



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

**«ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ Κ.Εν.Α.Κ.»**

Διπλωματική Εργασία
Αλ Φάντελ Μαγδαληνή

Επιβλέπων: Μαρία Φούντη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2011,
ΑΘΗΝΑ



Περιεχόμενα

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ	5
i. ΕΙΚΟΝΕΣ.....	5
ii. ΠΙΝΑΚΕΣ	6
iii.ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	9
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	12
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	13
ABSTRACT	14
1. Νομοθετικό πλαίσιο.....	15
1.1. Ευρωπαϊκή οδηγία 2002/91/EK.....	16
1.1.1. Οι απαιτήσεις της οδηγίας	16
1.2. Ελληνική Νομοθεσία	17
1.2.1. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)	18
1.2.2. Οι τεχνικές οδηγίες του ΤΕΕ	18
1.3. Στόχος 2019 ZERO BUILDINGS.....	20
1.4. Ταξινόμηση κτιρίων σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.	22
1.4.1. Ενεργειακή ταξινόμηση.....	22
1.4.1.1. Κτίριο Αναφοράς.....	22
1.4.2. Ταξινόμηση ανά χρήση.....	23
1.5. Προφίλ καταναλώσεων κτιρίων	23
1.5.1. Κατοικίες	24
1.5.2. Τριτογενής τομέας.....	25
1.6. Εφαρμογές ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων.....	26
2. Συστήματα παραγωγής θερμικής ενέργειας	32
2.1. Λέβητες.....	33
2.1.1. Γενικά στοιχεία.....	33
2.1.2. Λέβητας φυσικού αερίου	36
2.1.3. Λέβητας βιομάζας/pellets	37
2.1.4. Λέβητας συμπύκνωσης	38
2.2. Αντλίες Θερμότητας.....	40
2.2.1. Γενικά στοιχεία.....	40
2.2.2. Αντλίες θερμότητας με πηγή τον ατμοσφαιρικό αέρα	44
2.2.3. Αντλίες θερμότητας με πηγή το έδαφος (Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας).....	45



2.2.3.1. Εγκατάσταση κλειστού βρόχου (ανακυκλοφορία του ψυκτικού) με οριζόντιες διατάξεις σωληνώσεων (σπείρας ή παράλληλα).....	47
2.2.3.2. Εγκατάσταση κλειστού βρόχου (ανακυκλοφορία του ψυκτικού) με κατακόρυφες σπείρες σωληνώσεων.....	48
2.2.3.3. Εγκατάσταση με γεωτρήσεις άντλησης και επαναφοράς υπογείων υδάτων (ανοιχτό κύκλωμα).....	49
2.2.4. Αντλίες Θερμότητας Απορρόφησης.....	50
2.3. Ηλιακά Συστήματα (18), (45).....	51
2.3.1. Γενικά.....	51
2.3.2. Ηλιακά Συστήματα Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης.....	55
2.3.3. Ηλιακά Συστήματα με ταυτόχρονη Υποβοήθηση Θέρμανσης.....	56
2.3.4. Ηλιακός Κλιματισμός.....	58
2.4. Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (Σ.Η.Θ.).....	60
2.4.1. Γενικά.....	60
2.4.2. μ-ΣΗΘ (61) (64).....	64
2.4.3. Τριπαραγωγή (63).....	68
3. Αξιολόγηση υπολογιστικών προγραμμάτων.....	70
3.1. Transient simulating system TRNSYS.....	70
3.1.1. Γενικά.....	70
3.1.2. Μοντελοποίηση του κτιρίου.....	71
3.1.3. Προσδιορισμός θερμικών ζωνών.....	73
3.1.4. Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του TRNSYS.....	74
3.1.5. Παρατηρήσεις.....	79
3.2. EnergyPlus.....	79
3.2.1. Γενικά.....	79
3.2.2. Μοντελοποίηση του κτιρίου.....	80
3.2.2.1. Δομή Προγράμματος Προσομοίωσης.....	80
3.2.2.2. Προσδιορισμός θερμικών ζωνών.....	82
3.2.3. Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του EnergyPlus.....	84
3.2.4. Παρατηρήσεις.....	88
3.3. TEE-KENAK.....	90
3.3.1. Γενικά.....	90
3.3.2. Μοντελοποίηση του κτιρίου.....	91
3.3.3. Προσδιορισμός Θερμικών ζωνών.....	94
3.3.3.1. Παράμετροι διαχωρισμού θερμικών ζωνών.....	95
3.3.4. Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του KENAK μέσω του EPA-NR.....	96



3.3.5. Παρατηρήσεις.....	99
4. Μελέτη σεναρίων επεμβάσεων	100
4.1. Παρουσίαση υφιστάμενου κτιρίου	100
4.1.1. Γενικά στοιχεία υφιστάμενου κτιρίου	100
4.1.2. Περιγραφή των όψεων.....	101
4.1.3. Κύριες διαστάσεις κτιρίου	101
4.1.4. Εξωτερικές και εσωτερικές συνθήκες κατοικίας.....	102
4.1.5. Θερμικές ζώνες κτιρίου	104
4.2. Περιγραφή στοιχείων τοιχοποιίας.....	104
4.2.1. Δεδομένα για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	106
4.2.2. Δεδομένα για τα διαφανή δομικά στοιχεία σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	106
4.2.3. Συντελεστές θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων	107
4.3. Υπολογισμός παροχής αέρα διείσδυσης.....	107
4.4. Στοιχεία Η/Μ εξοπλισμού κτιρίου	108
4.4.1. Σύστημα θέρμανσης χώρων	109
4.4.2. Σύστημα ψύξης χώρων	110
4.4.3. Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης	111
4.5. Υφιστάμενο κτίριο και κτίριο αναφοράς.....	112
4.6. Μελέτη επεμβάσεων αναβάθμισης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού σε αμόνωτη κατοικία	114
4.6.1. Αναβάθμιση του συστήματος παραγωγής θερμικής ενέργειας.....	114
4.6.1.1. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης με εγκατάσταση λεβήτων φυσικού αερίου	116
4.6.1.2. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης με εγκατάσταση λεβήτων βιομάζας-pellets.....	118
4.6.1.3. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης με εγκατάσταση αντλία θερμότητας αέρα-νερού υψηλών θερμοκρασιών	119
4.6.1.4. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης με εγκατάσταση μ-ΣΗΘ φυσικού αερίου	120
4.6.2. Αναβάθμιση του συστήματος παραγωγής ψύξης.....	121
4.6.3. Αναβάθμιση συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης	123
4.6.3.1. Αναβάθμιση συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης με χρήση των μονάδων παραγωγής θέρμανσης	123
4.6.3.2. Ηλιακοί συλλέκτες για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.....	125
4.6.4. Αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης με αξιοποίηση ηλιοθερμικού συστήματος...	126
4.6.5. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων παραμετρικής μελέτης	127
4.6.5.1. 1 ^η Περίπτωση: Θέρμανση χωρίς ηλιακή υποβοήθηση	127
4.6.5.2. 2 ^η Περίπτωση: Θέρμανση με ηλιακή υποβοήθηση	129
4.7. Γενικά συμπεράσματα από την αναβάθμιση του Η/Μ εξοπλισμού για αμόνωτη κατοικία ...	130



4.7.1. Ενεργειακό προφίλ κατοικίας με παράμετρο την εγκαθιστάμενη μονάδα θέρμανσης χωρίς ηλιακή θέρμανση	130
4.7.2. Ενεργειακό προφίλ κατοικίας με παράμετρο την εγκαθιστάμενη μονάδα θέρμανσης με ηλιακή θέρμανση	135
4.7.3. Συμπεράσματα για το ποσοστό συνεισφοράς της ηλιακής θέρμανσης στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου.....	137
4.8. Οικονομική ανάλυση σεναρίων	140
4.9. Μελέτη επεμβάσεων αναβάθμισης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού συμπεριλαμβανομένης της επέμβασης μόνωσης της κατοικίας	144
4.9.1. Αναβάθμιση του συστήματος παραγωγής θερμικής ενέργειας.....	145
4.9.1.1. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης με εγκατάσταση αντλίας θερμότητας.....	146
4.9.1.2. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης με εγκατάσταση ενδοδαπέδιου συστήματος.....	147
4.9.2. Αναβάθμιση του συστήματος παραγωγής ψύξης.....	148
4.9.3. Αναβάθμιση συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.....	149
4.9.3.1. Αναβάθμιση συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης με χρήση των μονάδων παραγωγής θέρμανσης	149
4.9.3.2. Ηλιακοί συλλέκτες για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.....	149
4.9.4. Αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης με αξιοποίηση ηλιοθερμικού συστήματος...	149
4.9.5. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων παραμετρικής μελέτης	150
4.9.5.1. 1 ^η Περίπτωση: Θέρμανση με αντλία θερμότητας χωρίς ηλιακή υποβοήθηση	151
4.9.5.2. 2 ^η Περίπτωση: Θέρμανση με ηλιακή υποβοήθηση	152
4.10. Γενικά συμπεράσματα από την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας σε μονωμένη κατοικία	153
4.10.1. Ενεργειακό προφίλ κατοικίας με παράμετρο το επίπεδο μόνωσης του κτιριακού κελύφους χωρίς ηλιακή θέρμανση	153
4.10.2. Ενεργειακό προφίλ κατοικίας με παράμετρο το επίπεδο μόνωσης του κτιριακού κελύφους με ηλιακή θέρμανση	159
4.10.3. Συμπεράσματα για το ποσοστό συνεισφοράς της ηλιακής θέρμανσης στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου.....	161
4.11. Οικονομική ανάλυση των σεναρίων που περιλαμβάνουν μόνωση της κατοικίας	164
4.12. Εκτίμηση συνολικού κέρδους ανά επέμβαση	168
5. Βιβλιογραφία.....	175



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

i. ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1: Προοπτικό σχέδιο κτιρίου γραφείων στο Μαρούσι. (11)	28
Εικόνα 2.1: Σύνδεση λέβητα με boiler και θερμαντικά σώματα (18)	33
Εικόνα 2.2 : Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου (21).....	36
Εικόνα 2.3: Λέβητας φυσικού αερίου με τεχνολογία συμπύκνωσης (21).....	38
Εικόνα 2.4 : Κύκλος θέρμανσης αντλιών θερμότητας (28)	42
Εικόνα 2.5: Λειτουργία Αντλίας Θερμότητας με ατμοσφαιρικό αέρα (32)	44
Εικόνα 2.6 : Εσωτερική τοποθέτηση της αντλίας θερμότητας (33).....	44
Εικόνα 2.7 : Εξωτερική τοποθέτηση της αντλίας θερμότητας (33)	44
Εικόνα 2.8: Ηλιοβοηθούμενη αντλία θερμότητας αέρα-νερού (34).....	45
Εικόνα 2.9: Απόσπασμα τροποποιημένο διάγραμμα Lindal (37)	46
Εικόνα 2.10 : Διάταξη γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού βρόχου με οριζόντιες σπείρες σωληνώσεων (40)	48
Εικόνα 2.11: Διάταξη γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού βρόχου με κατακόρυφες σπείρες σωληνώσεων (40)	48
Εικόνα 2.12: Εγκατάσταση με γεωτρήσεις άντλησης και επαναφοράς υπογείων υδάτων (40).....	49
Εικόνα 2.13: Σύστημα αντλίας απορρόφησης (44).....	50
Εικόνα 2.14: Κυκλώματα Ηλιακών Συστημάτων (48).....	52
Εικόνα 2.15: Δεξαμενή Διαστρωμάτωσης για την κάλυψη της ζήτησης σε ζεστό νερό για κτίριο κατοικίας (50).....	55
Εικόνα 2.16: Διάγραμμα Σύνδεσης Boiler Τριπλής Ενέργειας με ηλιακό και λέβητα (56).....	58
Εικόνα 2.17: Σύστημα ΣΗΘ με ψύκτη απορρόφησης (64).....	69
Εικόνα 3.1: Ροή θερμότητας στο μοντέλο TYPE 56. (69).....	72
Εικόνα 3.2: Νότια όψη του υπό μελέτη κτιρίου (70)	74
Εικόνα 3.3: Θερμοκρασιακό προφίλ του κτιρίου όπως προέκυψε από τις πειραματικές μετρήσεις. (70)	76
Εικόνα 3.4: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου (αποτελέσματα προσομοίωσης μονοζωνικού μοντέλου) (70)	77
Εικόνα 3.5: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου (αποτελέσματα προσομοίωσης με το μοντέλο πολυζωνικού κτιρίου) (70)	78
Εικόνα 3.6: Σχηματική απεικόνιση της ροής των ενεργειακών υπολογισμών (82)	92
Εικόνα 3.7: Θερμικά κέρδη και Θερμικές Απώλειες Κτιρίου (82)	92
Εικόνα 3.8: Η δομή του κτιρίου-μοντέλου που εξετάζεται στο BESTEST (84).....	97
Εικόνα 4.1: Προοπτικό σχέδιο του υπό μελέτη κτιρίου.	100



Εικόνα 4.2: : Σκαρίφημα της πρόοψης και της αριστερής πλάγιας όψης σε τομή της εξωτερικής τοιχοποιίας του κτιρίου.	105
Εικόνα 4.3: Πορεία τιμών wood pellets σε σύγκριση με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Οι τιμές τους για την 2006-2008 παρέμειναν σταθερές (85).....	141

ii. ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1.1 Μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις Παθητικού Κτιρίου (7).....	20
Πίνακας 1.2: Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (8).....	22
Πίνακας 1.3: Κατηγορίες κτιρίων σύμφωνα με την χρήση τους. (8)	23
Πίνακας 1.4: Η μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²) στις ελληνικές κατοικίες ανά κλιματική ζώνη (9)	25
Πίνακας 1.5: Μέση ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας (KWh/m ² a) στα ελληνικά κτίρια (εκτός κατοικιών) ανά κλιματική ζώνη και περίοδο κατασκευής (10)	26
Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά Συλλεκτών ανά τεχνολογία (46)	53
Πίνακας 2.2: Ανηγμένες Ανάγκες σε Ζεστό νερό χρήσης (45).....	56
Πίνακας 2.3: Πίνακας Ενεργειακών και οικονομικών στοιχείων "τυπικών" τεχνολογιών ΘΗΣ στον Ελλαδικό χώρο (45).....	57
Πίνακας 2.4 : Συστήματα Ηλιακού Κλιματισμού και ο τεχνολογίες τους (58)	59
Πίνακας 2.5: Βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ΣΗΘ (63).....	63
Πίνακας 2.6 : Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών ΣΗΘ (63).....	64
Πίνακας 2.7: Προτεινόμενα συστήματα ΣΗΘ για διάφορα είδη κτιρίων κατοικιών (64).....	67
Πίνακας 2.8: Συγκριτικός Πίνακας συστημάτων ΣΗΘ για κτίρια (64).....	67
Πίνακας 2.9: Σύγκριση ψυκτών απορρόφησης NH ₃ και LiBr (τιμές 2010) (64)	69
Πίνακας 3.1: Δίνονται τα στοιχεία διεξαγωγής του πειράματος (περίοδος, θερμοκρασία, ηλ ισχύς, ημέρες λειτουργίας) (70)	75
Πίνακας 3.2: Μέση μετρήσιμη θερμοκρασία κάθε χώρου. (70)	76
Πίνακας 3.3: Μέση θερμοκρασία για τις διάφορες ζώνες την 1 ^η και την 2 ^η περίοδο (70).....	78
Πίνακας 3.4: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές ανά είδος εσωτερικού κέρδους (72).....	85
Πίνακας 3.5: Κατανομή της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά τελική χρήση (72).....	85
Πίνακας 3.6 Κύριες Παράμετροι Καιρού από τα αρχεία του Ινστιτούτου Αστροφυσικής, Γεωφυσικής και Ατμοσφαιρικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου (IAG-USP) (72)	85
Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα ανάλυση ευαισθησίας της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου βάσει της διακύμανσης των καιρικών παραμέτρων (72)	87
Πίνακας 3.8: Αποτελέσματα ανάλυση ευαισθησίας της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου για διακύμανση των τιμών των εσωτερικών φορτίων. (72)	88
Πίνακας 4.1: Οι εξωτερικές διαστάσεις του κτιρίου και των επιμέρους χώρων.	102



