U* (W/m ² K)	Κ. Βάθος (m)	Α. Βάθος (m)	Περίμετρος (m)
1	Δάπεδο -	Δάπεδο Ζώνης B	37.5	3.1	0		21
▶*							

3.2.3. Δομικά στοιχεία διαφανών επιφανειών

Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας

Τα κουφώματα του κτιρίου, είναι ανοιγόμενα, έχουν μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή, με μονό υαλοπίνακα, εξωτερικά προστατευτικά φύλλα περσίδες. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U_w των αδιαφανών δομικών στοιχείων όπως και ο συντελεστής διαπερατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία υπολογίστηκε αναλυτικά με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα.

Παρατίθεται αναλυτική περιγραφή του συντελεστή θερμοπερατότητας των κουφωμάτων. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός κουφώματος με μονό, διπλό ή τριπλό υαλοπίνακα επί ενιαίου πλαισίου (μονού κουφώματος) προκύπτει από τον τύπο:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + P_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g}$$

Όπου:

U_w [W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος,
U_f [W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου του κουφώματος,
U_g [W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος (μονού, διπλού ή περισσότερων φύλλων),
A_f [m ²]	το εμβαδό επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος,
A_g [m ²]	το εμβαδό επιφάνειας του υαλοπίνακα του κουφώματος,
l_g [m]	το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος (το μήκος συναρμογής πλαισίου - υαλοπίνακα, δηλαδή η περίμετρος του υαλοπίνακα),
Ψ_g [W/(m·K)]	ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος.

Παρατίθενται οι υπολογισμοί για κάθε κούφωμα:

Παράθυρο Βορράς Θερμική Ζώνη 1

- Πίνακας 3.9 Μεταλλικό Πλαίσιο Χωρίς Θερμοδιακοπή $U_f=7\text{W/m}^2\text{K}$
- Πίνακας 3.8 Μονός Υαλοπίνακας $U_g=5.70\text{W/m}^2\text{K}$
- Εμβαδόν επιφάνειας πλαισίου κουφώματος $A_f=1.1 \cdot 0.05 \cdot 2 + (1.1-0.1) \cdot 0.05 \cdot 2 = 0.21\text{m}^2$
- Εμβαδόν επιφάνειας υαλοπίνακα $A_g= 1.1 \cdot 1.1 - 0.21 = 1\text{ m}^2$
- Μήκος Θερμογέφυρας Υαλοπίνακα = Περίμετρος Υαλοπίνακα = $(1.1-0.1) \cdot 4 = 4\text{m}$
- Πίνακας 3.10 Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής $\Psi_g=0.02\text{ W/m}^2\text{K}$

Άρα προκύπτει:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + P_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g} = \frac{0.21 \cdot 7 + 1 \cdot 5.70 + 4 \cdot 0.02}{0.21 + 1} = 5.99\text{W/m}^2\text{K}$$

Παράθυρο Ανατολή Θερμική Ζώνη 2

- Πίνακας 3.9 Μεταλλικό Πλαίσιο Χωρίς Θερμοδιακοπή $U_f=7\text{W/m}^2\text{K}$
- Πίνακας 3.8 Μονός Υαλοπίνακας $U_g=5.70\text{W/m}^2\text{K}$
- Εμβαδόν επιφάνειας πλαισίου κουφώματος $A_f=1.3 \cdot 0.05 \cdot 2 + (1.3-0.1) \cdot 0.05 \cdot 2 = 0.25\text{m}^2$
- Εμβαδόν επιφάνειας υαλοπίνακα $A_g= 1.3 \cdot 1.1 - 0.25 = 1.18\text{ m}^2$
- Μήκος Θερμογέφυρας Υαλοπίνακα = Περίμετρος Υαλοπίνακα = $(1.3-0.1) \cdot 2 + (1.1-0.1) \cdot 2 = 4.4\text{m}$

- Πίνακας 3.10 Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής $\Psi_g=0.02 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + P_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g} = \frac{0.25 \cdot 7 + 1.18 \cdot 5.70 + 4.4 \cdot 0.02}{0.25 + 1.18} = 5.99 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Παράθυρο Νότος Θερμική Ζώνη 1

- Πίνακας 3.9 Μεταλλικό Πλαίσιο Χωρίς Θερμοδιακοπή $U_f=7\text{W/m}^2\text{K}$
- Πίνακας 3.8 Μονός Υαλοπίνακας $U_g=5.70\text{W/m}^2\text{K}$
- Εμβαδόν επιφάνειας πλαισίου κουφώματος $A_f=1.4 \cdot 0.05 \cdot 2 + (1.4-0.1) \cdot 0.05 \cdot 2 = 0.27 \text{ m}^2$
- Εμβαδόν επιφάνειας υαλοπίνακα $A_g = 1.4 \cdot 1.4 - 0.27 = 1.69 \text{ m}^2$
- Μήκος Θερμογέφυρας Υαλοπίνακα = Περίμετρος Υαλοπίνακα = $(1.4-0.1) \cdot 4 = 5.2 \text{ m}$
- Πίνακας 3.10 Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής $\Psi_g=0.02 \text{ W/m}^2\text{K}$

Άρα προκύπτει:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + P_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g} = \frac{0.27 \cdot 7 + 1.69 \cdot 5.70 + 5.2 \cdot 0.02}{0.27 + 1.69} = 5.93 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Στους πίνακες 7 και 8 παρατίθενται αναλυτικές περιγραφές κατασκευής για όλα τα διαφανή δομικά στοιχεία του κτιρίου.

Πίνακας 6: Διαφανή στοιχεία θερμικής ζώνης 1

Εισάγονται τα δεδομένα για τις διαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα									
	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m ²)	Τύπος ανοίγματος*	U (W/m ² K)	g_w (-)	
1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Παράθυρο Βορράς	30	90	1.21	Με εξώφυλλα Μεταλλικό χωρίς θ.δ. 20% Μονός	5.99	0.62	
▶ 2	Ανοιγόμενο κούφωμα	Παράθυρο Νότος	210	90	1.96	Με εξώφυλλα Μεταλλικό χωρίς θ.δ. 20% Μονός	5.93	0.62	

Πίνακας 7: Διαφανή στοιχεία θερμικής ζώνης 2

	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m ²)	Τύπος ανοίγματος*	U (W/m ² K)	g_w (-)	
▶ 1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Κούφωμα Ανατολή	120	90	1.43	Με εξώφυλλα Μεταλλικό χωρίς θ.δ. 20% Μονός	5.99	0.62	

3.2.4. Συντελεστές σκίασης δομικών στοιχείων κτηρίου (αδιαφανών και διαφανών)

3.2.4.1 Συντελεστές σκίασης ορίζονται ως Fhor

Αυτός ο συντελεστής προσδιορίζει τη σκίαση που προσπίπτει στις επιφάνειες του κτιρίου από την ύπαρξη φυσικών εμποδίων (π.χ. λόφων) ή τεχνητών (π.χ. ψηλών κτιρίων). Όταν ο ορίζοντας είναι ελεύθερος ο συντελεστής ισούται με τη μονάδα ($F_{hor}=1$), ενώ για πλήρη σκίαση παίρνει τιμή μηδέν ($F_{hor}=0$).

Στη Θερμική Ζώνη 1 του υπό μελέτη κτιρίου η Νότια και Δυτική πλευρά της είναι πλήρως ελεύθερη, επομένως ο συντελεστής ισούται με μονάδα ($F_{hor} = 1$) για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο. Στην βόρεια όψη υπάρχει ένα κτήριο ύψους 6m σε πλευρά 4m ενώ υπάρχει και

ένα κτήριο ύψους 4m σε πλευρά μήκους 3.5m. Το κτήριο αυτό βρίσκεται σε απόσταση 6m από την μονώροφη οικοδομή της μελέτης.

Αρα σε πλευρά 4m έχουμε γωνία α ίση με:

$$\tan \alpha = \frac{\text{Ηπρόσοψη κτηρίου} - H/2}{\text{απόσταση } \delta} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{6 - 3/2}{6} \Rightarrow \tan \alpha = 0.75 \Rightarrow \alpha = 36.87 \text{ deg}$$

Σε πλευρά 3.5m έχουμε γωνία α ίση με:

$$\tan \alpha = \frac{\text{Ηπρόσοψη κτηρίου} - H/2}{\text{απόσταση } \delta} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{4 - 3/2}{6} \Rightarrow \tan \alpha = 0.417 \Rightarrow \alpha = 22.62 \text{ deg}$$

Εφόσον έχουμε Βόρειο προσανατολισμό με βορειοανατολική απόκλιση λαμβάνουμε στον πίνακα 3.19 τις εξής τιμές:

- Για την πλευρά 4m με γραμμική παρεμβολή λαμβάνουμε την τιμή μεταξύ των 35ο και 40ο και για το χειμώνα και για το καλοκαίρι. Συγκεκριμένα:

$$F_{h, \text{χειμώνα, πλευρά } 4m} = 0.84 - (0.84 - 0.83) * \frac{40 - 36.87}{40 - 35} = 0.833$$

$$F_{h, \text{καλοκαίρι, πλευρά } 4m} = 0.77 - (0.77 - 0.73) * \frac{40 - 36.87}{40 - 35} = 0.745$$

- Για την πλευρά 3.5m με γραμμική παρεμβολή λαμβάνουμε την τιμή μεταξύ των 20ο και 25ο και για το χειμώνα και για το καλοκαίρι. Συγκεκριμένα:

$$F_{h, \text{χειμώνα, πλευρά } 3.5m} = 0.89 - (0.89 - 0.87) * \frac{25 - 22.62}{25 - 20} = 0.88$$

$$F_{h, \text{καλοκαίρι, πλευρά } 3.5m} = 0.84 - (0.84 - 0.82) * \frac{25 - 22.62}{25 - 20} = 0.83$$

h, καλοκαίρι, πλευρά 3.5m

25-20

Για να λάβουμε μια σταθμισμένη τιμή συντελεστή οριζόντιας σκίασης για την πλευρά στα Βόρεια της Θερμικής Ζώνης 1, παίρνουμε το σταθμισμένο μέσο όρο των τιμών που λάβαμε για κάθε εποχή αναλόγως του μήκους της πλευράς επί του οποίου έχουμε την αντίστοιχη σκίαση. Συγκεκριμένα προκύπτει ότι:

$$F_{h, \text{χειμώνα, πλευρά } 7.5m} = \frac{0.833 * 4 + 0.88 * 3.5}{4 + 3.5} = 0.855$$

$$F_{h, \text{καλοκαίρι, πλευρά } 7.5m} = \frac{0.745 * 4 + 0.83 * 3.5}{4 + 3.5} = 0.785$$

Να σημειωθεί ότι για το διαφανές στοιχείο της βόρειας όψης παρατηρείται ότι απέναντί του έχει το κτήριο ύψους 4m σε απόσταση 6m. Η αντίστοιχη γωνία α υπολογίζεται κατά αντιστοιχία με αυτή που υπολογίστηκε για τα αδιαφανή στοιχεία της βόρειας όψης της ζώνης 1 ως εξής:

$$tana = \frac{\text{Η πρόσοψη κτιρίου} - \text{Η παραθύρου}/2}{\text{Απόσταση } \delta} \Rightarrow tana = \frac{4 - (1.4 - 0.3)/2}{6} \Rightarrow tana = 0.575 \Rightarrow a = 29.9 \text{ deg}$$

Η γωνία είναι περίπου ίση με 30deg συνεπώς λαμβάνουμε από τον ίδιο πίνακα της TOTEE (3.19) για βορειοανατολικό προσανατολισμό τιμές ίσες με:

$$F_{h,\text{χειμώνα}, \text{γωνία Βοράς}} = 0.85$$

$$F_{h,\text{καλοκαίρι}, \text{γωνία Βοράς}} = 0.81$$

Η ανατολική και η νότια πρόσοψη στη Θερμική Ζώνη 2 δεν έχει εμπόδια οπότε ο συντελεστής σκίασης ορίζοντα και πάλι τίθεται ίσος με 1 για τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο. Αντιθέτως, σε μήκος 5m και σε απόσταση 6m σκιάζεται από γειτονικό κτίριο ύψους 5 μέτρων, οπότε ο συντελεστής σκίασης οριζόντια προκύπτει κατά παρόμοιο τρόπο με πριν ως εξής:

$$tana = \frac{\text{Η πρόσοψη κτιρίου} - H/2}{\text{απόσταση } \delta} \Rightarrow tana = \frac{5 - 3/2}{6} \Rightarrow tana = 0.583 \Rightarrow a = 30.256 \text{ deg}$$

Για την πλευρά 5m με γραμμική παρεμβολή λαμβάνουμε την τιμή μεταξύ των 30ο και 35ο και για το χειμώνα και για το καλοκαίρι. Συγκεκριμένα:

$$F_{h,\text{χειμώνα}, \text{σκιά } 5m} = 0.85 - (0.85 - 0.84) * \frac{30.256 - 30}{35 - 30} = 0.849$$

$$F_{h,\text{καλοκαίρι}, \text{σκιά } 5m} = 0.81 - (0.81 - 0.77) * \frac{30.256 - 30}{35 - 30} = 0.808$$

3.2.4.2. Συντελεστές σκίασης οριζόντιων σκιάστρων F_{ov}

Ο συντελεστής σκίασης οριζόντιων προστεγασμάτων (F_{ov}) προσδιορίζει τη σκίαση των επιφανειών του κτηρίου λόγω ύπαρξης οριζόντιων προεξοχών (εξωστών, προστεγασμάτων, υπέρθυρων ανοιγμάτων). Στην περίπτωση που δεν υπάρχει οριζόντια προεξοχή ο συντελεστής ισούται με την μονάδα ($F_{ov} = 1$), ενώ όταν η σκίαση είναι πλήρης ο συντελεστής γίνεται ίσος με μηδέν ($F_{ov} = 0$).

Στη Θερμική Ζώνη 1 καμιά από τις όψεις του κτιρίου δε σκιάζεται από οριζόντιο σκιάστρο οπότε ο συντελεστής ισούται με μονάδα ($F_{ov} = 1$).

Στη Θερμική Ζώνη 2 η ανατολική όψη σκιάζεται, με πρόβολο μήκους 1.25 μέτρου. Η γωνία β μεταξύ κουφώματος και προβόλου προκύπτει ως εξής:

$$\tan\beta = \frac{L \text{ πρόβολου}}{H \text{ όψη} - H/2 \text{ κουφώματος}} = \frac{1.25}{3 - (1.4 - 0.3)/2} = 0.51 \Rightarrow \beta = 27.02 \text{ deg}$$

Άρα για κατεύθυνση Νοτιοανατολική (είμαστε στην Ανατολική όψη με απόκλιση προς το Νότο) σύμφωνα με τον πίνακα της TOTEE 3.20 και γραμμική παρεμβολή μεταξύ των γωνιών

25ο και 30ο προκύπτουν οι εξής τιμές για χειμώνα και καλοκαίρι:

- $F_{\text{ου,χειμώνα}} = 0.84 - (0.84 - 0.81) * \frac{30-27.02}{30-25} = 0.822$
- $F_{\text{ου,καλοκαίρι}} = 0.77 - (0.77 - 0.72) * \frac{30-27.02}{30-25} = 0.7402$

Για την αδιαφανή επιφάνεια η αντίστοιχη γωνία στην Ανατολική Όψη (με απόκλιση προς το Νότο) προκύπτει κατά αναλογία με πριν ίση με:

$$\tan\beta = \frac{L \text{ προβόλου}}{H \text{ όψη} - H/2 \text{ κουφώματος}} = \frac{1.25}{3 - 3/2} = 0.833 \Rightarrow \beta = 39.8 \text{ deg}$$

Η γωνία είναι περίπου ίση με 40deg συνεπώς λαμβάνουμε από τον ίδιο πίνακα της TOTEE (3.20) για Νοτιοανατολικό προσανατολισμό τιμές ίσες με:

$$F_{\text{ου,χειμώνα}} = 0.73$$

$$F_{\text{ου,καλοκαίρι}} = 0.62$$

3.2.4.3 Συντελεστές σκίασης από πλευρικές προεξοχές F_{fin}

Ο συντελεστής σκίασης από πλευρικές προεξοχές (F_{fin}) προσδιορίζει τη σκίαση των επιφανειών του κτηρίου λόγω ύπαρξης κατακόρυφων προεξοχών (πλευρικών προεξοχών, τμημάτων του ίδιου του κτηρίου, διπλανών κτηρίων). Στην περίπτωση που δεν υπάρχει πλευρική προεξοχή (γ = 0°) ο συντελεστής ισούται με μονάδα (F_{fin} = 1), ενώ όταν η σκίαση είναι πλήρης (γ = 90°) ο συντελεστής γίνεται ίσος με μηδέν (F_{fin} = 0).