Πίνακας 4.2: Τα εμβαδά και οι όγκοι του κτιρίου και των επιμέρους χώρων.	102
Πίνακας 4.4:Εσωτερικές συνθήκες κατοικίας.....	103
Πίνακας 4.5:Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κτιριακού κελύφους με τα βασικά χαρακτηριστικά τους.	105
Πίνακας 4.6:Δεδομένα αδιαφανών δομικών στοιχείων σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.....	106
Πίνακας 4.7: Δεδομένα αδιαφανών δομικών στοιχείων σε επαφή με το έδαφος.....	106
Πίνακας 4.8: Δεδομένα κουφωμάτων άμεσου κέρδους.	107
Πίνακας 4.9:Δεδομένα κουφωμάτων.	107
Πίνακας 4.10: Συντελεστές θερμοπερατότητας για κάθε δομικό στοιχείο.....	107
Πίνακας 4.11: Τιμές υπολογισμού διείσδυσης αέρα από τις χαραμάδες των κουφωμάτων.....	108
Πίνακας 4.12: Σύστημα θέρμανσης.....	110
Πίνακας 4.13: Σύστημα Ψύξης.....	111
Πίνακας 4.14: Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης-Z.N.X.....	112
Πίνακας 4.15: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση (kWh/m ²).....	112
Πίνακας 4.16: Βαθμός απόδοσης μονωμένου δικτύου διανομής ανά περίπτωση.....	115
Πίνακας 4.17: Τεχνικά χαρακτηριστικά συμβατικού λέβητα φυσικού αερίου.....	117
Πίνακας 4.18: Ενδεικτικά κόστη για την εγκατάσταση συμβατικού λέβητα.....	117
Πίνακας 4.19: Τεχνικά χαρακτηριστικά λέβητα συμπύκνωσης φυσικού αερίου.....	118
Πίνακας 4.20: Ενδεικτικά κόστη για την εγκατάσταση λέβητα συμπύκνωσης.....	118
Πίνακας 4.21: Τεχνικά χαρακτηριστικά συμβατικού λέβητα pellets.....	119
Πίνακας 4.22: Ενδεικτικά κόστη για την εγκατάσταση συμβατικού λέβητα pellets.....	119
Πίνακας 4.23: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας αέρος/νερού υψηλών θερμοκρασιών....	120
Πίνακας 4.24: Ενδεικτικά κόστη για την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας αέρος/νερού υψηλών θερμοκρασιών.....	120
Πίνακας 4.25: Τεχνικά χαρακτηριστικά μ- Σ.Η.Θ.	121
Πίνακας 4.26: Σύστημα Ψύξης.....	122
Πίνακας 4.27: Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης-Z.N.X.....	124
Πίνακας 4.28: Στοιχεία ηλιακού συστήματος.....	125
Πίνακας 4.29: Στοιχεία ηλιακού συστήματος για θέρμανση και παραγωγή ZNX.....	127
Πίνακας 4.30 :Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²) μετά την επέμβαση στον Η/Μ εξοπλισμό του κτιρίου χωρίς ηλιακή θέρμανση, και ενεργειακή κατάταξη αυτού.....	128
Πίνακας 4.31: Οικονομικά στοιχεία των επεμβάσεων αναβάθμισης του Η/Μ εξοπλισμού χωρίς ηλιακή θέρμανση και εξοικονόμηση των εκπεμπόμενων ρύπων.....	128
Πίνακας 4.32 : Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²) μετά την επέμβαση στον Η/Μ εξοπλισμό του κτιρίου με ηλιακή θέρμανση, και ενεργειακή κατάταξη αυτού.....	129



Πίνακας 4.33: Οικονομικά στοιχεία των επεμβάσεων αναβάθμισης του Η/Μ εξοπλισμού με ηλιακή θέρμανση και εξοικονόμηση των εκπεμπόμενων ρύπων	129
Πίνακας 4.34: Συντελεστής αναγωγής της κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου σε πρωτογενή ενέργεια, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010.....	132
Πίνακας 4.35: Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ανά εξεταζόμενη επέμβαση λόγω εγκατάστασης συστήματος ηλιακής θέρμανσης για την κάλυψη των αναγκών αμόνωτης κατοικίας.....	138
Πίνακας 4.36: Ενεργειακή εξοικονόμηση ανά εξεταζόμενη επέμβαση λόγω εγκατάστασης συστήματος ηλιακής θέρμανσης για την κάλυψη των αναγκών αμόνωτης κατοικίας.....	139
Πίνακας 4.37: Εξοικονόμηση στο λειτουργικό κόστος ανά εξεταζόμενη επέμβαση σε αμόνωτη κατοικία λόγω εγκατάστασης συστήματος ηλιακής θέρμανσης	141
Πίνακας 4.38: Στοιχεία θερμομόνωσης κατοικίας όπως αυτά παρατίθενται στη διπλωματική εργασία «Επίδραση θερμικής μόνωσης στην εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ».....	145
Πίνακας 4.39: Χαρακτηριστικά μεγέθη αντλίας θερμότητας στις ονομαστικές συνθήκες για τη λειτουργία θέρμανσης	146
Πίνακας 4.40: Ενδεικτικά κόστη για την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών	146
Πίνακας 4.41: Πίνακας με ενδεικτικά κόστη για την εγκατάσταση ενδοδαπέδιο συστήματος	147
Πίνακας 4.42: Χαρακτηριστικά μεγέθη αντλίας θερμότητας στις ονομαστικές συνθήκες για τη λειτουργία ψύξης.....	148
Πίνακας 4.43: Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης-Z.N.X	149
Πίνακας 4.44: Στοιχεία ηλιακού συστήματος για θέρμανση και παραγωγή ZNX σε επαρκώς μονωμένη κατοικία	150
Πίνακας 4.45: Στοιχεία ηλιακού συστήματος για θέρμανση και παραγωγή ZNX σε βέλτιστα μονωμένη κατοικία	150
Πίνακας 4.46 :Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²) μετά τη μόνωση και την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας χωρίς ηλιακή θέρμανση, και ενεργειακή κατάταξη αυτού	151
Πίνακας 4.47: Οικονομικά στοιχεία των επεμβάσεων μόνωσης και εγκατάστασης αντλίας θερμότητας χωρίς ηλιακή θέρμανση και εξοικονόμηση των εκπεμπόμενων ρύπων	152
Πίνακας 4.48 : Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²) μετά τη μόνωση και την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας με ηλιακή θέρμανση, και ενεργειακή κατάταξη αυτού	152
Πίνακας 4.49: Οικονομικά στοιχεία των επεμβάσεων μόνωσης και εγκατάστασης αντλίας θερμότητας με ηλιακή θέρμανση και εξοικονόμηση των εκπεμπόμενων ρύπων	153
Πίνακας 4.50 :Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²) και ποσοστό εξοικονόμησης ως προς το υφιστάμενο σύστημα λέβητα πετρελαίου για επαρκώς μονωμένη κατοικία, μετά την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας χωρίς ηλιακή θέρμανση, και ενεργειακή κατάταξη αυτού	158



Πίνακας 4.51: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m^2) και ποσοστό εξοικονόμησης ως προς το υφιστάμενο σύστημα λέβητα πετρελαίου για βέλτιστα μονωμένη κατοικία, μετά την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας χωρίς ηλιακή θέρμανση, και ενεργειακή κατάταξη αυτού	158
Πίνακας 4.52: Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης	162
Πίνακας 4.53: Μείωση των συνολικών εκπομπών CO_2 (kg/m^2) λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης	163
Πίνακας 4.54: Εξοικονόμηση στο λειτουργικό κόστος ως προς το υφιστάμενο κτίριο λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης	166
Πίνακας 4.55: Εξοικονόμηση στο λειτουργικό κόστος λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης	166
Πίνακας 4.56: Ταμειακή ροή για κάθε εξεταζόμενη επένδυση για την περίπτωση μη ηλιακής υποβοήθησης θέρμανσης.....	169
Πίνακας 4.57: Αθροιστικά καθαρά έσοδα για τα σενάρια επεμβάσεων χωρίς ηλιακή υποβοήθηση θέρμανσης	170
Πίνακας 4.58: Ταμειακή ροή για κάθε εξεταζόμενη επένδυση συμπεριλαμβανομένης της επένδυσης εγκατάστασης ηλιακής υποβοήθησης θέρμανσης.....	170
Πίνακας 4.59: Αθροιστικά καθαρά έσοδα για τα σενάρια επεμβάσεων συμπεριλαμβανομένης της επένδυσης εγκατάστασης ηλιακής υποβοήθησης θέρμανσης	171

iii. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1.1 Κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης στην Ε.Ε-27 (2)	15
Διάγραμμα 1.2: Κατανομή των ελληνικών κτιρίων με βάση το έτος κτίσης (9)	24
Διάγραμμα 2.1: Αποδοτικότητα των δύο τύπων συλλεκτών και οι περιοχές εφαρμογής τους ανάλογα με τη θερμοκρασιακή διαφορά (50)	54
Διάγραμμα 2.2: Διάγραμμα ταξινόμησης συστημάτων Ηλιακού Κλιματισμού. Η διάταξη είναι κατά τον φθίνοντα αριθμό εφαρμογών στην αγορά από αριστερά προς τα δεξιά (57)	58
Διάγραμμα 2.3: Αρχή λειτουργίας ενός ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μονού σταδίου (8).	68
Διάγραμμα 3.1: Εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία ξηρής σφαίρας για δύο συνθήκες ανοιχτών και κλειστών παραθύρων (72)	86
Διάγραμμα 3.2: Σύγκριση των μετρήσεων με τα αποτελέσματα του EnergyPlus για το προφίλ ημερήσιας ενεργειακής ζήτησης (α) και κατανάλωσης (β) (72)	86
Διάγραμμα 3.3: Ενεργειακή Κατανάλωση κτιρίου (72).....	89
Διάγραμμα 3.4: Δομή Κτιρίου, (82).....	93



Διάγραμμα 3.5: Ανάλυση Κελύφους και Συστημάτων, (82)	94
Διάγραμμα 3.6: Ετήσια Ενεργειακή Ζήτηση για θέρμανση- Περίπτωση 600 (84).....	98
Διάγραμμα 3.7: Ετήσια Ενεργειακή Ζήτηση για ψύξη- Περίπτωση 600 (84).....	98
Διάγραμμα 3.8: Ετήσια Ενεργειακή Ζήτηση για θέρμανση- Περίπτωση 900 (84).....	99
Διάγραμμα 3.9: Ετήσια Ενεργειακή Ζήτηση για ψύξη- Περίπτωση 900 (84).....	99
Διάγραμμα 4.1: Σύγκριση υφιστάμενου κτιρίου με κτίριο αναφοράς με παράμετρο την καταναλισκόμενη πρωτογενή ενέργεια	113
Διάγραμμα 4.3:Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²) για θέρμανση και ZNX ανά εξεταζόμενη επέμβαση, χωρίς ηλιακή υποβοήθηση στην περίπτωση κάλυψης των θερμικών αναγκών αμόνωντης κατοικίας	130
Διάγραμμα 4.4: Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας για ψύξη(kWh/m ²) λόγω αντικατάστασης των παλαιών κλιματιστικών, σε αμόνωντη κατοικία	131
Διάγραμμα 4.5: Εκπομπές CO ₂ (Kg/m ²) και μείωση των εκπομπών ανά επέμβαση που εξετάζεται για αμόνωντη κατοικία.....	132
Διάγραμμα 4.6: Ποσοστό εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση και επέμβαση σε αμόνωντη κατοικία ως προς το υφιστάμενο κτίριο.....	133
Διάγραμμα 4.7: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²) για θέρμανση και ZNX ανά εξεταζόμενη επέμβαση σε αμόνωντη κατοικία, με ηλιακή υποβοήθηση	135
Διάγραμμα 4.8: Εκπομπές CO ₂ (Kg/m ²) και μείωση των εκπομπών ανά επέμβαση σε αμόνωντη κατοικία με ηλιακή υποβοήθηση	136
Διάγραμμα 4.9: Ποσοστό εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση και επέμβαση με ηλιακή υποβοήθηση σε αμόνωντη κατοικία, ως προς το υφιστάμενο κτίριο	137
Διάγραμμα 4.10: Μείωση καταναλώσεων πρωτογενούς ενέργειας ανά επέμβαση λόγω της συνεισφοράς του ηλιοθερμικού συστήματος στις ανάγκες αμόνωντης κατοικίας συγκριτικά με την κατανάλωση των αντίστοιχων επεμβάσεων χωρίς ηλιακή υποβοήθηση.....	138
Διάγραμμα 4.11 : Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων ανά εξεταζόμενη επέμβαση σε αμόνωντη κατοικία λόγω εγκατάστασης συστήματος ηλιακής θέρμανσης συγκριτικά με τις εκπομπές των αντίστοιχων επεμβάσεων χωρίς ηλιακή υποβοήθηση	139
Διάγραμμα 4.12: Κόστος επένδυσης για κάθε εξεταζόμενο σενάριο επέμβασης σε αμόνωντη κατοικία	140
Διάγραμμα 4.13: Μεταβολή λειτουργικού κόστους ανά εξεταζόμενη επέμβαση σε αμόνωντη κατοικία λόγω ηλιακής θέρμανσης.....	142
Διάγραμμα 4.14: Ποσοστιαία μείωση του λειτουργικού κόστους ως προς το λειτουργικό κόστος του υφιστάμενου κτιρίου λόγω των επεμβάσεων σε αμόνωντη κατοικία	143



Διάγραμμα 4.15: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²) για θέρμανση, ψύξη και ZNX ανά εξεταζόμενη επέμβαση σε επαρκώς και βέλτιστα μονωμένη κατοικία, χωρίς ηλιακή υποβοήθηση	154
Διάγραμμα 4.16: Εκπομπές CO ₂ (Kg/m ²) και μείωση των εκπομπών ανά επέμβαση εγκατάστασης αντλίας θερμότητας σε επαρκώς και βέλτιστα μονωμένη κατοικία, χωρίς ηλιακή θέρμανση.....	155
Διάγραμμα 4.17: Ποσοστό εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση και επέμβαση μόνωσης και εγκατάστασης αντλίας θερμότητας ως προς το υφιστάμενο κτίριο.....	156
Διάγραμμα 4.18: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²) για θέρμανση και ZNX ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης με το υφιστάμενο και το νέο σύστημα, με ηλιακή υποβοήθηση.....	159
Διάγραμμα 4.19: Εκπομπές CO ₂ (Kg/m ²) και μείωση των εκπομπών ανά επέμβαση μόνωσης του κτιριακού κελύφους με ηλιακή υποβοήθηση	160
Διάγραμμα 4.20: Ποσοστό εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση και επέμβαση μόνωσης του κτιριακού κελύφους ως προς το υφιστάμενο κτίριο με ηλιακή υποβοήθηση	161
Διάγραμμα 4.21: Μείωση καταναλώσεων πρωτογενούς ενέργειας λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης	162
Διάγραμμα 4.22 : Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων CO ₂ (Kg/m ²) λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης	164
Διάγραμμα 4.23: Κόστος επένδυσης εγκατάστασης αντλίας θερμότητας ανά επίπεδο μόνωσης κτιριακού κελύφους, συμπεριλαμβανομένης ή όχι της ηλιακής θέρμανσης.....	165
Διάγραμμα 4.24: Μεταβολή λειτουργικού κόστους λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης	167
Διάγραμμα 4.25: Ποσοστιαία μείωση του λειτουργικού κόστους ως προς το λειτουργικό κόστος του υφιστάμενου κτιρίου λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης.....	168
Διάγραμμα 4.26: Συνολικό κέρδος σύμφωνα με τα αποτελέσματα του TEE-KENAK κάθε επένδυσης που παρουσιάστηκε, μετά το πέρας 15 ετών.....	171



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2010-2011, σε συνεργασία με το Εργαστήριο Ετερογενών Μειγμάτων και Συστημάτων Καύσης του Τομέα Θερμότητας, της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μ. Πολυτεχνείου. Η μελέτη αυτή δίνει μια εικόνα των επεμβάσεων που αφορούν στον κτιριακό τομέα, η εφαρμογή των οποίων μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση των ενεργειακών του καταναλώσεων, στοχεύοντας στη βελτίωση της ενεργειακής του αποδοτικότητας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος την επιβλέπουσα καθηγήτρια, κυρία Μαρία Φούντη, η οποία μου επέτρεψε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, για τον πολύτιμο χρόνο και την καθοδήγηση της κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης, τον Υποψήφιο Διδάκτορα Εμμανουήλ Μαλλιωτάκη για τη διαρκή επιστημονική υποστήριξη, χάρη στην οποία μπόρεσα να ολοκληρώσω την εργασία μου. Όλους τους όλους τους ερευνητές του εργαστηρίου για το ευχάριστο κλίμα και την διατήρηση της λειτουργίας του εργαστηρίου παρ' όλες τις δυσχερείς καταστάσεις.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Παναγιώτη Ξανθάκο, Μηχανολόγο Μηχανικό, για την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε καθώς και το χρήσιμο υλικό που μου διέθεσε, συμβάλλοντας στην ολοκλήρωση της εργασίας μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Λάμπρο Μαραλέτο, Μηχανολόγο Μηχανικό, για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου προσέφερε.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου προς τον φίλο και συνάδελφο μου Νικόλαο Βάσιλα, καθώς χωρίς την πολύτιμη συμβολή του και την απεριόριστη συμπαράσταση του δεν θα ήταν δυνατή η πραγματοποίηση της από κοινού μελέτης του θέματος που μας ανατέθηκε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την ηθική και υλική συμπαράσταση κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προσπάθεια κάλυψης των διαρκώς αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων έχει ως συνέπεια την αύξηση των επιπέδων καταναλισκόμενης ενέργειας, αυξάνοντας ανάλογα τα επίπεδα των εκλυόμενων ρύπων. Για το λόγο αυτό καθίσταται αδήριτη η ανάγκη πραγματοποίησης παρεμβάσεων, με στόχο την μείωση των απαιτήσεων. Κινούμενη προς αυτήν την κατεύθυνση, η Ευρωπαϊκή Ένωση προχώρησε στην σύνταξη και κοινοποίηση οδηγιών εξοικονόμησης ενέργειας, πάνω στις οποίες κάθε χώρα-μέλος μπορεί να αναπτύξει το σχέδιο δράσης της. Τα ευρωπαϊκά κτίρια αποτελούν το μεγαλύτερο καταναλωτή της παραγόμενης ενέργειας, κυρίως για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, ωστόσο κατέχουν και το μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Στην Ελλάδα επικρατεί η ίδια κατάσταση, καθώς η πλειοψηφία των κατοικιών είναι αμόνωτη, ενώ η κάλυψη των αναγκών γίνεται με παλαιά και ενεργοβόρα συστήματα. Η αντικατάσταση των συστημάτων αυτών με νέες μονάδες παραγωγής θερμικής ενέργειας μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση των καταναλώσεων.