Στη Θερμική Ζώνη 1 η Βόρεια και η Δυτική όψη δεν έχουν καμία πλευρική προεξοχή, συνεπώς λαμβάνουν τιμή F_{fin}=1. Η νότια όψη έχει προεξοχή ίση με 3.5m.

Υπολογίζεται η γωνία γ που σχηματίζει η αδιαφανής επιφάνεια της Νότιας Όψης της θερμικής ζώνης 1 με την κατακόρυφη προεξοχή.

$$\tan\gamma = \frac{L \text{ προεξοχής}}{L \text{ νότιας όψης}/2} = \frac{3.5}{7.5/2} = 0.933 \Rightarrow \gamma = 43.01 \text{ deg}$$

Έχοντας Νοτιοδυτικό προσανατολισμό (νότια πρόσοψη με δυτική απόκλιση) επιλέγουμε με γραμμική παρεμβολή την τιμή του F_{fin} για την αδιαφανή επιφάνεια από τους πίνακες της TOTEE (πίνακας 3.21α για προεξοχή από την αριστερή πλευρά της όψης όπως την βλέπει κανείς από μέσα προς τα έξω) μεταξύ 40ο και 50ο. Προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- $F_{\text{fin,χειμώνα}} = 0.97 - (0.97 - 0.95) * \frac{43.01-40}{50-40} = 0.964$
- $F_{\text{fin,καλοκαίρι}} = 0.90 - (0.90 - 0.86) * \frac{43.01-40}{50-40} = 0.888$

Αντίστοιχα υπολογίζεται η γωνία γ του κουφώματος με Νότιο προσανατολισμό (με Δυτική απόκλιση 30°).

$$\tan \gamma = \frac{L \text{ προεξοχής}}{4.1 + L_{\text{κούφωματος}}/2} = \frac{3.5}{4.1 + 1.4/2} = 0.729 \Rightarrow \gamma = 36.09 \text{ deg}$$

Από τον ίδιο πίνακα (3.21α) της TOTEE προκύπτει με γραμμική παρεμβολή ο συντελεστής για το κούφωμα της Νότιας Όψης της Θερμικής Ζώνης 1 (μεταξύ των γωνιών 30 και 40 deg).

- $F_{fin, \text{χειμώνα}} = 0.98 - (0.98 - 0.97) * \frac{36.09-30}{40-30} = 0.974$
- $F_{fin, \text{καλοκαίρι}} = 0.86 - (0.86 - 0.81) * \frac{36.09-30}{40-30} = 0.829$

Στη θερμική Ζώνη 2 εκτελούμε για την Δυτική όψη (με απόκλιση προς το Βορρά άρα ΒΔ κατεύθυνση) την ίδια διαδικασία μόνο που λαμβάνουμε τιμές από τον πίνακα 3.21β της TOTEE καθώς η κάθετη προεξοχή βρίσκεται στο δεξιό τμήμα της επιφανείας. Υπολογίζεται καταρχήν η γωνία γ για το σύνολο της αδιαφανούς επιφανείας.

$$\tan \gamma = \frac{L \text{ προεξοχής}}{L_{\text{δυτικής όψης}}/2} = \frac{7.5}{3.5/2} = 4.286 \Rightarrow \gamma = 76.87 \text{ deg} > 70 \text{ deg}$$

Επειδή έχουμε γωνία μεγαλύτερη των 70deg λαμβάνουμε απευθείας από τον πίνακα τις ακόλουθες τιμές.

- $F_{fin, \text{χειμώνα}} = 0.81$
- $F_{fin, \text{καλοκαίρι}} = 0.66$

Βρίσκουμε την γωνία γ και για την αδιαφανή επιφάνεια της πόρτας στην ίδια όψη.

$$\tan \gamma = \frac{L \text{ προεξοχής}}{1.5 + L_{\text{πόρτας}}/2} = \frac{7.5}{1.5 + 1.0/2} = 3.75 \Rightarrow \gamma = 75.07 \text{ deg} > 70 \text{ deg}$$

Επειδή έχουμε γωνία μεγαλύτερη των 70deg λαμβάνουμε απευθείας από τον πίνακα τις ακόλουθες τιμές.

- $F_{fin, \text{χειμώνα}} = 0.81$
- $F_{fin, \text{καλοκαίρι}} = 0.66$

Σε όλες τις άλλες όψεις της θερμικής ζώνης 2 λαμβάνουμε συντελεστές πλευρικών προεξοχών ίσους με τη μονάδα.

Στους πίνακες 8,9 παρουσιάζονται οι συντελεστές σκίασης των εξωτερικών αδιαφανών επιφανειών ενώ στους πίνακες 10,11 παρουσιάζονται οι συντελεστές σκίασης των εξωτερικών διαφανών επιφανειών όπως έχουν εισαχθεί στο λογισμικό TEE - KENAK

Πίνακας 8: Συντελεστές σκίασης αδιαφανών επιφανειών θερμικής ζώνης 1

	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m ²)	U* (W/m ² K)	a* (-)	e* (-)	F_hor_h (-)	F_hor_c (-)	F_ov_h (-)	F_ov_c (-)	F_fin_h (-)	F_fin_c (-)
▶ 1	Τοίχος	Βόρεια Όψη	30	90	20.165	0.551	0.40	0.80	0.855	0.785	1	1	1	1
2	Τοίχος	Νότια Όψη	210	90	19.415	0.551	0.40	0.80	1	1	1	1	0.964	0.888
3	Τοίχος	Δυτική Όψη	300	90	11.55	0.551	0.40	0.80	1	1	1	1	1	1
4	Οροφή	Οροφή Ζώνης 1	30	0	30	3.7	0.65	0.80	1	1	1	1	1	1
* 5														

Πίνακας 9: Συντελεστές σκίασης αδιαφανών επιφανειών θερμικής ζώνης 2

	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m ²)	U* (W/m ² K)	a* (-)	e* (-)	F_hor_h (-)	F_hor_c (-)	F_ov_h (-)	F_ov_c (-)	F_fin_h (-)	F_fin_c (-)
1	Τοίχος	Βόρειος Τοίχος	30	90	14.25	0.551	0.40	0.80	0.849	0.808	1	1	1	1
2	Τοίχος	Ανατολικός Τοίχος	120	90	19.945	0.551	0.40	0.80	1	1	0.73	0.62	1	1
3	Τοίχος	Νότιος Τοίχος	210	90	14.25	0.551	0.40	0.80	1	1	1	1	1	1
4	Τοίχος	Δυτικός Τοίχος	300	90	7.775	0.551	0.40	0.80	1	1	1	1	0.81	0.66
5	Πόρτα	Δυτικός Τοίχος	300	90	2.2	3.50	0.2	0.20	1	1	1	1	0.81	0.66
6	Οροφή	Οροφή Β Θερμικής Ζώνης	30	0	37.5	3.70	0.80	0.80	1	1	1	1	1	1
7														

Πίνακας 10: Συντελεστές σκίασης διαφανών επιφανειών θερμικής ζώνης 1

	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m ²)	Τύπος ανοίγματος*	U (W/m ² K)	g_w (-)	F_hor_h (-)	F_hor_c (-)	F_ov_h (-)	F_ov_c (-)	F_fin_h (-)	F_fin_c (-)
	Ανοιγόμενο κούφωμα	Παράθυρο Βοράς	30	90	1.21	Με εδωφύλλα Μεταλλικό χωρίς	5.99	0.62	0.85	0.81	1	1	1	1
	Ανοιγόμενο κούφωμα	Παράθυρο Νότιο	210	90	1.96	Με εδωφύλλα Μεταλλικό χωρίς	5.93	0.62	1	1	1	1	0.974	0.829

Πίνακας 11: Συντελεστές σκίασης διαφανών επιφανειών θερμικής ζώνης 2

	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m ²)	Τύπος ανοίγματος*	U (W/m ² K)	g_w (-)	F_hor_h (-)	F_hor_c (-)	F_ov_h (-)	F_ov_c (-)	F_fin_h (-)	F_fin_c (-)
	Ανοιγόμενο κούφωμα	Κούφωμα Ανατολή	120	90	1.43	Με εδωφύλλα Μεταλλικό χωρίς θ.δ. 20% Μονός	5.99	0.62	1	1	0.822	0.7402	1	1

3.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων κτηρίου

Οι ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου περιλαμβάνουν τα:

- Σύστημα θέρμανσης χώρων,
- Σύστημα ψύξης χώρων,
- Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.

3.3.1. Σύστημα παραγωγής θέρμανσης

Το κτίριο διαθέτει κεντρική μονάδα παραγωγής θερμότητας για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης του 100% (συνόλου) των χώρων του, με σύστημα λέβητα – καυστήρα βιομάζας pellet, χωρίς φύλλο συντήρησης και ενεργειακή σήμανση, πραγματικής θερμικής ισχύος Pm = 117 kW.

Παραγωγή θέρμανσης

Πηγή ενέργειας για τη θερμότητα που παράγουν είναι το pellet. Το σύστημα καλύπτει το 100% (σύνολο) των χώρων του οπότε το μηνιαίο ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου είναι το 100% της κάθε θερμικής ζώνης.

Στους πίνακες 9,10 παρουσιάζονται τα δεδομένα παραγωγής θέρμανσης όπως έχουν εισαχθεί στο λογισμικό TEE - KENAK.

Πίνακας 12.Σύστημα Θέρμανσης για Θερμική Ζώνη 1

Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	B. Αν. (-)	COP (-)	Ιαν (-)	Φεβ (-)	Μαρ (-)	Απρ (-)	Μαί (-)	Ιουν (-)	Ιουλ (-)	Αυγ (-)	Σεπ (-)	Οκτ (-)	Νοε (-)	Δεκ (-)
Λέβητας	Βιομάζα τυποποιημ	117	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
			1	1												

Πίνακας 13.Σύστημα Θέρμανσης για Θερμική Ζώνη 2

Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	B. Αν. (-)	COP (-)	Ιαν (-)	Φεβ (-)	Μαρ (-)	Απρ (-)	Μαί (-)	Ιουν (-)	Ιουλ (-)	Αυγ (-)	Σεπ (-)	Οκτ (-)	Νοε (-)	Δεκ (-)
Λέβητας	Βιομάζα τυποποιημ	117	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
			1	1												

Δίκτυο διανομής

Το δίκτυο διανομής του συστήματος περιλαμβάνει σωληνώσεις χωρίς μόνωση, με διέλευση σε εσωτερικούς χώρους και 20% σε εξωτερικούς χώρους. Ο βαθμός απόδοσης υπολογίζεται βάση του πίνακα 4.11 της TOTEE. Εν προκειμένω, με απώλειες που υπολογίζονται στο 4% ο βαθμός απόδοσης ανέρχεται στο 0.96

Εικόνα 15. Εύρεση ποσοστού θερμικών απωλειών από το δίκτυο διανομής

Θερμική ή ψυκτική ισχύς δικτύου διανομής	Διέλευση σε εσωτερικούς χώρους ή/και 20% σε εξωτερικούς χώρους				Διέλευση > 20% σε εξωτερικούς χώρους		
	Μόνωση κτηρίου αναφοράς	Μόνωση ² ίση με την ακτίνα σωλήνων	Ανεπαρκής μόνωση ³	Χωρίς μόνωση	Μόνωση κτηρίου αναφοράς	Μόνωση ίση με την ακτίνα σωλήνων	Χωρίς ή με ανεπαρκή μόνωση
[kW]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Δίκτυα διανομής θέρμανσης με υψηλές θερμοκρασίες προσαγωγής θερμικού μέσου (≥60°C)							
20 - 100	5,5	4,5	11,0	14,0	8,0	6,5	17,0
100 - 200	4,0	3,0	8,5	12,0	7,2	5,7	15,5
200 - 300	3,0	2,5	6,5	10,5	6,0	4,2	14,2
300 - 400	2,5	2,0	5,0	9,2	3,8	2,7	13,1
> 400	2,0	1,5	4,0	7,0	3,0	2,0	12,0

Η ισχύς του δικτύου διανομής επιλέγεται με βάση τις συνήθεις τιμές για τα χαρακτηριστικά του λέβητα. Επιλέγεται ισχύς 37kW.

Στον πίνακα 14 παρουσιάζονται τα δεδομένα του δικτύου διανομής όπως έχουν εισαχθεί στο λογισμικό TEE - KENAK.

Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά δικτύου διανομής για θερμική Ζώνη 1 και 2

Δίκτυο διανομής					
	Τύπος	Ισχύς (kW)	Χώρος διέλευσης	B. Αν. (-)	Μόνωση
▶ 1	Δίκτυο διανομής θερμού μέσου	37	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε	0.96	<input type="checkbox"/>
2	Αεραγωγοί				<input type="checkbox"/>

Τερματικές μονάδες

Η απόδοση θερμότητας στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου γίνεται μέσω τερματικών μονάδων θερμαντικών σωμάτων άμεσης απόδοσης σε εξωτερικό τοίχο (σώματα καλοριφέρ), συνεχούς λειτουργίας και σύστημα εκτός ισορροπίας. Ο βαθμός απόδοσης υπολογίζεται βάση της σχέσης 4.12 της TOTEE.

$$N_{em,t} = \frac{n_{em}}{F_{rad} * f_{im} * f_{ydr}}$$

Έτσι έχουμε ότι:

- απόδοση εκπομπής $n_{em} = 0,93$ για άμεσης απόδοσης τερματικές μονάδες σε εξωτερικό τοίχο, με θερμοκρασία μέσου 70-85°C
- F_{rad} ο παράγοντας για την αποτελεσματικότητα της ακτινοβολίας των τερματικών μονάδων ο οποίος εξαρτάται από το ύψος των χώρων που θερμαίνονται. Ισχύει μόνο για τις τερματικές μονάδες ακτινοβολίας. Άρα εν προκειμένω, αφού έχουμε καλοριφέρ θέτουμε μονάδα την παράμετρο αυτή.
- f_{im} ο παράγοντας της διακοπτόμενης λειτουργίας με την έννοια της μείωσης (ρύθμισης) της θερμοκρασίας ανά χώρο του κτηρίου, που παίρνει τιμή μονάδα για συνεχή λειτουργία σύμφωνα με τον πίνακα της TOTEE της παραγράφου 5.4.2.
- f_{hydr} ο παράγοντας για την υδραυλική ισορροπία του δικτύου των τερματικών μονάδων, που παίρνει τιμή 1.03 για σύστημα εκτός ισορροπίας όπως είναι αυτό της άσκησης.

Άρα προκύπτει ότι:

$$N_{em,t} = \frac{0.93}{1 * 1 * 1.03} = 0.903$$

Στον πίνακα 16 παρουσιάζονται τα δεδομένα των τερματικών μονάδων όπως έχουν εισαχθεί στο λογισμικό TEE – KENAK.

Πίνακας 15. Εισαγωγή δεδομένων τερματικών μονάδων στο TEE KENAK για ζώνη 1 και 2

Τερματικές μονάδες		
	Τύπος	Β. Απ.* (-)
▶ 1	Καλοριφέρ	0.903

Βοηθητικά συστήματα

Τα βοηθητικά συστήματα που διαθέτει το σύστημα θέρμανσης για την κυκλοφορία και τη διανομή του θερμού μέσου, είναι κυκλοφορητές ισχύος βάση της ένδειξης της φωτογραφίας του κυκλοφορητή του μοντέλου της εκφώνησης. Δηλαδή προκύπτει:

$$130\text{W}/\text{εμβαδόν ζώνης A} = 130/30=0.0433\text{kW}$$

$$130\text{W}/\text{εμβαδόν ζώνης B} = 130/37.5=0.346\text{kW}$$

Στον πίνακα 17 παρουσιάζονται τα δεδομένα του κυκλοφορητή όπως έχουν εισαχθεί στο λογισμικό TEE - KENAK.

Πίνακας 16. Εισαγωγή δεδομένων βοηθητικών συστημάτων στο TEE KENAK για ζώνη 1 και 2

Βοηθητικές μονάδες				
	Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (kW)	
▶ 1		1	0.0433	
* 2		1	0	

Βοηθητικές μονάδες				
	Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (kW)	
▶ 1	Κυκλοφορητές	1	0.0346	
* 2		1	0	

3.3.2. Σύστημα ψύξης χώρων

Το κτήριο διαθέτει τοπική αντλία θερμότητας με ψυχόμενο μέσο τον αέρα για τις ανάγκες της ψύξης. Δεν υπάρχει δίκτυο διανομής ψύξης άρα δεν υπάρχουν απώλειες. Η τερματική μονάδα είναι η τοπική αντλία θερμότητας, με διακοπτόμενη λειτουργία και τοπικά εξισοροπημένο σύστημα. Το σύστημα ψύξης δεν διαθέτει βοηθητικά συστήματα.

Ισχύει ότι:

$$SEER = 0,60 \cdot SEER_{ES} = 0.60 * 6.3 = 3.78$$

Συνεπώς συμπληρώνονται στον ακόλουθο πίνακα τα παρακάτω στοιχεία για τις 2 θερμικές ζώνες του κτηρίου.

Πίνακας 17. Στοιχεία για συστήματα ψύξης κτηρίου στη Θερμική Ζώνη Α και Β

Παραγωγή																		
	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	Β. Αν (-)	EER* (-)	Ιαν (-)	Φεβ (-)	Μαρ (-)	Απρ (-)	Μαι (-)	Ιουν (-)	Ιουλ (-)	Αυγ (-)	Σεπ (-)	Οκτ (-)	Νοε (-)	Δεκ (-)	
▶ 1	Αερόμικτη Α.Θ.	Ηλεκτρισμός	3.9	1.0	3.78	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0
* 2				1	1													

Δίκτυο διανομής					
	Τύπος	Ισχύς (kW)	Χώρος διέλευσης	Β. Αν. (-)	Μόνωση
▶ 1	Δίκτυο διανομής ψυχρού μέσου			1	<input type="checkbox"/>
2	Αεραγωγοί				<input type="checkbox"/>

Τερματικές μονάδες		
	Τύπος	Β. Αν. (-)
▶ 1	Τοπική Αντλία Θερμότητας	0.93

Βοηθητικές μονάδες			
	Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (kW)
* 1		1	0

3.3.3. Σύστημα Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης

Για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, χρησιμοποιείται τοπικός ηλεκτρικός θερμαντήρας θερμικής ισχύος 4kW και η ετήσια κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης για κάθε ζώνη είναι:

$$\text{Ζώνη 1: } 1 * 27,38 = 27,38 \text{ για 1 υπνοδωμάτιο}$$

Ζώνη 2: $1 * 27,38 = 27,38$ για 1 υπνοδωμάτιο

Τα δεδομένα που εισάχθηκαν παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 18. Δεδομένα ZNX για θερμική ζώνη 1 και 2 του κτηρίου μελέτης

Παραγωγή																
	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	Β. Απ.* (-)	Ιαν (-)	Φεβ (-)	Μαρ (-)	Απρ (-)	Μαι (-)	Ιουν (-)	Ιουλ (-)	Αυγ (-)	Σεπ (-)	Οκτ (-)	Νοε (-)	Δεκ (-)
1	Τοπικός ηλεκτρικός θερμαντήρας	Ηλεκτρισμός	4	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
▶ 2	Λέβητας	Βιομάζα	117	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
* 3				1												

Δίκτυο διανομής				
	Τύπος	Ανακλιφορσία	Χώρος διέλευσης	Β. Απ.* (-)
▶ 1	Σωληνώσεις	<input type="checkbox"/>	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε	0.92

Σύστημα αποθήκευσης		
	Τύπος	Β. Απ.* (-)
▶ 1	Τοπική Δεξαμενή Αποθήκευσης σε εξωτερικό χώρο	0.93

Βοηθητικές μονάδες			
	Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (kW)
* 1		1	0

3.4. Αποτελέσματα ενεργειακής επιθεώρησης υφισταμένου κτηρίου

Παρατηρούμε ότι για το υπάρχον κτήριο:

- Οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση είναι 187.9 kWh/m², για ψύξη 81.3 kWh/m² και για το Z.N.X. 29.6 kWh/m²,
- Η ετήσια πρωτογενής ενέργεια για θέρμανση είναι 239.4 kWh/m², για ψύξη 12.6 kWh/m² και για το Z.N.X. 34.6 kWh/m²,
- Οι ετήσιες καταναλώσεις του κτηρίου για θέρμανση είναι 30 kWh/m², για ψύξη 413 kWh/m² και για το Z.N.X. 286.6 kWh/m²
- Για το κτήριο αναφοράς παρατηρούμε ότι:
- Οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση είναι 72 kWh/m², για ψύξη 25.9 kWh/m² και για το Z.N.X. 29.6kWh/m²,
- Η ετήσια πρωτογενής ενέργεια για θέρμανση είναι 102.2 kWh/m², για ψύξη 4.6 kWh/m² και για το Z.N.X. 36.3 kWh/m²,
- Η ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου είναι E.

Πίνακας 19. Ενεργειακές Απαιτήσεις Κτηρίου Αναφοράς

Κτίριο αναφοράς														
Ενεργειακές απαιτήσεις (kWh/m ²)		Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
▶	Θέρμανση	19,3	14,1	9,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	9,8	17,3	72,0
	Ψύξη	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	10,5	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	25,9
	Υγρανση	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	ZNX	3,3	2,9	3,0	2,6	2,3	2,0	1,8	1,8	1,9	2,3	2,6	3,1	29,6
Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²)		Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
▶	Θέρμανση	27,1	19,8	12,8	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	14,0	24,3	102,2
	Ηλιακή ενέργεια για θέρμανση χώρων	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ψύξη	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,9	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6
	ZNX	4,0	3,5	3,7	3,2	2,9	2,4	2,2	2,2	2,4	2,9	3,2	3,8	36,3
	Ηλιακή ενέργεια για ζεστό νερό χρήσης	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	6,4
	Φωτισμός	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ενέργεια απο φωτοβολταϊκά - ΣΗΘ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Σύνολο	31,1	23,4	16,5	6,5	2,9	3,6	4,1	3,8	2,4	3,7	17,3	28,1	143,1
Πηγή ενέργειας		Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)		Εκπομπές CO ₂ (kg/m ²)										
▶	Ηλεκτρισμός	8,3		8,2										
	Πετρέλαιο	135,5		35,8										
	Φυσικό αέριο	0,0		0,0										
	Άλλα ορυκτά καύσιμα	0,0		0,0										
	Ηλιακή	6,4		0,0										
	Βιομάζα	0,0		0,0										
	Γεωθερμία	0,0		0,0										
	Άλλο ΑΠΕ	0,0		0,0										
	Σύνολο	143,1		44,0										

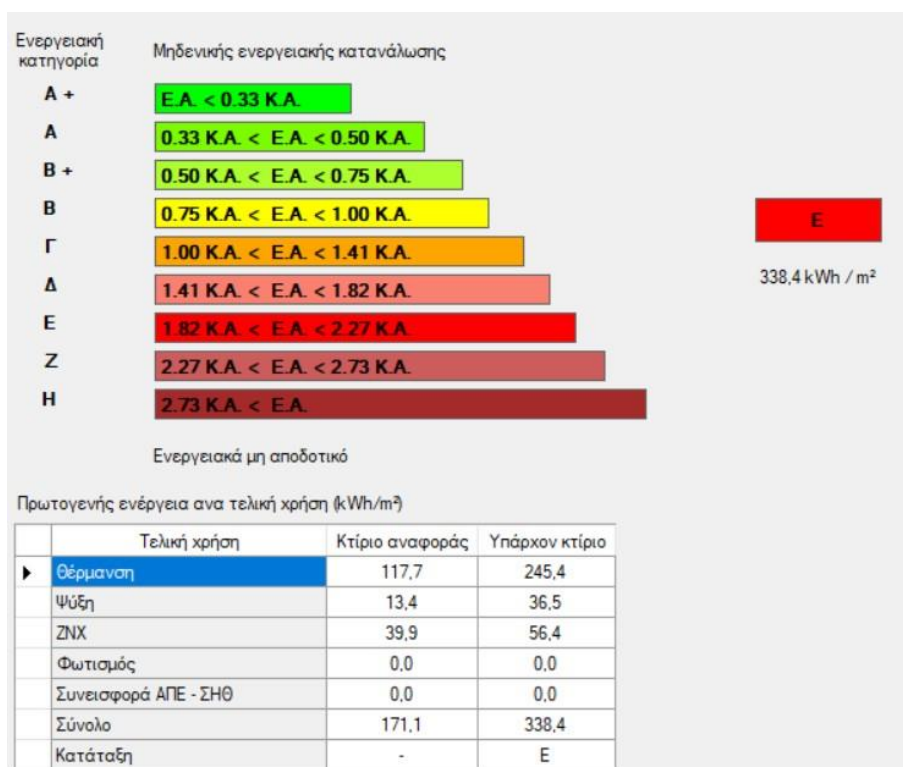
Πίνακας 20. Ενεργειακές απαιτήσεις υπάρχοντος κτηρίου

Υπάρχον κτίριο														
Ενεργειακές απαιτήσεις (kWh/m ²)		Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
►	Θέρμανση	50,5	34,8	21,8	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	26,1	46,3	187,9
	Ψύξη	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,8	32,2	26,2	0,0	0,0	0,0	0,0	81,3
	Υγρανση	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	ZNX	3,3	2,9	3,0	2,6	2,3	2,0	1,8	1,8	1,9	2,3	2,6	3,1	29,6

Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²)		Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
►	Θέρμανση	64,0	44,3	27,9	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	33,4	58,8	239,4
	Ηλιακή ενέργεια για θέρμανση χώρων	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ψύξη	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	5,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6
	ZNX	3,8	3,4	3,5	3,0	2,7	2,3	2,1	2,1	2,2	2,7	3,1	3,6	34,6
	Ηλιακή ενέργεια για ζεστό νερό χρήσης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Φωτισμός	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ενέργεια απο φωτοβολταϊκά - ΣΗΘ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Σύνολο	67,8	47,6	31,4	11,4	2,7	5,8	7,1	6,2	2,2	5,5	36,5	62,4	286,6

Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)	Εκπομπές CO2 (kg/m ²)
► Ηλεκτρισμός	30,0	29,7
Πετρέλαιο	0,0	0,0
Φυσικό αέριο	0,0	0,0
Άλλα ορυκτά καύσιμα	0,0	0,0
Ηλιακή	0,0	0,0
Βιομάζα	413,0	0,0
Γεωθερμία	0,0	0,0
Άλλο ΑΠΕ	0,0	0,0
Σύνολο	286,6	29,7

Πίνακας 21. Ενεργειακή Κατάταξη Υπάρχοντος Κτηρίου (Σενάριο 0)



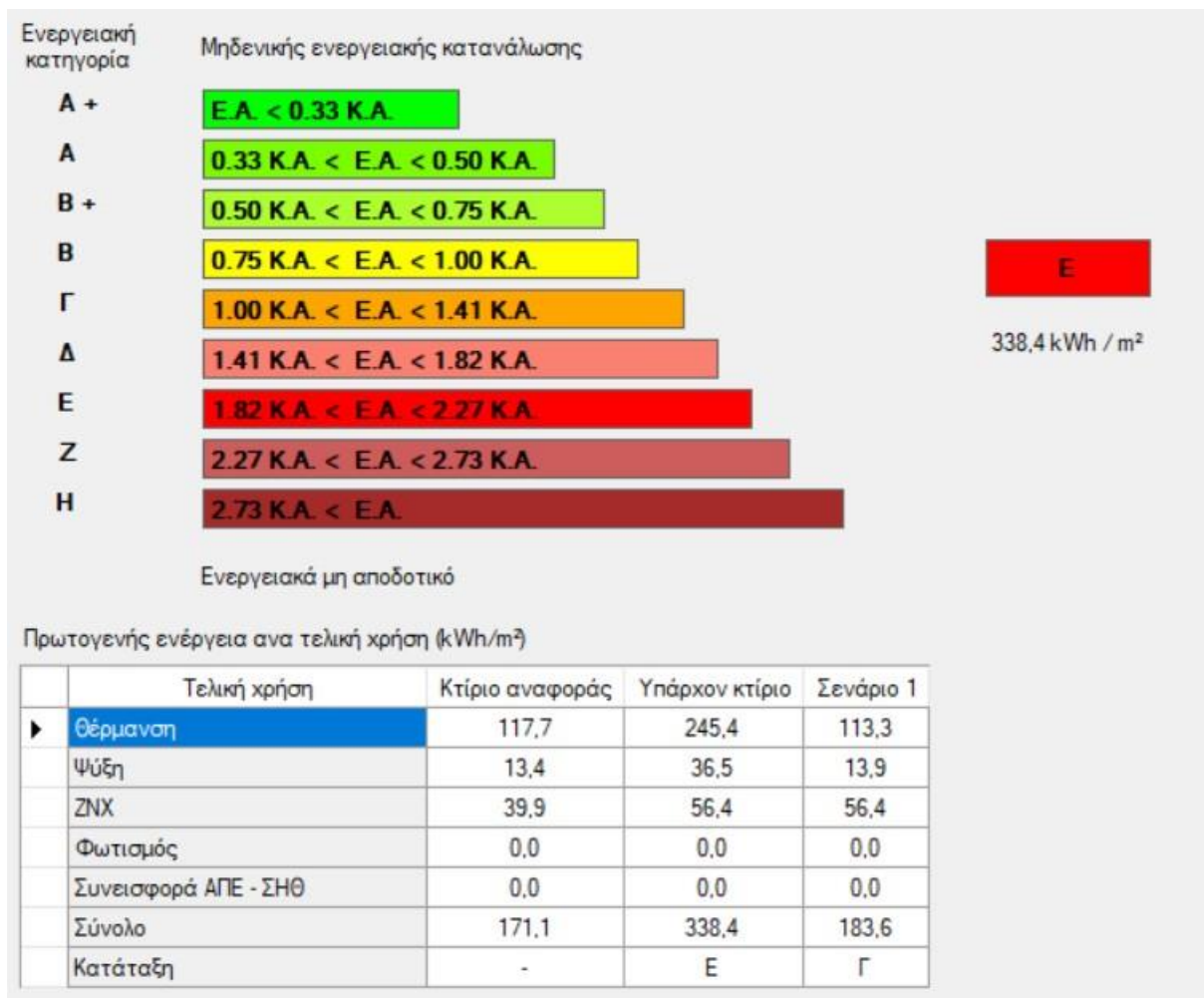
3.5. Σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίου

3.5.1. Σενάριο 1. Προσθήκη Μόνωσης στην Οροφή του Κτηρίου

Προσθήκη μόνωσης στην οροφή του κτηρίου, ώστε να επιτυγχάνονται οι ελάχιστες απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ για το μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή θερμοπερατότητας της κλιματικής του ζώνης.