Ο σκοπός της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι να εξετάσει τις τεχνικές και οικονομικές επιπτώσεις εφαρμογής διαφόρων συστημάτων παραγωγής θερμικής ενέργειας σε τυπική αμόνωτη κατοικία περ. 100 m². Το σύστημα που θα επιλεγεί εξαρτάται από τις απαιτήσεις του κτιρίου. Οι μονάδες οι οποίες αναλύθηκαν και εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής είναι λέβητες (συμβατικοί-συμπύκνωσης), αντλίες θερμότητας, ηλιοθερμικά συστήματα και μονάδες μ-Σ.Η.Θ. Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό TEE-K.EN.A.K, με το οποίο εκπονούνται οι ενεργειακές μελέτες στην Ελλάδα. Με το λογισμικό TEE-K.EN.A.K, εξετάστηκε η δυνατότητα αναβάθμισης του συστήματος θέρμανσης μιας παλαιάς κατοικίας, εφαρμόζοντας τα προαναφερθέντα συστήματα θέρμανσης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης. Με στόχο τη συνολική αναβάθμιση του κτιρίου, στις επεμβάσεις που εξετάστηκαν συμπεριλήφθηκε η αντικατάσταση των παλαιών κλιματιστικών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και του λειτουργικού κόστους τυπικής κατοικίας, χάριν στην αντικατάσταση των παλαιών συστημάτων. Ωστόσο παρατηρήθηκε ότι, οι απαιτήσεις σε ενέργεια παρέμειναν υψηλές, λόγω της μη μόνωσης του κτιριακού κελύφους.

Για την εγκατάσταση αντλιών θερμότητας και την επίτευξη της μέγιστης εξοικονόμησης ενέργειας, απαιτήθηκε η μόνωση του κτιριακού κελύφους. Τα δεδομένα των σεναρίων θερμικής μόνωσης αντλήθηκαν από την διπλωματική εργασία του Ν. Βάσιλα με τίτλο



«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ Κ.Εν.Α.Κ» η οποία εκπονήθηκε παράλληλα με τη παρούσα Διπλωματική εργασία.

ABSTRACT

The continuous increase of energy requirements results in increased levels of energy consumption, as well as of pollutant emissions. For this reason, it is of utmost importance to intervene in order to reduce the energy requirements. Moving in this direction, the European Union has compiled and published a number of directives on energy saving, based on which each country-member can develop an action plan. The European building sector is the biggest consumer of produced energy, primarily to meet the heating needs. However, buildings have also the greatest potential for reduction of energy consumption. In Greece, the situation is similar to the E.U. as, the majority of the buildings are not thermally insulated, while the heating systems are old and energy-inefficient. The replacement of these systems with new thermal power plants can result in significant reduction of energy consumption.

The scope of the present Diploma Thesis is to examine the technical and economic consequences of implementing various energetic systems at a typical Greek house of ca. 100m². The selection of the system depends on the requirements of the building. The systems which have been analyzed and examined within the present study are boilers (conventional or condensing), heat pumps, solar thermal systems and m-CHP systems. For the needs of this study, the software TEE-KENAK was used, which is commonly used for energy studies in Greece. Using the TEE-KENAK software, the possibility of upgrading the heating system of an old dwelling was examined, by implementing the above mentioned systems for heat and domestic hot water production. In order to achieve a total upgrade of the building, the replacement of the old air-conditioning systems was included in the proposed interventions. The results show that a significant decrease in energy consumption and in operational costs of the examined dwelling can be achieved due to the replacement of the old systems. However, the energy demands remain high due to the lack of insulation of the building envelope.

The effects of thermal insulation of the envelope of examined building have been highlighted in combination with installation of heat pumps. The data for the thermal insulation scenarios has been drawn from the Diploma Thesis of N. Vasilas titled "Influence of thermal insulation in building energy savings based on KENAK assessment".



1. Νομοθετικό πλαίσιο

Η ενεργειακή ζήτηση των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης αυξάνεται ετησίως, ενώ η παραγόμενη ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη της. Σε αυτό το αρνητικό ισοζύγιο μεταξύ προσφοράς και ζήτησης οφείλεται το γεγονός ότι η ΕΕ είναι ενεργειακά εξαρτημένη, εφόσον αναγκάζεται να εισάγει πετρέλαιο και φυσικό αέριο ώστε να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, το οποίο μάλιστα αναμένεται να ενταθεί μέσα στα επόμενα χρόνια, η Ευρωπαϊκή Κοινότητα είχε στρέψει το ενδιαφέρον της στην εύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, οι οποίες θα μπορούσαν να καλύψουν αυτές τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες της.

Η προσπάθεια αυτή οδήγησε στην κατασκευή μεγάλων έργων, τα οποία συνέβαλλαν στην παραγωγή ενέργειας κυρίως με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Ωστόσο αν και τα έργα παρήγαγαν σημαντικά ποσά ενέργειας με σχεδόν μηδενικούς ρύπους, αντιμετώπιζαν μερικώς το πρόβλημα, καθώς συνεχίστηκαν να αυξάνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις. Σε μια προσπάθεια ριζικής αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε το 2000 την Πράσινη Βίβλο με θέμα «Προς μία ευρωπαϊκή στρατηγική για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού». (1) Στο κείμενο αυτό, για πρώτη φορά, αναγνωρίζεται η σημαντικότητα της παρέμβασης στη ζήτηση της ενέργειας, ώστε να μειωθούν οι απαιτήσεις που θα πρέπει να καλυφθούν.

Στα πλαίσια της μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας παρατηρήθηκε ότι, ο τομέας των κτιρίων – δηλαδή οι κατοικίες και ο τριτογενής τομέας – είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής της τελικής ενέργειας και η μεγαλύτερη πηγή εκπομπών CO₂ στην ΕΕ. Χαρακτηριστικά αξίζει να σημειωθεί ότι ο κτιριακός τομέας της ΕΕ ευθύνεται για το 40% (2) περίπου της συνολικής τελικής ενεργειακής κατανάλωσης και για το 45% περίπου των εκπομπών CO₂. Παρόλο που τα ποσοστά αυτά είναι σημαντικά, αξίζει να σημειωθεί ότι ο τομέας διαθέτει σημαντικό ανεκμετάλλετο δυναμικό για οικονομικώς συμφέρουσα εξοικονόμηση ενέργειας, το οποίο εάν αξιοποιηθεί άμεσα μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της τελικής κατανάλωσης κατά 11% μέχρι το 2020. (3)



Διάγραμμα 1.1 Κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης στην Ε.Ε-27 (2)



1.1. Ευρωπαϊκή οδηγία 2002/91/ΕΚ

Προς επίτευξη των στόχων που τέθηκαν από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα, υιοθετήθηκε από τα κράτη μέλη η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/91/ΕΚ ("Energy Performance of Buildings Directive" EPBD, 2003) για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Η Οδηγία αυτή θεωρείται ένα σημαντικότατο εργαλείο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την εξοικονόμηση ενέργειας, που σχεδιάστηκε για να απαντήσει στις δεσμεύσεις του Κιότο και στα ζητήματα που τέθηκαν στην Πράσινη Βίβλο.

Στις 19 Οκτωβρίου 2006, με ανακοίνωσή της η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε το Ευρωπαϊκό Σχέδιο Δράσης για την Ενεργειακή Απόδοση (EC Action Plan for Energy Efficiency) (4). Στο εξαετές αυτό σχέδιο, δίνεται ένα πλαίσιο πολιτικών και μέτρων με σκοπό να ενταθεί η διαδικασία αξιοποίησης του εκτιμώμενου δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας πάνω από το 20% της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας στην ΕΕ έως το 2020. Προς την κατεύθυνση αυτή, η Επιτροπή θεωρεί ότι η σημαντικότερη εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί στους τομείς των κατοικιών και των κτιρίων του τριτογενή τομέα με δυναμικό μείωσης που εκτιμάται από 27% έως 30%. Για να μειωθεί σημαντικά η απώλεια θερμότητας από τα κτίρια, το σχέδιο δράσης προβλέπει την επέκταση του πεδίου εφαρμογής της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων στα μικρά κτίρια, καθώς και τη θέσπιση ελάχιστων προτύπων ενεργειακών επιδόσεων για νέα και ανακαινισμένα κτίρια και την προώθηση των λεγόμενων «παθητικών κατοικιών¹». Στόχος τα νέα κτίρια να φθάσουν το επίπεδο των παθητικών κατοικιών από το έτος 2015.

Στις 19 Μαΐου 2010, υιοθετήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης Ευρωπαϊκή Οδηγία 2010/31/EU (5) η οποία αποτελεί αναδιατύπωση της Οδηγίας της Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων 2002/91/ΕΚ με σκοπό την ενίσχυση των απαιτήσεων σχετικά με την ενεργειακή απόδοση, όπως επίσης και την αποσαφήνιση και τον εξορθολογισμό ορισμένων από τις διατάξεις της.

1.1.1. Οι απαιτήσεις της οδηγίας

Η Οδηγία (5) στοχεύει στην προώθηση της εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια, θεσπίζοντας απαιτήσεις που αφορούν:

¹ Ως «παθητικές κατοικίες» ορίζονται συνήθως τα σπίτια χωρίς παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης και χωρίς ενεργητική ψύξη. Αυτό μπορεί να σημαίνει πολύ καλά επίπεδα μόνωσης και ένα σύστημα μηχανικού αερισμού με πολύ υψηλής απόδοσης ανάκτηση θερμότητας. Μπορούν επίσης να φέρουν τις ονομασίες «κατοικίες μηδενικής ενέργειας» ή «κατοικίες χωρίς θέρμανση».



1. το κοινό γενικό πλαίσιο για μια μεθοδολογία υπολογισμού της συνολικής ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και κτιριακών μονάδων·
2. την εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση των νέων κτιρίων και νέων κτιριακών μονάδων·
3. την εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση:
 - a. υφισταμένων κτιρίων, κτιριακών μονάδων και κτιριακών στοιχείων τα οποία υποβάλλονται σε μεγάλης κλίμακας ανακαίνιση,
 - b. δομικών στοιχείων που αποτελούν τμήμα του κελύφους του κτιρίου και έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ενεργειακή απόδοση του κελύφους, όταν τοποθετούνται εκ των υστέρων ή αντικαθίστανται, και
 - c. τεχνικών συστημάτων κτιρίων, σε περίπτωση εγκατάστασης νέου, αντικατάστασης ή αναβάθμισης·
4. τα εθνικά σχέδια αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας·
5. την ενεργειακή πιστοποίηση κτιρίων ή κτιριακών μονάδων·
6. την τακτική επιθεώρηση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού κτιρίων, και
7. τα ανεξάρτητα συστήματα ελέγχου για τα πιστοποιητικά ενεργειακών επιδόσεων και τις εκθέσεις επιθεώρησης.

Στην παρούσα Οδηγία, δεν καθορίστηκαν επίπεδα για ολόκληρη την Ε.Ε.. Αντίθετα δόθηκαν οι κατευθύνσεις προς τα κράτη μέλη, υποχρεώνοντας τα παράλληλα να θεσπίσουν τις συγκεκριμένες απαιτήσεις και τους συναφείς μηχανισμούς που θα τις καλύψουν. Με τον τρόπο αυτό η Οδηγία λαμβάνει πλήρως υπόψη τις εθνικές/περιφερειακές οριακές συνθήκες, όπως το εξωτερικό κλίμα και τις μεμονωμένες παραδόσεις κατασκευής κτιρίων (3), οι οποίες διαμορφώνουν και τις ανάγκες κάθε κράτους.

1.2. Ελληνική Νομοθεσία

Στην Ελλάδα, έχει ολοκληρωθεί πλέον η μεταφορά του συνόλου των βασικών οδηγιών που αφορούν μέτρα εξοικονόμηση ενέργειας. Έχει εγκριθεί το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα (ΣΔΕΑ) με το Νόμο 3855/2010 όπου στην παράγραφο 1 του άρθρου 4 τίθεται ως εθνικός στόχος η εξοικονόμηση ενέργειας κατά 9% μέχρι το 2016. Συγκεκριμένα, στο ελληνικό ΣΔΕΑ προβλέπονται μια σειρά από μέτρα τα οποία



κατηγοριοποιούνται σε έξι ομάδες (οριζόντια, διατομεακά, οικιακός τομέας, τριτογενής τομέας, δημόσιος τομέας, βιομηχανία και μεταφορές), όπου διαμορφώνεται ένα ολοκληρωμένο εθνικό πρόγραμμα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης, η εφαρμογή του οποίου θα οδηγήσει στην επίτευξη του ενεργειακού στόχου, εξοικονομώντας μεγάλες ποσότητες ορυκτών καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας.

Προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης στον κτιριακό τομέα, είχε προηγηθεί ο νόμος 3661/08 με τον οποίον το Ελληνικό κράτος εναρμονίζεται με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/91/ΕΚ. Τέλος, στο άρθρο 3 του νόμου 3661/2008 εγκρίνεται ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων, ο οποίος δίνει τις κατευθύνσεις για την εξασφάλιση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα.

1.2.1. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)

Με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) (6)

1. Ορίζεται μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων για την εκτίμηση των ενεργειακών καταναλώσεων των κτιρίων για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό (εφεξής ΘΨΚ), φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης (εφεξής ΖΝΧ).
2. Καθορίζονται ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση και κατηγορίες για την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων.
3. Καθορίζονται οι ελάχιστες προδιαγραφές για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κτιρίων, τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους και οι προδιαγραφές των Η/Μ εγκαταστάσεων, των υπό μελέτη νέων κτιρίων καθώς και των ριζικά ανακαινιζόμενων, όπως αυτά ορίζονται στις παραγράφους 11 και 12 αντίστοιχα του άρθρου 2 του ν. 3661/2008.
4. Ορίζεται το περιεχόμενο της μελέτης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.
5. Καθορίζεται η μορφή του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου, καθώς και τα στοιχεία που αυτό θα περιλαμβάνει.
6. Καθορίζεται η διαδικασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων, καθώς και η διαδικασία των επιθεωρήσεων λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού.

1.2.2. Οι τεχνικές οδηγίες του ΤΕΕ

Το ΤΕΕ συνέβαλε στη σύνταξη του Κ.Εν.Α.Κ και των Τεχνικών Οδηγιών του ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ), οι οποίες εξειδικεύουν τα πρότυπα των μελετών και των επιθεωρήσεων της



ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στα ελληνικά κλιματικά και κτιριακά δεδομένα. Πιο αναλυτικά, οι σχετικές οδηγίες:

1. Καθορίζουν τις εθνικές προδιαγραφές για όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται για την εφαρμογή της μεθοδολογίας υπολογισμών της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, όπως αυτή ορίζεται στον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων - Κ.Εν.Α.Κ. (Φ.Ε.Κ. 407/9.4.2010).
2. Προσδιορίζουν τις θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών και των δομικών στοιχείων.
3. Καθορίζουν τη μεθοδολογία για τον έλεγχο της θερμικής επάρκειας του κτιριακού κελύφους τόσο ως προς τα επί μέρους διαφανή και αδιαφανή στοιχεία του, όσο και στο σύνολό του.
4. Δίνουν σε πίνακες τις τιμές των διαφόρων μεγεθών και συντελεστών που υπεισέρχονται στα διαδοχικά στάδια του υπολογισμού στηριζόμενοι σε διεθνή πρότυπα.
5. Ορίζουν τα κλιματολογικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών και τις συνθήκες σχεδιασμού για τη διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού στις κτιριακές εγκαταστάσεις. Επίσης παραθέτουν τα κλιματολογικά δεδομένα, σε επίπεδο μέσων μηνιαίων τιμών, για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων – Κ.Εν.Α.Κ (ΦΕΚ 407/ 9.4.2010). Χωρίζεται η ελληνική επικράτεια σε τέσσερις κλιματικές ζώνες σύμφωνα με κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε μία από αυτές.
6. Καθορίζουν τις αναλυτικές οδηγίες προς τους Ενεργειακούς Επιθεωρητές συμπλήρωσης και ηλεκτρονικής καταχώρησης των εντύπων για την:
 - Ενεργειακή Επιθεώρηση Κτιρίων,
 - Ενεργειακή Επιθεώρηση Λεβήτων,
 - Ενεργειακή Επιθεώρηση Εγκαταστάσεων Θέρμανσης,
 - Ενεργειακή Επιθεώρηση Εγκαταστάσεων Κλιματισμού,

όπως επίσης και για το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) κτιρίου.



1.3. Στόχος 2019 ZERO BUILDINGS

Στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2010/31, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο εισάγει επίσημα τον όρο κτίρια zero, τα οποία ορίζει ως εκείνα που εξαιτίας του πολύ υψηλού επιπέδου ενεργειακής αποδοτικότητάς τους, η γενική ετήσια κατανάλωση αρχικής ενέργειας είναι ίση με ή λιγότερο από την ενέργεια που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που φέρει το κτίριο.

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, καθίσταται σαφές ότι ένα κτίριο zero θα είναι αναμφίβολα και παθητικό ακόμα και καλύτερο από αυτό. Ο διεθνής οργανισμός παθητικών κτιρίων (International Passive House Association IPHA) έχει ορίσει ορισμένα κριτήρια για τον χαρακτηρισμό ενός κτιρίου ως παθητικό. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες ενεργειακές ανάγκες ενός παθητικού κτιρίου κατοικίας ή τριτογενή τομέα.

Ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης χώρων	$\leq 15\text{kWh}/(\text{m}^2\text{yr})$
Ή Θερμικό φορτίο	$\leq 10\text{W}/\text{m}^2$
Ενεργειακές απαιτήσεις ψύξης χώρων ²	$\leq 15\text{kWh}/(\text{m}^2\text{yr})$
Ετήσιες ώρες υπερθέρμανσης (εσωτερική θερμοκρασία άνω των 25 °C)	$\leq 10\%$
Αποτελέσματα τεστ αεροστεγανότητας (n50)	$\leq 0.6 \text{ air changes}/\text{h}$
Συνολικές απαιτήσεις σε πρωτογενή ενέργεια ²	$\leq 120\text{kWh}/(\text{m}^2\text{yr})$

Πίνακας 1.1 Μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις Παθητικού Κτιρίου (7)

Οι ενεργειακές απαιτήσεις ενός παθητικού κτιρίου μπορούν εύκολα να καλυφθούν από σύστημα ΑΠΕ, το οποίο θα παράγει την πλεονάζουσα ενέργεια που απαιτεί ώστε να μετατραπεί σε μηδενικής κατανάλωσης. Συνεπώς για την κατασκευή ενός κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης απαιτείται ο βέλτιστος σχεδιασμός θερμομόνωσης, αποθήκευσης ενέργειας και παραγωγή μέσω ΑΠΕ.

² Οι απαιτήσεις σε πρωτογενή ενέργεια περιλαμβάνουν τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις του υπόψη κτιρίου σε θέρμανση, ψύξη, ανανέωση αέρα, ζεστό νερό χρήσης, φωτισμό, ηλεκτρικές συσκευές. Τα δοθέντα όρια των ενεργειακών απαιτήσεων για ψύξη χώρων και οι συνολικές απαιτήσεις σε πρωτογενή ενέργεια ισχύουν για τα σχολεία και για άλλα αντίστοιχου τύπου κτίρια και γενικά δρουν ως ενδεικτικά κριτήρια τα οποία πρέπει να ελεγχθούν για κάθε τύπο κτιρίου του τριτογενή τομέα.



Στην παράγραφο 1 του άρθρου 9 της Ευρωπαϊκή Οδηγία 2010/31/EU (5) αναφέρονται ρητά οι στόχοι που έχουν υιοθετηθεί για τα κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση. Σύμφωνα με το άρθρο αυτό τα κράτη μέλη μεριμνούν ώστε:

- α) έως τις 31 Δεκεμβρίου 2020 όλα τα νέα κτίρια να αποτελούν κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας και
- β) μετά τις 31 Δεκεμβρίου 2018 τα νέα κτίρια που στεγάζουν δημόσιες αρχές ή είναι ιδιοκτησίας τους να αποτελούν κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (κτίρια zero).

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, τα κράτη μέλη καταρτίζουν εθνικά σχέδια αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, τα οποία όμως θα ανταποκρίνονται ταυτόχρονα στις ανάγκες των χρηστών. Αυτά τα εθνικά σχέδια είναι δυνατόν να περιλαμβάνουν στόχους διαφοροποιημένους ανάλογα με την κατηγορία του κτιρίου, ώστε να προσαρμόζονται στις εκάστοτε απαιτήσεις.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην παράγραφο 5 του άρθρου 9 της ίδιας Οδηγίας αναφέρεται ότι η Επιτροπή, έως τις 31 Δεκεμβρίου 2012 και εν συνεχεία ανά τριετία, δημοσιεύει έκθεση σχετικά με την πρόοδο που σημειώνουν τα κράτη μέλη στην αύξηση του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Βασίζόμενη στην εν λόγω έκθεση, η Επιτροπή θα καταρτίσει σχέδιο δράσης και εάν αυτό κριθεί απαραίτητο θα προτείνει μέτρα ώστε να επιτευχθεί η αύξηση του αριθμού των κτιρίων αυτών, ενθαρρύνοντας παράλληλα τις βέλτιστες πρακτικές όσον αφορά την αποδοτική, σε σχέση με το κόστος, μετατροπή υφιστάμενων κτιρίων σε κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας.

Γίνεται επομένως σαφές ότι ένας από τους κυριότερους στόχους της Ευρωπαϊκή Επιτροπή είναι η άμεση υλοποίηση της Οδηγίας αρχικά σε εθνικό επίπεδο, ώστε να επιτευχθεί τελικά μία Ευρωπαϊκή συλλογική δράση προς τη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των κτιριακών εγκαταστάσεων. Η συμμόρφωση κάθε κράτους μέλους με την Οδηγία καθίσταται επιτακτική, τόσο για την αποφυγή των κυρώσεων, όσο και για τα πολλαπλά οφέλη που θα αποκομίσει σε εθνικό επίπεδο (μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων και των εκπεμπόμενων ρύπων, οικονομική ανάπτυξη κ.ά.)



1.4. Ταξινόμηση κτιρίων σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.

1.4.1. Ενεργειακή ταξινόμηση

Για την ενεργειακή ταξινόμηση των κτιρίων απαιτείται πρωτίστως να ορισθεί το κτίριο αναφοράς. (8)

1.4.1.1. Κτίριο Αναφοράς

Κτίριο αναφοράς ονομάζεται το κτίριο με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτίριο. Το κτίριο αναφοράς πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές και έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά τόσο στα εξωτερικά δομικά στοιχεία του, όσο και στις Η/Μ εγκαταστάσεις που αφορούν τη θέρμανση, ψύξη και κλιματισμό (ΘΨΚ) των εσωτερικών χώρων, την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ) και το φωτισμό. Στο άρθρο 9 του Κ.Εν.Α.Κ. (ΦΕΚ Αρ Φύλλου 407/9 Απριλίου 2010) καθορίζονται επακριβώς οι μεταβλητές που λαμβάνουν μέρος στον υπολογισμό των καταναλώσεων του κτιρίου αναφοράς.

Σύμφωνα με την τεχνική οδηγία του ΤΕΕ «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό την ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης» γίνεται η κατάταξη των κτιρίων βάσει της τελικής ανηγμένης σε πρωτογενή ενέργεια κατανάλωση του κτιρίου. Πιο αναλυτικά, υπολογίζεται ο δείκτης (EP) που αντιπροσωπεύει την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του υφιστάμενου κτιρίου και ο αντίστοιχος δείκτης (R_R) για το κτίριο αναφοράς. Με τον λόγο (T) των δύο παραπάνω δεικτών γίνεται η ταξινόμηση του κτιρίου σε μία από τις 9 κατηγορίες που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$EP \leq 0,33R_R$	$T \leq 0,33$
A	$0,33R_R < EP \leq 0,50R_R$	$0,33 < T \leq 0,50$
B+	$0,50R_R < EP \leq 0,75R_R$	$0,50 < T \leq 0,75$
B	$0,75R_R < EP \leq 1,00R_R$	$0,75 < T \leq 1,00$
Γ	$1,00R_R < EP \leq 1,41R_R$	$1,00 < T \leq 1,41$
Δ	$1,41R_R < EP \leq 1,82R_R$	$1,41 < T \leq 1,82$
E	$1,82R_R < EP \leq 2,27R_R$	$1,82 < T \leq 2,27$
Z	$2,27R_R < EP \leq 2,73R_R$	$2,27 < T \leq 2,73$
H	$2,73R_R < EP$	$2,73 < T$

Πίνακας 1.2: Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (8)



Είναι σαφές ότι το κτίριο αναφοράς αντιστοιχεί στο άνω όριο της κατηγορίας ενεργειακής απόδοσης Β.

1.4.2. Ταξινόμηση ανά χρήση

Για την καλύτερη ενεργειακή προσέγγιση κάθε προς μελέτη κτιρίου ενδείκνυται η ταξινόμηση ανάλογα με το είδος χρήσης του. Με τον τρόπο αυτό καλύπτονται οι απαιτήσεις για κάθε μία κατηγορία ώστε να επιτυγχάνονται συνθήκες άνεσης για τους χρήστες του. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι βασικές κατηγορίες κτιρίων.

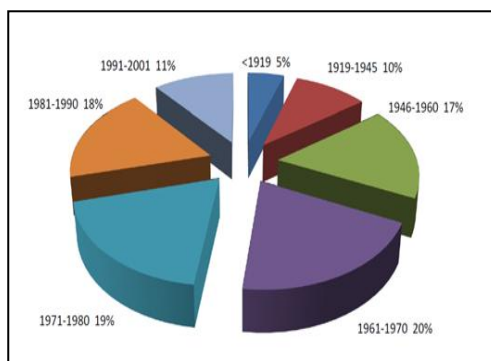
Βασικές κατηγορίες κτηρίων	Χρήσεις κτηρίων που περιλαμβάνονται στις κατηγορίες
Κατοικίας	Μονοκατοικία, πολυκατοικία (κτήριο με περισσότερα του ενός ανεξάρτητα διαμερίσματα).
Προσωρινής διαμονής	Ξενοδοχείο, ξενώνας, οικοτροφείο και κοιτώνας.
Συνάθροισης κοινού	Χώρος συνεδρίων, χώρος εκθέσεων, μουσείο, χώρος συναυλιών, θέατρο, κινηματογράφος, αίθουσα δικαστηρίων, κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο, εστιατόριο, ζαχαροπλαστείο, καφενείο, τράπεζα, αίθουσα πολλαπλών χρήσεων.
Εκπαίδευσης	Νηπιαγωγείο, πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμια εκπαίδευση, τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας, φροντιστήριο.
Υγείας και κοινωνικής πρόνοιας	Νοσοκομείο, κλινική, αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο, ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομείο, βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός.
Σωφρονισμού	Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή.
Εμπορίου	Κατάστημα, εμπορικό κέντρο, αγοράς και υπεραγοράς, φαρμακείο, κουρείο και κομμωτήριο, ινστιτούτο γυμναστικής.
Γραφείων	Γραφείο, βιβλιοθήκη.
Βιομηχανίας και βιοτεχνίας	Συνεργείο συντήρησης και επισκευής αυτοκινήτων, βαφείο, ξυλουργείο, παρασκευαστήριο τροφίμων, καθαριστήριο, σιδερωτήριο, οργανωμένο πλυντήριο ενδυμάτων, αυτοτελές κέντρο μηχανογράφησης.
Αποθήκευσης	Γενική αποθήκη, αποθήκη καταστήματος, αποθήκη μουσείου.
Στάθμευσης αυτοκινήτων & πρατήρια υγρών καυσίμων	Στάθμευση αυτοκινήτων, δικύκλων ή τρικύκλων, πρατήριο υγρών καυσίμων, πλυντήριο αυτοκινήτων.

Πίνακας 1.3: Κατηγορίες κτιρίων σύμφωνα με την χρήση τους. (8)

1.5. Προφίλ καταναλώσεων κτιρίων

Στη χώρα μας ο κτιριακός τομέας ως προς τα χαρακτηριστικά του παρουσιάζει σημαντικές διαφορές ανά περιόδους. Στην Τεχνική Οδηγία 20701-1/2010 ταξινομούνται όλα τα κτίρια σε τρεις επί μέρους κατηγορίες, σύμφωνα με την περίοδο ανέγερσής τους και το βαθμό της θερμομονωτικής τους προστασίας.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρατηρούμε ότι το 71% του συνόλου των κτιρίων ανήκουν στην 1^η κατηγορία, δηλαδή η ημερομηνία έκδοσης της οικοδομικής αδειας προηγείται της 1^{ης} Ιανουαρίου 1980, χρονική περίοδος κατά την οποία δεν υπήρχε καμία απαίτηση για θερμομονωτική προστασία. Συνεπώς, τα κτίρια αυτά δεν έχουν καμία θερμομονωτική προστασία, παρουσιάζουν μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση και είναι εφοδιασμένα με παλιές ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις. Η κατηγοριοποίηση των ελληνικών κτιρίων συνεχίζεται με την 2^η κατηγορία που περιλαμβάνει ένα διάστημα 30 ετών, από το 1980 έως την 1^η Οκτωβρίου 2010, όπου όλα τα κτίρια πληρούν τις απαιτήσεις του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων. Τέλος η 3^η κατηγορία αφορά τα νεόδμητα κτίρια τα οποία έχουν την υποχρέωση συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του νέου κανονισμού (ΚΕνΑΚ) όπως προαναφέρθηκε. Δεδομένου λοιπόν των ανωτέρω, καθίσταται σαφές η διαφορετική αντιμετώπιση του συνόλου των κτιρίων όχι μόνο ανά χρήση αλλά και ανά κατηγορία. (9)



Διάγραμμα 1.2: Κατανομή των ελληνικών κτιρίων με βάση το έτος κτίσης (9)

1.5.1. Κατοικίες

Ο τομέας των κατοικιών κατέχει το 25% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και καταναλώνει το 32,7% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας και το 21,5% της συνολικής θερμικής ενέργειας. Η ενεργειακή κατανάλωση των ελληνικών κατοικιών αντιπροσωπεύει το 73,6% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας του κτιριακού τομέα. Καταναλώνουν 14.550 GWh ή το 52,4% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει ο κτιριακός τομέας και 40.612 GWh ή το 91,2% της θερμικής ενέργειας (στοιχεία του 2001). Η συνολική κατανάλωση ενέργειας των ελληνικών κατοικιών αναμένεται να αυξηθεί κατά 10% το 2010 σε σύγκριση με το 2000, ενώ η αντίστοιχη ηλεκτρική κατανάλωση κατά 27%. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ενεργειακές ανάγκες των κατοικιών ανά χρονική περίοδο και κλιματική ζώνη. (9)



**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ Κ.Εν.Α.Κ**

Κλιματική Ζώνη	Μονοκατοικίες 1980	Πολυκατοικίες 1980	Μονοκατοικίες 2001	Πολυκατοικίες 2001	Μονοκατοικίες 2010 (Πρόβλεψη)	Πολυκατοικίες 2010 (Πρόβλεψη)
Μέση ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας kWh/m²						
Ελλάδα (Συνολικά)	26.61	28.13	38.68	40.63	37.45	39.20
ΖΩΝΗ Α	22.53	24.59	29.59	31.19	27.26	28.50
ΖΩΝΗ Β	28.28	31.45	42.33	46.76	41.75	45.84
ΖΩΝΗ Γ	24.08	25.77	34.99	36.99	33.74	35.45
ΖΩΝΗ Δ	25.35	28.13	34.63	36.63	32.65	34.21
Μέση ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας kWh/m²						
Ελλάδα (Συνολικά)	140.1	96.2	122.9	94.5	92.4	75.2
ΖΩΝΗ Α	94.0	65.3	89.1	61.9	66.9	52.1
ΖΩΝΗ Β	134.0	93.7	115.2	91.4	88.3	70.5
ΖΩΝΗ Γ	159.4	110.8	145.1	109.0	107.7	90.4
ΖΩΝΗ Δ	186.9	129.8	175.7	124.5	129.2	114.9

Πίνακας 1.4: Η μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m²) στις ελληνικές κατοικίες ανά κλιματική ζώνη (9)

1.5.2. Τριτογενής τομέας

Ο τριτογενής τομέας κατέχει το 7,3% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και καταναλώνει το 29,7% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας και το 2,1% της συνολικής θερμικής ενέργειας. Η ενεργειακή κατανάλωση του τριτογενή τομέα αντιπροσωπεύει το 23,7% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας του κτιριακού τομέα. Καταναλώνουν 13.235 GWh ή 47,6% της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης των ελληνικών κτιρίων και 3.908 GWh ή 8,8% της θερμικής ενέργειας. Το 2010 αναμένεται αύξηση κατά 30% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε σύγκριση με το 2000, ενώ η αντίστοιχη καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά 40%. (10) Η μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τις εμπλεκόμενες παραμέτρους και τα διαθέσιμα στοιχεία. Οι τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Κλιματική Ζώνη	Μέση ειδική κατανάλωση ενέργειας kWh/m ² a			Μέση ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας kWh/m ² a		
	1980	2001	2010	1980	2001	2010
Γραφείο/Εμπορικό (Γ/Ε)						
Ελλάδα (Συνολικά)	42	56	71	93	75	70
ΖΩΝΗ Α	48	67	88	67	52	48
ΖΩΝΗ Β	43	57	72	85	69	65
ΖΩΝΗ Γ	39	51	64	107	89	83
ΖΩΝΗ Δ	36	48	63	134	110	103
Ξενοδοχεία (Ξ)						
Ελλάδα (Συνολικά)	70	110	130	90	80	75
ΖΩΝΗ Α	77	122	145	71	62	58
ΖΩΝΗ Β	66	104	123	90	78	73
ΖΩΝΗ Γ	54	86	102	113	99	92
ΖΩΝΗ Δ	46	73	87	142	124	115
Σχολεία (Σ)						
Ελλάδα (Συνολικά)	20	20	21	32	31	31
ΖΩΝΗ Α	23	23	24	24	23	23
ΖΩΝΗ Β	21	21	22	29	29	28
ΖΩΝΗ Γ	18	19	20	37	36	36
ΖΩΝΗ Δ	17	17	18	46	46	45
Νοσοκομεία (Ν)						
Ελλάδα (Συνολικά)	90	99	107	145	134	129
ΖΩΝΗ Α	102	124	139	96	75	69
ΖΩΝΗ Β	92	97	102	136	129	126
ΖΩΝΗ Γ	82	94	104	188	168	160
ΖΩΝΗ Δ	77	84	91	252	237	231

Πίνακας 1.5: Μέση ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας (KWh/m²a) στα ελληνικά κτίρια (εκτός κατοικιών) ανά κλιματική ζώνη και περίοδο κατασκευής (10)

1.6. Εφαρμογές ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων

Η ιδέα του παθητικού κτιρίου ξεκίνησε πριν από περίπου 20 χρόνια στη Γερμανία και εξαπλώθηκε αργότερα στην Αμερική και τις βόρειες χώρες. Βασίζεται στη μελέτη των υπόσκαφων κτισμάτων της Σαντορίνης και των πέτρινων της Μάνης, που αποτελούν τα πρώτα αντιπροσωπευτικά παραδείγματα παθητικών κτιρίων στον κόσμο.