Τα αποτελέσματα του 1^{ου} σεναρίου δίνονται ακολούθως:

Πίνακας 22. Ενεργειακή Κατάταξη Κτηρίου με Προσθήκη Μόνωσης στην οροφή (Σενάριο 1)



Πετυχαίνουμε άνοδο στην Γ ενεργειακή κλάση και εξοικονόμηση ενέργειας στο σύνολο ίση με 45.74%.

3.5.1.1. Οικονομική αποτίμηση παρεμβάσεων του Σεναρίου 1.

Στην παρούσα ενότητα παραθέτουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την οικονομική αποτίμηση των προτεινόμενων παρεμβάσεων του σεναρίου. Προκειμένου να καθοριστεί η βελτίωση της ενεργειακής δαπάνης για το κτίριο της μελέτης περίπτωσης, αρχικά αθροίζουμε την ενεργειακή κατανάλωση για τα υφιστάμενο κτίριο και για το κτίριο κατόπιν εφαρμογής των παρεμβάσεων του σεναρίου 1 για κάθε τελική χρήση.

Για να υπολογίσουμε τη συνολική κατανάλωση σε kWh/m² των 2 κτιρίων, πρέπει να προσθέσουμε τις τιμές της πρωτογενούς ενέργειας για κάθε τελική χρήση των δύο κτιρίων:

Για το Υπάρχον κτίριο:

Θέρμανση: 245.4 kWh/m²

Ψύξη: 36.5 kWh/m²

ZNX: 56.4 kWh/m²

Φωτισμός: 0.0 kWh/m²

Συνεισφορά ΑΠΕ · ΣΗΘ: 0.0 kWh/m²

Σύνολο = 338.4 kWh/m² (όπως δίνεται)

Για το Σενάριο 1:

Θέρμανση: 113.3 kWh/m²

Ψύξη: 13.9 kWh/m²

ZNX: 56.4 kWh/m² (παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα λάθος στον χαρακτήρα "," και θα το αντικαταστήσουμε με ".")

Φωτισμός: 0.0 kWh/m²

Συνεισφορά ΑΠΕ · ΣΗΘ: 0.0 kWh/m²

Σύνολο = 183.6 kWh/m² (όπως δίνεται)

Σύμφωνα με τον κατάλογο κοστολόγησης επιλέξιμων παρεμβάσεων του προγράμματος "Εξοικονομώ 2023", οι τιμές για θερμομόνωση και στεγανοποίηση κυμαίνονται 16-20 €/τ.μ., εν προκειμένω λαμβάνουμε ως τιμή υπολογισμού την κατώτατη τιμή του εύρους και πολλαπλασιάζουμε την τιμή αυτή με το συνολικό εμβαδόν επιφάνειας της οροφής ως εξής:

$67.5\text{m}^2 \times 16 = 1080$ ευρώ. Συνεπώς, το συνολικό κόστος της εφαρμογής της παρέμβασης του σεναρίου 1 ανέρχεται σε 1080 ευρώ

Η διαφορά στην ενεργειακή κατανάλωση η οποία επιτυγχάνεται μεταξύ του υφιστάμενου κτιρίου και του κτιρίου κατόπιν εφαρμογής των παρεμβάσεων του σεναρίου 1 είναι $338.4 - 183.6 = 154.8$ kWh/m².

Συνεπώς, η ενέργεια η οποία εξοικονομείται κατόπιν εφαρμογής των παρεμβάσεων του σεναρίου 1 ανέρχεται σε 154.8 kWh/m² X 67.5 m² (εμβαδόν κτιρίου) = 10.449 kWh.

Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός πως το κόστος της kWh διαμορφώνεται αυτή τη στιγμή σε 41 λεπτά ανά kWh για καταναλώσεις πάνω από 500 kWh, τότε έχουμε $10.449 \text{ kWh} \times 40,9 = 4.284$ ευρώ.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα ανωτέρω και συνεκτιμώντας ως δεδομένο στους υπολογισμούς μας πως το συνολικό κόστος της εφαρμογής της παρέμβασης του σεναρίου 1 ανέρχεται σε 1080 ευρώ, υπολογίζουμε ακολούθως την NPV.

Για τους υπολογισμούς μας λαμβάνουμε ως επιτόκιο αναφοράς το 2% και ως χρονικό ορίζοντα τα 5 έτη.

Υπολογίζουμε την NPV για κάθε έτος και στη συνέχεια την προσθέτουμε για να πάρουμε τη συνολική NPV:

$$\text{Έτος 1: } \frac{4.284 \text{ ευρώ}}{1.02} = 4.200 \text{ ευρώ}$$

$$\text{Έτος 2: } \frac{4.284 \text{ ευρώ}}{1.02^2} = 4.118 \text{ ευρώ}$$

$$\text{Έτος 3: } \frac{4.284 \text{ ευρώ}}{1.02^3} = 4.039 \text{ ευρώ}$$

$$\text{Έτος 4: } \frac{4.284 \text{ ευρώ}}{1.02^4} = 3.961 \text{ ευρώ}$$

$$\text{Έτος 5: } \frac{4.284 \text{ ευρώ}}{1.02^5} = 3.886 \text{ ευρώ}$$

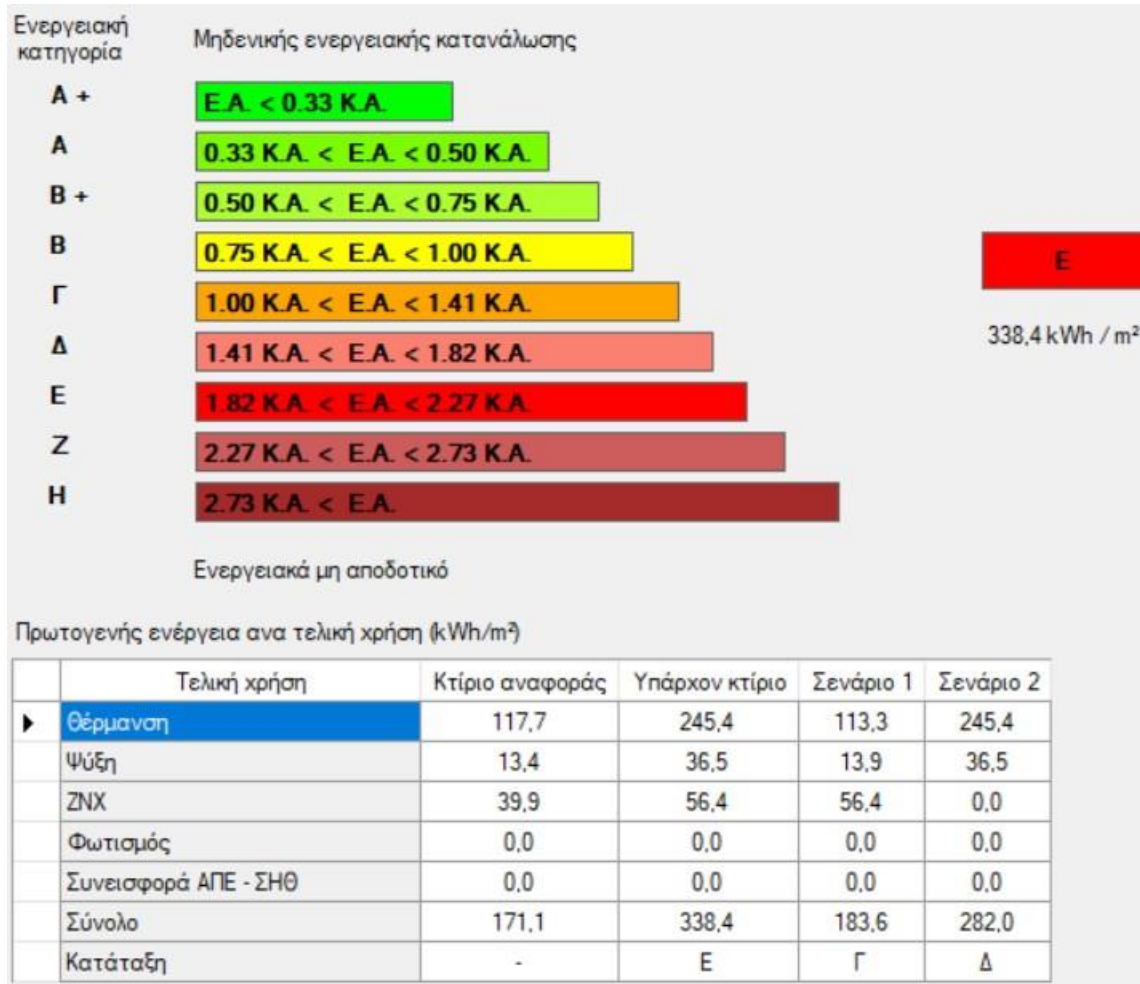
$$\text{Συνολική NPV} = 4.200 + 4.118 + 4.039 + 3.961 + 3.886 - 1080 = 13.204 \text{ ευρώ} - 1080 \text{ ευρώ} = 12.124 \text{ ευρώ}$$

3.5.2. Σενάριο 2. Εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη

Εγκαθίσταται επιλεκτικός ηλιακός συλλέκτης για μείωση κατανάλωσης ΖΝΧ.

Τα αποτελέσματα του 2^{ου} σεναρίου δίνονται ως ακολούθως.

Πίνακας 23. Ενεργειακή Κατάταξη Κτηρίου με Προσθήκη Ηλιακού Συλλέκτη (Σενάριο 2)



Πετυχαίνουμε άνοδο στη Δ ενεργειακή κλάση και εξοικονόμηση ενέργειας ίση με 16.67%

3.5.2.1. Οικονομική αποτίμηση παρεμβάσεων του Σεναρίου 2

Στην παρούσα ενότητα παραθέτουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την οικονομική αποτίμηση των προτεινόμενων παρεμβάσεων του σεναρίου. Προκειμένου να καθοριστεί η βελτίωση της ενεργειακής δαπάνης για το κτίριο της μελέτης περίπτωσης, αρχικά αθροίζουμε την ενεργειακή κατανάλωση για τα υφιστάμενο κτίριο και για το κτίριο κατόπιν εφαρμογής των παρεμβάσεων του σεναρίου 2 για κάθε τελική χρήση.

Για να υπολογίσουμε τη συνολική κατανάλωση σε kWh/m² των 2 κτιρίων, πρέπει να προσθέσουμε τις τιμές της πρωτογενούς ενέργειας για κάθε τελική χρήση των δύο κτιρίων:

Για το Υπάρχον κτίριο:

Θέρμανση: 245.4 kWh/m²

Ψύξη: 36.5 kWh/m²

ZNX: 56.4 kWh/m²

Φωτισμός: 0.0 kWh/m²

Συνεισφορά ΑΠΕ · ΣΗΘ: 0.0 kWh/m²

Σύνολο = 338.4 kWh/m² (όπως δίνεται)

Για το Σενάριο 2:

Θέρμανση: 245.4 kWh/m²

Ψύξη: 36.5 kWh/m²

ZNX: 0 kWh/m² (παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα λάθος στον χαρακτήρα "," και θα το αντικαταστήσουμε με ".")

Φωτισμός: 0.0 kWh/m²

Συνεισφορά ΑΠΕ · ΣΗΘ: 0.0 kWh/m²

Σύνολο = 282.0 kWh/m² (όπως δίνεται)

Σύμφωνα με τον κατάλογο κοστολόγησης επιλέξιμων παρεμβάσεων του προγράμματος "Εξοικονομώ 2023", η επιδότηση για την αγορά και την εγκατάσταση ηλιακού θερμοσίφωνα ανέρχεται σε έως και 60% του συνολικού κόστους. Για τον συγκεκριμένο τύπο ηλιακού θερμοσίφωνα λαμβάνουμε ως ενδεικτικό κόστος το ποσό των 1.200 ευρώ.

Η διαφορά στην ενεργειακή κατανάλωση η οποία επιτυγχάνεται μεταξύ του υφιστάμενου κτιρίου και του κτιρίου κατόπιν εφαρμογής των παρεμβάσεων του σεναρίου 1 είναι $338.4 - 282 = 56.4$ kWh/m².

Συνεπώς, η ενέργεια η οποία εξοικονομείται κατόπιν εφαρμογής των παρεμβάσεων του σεναρίου 1 ανέρχεται σε 56.4 kWh/m² X 67.5 m² (εμβαδόν κτιρίου) = 3807 kWh.

Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός πως το κόστος της kWh διαμορφώνεται αυτή τη στιγμή σε 41 λεπτά ανά kWh για καταναλώσεις πάνω από 500 kWh, τότε έχουμε 3807 kWh X $40,9$ = 1560 ευρώ.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα ανωτέρω και συνεκτιμώντας ως δεδομένο στους υπολογισμούς μας πως το συνολικό κόστος της εφαρμογής της παρέμβασης του σεναρίου 2 ανέρχεται σε 1080 ευρώ, υπολογίζουμε ακολούθως την NPV.

Για τους υπολογισμούς μας λαμβάνουμε ως επιτόκιο αναφοράς το 2% και ως χρονικό ορίζοντα τα 5 έτη.

Κόστος Ηλιακού Θερμοσίφωνα: 1.200 ευρώ

Επιδότηση: 60% του κόστους του ηλιακού θερμοσίφωνα = 0.60×1.200 ευρώ = 720 ευρώ

Κόστος μετά την Επιδότηση: 1.200 ευρώ - 720 ευρώ = 480 ευρώ

Ετήσιες Εξοικονομήσεις από την Παρέμβαση: 1.560 ευρώ

Επιτόκιο Αναφοράς: 2%

Χρόνος Ζωής της Παρέμβασης: 5 έτη

Χρησιμοποιώντας τη φόρμουλα για την NPV:

Έτος 1: $\frac{1.560\text{€}}{1.02} = 1.529\text{€}$

Έτος 2: $\frac{1.560\text{€}}{1.02^2} = 1.499\text{€}$

Έτος 3: $\frac{1.560\text{€}}{1.02^3} = 1.470\text{€}$

Έτος 4: $\frac{1.560\text{€}}{1.02^4} = 1.442\text{€}$

Έτος 5: $\frac{1.560\text{€}}{1.02^5} = 1.415\text{€}$

Συνολική NPV = $1.529+1.499+1.470+1.442+1.415-480 = 6.455$ ευρώ - 480 ευρώ = 5.975 ευρώ

3.5.3. Σενάριο 3. Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών Πάνελ στην οροφή του κτηρίου με ταυτόχρονη εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη και μόνωσης δώματος

Αρχικά, κατά τον σχεδιασμό του φωτοβολταϊκού συστήματος στο λογισμικό System Advisor Model, επιλέγουμε το: 'Photovoltaic' (Detailed PV Model) > 'Distributed' (Residential Owner). Στην συνέχεια, στην καρτέλα 'Location and Resource' εισάγουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα για την Ξάνθη όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω.

Name	Latitude	Longitude	Time zone	Elevation	Station ID	Source
fargo_nd_46.9_-96.8_mts1_60_tmy	46.9	-96.8	-6	274	14914	TMY2
imperial_ca_32.835205_-115.572398_psmv3_60_tmy	32.85	-115.58	-8	-20	72911	NSRDB
phoenix_az_33.450495_-111.983688_psmv3_60_tmy	33.45	-111.98	-7	358	78208	NSRDB

Εικόνα 16. Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων στο λογισμικό SAM

Στην καρτέλα 'Module', επιλέχθηκε το πάνελ SunPower SPR-320E-WHT-D όπως φαίνεται παρακάτω.