Στη σύγχρονη εποχή οι εφαρμογές στον τόπο μας είναι πολύ περιορισμένες. Σε αυτό συμβάλει το μεγάλο κόστος εγκατάστασης σε συνδυασμό με την έλλειψη οικονομικών μέτρων για την αναβάθμιση της αγοράς. Ωστόσο έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες προς την κατεύθυνση αυτή αναγνωρίζοντας την περιβαλλοντική σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά και την βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων:

1. ECO Κτίριο γραφείων

Εδρεύει στο Μαρούσι, Κ. Καραμανλή 79 & Ζεκάκου & Τσακάλωφ. (11) Είναι ένα αμιγές κτίριο γραφείων με αποθηκευτικούς χώρους, ένα υπόγειο όροφο στάθμευσης αυτοκινήτων, φυτεμένο δώμα και οικολογικό κήπο.



Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν τα εξής:

- Σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης με διογκωμένη πολυστερίνη 5εκ.
- Διπλά τζάμια low-e.
- Κατάλληλα σκίαστρα:
 - Κατακόρυφα πτερύγια στη βορειοδυτική όψη με συντελεστή σκίασης 26% τα οποία αυξάνουν τη ροή του ανέμου κατά την εφαρμογή του φυσικού δροσισμού.
 - Σύστημα 3 οριζόντιων περσίδων Ν.Α. όψης. Μέση ετήσια τιμή συντελεστή σκίασης ολικής ακτινοβολίας (θερινή περίοδος) 37%
 - Πρόβολος για Σκίαση Γραφείων Α' ορόφου. Μέση ετήσια τιμή συντελεστή σκίασης ολικής ακτινοβολίας (θερινή περίοδος) 38%
- Εξωτερικά Κουφώματα Αλουμινίου με θερμοδιακοπή
- Φυτεμένο δώμα με ξηροθερμικά φυτά.
- Οικολογικός κήπος με ξηροθερμικά φυτά.
- Παραβολικά φωτιστικά σώματα με ηλεκτρονικό ντιμαριζόμενο μετασχηματιστή και λαμπτήρες φθορισμού και σύστημα ελέγχου φωτεινής ροής (ανά φωτιστικό).
- Τοποθέτηση πλακών “ψυχρών υλικών” στους διαδρόμους / διελύσεις περιβάλλοντα χώρου ισογείου του κτιρίου τα οποία ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία και διατηρούν χαμηλή την θερμοκρασία στην επιφάνειά τους.
- Χρήση οικολογικών χρωμάτων σε τοίχους και οροφές.



Εικόνα 1.1: Προοπτικό σχέδιο κτιρίου γραφείων στο Μαρούσι. (11)

Η κατανάλωση του κτιρίου υπολογίστηκε ίση με $39,65 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Λόγω έλλειψης βάσης δεδομένων σε εθνικό επίπεδο, συγκρίνεται το κτίριο eco με το ίδιο κτίριο ενός βασικού σεναρίου το οποίο δεν περιλαμβάνει την υιοθέτηση στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας. Στο κτίριο βασικού σεναρίου ικανοποιείται βέβαια ο κανονισμός θερμομόνωσης και η κατασκευή είναι συμβατική. Υπολογίστηκε ότι η κατανάλωσή του είναι $71,28 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Επομένως το κτίριο eco εξοικονομεί το 44,4% της ενέργειας του βασικού σεναρίου ή 6700 kWh/a και μειώνει το ενεργειακό αποτύπωμα του κατά 72 τόνους CO_2 ετησίως.

2. Βιοκλιματικές κατοικίες

Στην Ελλάδα, η έννοια των παθητικών κτιρίων είναι συνώνυμη με αυτή των βιοκλιματικών κτιρίων. Βιοκλιματικά ονομάζονται τα κτίρια τα οποία είναι σχεδιασμένα με βάση το τοπικό κλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές, αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτίρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων. Μέχρι το 2002 στην Ελλάδα υπήρχαν περίπου 180 εφαρμογές βιοκλιματικών κτιρίων εκ των οποίων ο μεγαλύτερος αριθμός (58 στο σύνολο συμπεριλαμβανομένου του Ηλιακού Χωριού) βρίσκονται στην Αττική και έπεται η Μακεδονία (41 περιπτώσεις κτιρίων). Οι εφαρμογές αυτές αφορούν κυρίως τον τομέα της κατοικίας



χαμηλού ύψους (έναν-δύο ορόφους) κατά 74%, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει ξεκινήσει και η εφαρμογή σε κτίρια του τριτογενή τομέα.

Από τα συστήματα και τις τεχνικές που έχουν ευρύτερα εφαρμοστεί, την πρώτη θέση κατέχουν οι απλές τεχνικές για μεγιστοποίηση των νότιων ανοιγμάτων (παθητικά συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους για θέρμανση) που εμφανίζονται στο 81% των κτιρίων και χρήση ηλιακών χώρων έμμεσου κέρδους (κυρίως θερμοκήπια που εμφανίζονται στο 42% των περιπτώσεων). Ηλιακοί τοίχοι (Trombe, μάζας και θερμοσιφωνικά πανέλα) εμφανίζονται στο 27% των κτιρίων που κατεγράφησαν. Από τους ηλιακούς τοίχους το 68% αποτελούν οι τοίχοι Trombe, το 11% οι τοίχοι μάζας, 4% οι τοίχοι νερού και 17% τα θερμοσιφωνικά πανέλα. Μια μόνο εφαρμογή στο σύνολο των κατοικιών έκανε χρήση θερμικής κλίνης στερεών (rock bed) σε συνδυασμό με θερμοσιφωνικό πανέλο. Επιπλέον, η αυξημένη θερμομόνωση, η διαφοροποιημένη μη συμβατική κατασκευή των εξωτερικών τοιχοποιιών, τα φυτεμένα δώματα και η ελαχιστοποίηση των βορινών ανοιγμάτων προσφέρουν επιπρόσθετη προστασία το χειμώνα.

Σύμφωνα με τις προσομοιώσεις των εφαρμογών βάσει των καταγεγραμμένων πραγματικών συνθηκών χρήσης των κτιρίων, οι ενεργειακές απαιτήσεις που προκύπτουν για τη θέρμανση των βιοκλιματικών κατοικιών (κτιρίων συνεχούς χρήσης) στην Α΄ κλιματική ζώνη κυμαίνονται από 25 έως 42 kWh/m², στη Β΄ κλιματική ζώνη από 28 έως 55 kWh/m², ενώ στη Γ΄ κλιματική ζώνη από 44 έως 90 kWh/m² ετησίως. Εκτιμάται δε ότι σε σχέση με τα συμβατικά κτίρια κατασκευής μετά το 1979, τα βιοκλιματικά παρουσιάζουν εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 30%, ενώ σε σχέση με παλαιότερα αμόνωτα κτίρια η αντίστοιχη εξοικονόμηση ενέργειας ανέρχεται σε ποσοστό της τάξης του 80%. Βέβαια η πλήρης εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων που απορρέουν από τον βιοκλιματικό σχεδιασμό απαιτεί, τόσο την σωστή υλοποίηση της μελέτης χωρίς λάθη και παραλήψεις, όσο και την σωστή λειτουργία και την απαραίτητη συντήρηση από τους χρήστες. Οι παράγοντες αυτοί επιδρούν σε τέτοιο βαθμό στη διαμόρφωση των συνθηκών άνεσης που αρκετές φορές παρατηρούνται αποτελέσματα ακριβώς αντίθετα από τα επιθυμητά (υπερθέρμανση, θάμβωση, κλπ). (12)

3. Προμηθεύς Πυρφόρος

Το πεντάωρο κτίριο των 600 m², με το όνομα «Προμηθεύς Πυρφόρος», εδρεύει στο Παλαιό Φάληρο, Χαρίτων 31, εγκαινιάστηκε στις 04 Οκτωβρίου 2007 και έκτοτε στεγάζει τα γραφεία της εταιρείας SOL Energy Hellas, η οποία είναι και η κατασκευάστρια εταιρεία. Είναι



ένα συμβατικό αρχιτεκτονικά κτίριο, που όμως λειτουργεί με χρήση ήπιων μορφών ενέργειας, με τις οποίες καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες σε θέρμανση και κλιματισμό. Η ιδιότητα του αυτή το καθιστά το πρώτο ενεργειακά αυτόνομο κτίριο στην Ελλάδα, καθώς δεν χρησιμοποιεί κάποια ρυπογόνο μορφή ενέργειας. (13) (14) (15) (16) (17)

Επιγραμματικά αναφέρουμε ότι στο κτίριο ενσωματώθηκαν και αναπτύχθηκαν οι ακόλουθες τεχνολογίες:

- Παθητικός ενεργειακός σχεδιασμός για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών αναγκών.

Για τον λόγο αυτό εγκαταστάθηκαν:

- ειδικού τύπου θερμομόνωση (πολυστερίνη 5 cm, ειδικό πλέγμα και θερμομονωτικό σοβά πάχους 2 mm),
 - προσανατολισμός,
 - διπλοί υαλοπίνακες χαμηλής εκπεμψιμότητας και υψηλής ανακλαστικότητας, οι οποίοι περιέχουν αδρανές αέριο
 - αλουμίνια με θερμοδιακοπή (πλαίσια αλουμινίου αποτελούμενα από δύο τμήματα, εσωτερικό και εξωτερικό προφίλ αλουμινίου, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με παρεμβύσματα χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας προς αποφυγή θερμογεφυρών),
 - εξειδικευμένος φωτισμός χαμηλής κατανάλωσης.
- Παραγωγή θερμού νερού από 30 επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες υψηλής απόδοσης και συνολικής επιφάνειας 84,6 m². Με τους συλλέκτες αυτούς επιτυγχάνονται η θέρμανση (απευθείας παροχή του ζεστού νερού σε ειδικούς σωλήνες και στην προθέρμανση του αέρα) καθώς επίσης και ο κλιματισμός (διοχέτευση του ζεστού νερού σε ψύκτη τεχνολογίας απορρόφησης) του κτιρίου.
 - Επιτοίχια και ενδοδαπέδια θέρμανση και δροσισμό, με σωλήνες πολυαιθυλενίου.
 - Εποχιακή αποθήκευση θερμότητας σε μη μεταλλικές (τσιμεντένιες) δεξαμενές, με ειδική στεγάνωση και θερμομόνωση, που βρίσκονται κάτω από το κτίριο, συνολικής χωρητικότητας 200 m³.
 - Ηλιακά υποβοηθούμενη αφύγρανση με στερεά υλικά (τεχνολογία desiccant). Κάθε εξαερισμός του συγκεκριμένου κτιρίου διαθέτει μία μικρή κυψέλη, με ένα ειδικό υλικό στο εσωτερικό της (silica gel) που έχει τη δυνατότητα να απορροφάει και να κατακρατεί την υγρασία.



• Αβαθής γεωθερμία - ηλιακά βοηθούμενες γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή έχουν εγκατασταθεί δύο ανεξάρτητα κυκλώματα, αυτόνομης απολαβής ή απόρριψης των ενεργειακών φορτίων, ενώ υπάρχει η δυνατότητα παράκαμψης της αντλίας θερμότητας και απευθείας διασύνδεσης με τα δευτερεύοντα κυκλώματα των ανάλογων υποδοχέων. Τα γεωθερμικά κυκλώματα αυτά είναι τύπου:

❖ Κλειστού κυκλώματος γεωεναλλάκτη, αποτελούμενο από πέντε παράλληλους βρόγχους.

❖ Ανοικτού κυκλώματος άντλησης από τον υδροφόρο ορίζοντα μέσω φρεατίων και κατάλληλου πλακοειδούς εναλλάκτη θερμότητας.

Για καλύτερα αποτελέσματα, το σύστημα αυτό ενισχύεται από τη λεγόμενη «αντλία θερμότητας».

• Προκλιματισμός νωπού αέρα μέσω κεντρικών κλιματιστικών μονάδων διπλού στοιχείου.

• Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες. Η ανατολική πρόσοψη του κτιρίου καλύπτεται σχεδόν ολόκληρη από 44 πανέλα φωτοβολταϊκών, ισχύος 100 W έκαστο, τα οποία εκτιμάται ότι μπορούν να παράγουν ετησίως ενέργεια της τάξης των 3.245 kWh. Το άμορφο πυρίτιο, από το οποίο είναι κατασκευασμένα επιτρέπουν την λειτουργία τους ακόμα και με συννεφιά, μερική σκίαση ή/και μόνο με την παρουσία διάχυτης ακτινοβολίας.

• Σύστημα αυτοματισμών με εξελιγμένη στρατηγική ελέγχου για βέλτιστη ενεργειακή διαχείριση. Το σύστημα αυτό παρακολουθεί διαρκώς, με χρήση κατάλληλων αισθητήρων, και καταγράφει τις απαραίτητες παραμέτρους, ώστε να προσαρμόζεται στα προσδιδόμενα ή απορριπτόμενα φορτία του κτιρίου. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομεί ενέργεια, θέτοντας πάντα σε λειτουργία το σύστημα το οποίο καλύπτει τις απαιτήσεις με το πιο αποδοτικό τρόπο.



2. Συστήματα παραγωγής θερμικής ενέργειας

Το μεγαλύτερο ποσοστό της καταναλισκόμενης πρωτογενούς και τελικής ενέργειας στον κτιριακό τομέα οφείλεται στην κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση χώρων και σε ζεστό νερό χρήσης, ενώ διαπιστώνεται εξίσου σημαντική κατανάλωση ενέργειας και για τον κλιματισμό των χώρων τους θερμούς μήνες του έτους. Η κάλυψη των αναγκών αυτών γίνεται κυρίως με την καύση ορυκτών καυσίμων και πετρελαίου, η οποία συνοδεύεται με παραγωγή και εκπομπή αέριων ρύπων, όπως το CO₂. Με την πάροδο του χρόνου οι ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων αυξάνονται οδηγώντας με τον τρόπο αυτό, όπως είναι αναμενόμενο, σε αύξηση της καταναλισκόμενης πρωτογενούς ενέργειας και τελικά στην αύξηση των ρύπων.

Η ριζική αντιμετώπιση της αυξανόμενης κατανάλωσης υποδεικνύει την αναγκαιότητα για άμεση παρέμβαση στη ζήτηση, όπως φάνηκε και από την τοποθέτηση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στην Πράσινη Βίβλο. (1) Βάσει της τοποθέτησης αυτής η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε οδηγίες με τις οποίες πρέπει να συμμορφωθούν τα κράτη μέλη της, όπως είναι η χώρα μας, πραγματοποιώντας άμεσες παρεμβάσεις στον κτιριακό τομέα.

Οι παρεμβάσεις για την επίτευξη της ελαχιστοποίησης της ενεργειακής ζήτησης στηρίζονται σε δυο κύριους άξονες:

- i. Την καλή θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απαιτήσεις σε ενέργεια με περιορισμό των απωλειών και,
- ii. Την παραγωγή θερμικής ενέργειας από εναλλακτικές πηγές και την αποθήκευση της για την πιο αποδοτική χρήση της.

Η κάλυψη των θερμικών αναγκών του κτιρίου με σύγχρονες μεθόδους έχει πολλαπλά οφέλη για τους τελικούς καταναλωτές αλλά και για τη χώρα. Η χρήση πολλών μικρών εγκαταστάσεων νέας τεχνολογίας οδηγεί στην βέλτιστη κάλυψη των θερμικών αναγκών με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση καυσίμων και τις μικρότερες δυνατές απώλειες μεταφοράς. Η βελτιστοποίηση των συστημάτων θέρμανσης οδηγεί ταυτόχρονα και στη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν τα βοηθητικά συστήματα θέρμανσης. Μειώνοντας τις ηλεκτρικές καταναλώσεις από τους τελικούς χρήστες, μειώνονται οι καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας, κυρίως του λιγνίτη, το οποίο έχει ως επακόλουθο την αποφόρτιση του κεντρικού δικτύου παραγωγής ενέργειας. Συνοψίζοντας τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι, με τη βελτίωση των συστημάτων θέρμανσης γίνεται μια δραστική κίνηση προς την επίτευξη χαμηλότερων επιπέδων εκπομπής αέριων ρύπων.

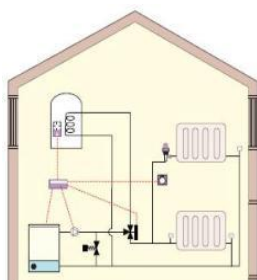
Σε ό,τι αφορά τη θερμομόνωση, πρέπει να τονίσουμε ότι η εξασφάλιση πολύ καλής θερμομόνωσης του κτιριακού κελύφους αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματική μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, διότι χάριν σε αυτή ελαχιστοποιούνται οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον.