Photovoltaic, Residential
Location and Resource

CEC Performance Model with Module Database

Filter: SunPower SPR-32 Name

Name	Manufacturer	Technology	Bifacial	STC	PTC	A_c	Length	Width	N_s	I_sc_ref	V_oc_ref	L
SunPower SPR-230E-WHT-D	SunPower	Mono-c-Si	0	230.04	209.4	1.244	1.559	0.798	72	6.05	48.2	5
SunPower SPR-327NE-WHT-D	SunPower	Mono-c-Si	0	327.106	301.4	1.631	1.559	1.046	96	6.46	65.1	5

Module Characteristics at Reference Conditions

Reference conditions: Total Irradiance = 1000 W/m², Cell temp = 25 C

SunPower SPR-230E-WHT-D

Nominal efficiency	18.49 %	Temperature coefficients
Maximum power (Pmp)	230.040 Wdc	-0.430 %/°C
Max power voltage (Vmp)	40.5 Vdc	
Max power current (Imp)	5.7 Adc	
Open circuit voltage (Voc)	48.2 Vdc	-0.310
Short circuit current (Isc)	6.0 Adc	0.016 %/°C

Bifacial Specifications

Module is bifacial

Transmission fraction 0.013 0-1

Εικόνα 17. Επιλογή μοντέλου PV

Στην καρτέλα 'Inverter' επιλέχθηκε ένας inverter ο οποίος πρέπει να ικανοποιεί τουλάχιστον τα παρακάτω κριτήρια:

- Να έχει τιμή Nominal AC voltage ίση με 240 Vac , όσο και το δίκτυο της Δ.Ε.Η.,
- Να καλύπτει τα kW εγκατεστημένης ισχύος για το αντίστοιχο σενάριο (Για το παράδειγμα μας για το σενάριο 1 είναι 8 kW) (Η πλησιέστερη τιμή για το παράδειγμα για το συγκεκριμένο σενάριο είναι Pdc0 8051,82).

Τόσο η καρτέλα της επιλογής 'Inverter' όσο και τα κριτήρια επιλογής εμφανίζονται στην εικόνα 18.

Filter: SMA A Name

Name	Paco	Pdco	Pso	Pnt	Vac	Vdcmx	Vdco	Mppt_high	Mppt_low	C0	C1	C2	C3
SMA America: SB7.7-1TP-US-41 [208V]	6920	7205.75	19.6525	5...	208	480	365	480	270	-2.66307e-06	-2.75062e-05	0.00272231	-0.00128392
SMA America: SB7.7-1TP-US-41 [240V]	7760	8058.31	23.0707	5.1	240	480	365	480	270	-2.69699e-06	-3.37099e-05	0.00147471	-0.00161805
SMA America: SBS3.8-US-10 [240V]	3800	3923.94	27.4596	6...	240	550	360	550	220	-3.89864e-06	-1.9701e-05	0.00276128	0.00159082
SMA America: SBS5.0-US-10 [240V]	5000	5175.16	25.2786	6...	240	550	360	550	220	-3.28256e-06	-1.34142e-05	0.002327	0.00177911
SMA America: SBS6.0-US-10 [240V]	6000	6215.31	21.7431	6...	240	550	360	550	220	-2.44388e-06	-2.42642e-05	0.0021026	0.000188483

Efficiency Curve and Characteristics

SMA America: SB7.7-1TP-US-41 [240V]

Number of MPPT inputs 1

CEC weighted efficiency 96.815 %

European weighted efficiency 96.715 %

Datasheet Parameters

Maximum AC power	7760 Wac
Maximum DC power	8058.31 Wdc
Power use during operation	23.0707 Wdc
Power use at night	5.1 Wac
Nominal AC voltage	240 Vac
Maximum DC voltage	480 Vdc
Maximum DC current	22.0776 Adc
Minimum MPPT DC voltage	270 Vdc
Nominal DC voltage	365 Vdc
Maximum MPPT DC voltage	480 Vdc

Sandia Coefficients

C0	-2.696990e-06	1/Wac
C1	-3.370990e-05	1/Vdc
C2	1.474710e-03	1/Vdc
C3	-1.618050e-03	1/Vdc

Εικόνα 18. Επιλογή μοντέλου Inverter

Στην συνέχεια στην καρτέλα ‘System Design’ στην υποενότητα ‘Electrical Configuration’ επιλέχθηκε πόσα πάνελ είναι σε κάθε σειρά και πόσες σειρές από πάνελ υπάρχουν. Η καρτέλα εισαγωγής του αριθμού φωτοβολταϊκών πάνελ φαίνεται στην εικόνα 20.

DC Sizing and Configuration

To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.

Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
	(always enabled)	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable
Modules per string in subarray	9			
Strings in parallel in subarray	9			
Number of modules in subarray	45			
String Voc at reference conditions (V)	433.8			
String Vmp at reference conditions (V)	364.5			

Εικόνα 19. Επιλογή αριθμού συστοιχίας panel

Στην υποενότητα ‘Tracking & Orientation’ ορίζονται οι τιμές για την κλίση και για τον προσανατολισμό του φωτοβολταϊκού συστήματος (ορίζουμε έστω 30,10ο και 177,56ο αντίστοιχα). Η εισαγωγή των τιμών για την κλίση και τον προσανατολισμό φαίνεται στην εικόνα 21.

Tracking & Orientation

Fixed

1 Axis

2 Axis

Azimuth Axis

Seasonal Tilt

Tilt=latitude

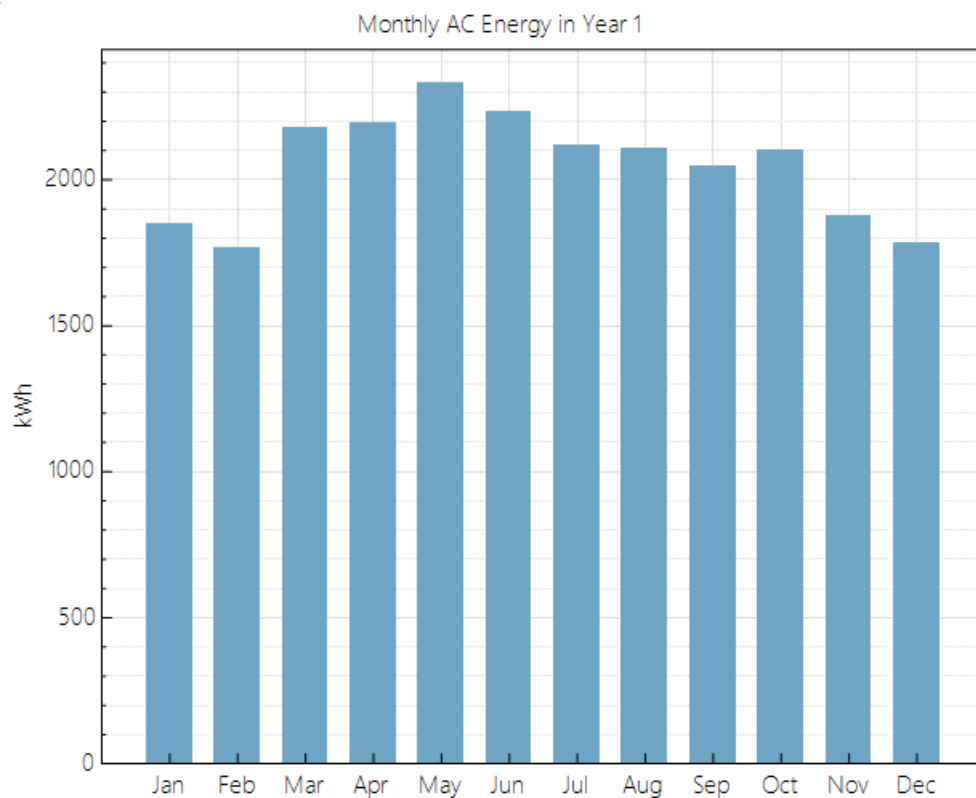
Tilt (deg)	30.1
Azimuth (deg)	177.56
Ground coverage ratio (GCR)	0.3
Tracker rotation limit (deg)	45
Backtracking	<input type="checkbox"/> Enable

Εικόνα 20. Καρτέλα εισαγωγής κλίσης και προσανατολισμού

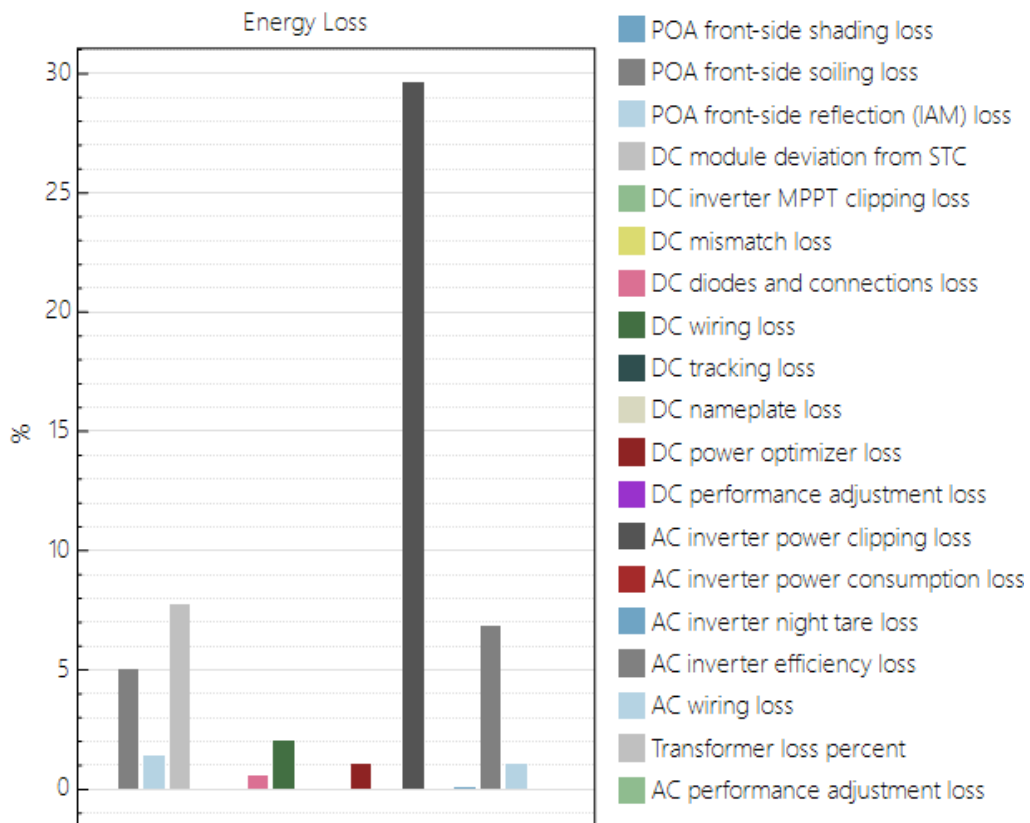
Τέλος επιλέγοντας ‘Simulate’ εξάγονται τα αποτελέσματα της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος τα οποία και παρουσιάζονται ακολούθως (εν προκειμένω για το σενάριο 1).

Πίνακας 24. Καρτέλα αποτελεσμάτων Φ/Β συστήματος

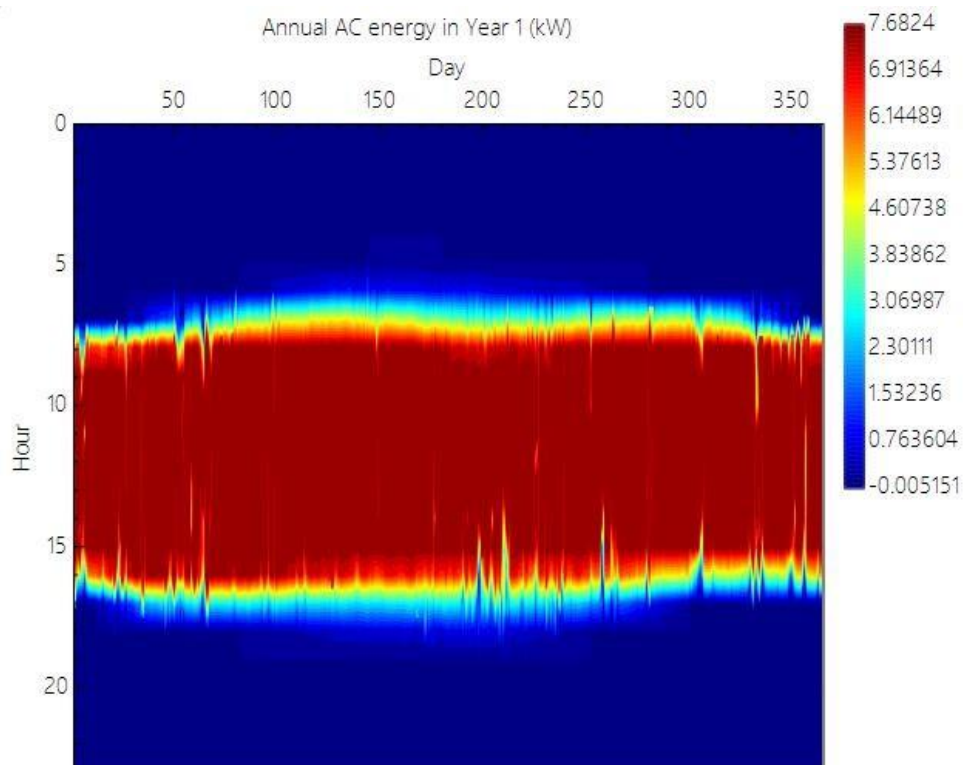
Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	24,567 kWh
DC capacity factor in Year 1	15.1%
Energy yield in Year 1	1,318 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.54
LCOE Levelized cost of energy nominal	9.67 ¢/kWh
LCOE Levelized cost of energy real	7.69 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$1,514
Electricity bill with system (year 1)	\$120
Net savings with system (year 1)	\$1,394
Net present value	-\$6,247
Simple payback period	NaN
Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$50,710
Equity	\$0
Debt	\$50,710



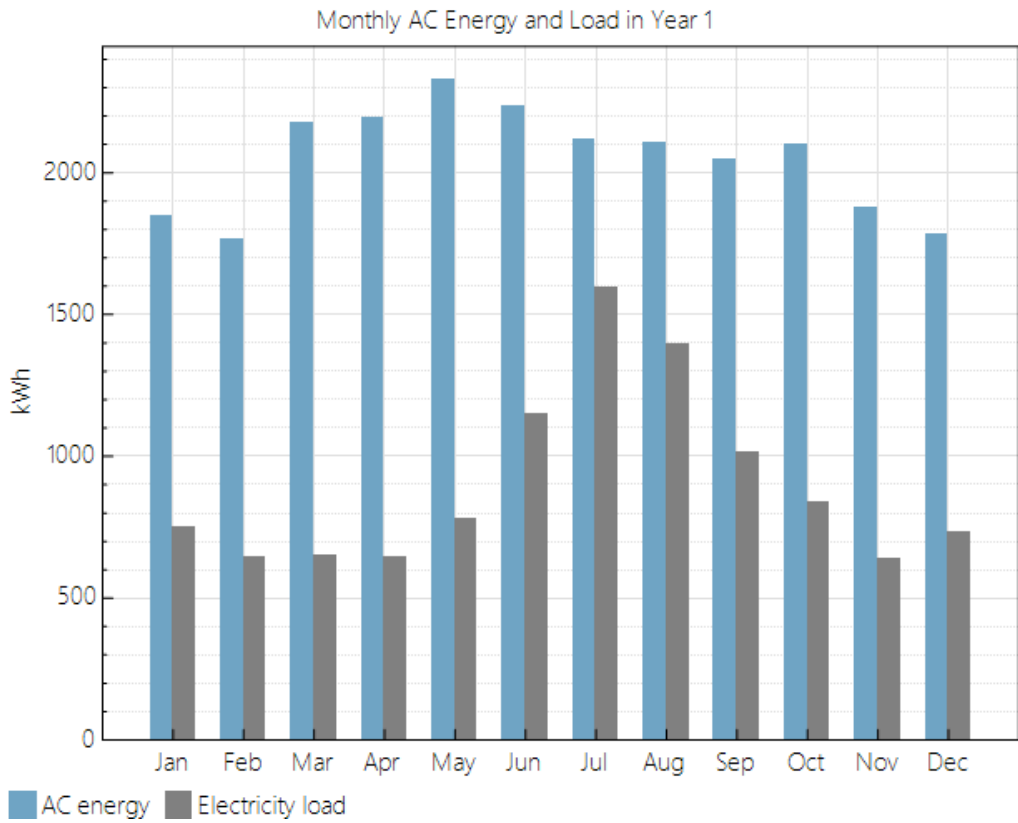
Εικόνα 21. Μηνιαία ενέργεια κατά το πρώτο έτος