Εστιάζοντας στον δεύτερο άξονα των παρεμβάσεων, στην παρούσα εργασία θα πραγματοποιηθεί μια διερεύνηση των διαφόρων μεθόδων παραγωγής θερμικής ενέργειας, οι οποίες επιτυγχάνουν την κάλυψη των θερμικών αναγκών των κτιρίων, με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας.

2.1. Λέβητες

2.1.1. Γενικά στοιχεία

Οι πλέον διαδεδομένες μονάδες παραγωγής θερμότητας στον κτιριακό τομέα είναι οι λέβητες. Ένα σύστημα συμβατικής θέρμανσης αποτελείται από ένα σύνολο αλληλοσυνδεόμενων συσκευών και οργάνων, όπως ο λέβητας, ο καυστήρας, ο κυκλοφορητής, η δεξαμενή καυσίμων, οι διατάξεις ασφαλείας, οι σωληνώσεις, η καπνοδόχος και τα θερμαντικά σώματα. Οι συσκευές και τα όργανα που απαρτίζουν την καρδιά του συστήματος βρίσκονται στο λεβητοστάσιο του κτιρίου, ενώ τα θερμαντικά σώματα είναι τοποθετημένα στους προς θέρμανση χώρους. (18)



Εικόνα 2.1: Σύνδεση λέβητα με boiler και θερμαντικά σώματα (18)

Ο καυστήρας, ο οποίος προσαρτάται στο λέβητα, είναι υπεύθυνος για την ανάμειξη του καύσιμου υλικού (στερεού, υγρού ή αερίου) με τον αέρα έτσι ώστε να προκαλείται και να συντηρείται η καύση. Ο λέβητας είναι η συσκευή εντός της οποίας πραγματοποιείται η καύση του καυσίμου για την παραγωγή θερμικής ενέργειας, η οποία προσδιδόμενη στο θερμικό μέσο (συνήθως νερό) επιτυγχάνει τη θέρμανση του κτιρίου ή/και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Το θερμικό μέσο κυκλοφορεί μέσω του δικτύου σωληνώσεων, το οποίο είναι



υπεύθυνο για τη διανομή της παραγόμενης θερμότητας. Τα προϊόντα της καύσης (καυσαέρια), αφού προσδώσουν το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας τους στο νερό για την ατμοπαραγωγή, διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα μέσω της καπνοδόχου.

Ο τύπος του λέβητα που θα χρησιμοποιηθεί σε μια εφαρμογή καθορίζεται κυρίως από την απαιτούμενη θερμοκρασία και πίεση του παραγόμενου ατμού ή νερού. Οι λέβητες διακρίνονται γενικά σύμφωνα με το υλικό κατασκευής τους σε χυτοσίδηρους και χαλύβδινους. Οι χυτοσίδηροι αντέχουν καλύτερα στη διάβρωση, μπορούν να επιδεχθούν προσθήκες στοιχείων και χρειάζονται μικρότερες ποσότητες νερού κατά τη λειτουργία τους. Οι χαλύβδινοι έχουν μικρότερο βάρος, αντέχουν καλύτερα στις πιέσεις και στις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας, οι διαστάσεις τους προσαρμόζονται καλύτερα στις διάφορες απαιτήσεις και έχουν χαμηλό κόστος. (19)

Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι μια σημαντική παράμετρος του συστήματος, καθώς η παραγόμενη ενέργεια εξαρτάται από τα διάφορα χαρακτηριστικά του καυσίμου, όπως η κατώτερη θερμογόνος δύναμη. Το μέγεθος αυτό είναι σημαντικό για την αξιολόγηση του συστήματος θέρμανσης και σε συνδυασμό με το βαθμό απόδοσης του συστήματος, προσδιορίζεται η κατανάλωση του καυσίμου για την κάλυψη των αναγκών. Οι κοινοί λέβητες που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι πετρελαίου, ενώ υπάρχουν και εφαρμογές που χρησιμοποιούν ρεύμα, υγραέριο ή φυσικό αέριο, ακόμη και βιομάζα.

Μια σημαντική παράμετρος ενός συστήματος παραγωγής, όπως ο λέβητας, είναι ο προσδιορισμός του βαθμού απόδοσης του. Υπάρχουν δύο μέθοδοι για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του λέβητα, η άμεση και η έμμεση. Κατά την άμεση μέθοδο προσδιορίζεται ο συντελεστής απόδοσης με βάση την διαθέσιμη-αξιοποιήσιμη ενέργεια (θερμότητα) προς την προσφερόμενη. Δηλαδή, ορίζεται ως ο λόγος της θερμότητας που μεταδίδεται στο νερό του λέβητα, προς την προσδιδόμενη από το καταναλισκόμενο καύσιμο, ανηγμένη στην κατώτερη θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου. Βάσει του ορισμού αυτού, η σχέση που δίνει την απόδοση είναι μια από τις ακόλουθες:

$$\text{Απόδοση λέβητα} = \frac{\text{Αποδιδόμενη Θερμότητα Λέβητα}}{\text{Προσφερόμενη Θερμότητα Καυσίμου}} \cdot 100\%$$

$$\text{Απόδοση λέβητα} = \frac{\text{Προσφερόμενη Θερμότητα στο νερό Παροχής}}{\text{Προσφερόμενη Θερμότητα στον λέβητα}} \cdot 100\%$$



Μια άλλη μέθοδος προσδιορισμού της απόδοσης του λέβητα είναι η έμμεση μέθοδος. Στην περίπτωση αυτή, ο προσδιορισμός της απόδοσης των λεβήτων γίνεται μέσω της ανάλυσης των καυσαερίων και προσδιορίζεται από την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO₂. Στις επιθεωρήσεις των κτιρίων, χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα της ανάλυσης καυσαερίων, για τον ακριβή προσδιορισμό, ενώ όταν αυτά δεν είναι διαθέσιμα, γίνεται χρήση των εμπειρικών πινάκων και σχέσεων. (20)

Αν και οι λέβητες αποτελούν τη δημοφιλέστερη επιλογή για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις παρουσιάζουν ορισμένα προβλήματα. Στην πλειοψηφία τους, οι ήδη εγκατεστημένοι λέβητες είναι παλαιάς τεχνολογίας, χαμηλής απόδοσης και σε πολλές περιπτώσεις λανθασμένης διαστασιολόγησης και μόνωσης, οι οποίοι δεν επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών. Με την πάροδο του χρόνου, η απόδοση των συστημάτων μειώνεται, κυρίως λόγω φθοράς των εξαρτημάτων και κακής συντήρησης τους. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, ενώ τα καινούρια συστήματα θέρμανσης έχουν απόδοση περίπου 90-95%, στα παλαιά συστήματα το ποσοστό αυτό πέφτει ακόμα και στο 70%. (21) Οι χρήστες καταφεύγουν σε χρήση πρόσθετων συστημάτων θέρμανσης ταυτόχρονα με τη λειτουργία του λέβητα, όπως ανοικτές εστίες καύσης ή κλιματιστικές συσκευές, καταναλώνοντας μεγαλύτερα ποσά ενέργειας.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κτιρίου αλλά και την οικονομική δυνατότητα των καταναλωτών. Στην πιο απλή περίπτωση, και όταν δεν υπάρχει δυνατότητα για οποιαδήποτε άλλη παρέμβαση, συνίσταται η αντικατάσταση του παλαιού συστήματος λέβητα-καυστήρα, μέρους ή και ολόκληρου του υφιστάμενου συστήματος, με έναν καινούργιο λέβητα. Οι λέβητες είναι μια τεχνολογία δοκιμασμένη και αξιόπιστη από την πλειοψηφία των χρηστών, ενώ οι τεχνίτες που δραστηριοποιούνται στον τομέα των θερμάνσεων είναι εξοικειωμένοι με τη τεχνολογία των λεβήτων. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις επέμβασης σε υφιστάμενα συστήματα, η ευκολία εγκατάστασης τους και το μικρό σχετικά κόστος, συγκριτικά με τις «νέες» τεχνολογίες, τα καθιστά ως την κύρια επιλογή των χρηστών.

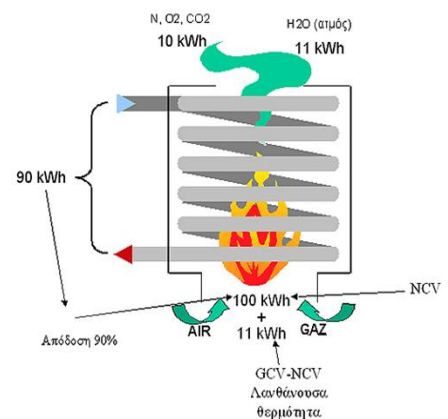
Προτού γίνει η επιλογή και η εγκατάσταση του νέου λέβητα, επιβάλλεται να εκπονηθεί μελέτη για τον προσδιορισμό των θερμικών αναγκών συστήματος, ώστε να αποφευχθούν προβλήματα υπερδιαστασιολόγησης. Όπως αναφέρεται και στη Τεχνική Οδηγία του Τ.Ε.Ε 20701-1/2010 (8), το σύστημα θα πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις σε θέρμανση για τις δυσμενέστερες συνθήκες που παρατηρούνται στην εξεταζόμενη κλιματική ζώνη. Δεδομένου ότι οι εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος μεταβάλλονται συνεχώς τόσο σε ημερήσια όσο και

σε ωριαία βάση, το σύστημα κατά το μεγαλύτερο διάστημα καλείται να αντιμετωπίσει εξωτερικές συνθήκες ηπιότερες αυτών του σημείου σχεδιασμού. Συνεπώς, το σύστημα θέρμανσης θα λειτουργεί σε μερικό φορτίο και με χαμηλότερη απόδοση. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, σε ορισμένες περιπτώσεις εξετάζεται το ενδεχόμενο εγκατάστασης πολυβάθμιων λεβήτων ή/και περισσότερων του ενός λεβήτων διαφορετικής ισχύος, ώστε το σύστημα να μπορεί να λειτουργεί αποδοτικά και στα μερικά φορτία.

2.1.2. Λέβητας φυσικού αερίου

Εκτός από την ισχύ του λέβητα πρέπει να διερευνηθεί και η δυνατότητα αλλαγής του καυσίμου. Σε νέες ή ανακαινισμένες εγκαταστάσεις θέρμανσης συνίσταται η κατάργηση της χρήσης του πετρελαίου. Το κύριο καύσιμο που αντικαθιστά το πετρέλαιο σήμερα είναι το φυσικό αέριο, του οποίου το εύρος χρήσης στη χώρα μας ήταν περιορισμένο, κυρίως λόγω των δυσκολιών που παρουσίαζε ο εφοδιασμός του στον τόπο κατανάλωσης. Μέχρι σήμερα, δεν εξυπηρετούνται όλες οι περιοχές από το δίκτυο παροχής φυσικού αερίου, περιορίζοντας τη δυνατότητα σύνδεσης. Επιπροσθέτως, το κόστος επέμβασης αλλαγής του καυσίμου, ακόμα και σήμερα, είναι αρκετά υψηλό λόγω της διαδικασίας σύνδεσης με το δίκτυο παροχής φυσικού αερίου της περιοχής (διεξαγωγή μελέτης από μηχανικό, κατασκευή εσωτερικής εγκατάστασης, τέλη σύνδεσης).

Παρά τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η διαδικασία αλλαγής του καυσίμου, παρατηρείται αύξηση των εγκαταστάσεων λεβήτων φυσικού αερίου, όποτε αυτή είναι δυνατή. Η επιλογή τους είναι δικαιολογημένη, αν λάβουμε υπόψη τα πλεονεκτήματά του φυσικού αερίου. (22) Η θέρμανση με χρήση φυσικού αερίου γίνεται χρησιμοποιώντας εξοπλισμό για τον οποίο δεν απαιτούνται



Εικόνα 2.2 : Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου (21)

πρόσθετες δαπάνες για την ομαλή λειτουργία του (δεξαμενές, αντλίες, προθερμαντήρες, κ.λπ.), ενώ παρουσιάζει υψηλότερη απόδοση, φθάνοντας ακόμα και το 94% σε καλοσυντηρημένες εγκαταστάσεις, και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τον αντίστοιχο εξοπλισμό για καύση πετρελαίου.



Επιπλέον, το φυσικό αέριο έχει χαμηλότερο κόστος αγοράς³ σε σχέση με το πετρέλαιο θέρμανσης, του οποίου η τιμή παρουσιάζει ανοδική πορεία. Το κόστος του φυσικού αερίου σε συνδυασμό με το μικρό κόστος συντήρησης των συσκευών, καθιστούν το φυσικό αέριο μια οικονομική ενέργεια συγκριτικά με το πετρέλαιο, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται γρήγορη αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης. Συνεπώς, εκτός από την εξοικονόμηση χρημάτων, με τη χρήση του φυσικού αερίου επιτυγχάνεται αφενός εξοικονόμηση ενέργειας κατά την παραγωγή θερμότητας και αφετέρου οι εκπομπές αερίων ρύπων που προκύπτουν κατά την καύση του είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές που προκύπτουν κατά την καύση του πετρελαίου (23).

2.1.3. Λέβητας βιομάζας/pellets

Εκτός από τους λέβητες φυσικού αερίου, είναι διαθέσιμοι στην αγορά λέβητες που χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη τη βιομάζα, που θεωρείται πλέον ως μορφή ανανεώσιμης ενέργειας. Η βιομάζα προέρχεται από υλικά φυτικής και ζωικής προέλευσης, όπως δασικά, γεωργικά και βιομηχανικά υπολείμματα, προϊόντα ενεργειακών καλλιεργειών, κτηνοτροφικά και αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Στον οικιακό τομέα, η κύρια χρήση της βιομάζας αφορά στην καύση της για θέρμανση και παραγωγή ζεστού νερού. Σε αυτήν την περίπτωση, η βιομάζα που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι σε:

- a. ακατέργαστη μορφή, όπως καυσόξυλα, πυρηνόξυλο, σπασμένα κουκούτσια κ.λπ.,
- b. επεξεργασμένη μορφή για ευκολότερη χρήση, αποθήκευση και μεταφορά, όπως μπρικέτες ή συσσωματώματα βιομάζας (pellets). (24)

Η καύση της βιομάζας μπορεί να πραγματοποιείται:

- λέβητας ξύλου ή pellets για κεντρική θέρμανση με απόδοση 70-90%,
- τυπικό τζάκι με απόδοση 20-30%,
- ενεργειακό τζάκι (που θερμαίνει και άλλους χώρους ή νερό) με απόδοση 80-85%,
- σόμπα ξύλου ή pellets με απόδοση 90%.

Μέχρι και σήμερα, βάσει της νομοθεσίας (Υ.Α. 103/1993/Β-369), η βιομάζα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί εντός των δυο μεγάλων αστικών κέντρων της Ελλάδας, δηλαδή της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, τα οποία είναι όμως υπεύθυνα για τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο, με πρόσφατη ανακοίνωση του, το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας

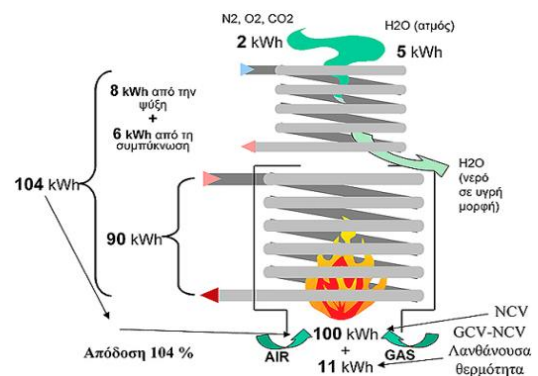
³ Για το νομό Αττικής, από την 1η Οκτωβρίου καταργείται η έκπτωση 18% στην τιμή του αερίου, η οποία στο εξής θα ακολουθεί τις διακυμάνσεις του κόστους, βάσει του οποίου η εταιρία το προμηθεύεται από τη ΔΕΠΑ, συν τους φόρους και ένα σταθερό περιθώριο κέρδους.

και Κλιματικής Αλλαγής θα προχωρήσει σε απελευθέρωση της χρήσης pellets σε εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης στους νομούς Αττικής και Θεσσαλονίκης με υπουργική απόφαση, που πρόκειται να τεθεί σε δημόσια διαβούλευση, που θα ρυθμίζει τη λειτουργία των σταθερών εστιών καύσης για τη θέρμανση κτιρίων και νερού χρήσης. (25) Το υπουργείο δικαιολογεί την άρση, αναγνωρίζοντας ότι εξαιτίας της προόδου των τεχνολογιών καύσης βιομάζας και ιδιαίτερα των pellets σε συνδυασμό με την αντίστοιχη ευρωπαϊκή εμπειρία, οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί που την χαρακτήριζαν έχουν αρθεί. Η βιομάζα αναμένεται να συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας και στον περιορισμό του κόστους για τη θέρμανση με χρήση συμβατικών καυσίμων, συμβάλλοντας στην επίτευξη των στόχων του «20-20-20».

2.1.4. Λέβητας συμπύκνωσης

Η συνεχής έρευνα για ορθολογικότερη χρήση της ενέργειας και των τεχνικών χρήσης που είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον οδήγησαν την τεχνολογική ανάπτυξη των λεβήτων, επιδιώκοντας την εκμετάλλευση της μέγιστης ενέργειας του καυσίμου, δηλαδή της ανώτερης θερμογόνου ικανότητας⁴(Α.Θ.Ι.) αντί της κατώτερης θερμογόνου ικανότητας⁵ (Κ.Θ.Ι.). Η αναζήτηση αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη της σύγχρονης τεχνολογίας των λεβήτων συμπύκνωσης, οι οποίοι λειτουργούν με καύσιμο πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. (26) Η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας συνεπάγεται μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και ταυτόχρονη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων προς το περιβάλλον.