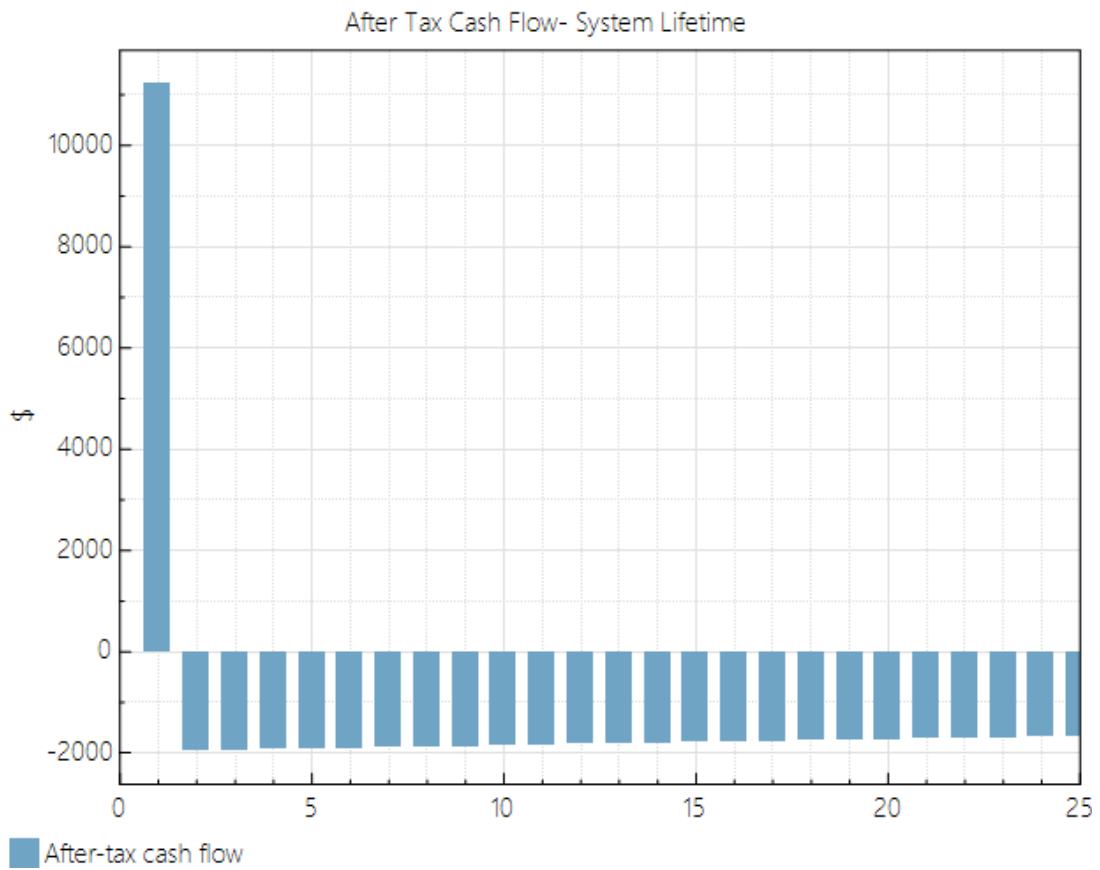
Εικόνα 22. Ενεργειακές απώλειες.



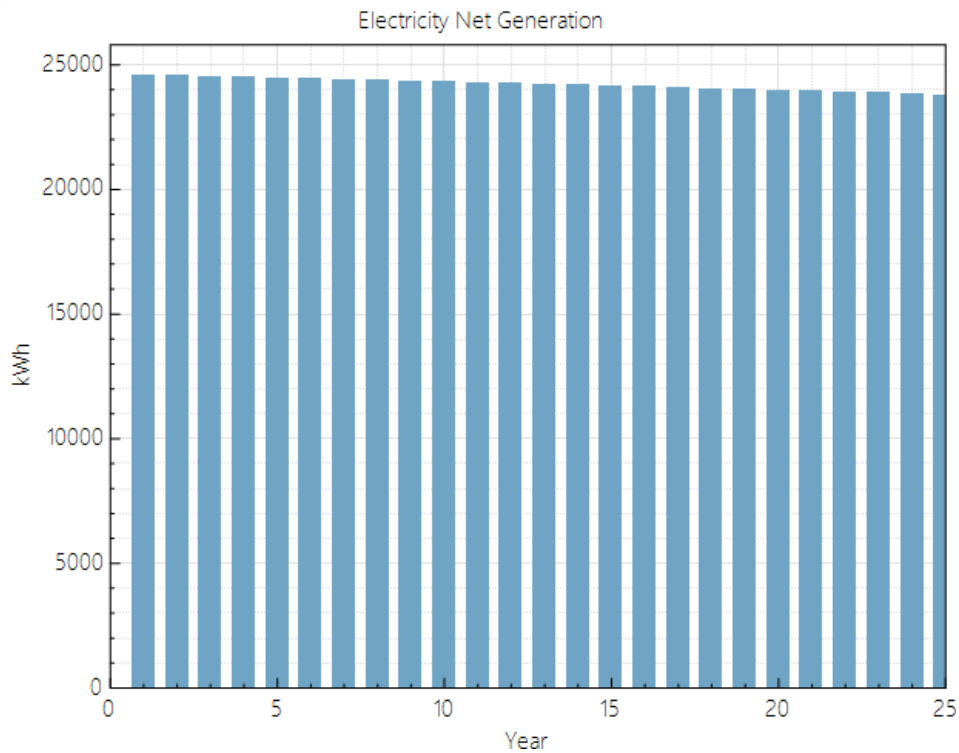
Εικόνα 23. Μηνιαία ενέργεια κατά το έτος 1 σε kW.



Εικόνα 24. Μηνιαία ενέργεια και φορτίο κατά το 1^ο έτος.

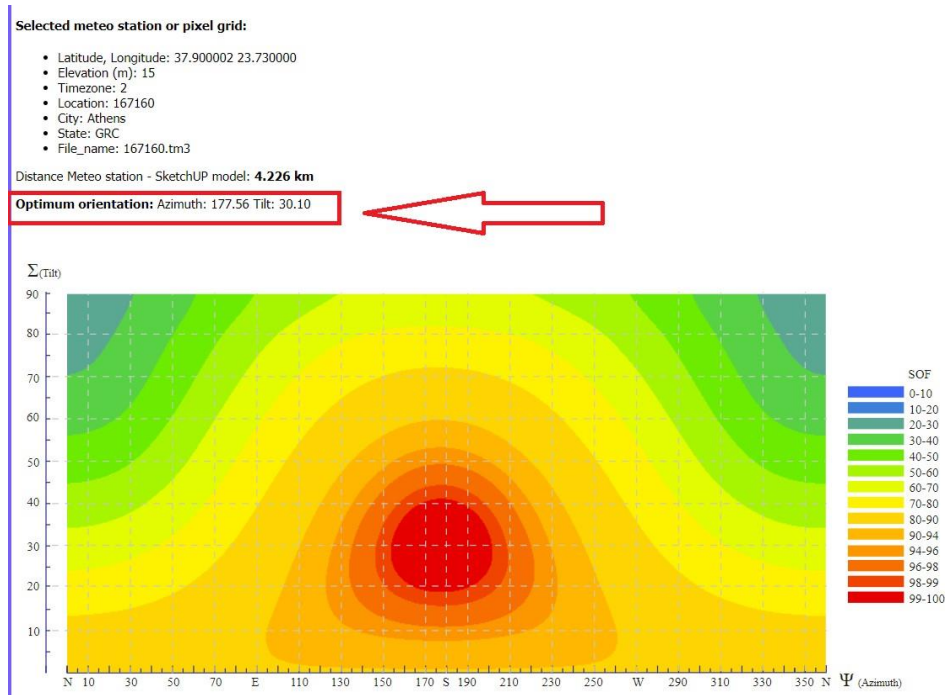


Εικόνα 25. Χρηματοροές ΦΒ συστήματος κατά τη διάρκεια ζωής του



Εικόνα 26. Καθαρή παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια ζωής του ΦΒ συστήματος

Εκτελούμε εκ νέου προσομοιώσεις για κάποιες άλλες γωνίες κλίσης ΦΒ στοιχείων και διευθύνσεων προσανατολισμού (έστω Σενάρια Σχεδιασμού ΦΒ 2-4). Με χρήση του add on του SAM ονόματι Skelion προσδιορίζονται οι βέλτιστες και οι χειρίστες διευθύνσεις προσανατολισμού των ΦΒ στοιχείων.



Εικόνα 27. Εύρεση βέλτιστου προσανατολισμού ΦΒ με επίλυση στο Skelion (Azimuth = 177.56, Tilt=30.10)

Με βάση αυτόν τον βέλτιστο προσανατολισμό αλλά και τη χρωματική κλίμακα που προέκυψε, καταστρώνουμε τα 4 σενάρια μελέτης ΦΒ στοιχείων στην οροφή του κτηρίου μελέτης, ούτως ώστε να καταλήξουμε στη βέλτιστη δυνατή διάταξη των Panel.

Παρουσιάζονται οι πίνακες που προκύπτουν με τη σύνοψη των αποτελεσμάτων σε κάθε περίπτωση.

Πίνακας 25. Σενάρια Μελέτης Τοποθέτησης ΦΒ στοιχείων στο δώμα της μονοκατοικίας μελέτης

Σενάριο	Προσανατολισμός	Κλίση
Σενάριο 1	177,56ο (Βέλτιστος)	30,10ο (Βέλτιστη)
Σενάριο 2	90ο (Χείριστος)	30,10ο (Βέλτιστη)
Σενάριο 3	177,56ο (Βέλτιστος)	90ο (Χείριστη)
Σενάριο 4	90ο (Χείριστος)	90ο (Χείριστη)

Πίνακας 26. Σύνοψη αποτελεσμάτων σεναρίου 2

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	21,978 kWh
DC capacity factor in Year 1	13.5%
Energy yield in Year 1	1,180 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.58
LCOE Levelized cost of energy nominal	10.83 ¢/kWh
LCOE Levelized cost of energy real	8.61 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$1,514
Electricity bill with system (year 1)	\$439
Net savings with system (year 1)	\$1,074
Net present value	\$-10,230
Simple payback period	NaN
Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$50,710
Equity	\$0
Debt	\$50,710

Πίνακας 27. Σύνοψη αποτελεσμάτων σεναρίου 3

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	18,206 kWh
DC capacity factor in Year 1	11.2%
Energy yield in Year 1	977 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.65
LCOE Levelized cost of energy nominal	13.18 €/kWh
LCOE Levelized cost of energy real	10.49 €/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$1,514
Electricity bill with system (year 1)	\$230
Net savings with system (year 1)	\$1,284
Net present value	-\$7,740
Simple payback period	NaN
Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$50,710
Equity	\$0
Debt	\$50,710

Πίνακας 28. Σύνοψη αποτελεσμάτων σεναρίου 4

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	20,792 kWh
DC capacity factor in Year 1	12.7%
Energy yield in Year 1	1,116 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.56
LCOE Levelized cost of energy nominal	11.44 €/kWh
LCOE Levelized cost of energy real	9.10 €/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$1,514
Electricity bill with system (year 1)	\$515
Net savings with system (year 1)	\$998
Net present value	-\$11,102
Simple payback period	NaN
Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$50,710
Equity	\$0
Debt	\$50,710

Διαπιστώνουμε ότι τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας την πετυχαίνουμε στο σενάριο 1 (24567kWh παραγωγή κατά το 1^ο έτος) που ουσιαστικά επαληθεύει την παραδοχή ότι έχουμε τη βέλτιστη κλίση και το βέλτιστο προσανατολισμό ΦΒ συστοιχιών στο σημείο ενδιαφέροντος. Το χειρότερο σενάριο από πλευράς παραγωγής ενέργειας είναι το 3 (18206kWh).

Με γνώμονα τα αποτελέσματα αυτού του σεναρίου σχεδιασμού ΦΒ στοιχείων στην οροφή της κατοικίας μελέτης, τοποθετούμε τα αντίστοιχα δεδομένα στο Σενάριο 3 του TEE KENAK (προσθήκη πεδίου ΦΒ στοιχείων) και προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα ενεργειακής κατάταξης του κτηρίου

(σημειώνεται πως εξακολουθεί να υφίσταται η ύπαρξη ηλιακού θερμοσίφωνα αλλά και της κατάλληλης μόνωσης δώματος, όπως προέκυψε από τα 2 προηγούμενα σενάρια όπου οι εν λόγω παρεμβάσεις εξετάστηκαν ξεχωριστά και οδήγησαν σε αξιόλογες ενεργειακές βελτιώσεις).

Πίνακας 29. Ενεργειακή Κατάταξη κτηρίου με προσθήκη ΦΒ πάνελ στην οροφή του κτηρίου (Σενάριο 3)



Παρατηρούμε ότι πλέον το κτήριο ήδη έχει μεταβεί στην ανώτερη ενεργειακή κατηγορία (αυτή της σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης) που είναι η A+. Συγκεκριμένα, έχει επιτευχθεί βελτίωση ως προς την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε σχέση με το υπάρχον κτήριο ίση με:

$$A = \frac{338.4 - 55.6}{338.4} = 83.57\%$$

3.5.3.1. Οικονομική αποτίμηση παρεμβάσεων του Σεναρίου 3

Στην παρούσα ενότητα παραθέτουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την οικονομική αποτίμηση των προτεινόμενων παρεμβάσεων του σεναρίου. Προκειμένου να καθοριστεί η βελτίωση της ενεργειακής δαπάνης για το κτήριο της μελέτης περίπτωσης, αρχικά αθροίζουμε την ενεργειακή

κατανάλωση για το υφιστάμενο κτίριο και για το κτίριο κατόπιν εφαρμογής των παρεμβάσεων του σεναρίου 3 για κάθε τελική χρήση.

Για να υπολογίσουμε τη συνολική κατανάλωση σε kWh/m² των 2 κτιρίων, πρέπει να προσθέσουμε τις τιμές της πρωτογενούς ενέργειας για κάθε τελική χρήση των δύο κτιρίων:

Για το Υπάρχον κτίριο:

Θέρμανση: 245.4 kWh/m²

Ψύξη: 36.5 kWh/m²

ZNX: 56.4 kWh/m²

Φωτισμός: 0.0 kWh/m²

Συνεισφορά ΑΠΕ · ΣΗΘ: 0.0 kWh/m²

Σύνολο = 338.4 kWh/m² (όπως δίνεται)

Για το Σενάριο 3:

Θέρμανση: 113.3 kWh/m²

Ψύξη: 14 kWh/m²

ZNX: 31.6 kWh/m² (παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα λάθος στον χαρακτήρα "," και θα το αντικαταστήσουμε με ".")