Η βασική αρχή λειτουργίας τους, η οποία τους διαφοροποιεί από τους συμβατικούς λέβητες, είναι η χρήση ενός δευτέρου εναλλάκτη θερμότητας καυσαερίων, διαμέσου του οποίου διέρχεται το θερμικό μέσο, όπως αυτό επιστρέφει από τις τερματικές μονάδες. Τα θερμά καυσαέρια, προτού απορριφθούν από την καπνοδόχο, έρχονται σε επαφή με τον εναλλάκτη, με αποτέλεσμα οι υδρατμοί που περιέχουν να συμπυκνώνονται, αποδίδοντας την ενέργεια που περιέχουν στο θερμικό μέσο θερμαίνοντας το. Στη συνέχεια το θερμικό μέσο



Εικόνα 2.3: Λέβητας φυσικού αερίου με τεχνολογία συμπύκνωσης (21)

⁴ Ανώτερη Θερμογόνος Ικανότητα (Α.Θ.Ι.): θερμότητα που απελευθερώνει η πλήρης καύση του καυσίμου, συμπεριλαμβανομένης της λανθάνουσας θερμότητας εξάτμισης των υδρατμών στα καυσαέρια.

⁵ Κατώτερη Θερμογόνος Ικανότητα (Κ.Θ.Ι.): θερμότητα που ελευθερώνει η πλήρης καύση όταν το νερό στα καυσαέρια παραμένει σε μορφή υδρατμού.



διέρχεται από τον κύριο εναλλάκτη του λέβητα για να θερμανθεί μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία προσαγωγής. Τα καυσαέρια, που έχουν ψυχθεί, εξέρχονται στην ατμόσφαιρα με θερμοκρασία περίπου 50-70°C, όταν η αντίστοιχη θερμοκρασία στους συμβατικούς λέβητες είναι περίπου 150-250°C. (27)

Χάριν στην εκμετάλλευση της λανθάνουσας θερμότητας καυσαερίων οι λέβητες συμπύκνωσης πλεονεκτούν έναντι των συμβατικών λεβήτων, επιτυγχάνοντας υψηλούς βαθμούς απόδοσης, οι οποίοι μπορεί να φθάσουν έως και το 109% περίπου. Το επιστημονικό αυτό παράδοξο οφείλεται στο γεγονός ότι, σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα, ο υπολογισμός της απόδοσης για όλους τους τύπους λέβητα βασίζεται στην κατώτερη θερμογόνο ικανότητα, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να συγκριθεί η απόδοση των συμβατικών λεβήτων και των λεβήτων συμπύκνωσης επί της ίδιας βάσεως. Για το μεθάνιο η λανθάνουσα θερμότητα που μπορεί να ανακτηθεί ισούται με το 11% της Κ.Θ.Ι., ενώ για τα υγρά καύσιμα το ποσοστό είναι περίπου 6%. Η διαφορά αυτή δικαιολογεί την εκτενέστερη χρήση του φυσικού αερίου στους λέβητες συμπύκνωσης έναντι του πετρελαίου. Στην πράξη ωστόσο, η θερμική απόδοση του είναι χαμηλότερη του 111%, καθώς η συμπύκνωση των υδρατμών και η ανάκτηση της αισθητής θερμότητας δεν είναι πλήρεις. (26)

Ένας καίριος παράγοντας, ο οποίος πρέπει να ληφθεί υπόψη ώστε να είναι δυνατή η εκμετάλλευση της τεχνολογίας συμπύκνωσης, είναι η θερμοκρασία επιστροφής του μέσου. Για να μπορέσουμε να εκμεταλλευθούμε την ενέργεια των συμπυκνωμάτων, η θερμοκρασία επιστροφής του μέσου πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη γίνεται, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η εκμετάλλευση της συμπύκνωσης σε όλη την περίοδο λειτουργίας θέρμανσης. Η μεγαλύτερη εκμετάλλευση της ενέργειας των συμπυκνωμάτων επιτυγχάνεται σε εγκαταστάσεις με περιορισμένη θερμοκρασία κατάθλιψης και επιστροφής, περίπου 50/30°C. Αύξηση της θερμοκρασίας επιστροφής της εγκατάστασης μειώνει το πεδίο συμπύκνωσης, καθιστώντας την αδύνατη σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, δεδομένου ότι η θερμοκρασία συμπύκνωσης των υδρατμών όταν ο λέβητας λειτουργεί με μεθάνιο είναι περίπου 57°C, στις εγκαταστάσεις υψηλής θερμοκρασίας 80/60°C η συμπύκνωση δεν είναι δυνατή με εξωτερικές θερμοκρασίες κάτω των -11,5°C.

Το κύριο μειονέκτημα των λεβήτων συμπύκνωσης είναι το αυξημένο κόστος κτήσης. Το κόστος εγκατάστασης των λεβήτων επιβαρύνεται και με τις απαιτήσεις εγκατάστασης ειδικών συστημάτων διαχείρισης των συμπυκνωμάτων και απαγωγής των προϊόντων της καύσης. Ιδιαίτερα για την απαγωγή των καυσαερίων, απαιτείται ειδικά διαμορφωμένη καπνοδόχος για



την αποφυγή προβλημάτων διάβρωσης. Το κόστος των επεμβάσεων που αφορούν το σύστημα παραγωγής επιβαρύνεται πολλές φορές και από το κόστος αντικατάστασης των τερματικών μονάδων με μονάδες χαμηλών θερμοκρασιών (λ.χ. ενδοδαπέδια), αυξάνοντας σημαντικά το κόστος της συνολικής επέμβασης. Ωστόσο, η μείωση του κόστους που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας συμπίκνωσης μειώνουν συνεχώς το χρόνο απόσβεσης της επένδυσης, δίνοντας ώθηση στη χρήση της τεχνολογίας συμπίκνωσης.

Η χρήση του φυσικού αερίου ή/και των λεβήτων συμπίκνωσης μπορεί να εξασφαλίσει σημαντική ετήσια εξοικονόμηση, της τάξης του 15-20% περίπου. Η απόσβεση της επένδυσης εκτιμάται ότι επιτυγχάνεται για τον λέβητα φυσικού αερίου σε 2 χρόνια, και για τον λέβητα συμπίκνωσης σε 7,5 χρόνια. Οι τιμές αυτές βέβαια είναι ενδεικτικές και εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της επέμβασης και τις επιλογές των επενδυτών. (21)

Στα πλαίσια των επεμβάσεων στο σύστημα θέρμανσης, η βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος επιτυγχάνεται με τη βελτίωση τόσο της απόδοσης της μονάδας παραγωγής, όσο και των βοηθητικών συστημάτων θέρμανσης. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στη συνολική απόδοση παίζει και η μόνωση των σωληνώσεων του δικτύου διανομής. Πέραν από την βελτίωση του συστήματος καύσης μπορεί, αν κριθεί απαραίτητο, να μεταβληθεί και το σύστημα διανομής και απόδοσης της θερμότητας μέσα στο κτίριο, αντικαθιστώντας τα παλαιά θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ) με τερματικές μονάδες τύπου πάνελ, σωστά διαστασιολογημένες. Αν μάλιστα το κτίριο είναι επαρκώς μονωμένο, εξασφαλίζοντας έτσι μειωμένο ρυθμό απωλειών, υπάρχει η δυνατότητα να εγκατασταθούν συστήματα θέρμανσης χαμηλών θερμοκρασιών (30 - 45°C), δαπέδου - τοίχου – οροφής, τα οποία μπορούν να εξασφαλίσουν τη θερμική άνεση. Τα συστήματα αυτά, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που απαιτεί η λειτουργία τους, μπορούν να συνδυαστούν και με ήπιες μορφές ενέργειας, όπως ένα ηλιακό σύστημα ή με μια αντλία θερμότητας, μειώνοντας ακόμα περισσότερο το κόστος χρήσης. (21)

2.2. Αντλίες Θερμότητας

2.2.1. Γενικά στοιχεία

Η αντλία θερμότητας είναι η συσκευή που διακινεί την αντλούμενη από μια θερμή δεξαμενή (αναφέρεται ως πηγή) θερμική ενέργεια, που βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία, προς μια καταβόθρα (ή θερμική καταβόθρα) που βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία με την

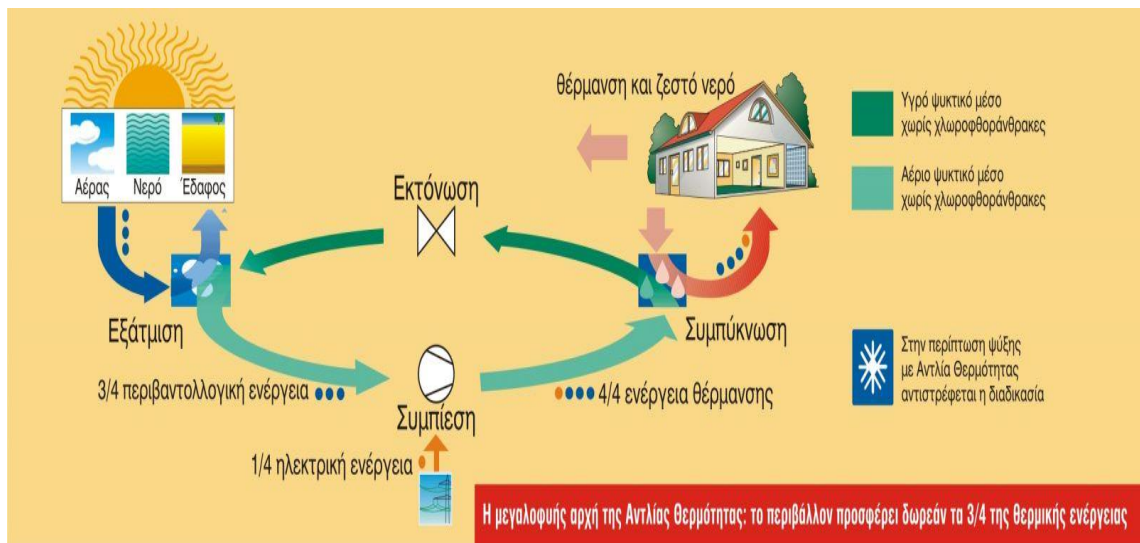


χρήση μηχανικού έργου ή μιας ειδικής θερμής δεξαμενής πολύ υψηλής θερμοκρασίας. Μια αντλία θερμότητας αποτελείται από τα παρακάτω εξαρτήματα: τον συμπιεστή, την βαλβίδα εκτόνωσης και δυο εναλλάκτες θερμότητας, έναν για την άντληση θερμότητας από την πηγή και έναν για την απόρριψη της. Αν και παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με τα κοινά κλιματιστικά (air-condition), ωστόσο διακρίνουμε μια διαφορά. Σε αντίθεση με τα παλαιά κλιματιστικά, ο κύκλος λειτουργίας των αντλιών θερμότητας είναι πλήρως αναστρέψιμος, με αποτέλεσμα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη, προσαρμόζοντας τον κύκλο τους ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες της οικίας. Σε πολύ θερμά κλίματα είναι μάλιστα σύνηθες να σχεδιάζονται και να κυκλοφορούν στην αγορά αντλίες θερμότητας μόνο για θέρμανση.

Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας βασίζεται στην αρχή συμπίεσης ατμών ή ψυκτικού κύκλου. Η θερμότητα αντλείται από το περιβάλλον μέσω ενός εξαμιστή σε ένα, ασφαλές και φιλικό προς το περιβάλλον, ψυκτικό μέσον και ενισχύεται από το θερμικό έργο ενός συμπιεστή, ο οποίος αυξάνει την πίεση και τη θερμοκρασία του μέσου. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω του συμπυκνωτή από το ψυκτικό μέσο στο εργαζόμενο μέσο (αέρα ή νερό). Ειδικά στην περίπτωση που το μέσο είναι νερό, αυτό αποθηκεύεται εντός ενός πολύ καλά μονωμένου θερμοδοχείου, από όπου για να καλύψει τις ανάγκες σε θέρμανση ή/και ζεστό νερό χρήσης. Τέλος, το ψυκτικό μέσον διερχόμενο από την εκτονωτική βαλβίδα ψύχεται, ώστε να επαναληφθεί ο κύκλος λειτουργίας. (23)

Οι πιο κοινές δεξαμενές (πηγές) άντλησης θερμότητας για τέτοιες μηχανές είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, το νερό και το έδαφος. Ανάλογα με την φύση της πηγής και της αντίστοιχης καταβόθρας υπάρχουν στο εμπόριο αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα, αέρα-νερού, εδάφους-αέρα και εδάφους-νερού. Στη αντλία θερμότητας αέρα-νερού και αέρα-αέρα, ο εναλλάκτης θερμότητας απορροφά ενέργεια απευθείας από τον εξωτερικό αέρα ή την προσδίδει σε αυτόν, ενώ στην αντλία εδάφους-αέρα και εδάφους-νερού, ο εναλλάκτης απορροφά τη θερμότητα από το έδαφος.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης μιας αντλίας θερμότητας είναι πολλαπλά καθώς είναι μια αποδοτική τεχνολογία θέρμανσης/δροσισμού και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, η οποία λόγω του υψηλού βαθμού απόδοσης επιτυγχάνει μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας. Για την λειτουργία των αντλιών απαιτείται κατανάλωση μικρής ποσότητας ηλεκτρικού ρεύματος, συμβάλλοντας ταυτόχρονα τόσο στην εξοικονόμηση ενέργειας, όσο και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς δεν απαιτείται επιπλέον καύση ρυπογόνων καυσίμων. Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι αντλίες θερμότητας αποτελούν μια φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία.



Εικόνα 2.4 : Κύκλος θέρμανσης αντλιών θερμότητας (28)

Για τις αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση⁶ χώρων, η απόδοση καθορίζεται από το συντελεστή επίδοσης (Coefficient of Performance, COP) ή αλλιώς συντελεστή συμπεριφοράς των αντλιών θερμότητας στις ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας, όπως δίνονται στις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή. Ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{COP} = \frac{\text{αποδιδόμενη θερμότητα}}{\text{καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια}}$$

Η αποδιδόμενη θερμότητα από την αντλία θερμότητας εξαρτάται από τρεις συνιστώσες: τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τη επιθυμητή θερμοκρασία ρευστού εισαγωγής στο σύστημα απόδοσης -απόληψης θερμότητας στον κλιματιζόμενο χώρο και την ισχύ του συμπιεστή. Η μεταβολή της αποδιδόμενης ισχύος και κατά συνέπεια του συντελεστή COP συναρτηθεί των παραπάνω συνιστωσών αναφέρονται στα εγχειρίδια που συνοδεύουν την κάθε αντλία.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αξιολόγηση της εγκατάστασης έχει ο τρόπος κατά τον οποίο μεταβάλλεται ο COP. Σύμφωνα με πειραματικές μετρήσεις, έχει διαπιστωθεί ότι ο συντελεστής COP εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σημαντικότεροι εκ των οποίων είναι:

⁶ Ο αντίστοιχος συντελεστής για την ονομαστική ψυκτική απόδοση είναι ο EER (Energy Efficiency Ratio λόγος ή δείκτης ενεργειακής αποδοτικότητας) σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής από την πιστοποίηση της μονάδας. Ο δείκτης αυτός ορίζεται για ένα τυπικό χρονικό διάστημα (κάποιες ώρες συνεχούς λειτουργίας σε συγκεκριμένες συνθήκες), δηλαδή ενέργεια προς ενέργεια.



- Η τιμή και η σταθερότητα της θερμοκρασίας της πηγής θερμότητας, ιδιαίτερα στο διάστημα μεταξύ των 0°C και 30°C.
- Η διαφορά θερμοκρασίας (ΔT) μεταξύ του παραγόμενου από την αντλία θερμότητας θερμικού ρευστού και της πηγής θερμότητας.

Η εμπειρία δείχνει ότι, όσο αυξάνεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του συμπυκνωτή και του εξατμιστή, η απόδοση της αντλίας παρουσιάζει πτωτική τάση. Για το λόγο αυτό επιδιώκεται το ΔT να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Στην βιβλιογραφία αναφέρεται μάλιστα ότι, ακόμη και μια αύξηση της θερμοκρασίας του νερού κατά 1 K, αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας κατά 2,5% περίπου, ενώ αρκετές φορές παρατηρείται και μείωση της αποδιδόμενης ισχύος. Απόρροια αυτού είναι η μείωση του συντελεστή συμπεριφοράς COP της αντλίας θερμότητας. (29) Για το λόγο αυτό επιδιώκεται η λειτουργία των αντλιών σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας, θερμοκρασία εισόδου 7°C για εξωτερικό αέρα και 15°C για έδαφος, και θερμοκρασίες μέσου εισόδου/εξόδου 40°C/45°C (Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 14511:2007, (8)), ενώ συχνά επιδιώκεται ακόμη χαμηλότερη θερμοκρασιακή διαφορά της τάξης 30°C/35°C (30).

Στην πράξη, η μικρή θερμοκρασιακή διαφορά επιτυγχάνεται συνδυάζοντας τη λειτουργία της αντλίας με τερματικές μονάδες χαμηλών θερμοκρασιών, όπως συστήματα έμμεσης θέρμανσης, στοιχεία νερού (fancoils), καναλιών αέρα ή console units (31). Η εγκατάσταση ολοκληρωμένων συστημάτων θέρμανσης με αντλίες θερμότητας συνίσταται σε νεόδμητα κτίρια, για τα οποία έχει γίνει μελέτη θερμομόνωσης, ώστε να ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα για την εγκατάσταση της αντλίας και των τερματικών μονάδων. Παρόλα αυτά, είναι δυνατός ο συνδυασμός τους ακόμα και με τα συμβατικά θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ), όμως η απόδοση τους μειώνεται αισθητά.