Φωτισμός: 0.0 kWh/m²

Συνεισφορά ΑΠΕ · ΣΗΘ: 103.2 kWh/m²

Σύνολο αφαιρούμενης της συνεισφοράς ΑΠΕ ΣΗΘ = 55.6 kWh/m² (όπως δίνεται)

Το συνολικό κόστος για την εγκατάσταση των Φωτοβολταϊκών πάνελ ανέρχεται σε 11.000 ευρώ.

Η διαφορά στην ενεργειακή κατανάλωση η οποία επιτυγχάνεται μεταξύ του υφιστάμενου κτιρίου και του κτιρίου κατόπιν εφαρμογής των παρεμβάσεων του σεναρίου 1 είναι $338.4 - 55.6 = 282.8$ kWh/m².

Συνεπώς, η ενέργεια η οποία εξοικονομείται κατόπιν εφαρμογής των παρεμβάσεων του σεναρίου 1 ανέρχεται σε $56.4 \text{ kWh/m}^2 \times 67.5 \text{ m}^2$ (εμβαδόν κτιρίου) = 19.089 kWh.

Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός πως το κόστος της kWh διαμορφώνεται αυτή τη στιγμή σε 41 λεπτά ανά kWh για καταναλώσεις πάνω από 500 kWh, τότε έχουμε $19.089 \text{ kWh} \times 40,9 = 7.826$ ευρώ.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα ανωτέρω και συνεκτιμώντας ως δεδομένο στους υπολογισμούς μας πως το συνολικό κόστος της εφαρμογής της παρέμβασης του σεναρίου 3 ανέρχεται σε 11.000 ευρώ, υπολογίζουμε ακολούθως την NPV.

Για τους υπολογισμούς μας λαμβάνουμε ως επιτόκιο αναφοράς το 2% και ως χρονικό ορίζοντα τα 5 έτη.

Κόστος Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Πάνελ: 11.000 ευρώ

Ετήσιες Εξοικονομήσεις από την Παρέμβαση: 7.826 ευρώ

Επιτόκιο Αναφοράς: 2%

Χρόνος Ζωής της Παρέμβασης: 5 έτη

Χρησιμοποιώντας τη φόρμουλα για την NPV:

$$\text{Έτος 1: } \frac{7.8265v\acute{\omega}}{1.02} = 7.672 \text{ ευρώ}$$

$$\text{Έτος 2: } \frac{7.8265v\acute{\omega}}{1.02^2} = 7.523 \text{ ευρώ}$$

$$\text{Έτος 3: } \frac{7.8265v'}{1.02^3} = 7.378 \text{ ευρώ}$$

$$\text{Έτος 4: } \frac{7.8265v'}{1.02^4} = 7.236 \text{ ευρώ}$$

$$\text{Έτος 5: } \frac{7.8265v\acute{\iota}}{1.02^5} = 7.099 \text{ ευρώ}$$

Συνολική NPV = 7.672+7.523+7.378+7.236+7.099-11.000 = 36.908 ευρώ - 11.000 ευρώ = 25.908 ευρώ

3.5.4. Σενάριο 4. Εγκατάσταση Αντλίας Θερμότητας, συνδυαστικά με εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών Πάνελ στην οροφή του κτηρίου και ταυτόχρονη εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη και μόνωσης δώματος

Στο εν λόγω σενάριο κρατάμε όλες τις παρεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν στα 3 προηγούμενα βελτιωτικά σενάρια και επιπροσθέτως θέτουμε αντικατάσταση του υπάρχοντος λέβητα με σύστημα αντλίας θερμότητας. Τα χαρακτηριστικά που επιλέγουμε για την αντλία θερμότητας περιγράφονται με την αντίστοιχη αιτιολόγηση παρακάτω:

Η επιλογή της κατάλληλης αντλίας θερμότητας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το εμβαδόν του σπιτιού, τον τύπο της θέρμανσης (κεντρική θέρμανση, υποδαπέδια θέρμανση κλπ.), την τοποθεσία του σπιτιού και τις κλιματικές συνθήκες, καθώς και τις ενεργειακές ανάγκες του σπιτιού.

Για ένα σπίτι 67.5 τ.μ. στην Ξάνθη, θα μπορούσατε να εξετάσετε την εγκατάσταση μιας αερόθερμης αντλίας θερμότητας, η οποία είναι ιδιαίτερα αποδοτική σε περιοχές με μέτριο κλίμα, όπως η Ξάνθη.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά μιας τέτοιας αντλίας θερμότητας μπορεί να περιλαμβάνουν:

Ισχύς: Η ισχύς της αντλίας θερμότητας θα πρέπει να είναι αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του σπιτιού. Για ένα σπίτι 67.5 τ.μ., μια αντλία θερμότητας με ισχύ περίπου 5-6 kW θα μπορούσε να είναι κατάλληλη, ανάλογα με την ενεργειακή απόδοση του σπιτιού.

Συντελεστής Απόδοσης (COP): Ο συντελεστής απόδοσης (COP) είναι ένας δείκτης της αποδοτικότητας της αντλίας θερμότητας. Μια αντλία θερμότητας με υψηλό COP θα είναι πιο αποδοτική και θα καταναλώνει λιγότερη ενέργεια.

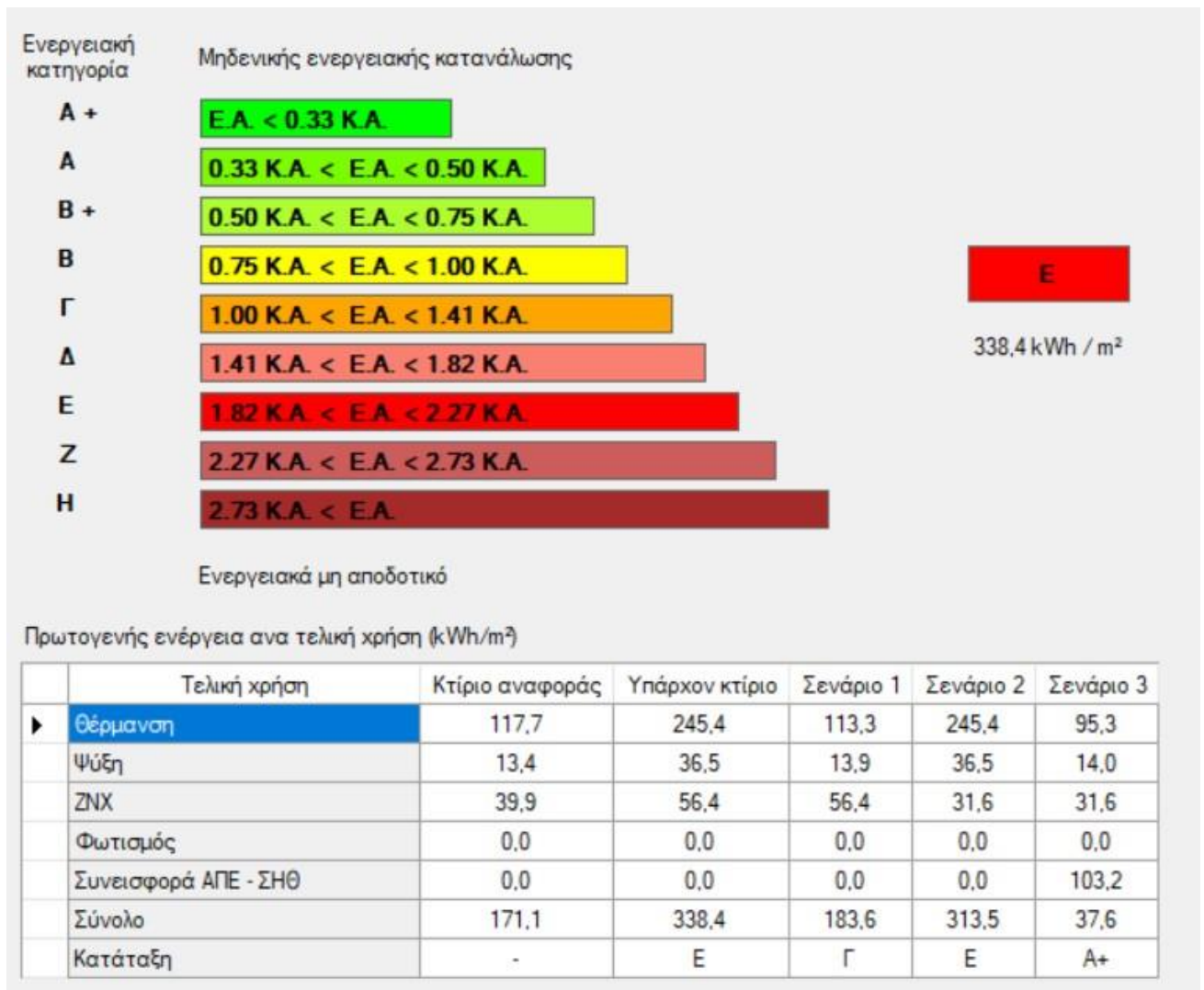
Θερμοκρασία Λειτουργίας: Οι αντλίες θερμότητας έχουν ένα εύρος θερμοκρασιών στο οποίο μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά. Θα πρέπει να επιλεγεί μια αντλία θερμότητας που μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά στις τυπικές θερμοκρασίες της Ξάνθης.

Ο Συντελεστής Απόδοσης (COP) για μια αντλία θερμότητας μπορεί να κυμαίνεται από 3 έως 5, ανάλογα με το μοντέλο και τις συνθήκες λειτουργίας. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε 1 kW ενέργειας που καταναλώνει η αντλία θερμότητας, παράγει από 3 έως 5 kW θερμικής ενέργειας. Εν προκειμένω επιλέγουμε αντλία θερμότητας με COP=4.

Όσον αφορά τη θερμοκρασία λειτουργίας, οι περισσότερες αερόθερμες αντλίες θερμότητας μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά σε εξωτερικές θερμοκρασίες από -20°C έως 35°C. Ωστόσο, η απόδοση της αντλίας θερμότητας μπορεί να μειωθεί σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Για αυτό το λόγο, σε περιοχές με πολύ κρύους χειμώνες, μπορεί να είναι απαραίτητη η χρήση επιπλέον πηγής θέρμανσης.

Τα αποτελέσματα με ταυτόχρονη παρουσία συστήματος ΦΒ πάνελ στην οροφή του κτηρίου και της αντλίας θερμότητας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 30. Ενεργειακή Κατάταξη κτηρίου με προσθήκη αντλίας θερμότητας και ΦΒ πάνελ στην οροφή του κτηρίου (Σενάριο 4)



Παρατηρούμε ότι πλέον το κτήριο παραμένει στην ανώτερη ενεργειακή κατηγορία (αυτή της σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης) που είναι η A+ και μάλιστα έχει λιγότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε σχέση με το σενάριο 3 (37.6kWh/m² σε σχέση με 55.6kWh/m² του σεναρίου όπου εγκαταστήσαμε μόνο ΦΒ πάνελ στην οροφή). Συγκεκριμένα, έχει επιτευχθεί βελτίωση ως προς την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε σχέση με το υπάρχον κτήριο ίση με:

$$A = \frac{338.4 - 37.6}{338.4} = 88.89\%$$

3.5.4.1. Οικονομική αποτίμηση παρεμβάσεων του Σεναρίου 4

Στην παρούσα ενότητα παραθέτουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την οικονομική αποτίμηση των προτεινόμενων παρεμβάσεων του σεναρίου. Προκειμένου να καθοριστεί η βελτίωση της ενεργειακής δαπάνης για το κτήριο της μελέτης περίπτωσης, αρχικά αθροίζουμε την ενεργειακή

κατανάλωση για τα υφιστάμενο κτίριο και για το κτίριο κατόπιν εφαρμογής των παρεμβάσεων του σεναρίου 4 για κάθε τελική χρήση. Στο εν λόγω σενάριο κρατάμε όλες τις παρεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν στα 3 προηγούμενα βελτιωτικά σενάρια και επιπροσθέτως θέτουμε αντικατάσταση του υπάρχοντος λέβητα με σύστημα αντλίας θερμότητας

Για να υπολογίσουμε τη συνολική κατανάλωση σε kWh/m² των 2 κτιρίων, πρέπει να προσθέσουμε τις τιμές της πρωτογενούς ενέργειας για κάθε τελική χρήση των δύο κτιρίων:

Για το Υπάρχον κτίριο:

Θέρμανση: 245.4 kWh/m²

Ψύξη: 36.5 kWh/m²

ZNX: 56.4 kWh/m²

Φωτισμός: 0.0 kWh/m²

Συνεισφορά ΑΠΕ · ΣΗΘ: 0.0 kWh/m²

Σύνολο = 338.4 kWh/m² (όπως δίνεται)

Για το Σενάριο 4:

Θέρμανση: 95.3 kWh/m²

Ψύξη: 14 kWh/m²

ZNX: 31.6 kWh/m² (παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα λάθος στον χαρακτήρα "," και θα το αντικαταστήσουμε με ".")

Φωτισμός: 0.0 kWh/m²

Συνεισφορά ΑΠΕ · ΣΗΘ: 103.2 kWh/m²

Σύνολο αφαιρούμενης της συνεισφοράς ΑΠΕ ΣΗΘ = 37.6 kWh/m² (όπως δίνεται)

Η διαφορά στην ενεργειακή κατανάλωση η οποία επιτυγχάνεται μεταξύ του υφιστάμενου κτιρίου και του κτιρίου κατόπιν εφαρμογής των παρεμβάσεων του σεναρίου 4 είναι $338.4 - 37.6 = 300.8$ kWh/m².

Συνεπώς, η ενέργεια η οποία εξοικονομείται κατόπιν εφαρμογής των παρεμβάσεων του σεναρίου 4 ανέρχεται σε $300 \text{ kWh/m}^2 \times 67.5 \text{ m}^2$ (εμβαδόν κτιρίου) = 20.250 kWh.

Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός πως το κόστος της kWh διαμορφώνεται αυτή τη στιγμή σε 41 λεπτά ανά kWh για καταναλώσεις πάνω από 500 kWh, τότε έχουμε $20.250 \text{ kWh} \times 40,9 = 8.302$ ευρώ.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα ανωτέρω και συνεκτιμώντας ως δεδομένο στους υπολογισμούς μας πως το συνολικό κόστος της εφαρμογής της παρέμβασης του σεναρίου 4 ανέρχεται σε 19.780 ευρώ, υπολογίζουμε ακολούθως την NPV.

Για τους υπολογισμούς μας λαμβάνουμε ως επιτόκιο αναφοράς το 2% και ως χρονικό ορίζοντα τα 5 έτη.

Κόστος Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Πάνελ: 11.000 ευρώ

Κόστος εγκατάστασης αντλίας θερμότητας: 6.500 ευρώ

Κόστος εγκατάστασης μόνωσης οροφής: 1.080 ευρώ

Κόστος Ηλιακού Θερμοσίφωνα: 1.200 ευρώ

Επιδότηση: 60% του κόστους του ηλιακού θερμοσίφωνα = 0.60×1.200 ευρώ = 720 ευρώ

Κόστος μετά την Επιδότηση: 1.200 ευρώ - 720 ευρώ = 480 ευρώ

Εξοικονομούμενα Κόστη από Εξοικονόμηση Ενέργειας = 8.302 ευρώ/έτος

Επιτόκιο Αναφοράς: 2%

Χρόνος Ζωής της Παρέμβασης: 5 έτη

Χρησιμοποιώντας τη φόρμουλα για την NPV:

$$\text{Έτος 1: } \frac{8.302 \text{€} \cdot \text{v}^1}{1.02} = 8.127 \text{€} \text{ ευρώ}$$

$$\text{Έτος 2: } \frac{8.302 \text{€} \cdot \text{v}^2}{1.02^2} = 7.976 \text{€} \text{ ευρώ}$$

$$\text{Έτος 3: } \frac{8.302 \text{€} \cdot \text{v}^3}{1.02^3} = 7.819 \text{€} \text{ ευρώ}$$

$$\text{Έτος 4: } \frac{8.302 \text{€} \cdot \text{v}^4}{1.02^4} = 7.666 \text{€} \text{ ευρώ}$$

$$\text{Έτος 5: } \frac{8.302 \text{€} \cdot \text{v}^5}{1.02^5} = 7.516 \text{€} \text{ ευρώ}$$

Συνολική NPV = $8.137 + 7.976 + 7.819 + 7.666 + 7.516 - 19.060 = 20.114$ ευρώ.

3.5.5. Αποτίμηση της NPV των τεσσάρων σεναρίων

Στην παρούσα ενότητα εξετάζουμε την NPV για κάθε σενάριο.

Σενάριο 1: NPV = 12.124 ευρώ

Σενάριο 2: NPV = 5.975 ευρώ

Σενάριο 3: NPV = 25.908 ευρώ

Σενάριο 4: NPV = 20.114 ευρώ

Βάσει των παραπάνω υπολογισμών, το Σενάριο 3 παρουσιάζει την υψηλότερη NPV στο ποσό των 25.908 ευρώ. Αυτό σημαίνει ότι το Σενάριο 3 είναι το πιο κερδοφόρο από όλα τα σενάρια, λαμβάνοντας υπόψη το επιτόκιο αναφοράς και τον χρονικό ορίζοντα των 5 ετών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. Συζήτηση και σύνδεση με βιβλιογραφία

Τα ευρήματα αυτής της μελέτης ευθυγραμμίζονται με την υπάρχουσα βιβλιογραφία για βελτιώσεις ενεργειακής απόδοσης σε κτίρια κατοικιών. Η χρήση φωτοβολταϊκών (PV) πάνελ και αντλιών θερμότητας έχει αναγνωριστεί ευρέως ως αποτελεσματικές στρατηγικές για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και τη μείωση των εκπομπών άνθρακα (Riabchuk, Hagel, Germaine, & Zharova, 2022; Himeur, Ghanem, Alsalemi, Bensaali, & Amira22).

Η σημαντική βελτίωση της ενεργειακής βαθμολογίας του κτιρίου από την κατηγορία Δ σε A+ μετά την υλοποίηση των παρεμβάσεων είναι συνεπής με τη βιβλιογραφία. Για παράδειγμα, οι Riabchuk et al. (2022) διαπίστωσε ότι ένα σύστημα συστάσεων για ενεργειακή απόδοση σε κτίρια κατοικιών θα μπορούσε να προσφέρει εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους 18% και άνω για τα περισσότερα νοικοκυριά που μελετήθηκαν. Ομοίως, οι Himeur et al. (2020) τόνισε τον ρόλο της τεχνητής νοημοσύνης στον εντοπισμό της ανώμαλης κατανάλωσης ενέργειας και στην προώθηση ενεργειακά αποδοτικής συμπεριφοράς.

Η χρήση ενός συστήματος αντλίας θερμότητας σε συνδυασμό με Φ/Β πάνελ, όπως προτείνεται σε αυτή τη μελέτη, υποστηρίζεται από τα ευρήματα των Himeur, Alsalemi, Al-Kababji, Bensaali και Amira (2021). Διεξήγαγαν μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση των συστημάτων συστάσεων ενεργειακής απόδοσης και διαπίστωσαν ότι η εγκατάσταση αυτών των συστημάτων στα κτίρια θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση και να μειώσει το κόστος των αναπτυγμένων λύσεων.

Επιπλέον, η έμφαση της μελέτης στη σημασία της εξέτασης της τοποθεσίας και των κλιματικών συνθηκών κατά την επιλογή μιας αντλίας θερμότητας ευθυγραμμίζεται με τα ευρήματα των Farjadnia, Fontan, Russo, Johansson και Molinari (2023). Διαπίστωσαν ότι οι φυσικές περιβαλλοντικές μεταβλητές, συμπεριλαμβανομένων των κλιματικών παραμέτρων εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, επηρέασαν σημαντικά τα πρότυπα συμπεριφοράς των επιβατών που σχετίζονται με τη λειτουργία του παραθύρου, γεγονός που με τη σειρά του επηρέασε την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.

Συμπερασματικά, τα ευρήματα αυτής της μελέτης συμβάλλουν στην αυξανόμενη βιβλιογραφία σχετικά με τις βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης σε κτίρια κατοικιών. Η σημαντική βελτίωση της ενεργειακής κατάταξης του κτιρίου μετά την υλοποίηση των παρεμβάσεων υπογραμμίζει τις δυνατότητες αυτών των στρατηγικών για την προώθηση ενεργειακά αποδοτικής συμπεριφοράς και τη μείωση των εκπομπών άνθρακα.

5.2. Σύνοψη Συμπερασμάτων

Συμπερασματικά, αυτή η μελέτη έχει καταδείξει τις σημαντικές δυνατότητες για βελτιώσεις ενεργειακής απόδοσης σε κτίρια κατοικιών μέσω της εφαρμογής φωτοβολταϊκών (PV) πάνελ, ηλιακών

θερμοσιφώνων και συστημάτων αντλιών θερμότητας. Η μελέτη περίπτωσης μιας μονοκατοικίας στην Ξάνθη, Ελλάδα, έδειξε ότι αυτές οι παρεμβάσεις θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου από την κατηγορία Δ σε A+, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν μηδενικό επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας.

Η μελέτη τόνισε επίσης τη σημασία της εξέτασης της τοποθεσίας και των κλιματικών συνθηκών κατά την επιλογή και το μέγεθος του συστήματος αντλίας θερμότητας. Η οικονομική ανάλυση αποκάλυψε περαιτέρω ότι η εγκατάσταση ενός συστήματος αντλίας θερμότητας, σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά πάνελ και ηλιακό θερμοσίφωνα, θα μπορούσε να είναι μια οικονομικά αποδοτική λύση για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση του ενεργειακού κόστους μακροπρόθεσμα.

Η οικονομική αποτίμηση των παρεμβάσεων οι οποίες προτείνονται κατά σενάριο για τα τέσσερα διαφορετικά σενάρια παρεμβάσεων ανέδειξε πως το Σενάριο 3 παρουσιάζει την υψηλότερη NPV στο ποσό των 25.908 ευρώ. Αυτό σημαίνει ότι το Σενάριο 3 είναι το πιο κερδοφόρο από όλα τα σενάρια, λαμβάνοντας υπόψη το επιτόκιο αναφοράς και τον χρονικό ορίζοντα των 5 ετών.

Τα ευρήματα ευθυγραμμίζονται με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, ενισχύοντας τον ρόλο των ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και συστημάτων στην προώθηση της βιώσιμης χρήσης ενέργειας σε κτίρια κατοικιών. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η αποτελεσματικότητα αυτών των παρεμβάσεων μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τα ειδικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και τη θέση του.

Η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να διερευνήσει άλλες ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες και στρατηγικές, όπως προηγμένα μονωτικά υλικά και έξυπνα οικιακά συστήματα, για την περαιτέρω ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων κατοικιών. Επιπλέον, θα μπορούσαν να διεξαχθούν πιο ολοκληρωμένες μελέτες για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων αυτών των παρεμβάσεων, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητάς τους να μειώσουν τις εκπομπές άνθρακα και να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των κατοίκων.

Συνολικά, αυτή η μελέτη συμβάλλει στον αυξανόμενο όγκο γνώσεων σχετικά με την ενεργειακή απόδοση σε κτίρια κατοικιών και παρέχει πολύτιμες γνώσεις για τους ιδιοκτήτες κατοικιών, τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους ερευνητές στον τομέα αυτό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Alshaikh, F., Rezgui, Y., & Li, H. (2019). Building-integrated photovoltaic (BIPV) modules: Technologies, applications, and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 41-59. doi:10.1016/j.rser.2018.12.042.
- Automatic Heating. (2023). *Heat Pump Efficiency*. In *Complete Guide to Heat Pumps*. Retrieved from <https://www.automaticheating.com.au/complete-guide-to-heat-pumps/heat-pump-efficiency/>
- Balaras, C. A., El-Sharkawy, I. I., Dascalaki, E. G., & Kontoyiannidis, S. (2020). Energy and economic performance assessment of hybrid energy systems for heating applications. *Energy*, 212, 118604.
- Climate of Xanthi (2023) <https://www.wolframalpha.com/input?i=climate+of+Xanthi>, Retrieved 22-7-2023
- Davoudpour, H., Ahmadi, P., & Chileshe, N. (2021). Optimal operation of a PV-battery-heat pump system with demand response considering power-to-heat conversion. *Applied Energy*, 289, 116693.
- Deng, S., Wang, R. Z., Luo, Y., Zeng, R., & Wu, J. (2020). A review of heat pump systems for heating and cooling applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110269.
- Deng, Z., Zou, P., Fan, Y., & Yu, Y. (2021). Energy, economic and environmental performance of combined photovoltaic heat pump systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110601.
- Farjadnia, M., Fontan, A., Russo, A., Johansson, K. H., & Molinari, M. (2023). What influences occupants' behavior in residential buildings: An experimental study on window operation in the KTH Live-In Lab. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2307.08090v1>
- Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., & Dunlop, E. D. (2019). Solar cell efficiency tables (version 54). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 27(7), 565-575.
- Himeur, Y., Alsalemi, A., Al-Kababji, A., Bensaali, F., & Amira, A. (2021). A survey of recommender systems for energy efficiency in buildings: Principles, challenges and prospects. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2102.07654v1>
- Himeur, Y., Ghanem, K., Alsalemi, A., Bensaali, F., & Amira, A. (2020). Artificial Intelligence based Anomaly Detection of Energy Consumption in Buildings: A Review, Current Trends and New Perspectives. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2010.04560v5>
- Hirata, K., Akisawa, A., & Kashiwagi, T. (2018). A combined air-conditioning and hot water supply system with a photovoltaic and heat pump. *Energy Procedia*, 150, 247-252.
- Hong, T., Shen, W., & Feng, W. (2017). Integrated photovoltaic and air-source heat pump system for residential applications. *Energy and Buildings*, 149, 366-376.

-
- IEA. (2020). *Global energy review 2020: The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions*. International Energy Agency.
- Kazmerski, L. L. (2012). Photovoltaics: A global review. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 20(1), 1-12.
- Kneifel, J., Finkbeiner, M., & Zarfl, C. (2016). Integrating photovoltaic and heat pump systems for building applications. *Energy Procedia*, 91, 73-82. doi:10.1016/j.egypro.2016.06.199.
- Kumar, A., Saini, R. P., & Thakur, A. (2021). Recent advancements in photovoltaic systems: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110226.
- Li, H., Zhang, X., Hu, Y., Chen, X., & Liu, H. (2022). A comprehensive review on heat pumps: Technological developments, application potentials, and future trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112973.
- Li, L., Lu, L., & Wang, Z. (2021). Techno-economic analysis and environmental impact assessment of photovoltaic systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 111044.
- Lu, S., Zhang, X., Wang, L., & Li, H. (2019). Heat pump systems for heating and cooling in residential buildings: A review of the available technologies. *Applied Energy*, 238, 917-935.
- Lu, Y., Xu, J., Wang, Y., Li, X., & Gao, X. (2020). A comprehensive review on integration of photovoltaic and heat pump systems in buildings. *Energy Conversion and Management*, 204, 112324.
- Mahmud, M., Huda, N., Farjana, S., & Lang, C. (2018). Environmental Impacts of Solar-Photovoltaic and Solar-Thermal Systems with Life-Cycle Assessment. *Energies*, 11(9), 2346. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/en11092346>
- Mekhilef, S., Saidur, R., Kamalisarvestani, M., & Safari, A. (2012). Effectiveness of solar energy utilization and its barriers in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 386-396.
- Nassar, M. A., Hussain, A., & Azzopardi, B. J. (2018). Performance analysis of grid-connected photovoltaic systems for residential buildings in the hot desert climate of Kuwait. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 26, 10-18.
- Patel, D., Albrecht, P., Bremicker, M., & Mathiak, G. (2018). Optimization of the self-consumption of a heat pump by using a photovoltaic system and a thermal energy storage. *Energy Procedia*, 149, 715-720.
- Peng, C., Wang, Y., Lu, L., & Zhang, X. (2021). A review of heat pump assisted solar thermal systems for domestic hot water applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110156.
- Radhi, H., Gomaa, A., & Al Salman, A. (2019). Integration of photovoltaic-thermal solar systems with ground source heat pumps for energy-efficient buildings. *Energy Procedia*, 158, 1016-1021.
- Razykov, T. M., Ferekides, C. S., Morel, D., Stefanakos, E., Ullal, H. S., & Upadhyaya, H. M. (2011). Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects. *Solar Energy*, 85(8), 1580-1608.
- Reay, D., Infield, D., & Thomson, M. (2013). *Heat pumps for the home*. John Wiley & Sons.

-
- Riabchuk, V., Hagel, L., Germaine, F., & Zharova, A. (2022). Utility-Based Context-Aware Multi-Agent Recommendation System for Energy Efficiency in Residential Buildings. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2205.02704v1>
- Rosen, M. A. (2014). *Handbook of renewable energy technology*. World Scientific.
- Saidur, R., Rezaei, M., Muzammil, W. K., Hassan, M. H., Paria, S., & Hasanuzzaman, M. (2011). Technologies to recover exhaust heat from internal combustion engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(1), 599-628.
- Santbergen, R., Radwan, A., Molyneux, D., & Bende-Michl, U. (2019). Design and performance analysis of a photovoltaic heat pump system. *Energy*, *180*, 912-926.
- Shin, D. W., Kim, D. H., Jang, M. W., & Kim, T. S. (2020). Techno-economic analysis of a building-integrated photovoltaic–heat pump system considering the impact of electricity tariff. *Applied Energy*, *262*, 114477.
- Smith, M., Kotak, B., & Stanberry, L. (2019). *The contribution of residential buildings to Canada's greenhouse gas emissions*. National Research Council Canada.
- Su, Y., Wang, Y., Xue, X., & Zhang, Y. (2020). Coordinated control of photovoltaic/heat pump system based on internet of things. *Energy and Buildings*, *216*, 109919.
- Todeschini, M., Brunelli, D., & Corrado, M. (2019). A comprehensive methodology for optimal design and management of grid-connected solar energy systems with heat pumps for residential applications. *Applied Energy*, *242*, 1252-1273.
- Wang, R., Xue, X., Su, Y., Li, Y., & Lv, Y. (2019). Performance analysis of air source heat pump system combined with solar photovoltaic systems. *Energy Procedia*, *158*, 1221-1226.
- Yang, Y., Li, H., & Ji, J. (2021). Optimal operation of a residential photovoltaic-battery energy storage system considering grid power purchase. *Applied Energy*, *279*, 115850.
- Yilmaz, T., Yavuz, H., & Oztop, H. F. (2016). A comprehensive review on residential heat pump systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *53*, 958-987.
- Zahedi, A., Bahrami, S., & Badiiei, A. (2021). Techno-economic analysis of a residential photovoltaic-battery system under different electricity price structures. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *44*, 101163.
- Zhang, X., Liu, C., Gao, X., & Li, H. (2018). A comprehensive review of ground-source heat pump systems for heating and cooling buildings. *Applied Energy*, *210*, 299-320.
- Zhang, Y., Xue, X., Wang, Y., & Su, Y. (2020). Techno-economic and environmental assessment of a photovoltaic-heat pump system compared with traditional systems. *Journal of Cleaner Production*, *258*, 120787.