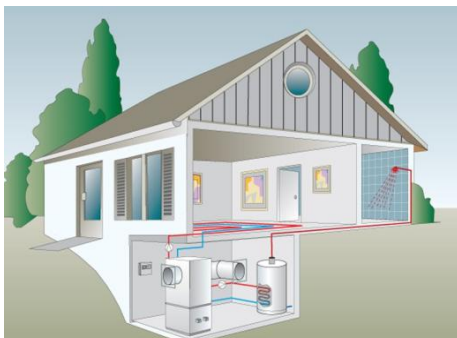
Η μέχρι πρότινος χαμηλή τιμή των καυσίμων θέρμανσης σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος κτήσης των αντλιών, ανέστειλαν τη διάδοση των τελευταίων. Ωστόσο σήμερα, και ενώ η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης παρουσιάζει ολοένα αυξανόμενη τιμή, η χρήση των αντλιών θερμότητας γίνεται όλο και πιο ελκυστική λύση. Η βελτιστοποίηση της τεχνολογίας των αντλιών και το χαμηλό κόστος συντήρησής τους, δεδομένου ότι δεν συντελείται καύση, καθιστούν τη χρήση τους ακόμα πιο οικονομική.

2.2.2. Αντλίες θερμότητας με πηγή τον ατμοσφαιρικό αέρα

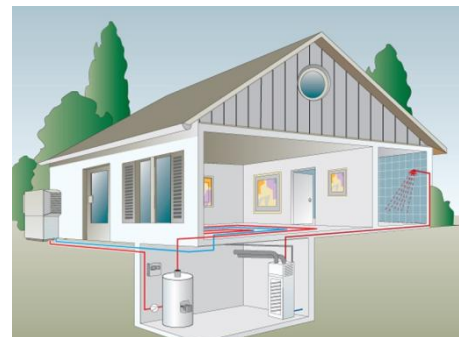
Οι αντλίες θερμότητας με πηγή τον ατμοσφαιρικό αέρα, στην ουσία αντλούν τη θερμότητα από τον αέρα περιβάλλοντος με στόχο την επίτευξη θερμικής άνεσης εντός της οικίας. Η εγκατάσταση αυτού του τύπου αντλιών είναι αρκετά απλή, χάριν στο μικρό μέγεθος τους και λόγω έλλειψης δεξαμενής αποθήκευσης καυσίμου. Η συγκεκριμένου τύπου αντλία είναι μικρότερων διαστάσεων από αυτές του κοινού λέβητα, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει ευελιξία ως προς την τοποθέτησή της, καθώς έχει τη δυνατότητα να τοποθετείται σε οποιοδήποτε μηχανοστάσιο, εσωτερικά ή εξωτερικά, ανάλογα με τις δυνατότητες της εγκατάστασης. (32), (33)



Εικόνα 2.5: Λειτουργία Αντλίας Θερμότητας με ατμοσφαιρικό αέρα (32)



Εικόνα 2.6 : Εσωτερική τοποθέτηση της αντλίας θερμότητας (33)

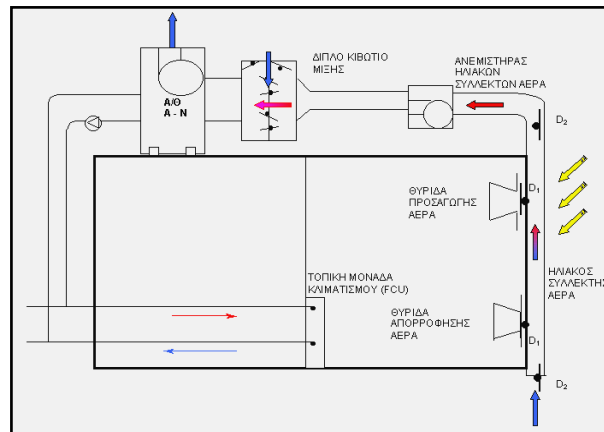


Εικόνα 2.7 : Εξωτερική τοποθέτηση της αντλίας θερμότητας (33)

Οι αντλίες θερμότητας είναι διαθέσιμες στην αγορά σε μεγάλο εύρος ισχύος και αποδόσεων, καλύπτοντας έτσι ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών. Ο συντελεστής απόδοσης των αερόψυκτων αντλιών θερμότητας κυμαίνεται από 2 έως περίπου 4, για ιδανικές συνθήκες λειτουργίας. Η μεγάλη απόδοση των αντλιών θερμότητας με ατμοσφαιρικό αέρα δεν επιτυγχάνεται πάντα, λόγω της ίδιας της φύσης της πηγής θερμότητα. (23)

Ο αέρας ως πηγή θερμότητας έχει το μειονέκτημα ότι επηρεάζεται πολύ από τις καιρικές συνθήκες. Η χαμηλή θερμοκρασία τον χειμώνα μειώνει το συντελεστή συμπεριφοράς της αντλίας θερμότητας ($COP_{A/\Theta}$), όταν μάλιστα η ανάγκη θέρμανσης των χώρων είναι αυξημένη. Επιπλέον, η υγρασία του αέρα παγώνει στα πτερύγια του εξατμιστή, με αποτέλεσμα να μειωθεί έως και να μηδενιστεί η ταχύτητα κυκλοφορίας του αέρα και να αυξηθεί η θερμική αντίσταση του εξατμιστή λόγω του σχηματιζόμενου πάγου.

Τα παραπάνω δύο μειονεκτήματα του αέρα ακυρώνονται με χρήση ηλιοβοηθούμενης αντλίας θερμότητας αέρα-νερού, όπου ο αέρας, αφού περάσει από το πίσω μέρος των απορροφητήρων των συστοιχιών των ηλιακών συλλεκτών αέρα, θερμαίνεται και προσάγεται στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας από όπου αντλείται η θερμότητά, θερμαίνοντας το νερό του δικτύου του κτιρίου. Αυτή η τεχνολογία εφαρμόστηκε στο βιοκλιματικό κτίριο του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) στο Πικέρμι Αττικής. (34)



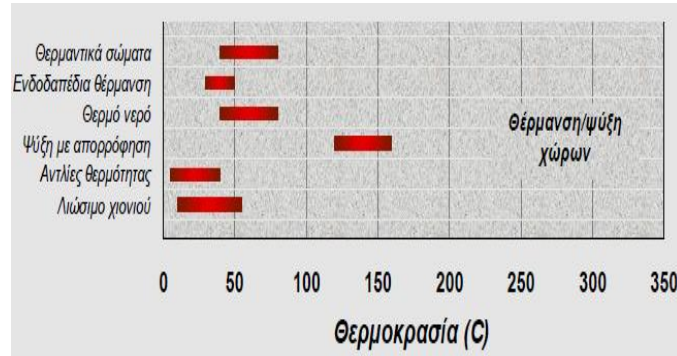
Εικόνα 2.8: Ηλιοβοηθούμενη αντλία θερμότητας αέρα-νερού (34)

2.2.3. Αντλίες θερμότητας με πηγή το έδαφος (Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας)

Πέραν του ατμοσφαιρικού αέρα, οι αντλίες θερμότητας έχουν τη δυνατότητα να αντλούν την απαιτούμενη θερμότητα από το έδαφος. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται αξιοποίηση της φυσικής θερμοκρασίας του εδάφους, το οποίο ως θερμική πηγή παρουσιάζει θερμοκρασιακή σταθερότητα. Η θερμοκρασία του εδάφους παρουσιάζει μικρή διακύμανση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους χάριν στις θερμομονωτικές ιδιότητες του εδάφους. Για την Ελλάδα, η μέση θερμοκρασία του εδάφους κυμαίνεται στην περιοχή των 15-17 °C, καθιστώντας τη χρήση του υπεδάφους ή υπόγειων υδροφόρων ως πηγή θερμότητας, συγκριτικά με τον ατμοσφαιρικό αέρα, μια σημαντικά σταθερότερη και αποδοτικότερη λύση. (35)

Με τον όρο γεωθερμία, επομένως, νοείται η εκμετάλλευση της ενέργειας από το εσωτερικό της γης από όπου, με τη χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (Geothermal Heat Pump ή για συντομία GHP) και την εγκατάσταση κατάλληλων γεωθερμικών εναλλακτών, που μεσολαβούν ώστε να απορροφάται ή να αποθηκεύεται θερμότητα στο υπεδάφος, επιτυγχάνεται η μεταφορά θερμότητας από και προς το έδαφος για παραγωγή ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης για οικιακές αλλά και ευρύτερης κλίμακας εφαρμογές. (36)

Οι κυριότερες χρήσεις της γεωθερμίας παρουσιάζονται συνοπτικά στο τροποποιημένο διάγραμμα Lindal. (37) Στην Εικόνα 2.9 παρατίθεται απόσπασμα του διαγράμματος, στο οποίο απεικονίζονται οι κυριότερες εφαρμογές της γεωθερμίας στον οικιακό τομέα.



Εικόνα 2.9: Απόσπασμα τροποποιημένο διάγραμμα Lindal (37)

Μέχρι το Νοέμβριο του 2007 είχαν καταγραφεί στην Ελλάδα πάνω από 200 εφαρμογές γεωθερμικών αντλιών θερμότητας με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 20 MW_{th} και παρουσιάζουν μια γρήγορη ανάπτυξη, πιθανότατα και λόγω των διατάξεων της υφιστάμενης νομοθεσίας, δηλ. της Υπουργικής Απόφασης Υπ. Αρ. Δ9Β,Δ/Φ.166/ΟΙΚ 18508/5552/207 (Φ.Ε.Κ.1595/τ.Β/25-10-2004).

Στις θερμικές εφαρμογές, η γεωθερμία ανταγωνίζεται επιτυχώς τα ορυκτά καύσιμα, με κόστος κεφαλαίου 200-1400 €/kW_(th), ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας 2-3% του κόστους κεφαλαίου, και κόστος παραγόμενης ενέργειας 0,005-0,035€/kW_(th) συμπεριλαμβανομένων των αποσβέσεων των κεφαλαίων και του κόστους χρήματος. (38). Ενδεικτικά το κόστος εγκατάστασης μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας ωφέλιμης θερμικής ισχύος 8 KW, ανέρχεται σε 10.000-14.000 € περίπου συν το κόστος του συστήματος διανομής θερμότητας (π.χ. ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης). Οποσδήποτε όμως το κόστος εξαρτάται από τη τοποθεσία της κατοικίας και το υπέδαφος. (39)

Η τεχνολογία της γεωθερμίας βελτιώνεται συνεχώς, κυρίως συνδυαζόμενη με άλλες τεχνολογίες. Ένα παράδειγμα, που έχει εφαρμοστεί και στην Ελλάδα, είναι ο συνδυασμός γεωθερμικού με έναν παράλληλα συνδεδεμένο αερόψυκτο εναλλάκτη θερμότητας. Με τη βοήθεια ενός κατάλληλου αυτοματισμού, γίνεται συνεχής σύγκριση μεταξύ της θερμοκρασίας του εδάφους και του αέρα περιβάλλοντος, ώστε να θέτει σε λειτουργία ή διακόπτει τον αερόψυκτο εναλλάκτη σε περίπτωση που η θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος κρίνεται αποδεκτή. Με τον τρόπο αυτό, εξοικονομείται η θερμική ενέργεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των θερμών χειμερινών ημερών, ενώ συγχρόνως η πλεονάζουσα θερμότητα



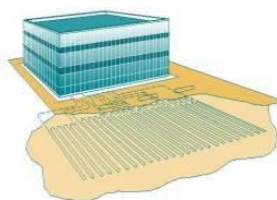
διοχετεύεται στη γη, η οποία δρώντας σαν θερμοσυσσωρευτής αποδίδει τη θερμότητα κατά τις ψυχρές μέρες.

Μια άλλη εφαρμογή που έχει γίνει στην Ελλάδα είναι ο συνδυασμός της γεωθερμίας με την ηλιακή ενέργεια. Στην περίπτωση αυτή έχουμε ένα σύστημα «Ηλιοβοηθούμενης Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας». Χάριν στη χρήση ηλιακών συλλεκτών και εξελιγμένων συστημάτων αυτοματισμών, το συγκεκριμένο σύστημα εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια, αξιοποιώντας την για θέρμανση νερού χρήσης και για θέρμανση χώρων, οδηγώντας έτσι σε μείωση της απορροφούμενης από την GHP ηλεκτρικής ενέργειας, και κατά συνέπεια να επιτυγχάνονται ακόμα μεγαλύτερες εξοικονομήσεις ενέργειας. (40)

Η πολυπλοκότητα της εγκατάστασης του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας συγκριτικά με μιας αντλία θερμότητα αέρα, οφείλεται στους γεωθερμικούς εναλλάκτες. Δεδομένου ότι η συναλλαγή θερμότητας με το έδαφος, πραγματοποιείται στους γεωθερμικούς εναλλάκτες, οι τελευταίοι πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή συναλλαγή. Όσον αφορά την εγκατάσταση των εναλλακτών, διακρίνουμε τρεις βασικές μορφές εγκατάστασης. Η μορφή που θα επιλεγεί εξαρτάται από τις δυνατότητες που προσφέρει η τοποθεσία του κτιρίου και την οικονομική δυνατότητα των επενδυτών. Οι τρεις αυτές μέθοδοι παρατίθενται συνοπτικά παρακάτω. (40)

2.2.3.1. Εγκατάσταση κλειστού βρόχου (ανακυκλοφορία του ψυκτικού) με οριζόντιες διατάξεις σωληνώσεων (σπείρας ή παράλληλα)

Για την εγκατάσταση αυτή διανοίγονται ορύγματα βάθους περίπου 3-6 m ή γίνεται εξολοκλήρου εκσκαφή του χώρου, όπου τοποθετούνται οι σωληνώσεις του γεωθερμικού εναλλάκτη σε οριζόντια διάταξη. Η διάταξη αυτή αποτελεί μια οικονομική λύση (ο εκτιμώμενος χρόνος αποπληρωμής είναι 6-7 έτη), διότι δεν απαιτείται εκσκαφή μεγάλου βάθους. Ωστόσο, για να επιτευχθεί η αποδοτική κάλυψη των αναγκών, απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί ο επαρκής χώρος του οικοπέδου, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλης έκτασης επιφάνεια επαφής των εναλλακτών με το υπέδαφος. Για να γίνει αντιληπτή η τάξη μεγέθους της έκτασης αυτής αξίζει να σημειωθεί ότι, για την κάλυψη των αναγκών ενός χώρου που πρόκειται να θερμανθεί με χρήση γεωθερμίας απαιτείται οικόπεδο δυο ή τρεις φορές μεγαλύτερου εμβαδού. Βάσει των παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι, η εγκατάσταση αυτή δεν μπορεί να εφαρμοσθεί μέσα στα πυκνοκατοικημένα αστικά κέντρα, λόγω έλλειψης χώρου.

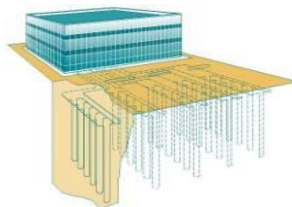


Εικόνα 2.10 : Διάταξη γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού βρόχου με οριζόντιες σπείρες σωληνώσεων (40)

2.2.3.2. Εγκατάσταση κλειστού βρόχου (ανακυκλοφορία του ψυκτικού) με κατακόρυφες σπείρες σωληνώσεων.

Σε περιπτώσεις που η επιφάνεια του οικοπέδου είναι μικρή και δεν μπορεί να εφαρμοσθεί η μέθοδος των οριζόντιων σωληνώσεων, οι εκσκαφές γίνονται κατακόρυφα, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις σε έκταση του εναλλάκτη σε κάθετο επίπεδο, σε διάταξη τύπου U. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι υψηλό κόστος της λόγω του μεγάλου βάθους γεωτρήσεων (20-300m) και των έργων στήριξης⁷ των εναλλακτών. Οι ειδικοί εκτιμούν για μια τέτοια εγκατάσταση, ο χρόνος απόσβεσης κυμαίνεται στα 12 με 15 χρόνια, καθιστώντας την στις περισσότερες περιπτώσεις απαγορευτική. Παρ' όλα αυτά αξίζει να σημειωθεί ότι, στην Ελλάδα έχουν εγκατασταθεί επιτυχώς κατακόρυφοι εναλλάκτες, ωστόσο είναι μικρού σχετικά βάθους.

Το μήκος των γεωεναλλακτών κλειστού τύπου, είτε πρόκειται για οριζόντιους ή κάθετους, καθορίζεται από το μέγεθος των φορτίων που καλείται να εξυπηρετήσει το σύστημα, τον τύπο και τον συντελεστή απόδοσης της αντλίας θερμότητας και τις θερμικές ιδιότητες (θερμική αγωγιμότητα, θερμοχωρητικότητα και θερμική διαχυτότητα) του υπεδάφους.

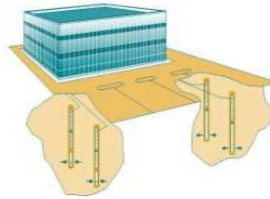


Εικόνα 2.11: Διάταξη γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού βρόχου με κατακόρυφες σπείρες σωληνώσεων (40)

⁷ Η σταθεροποίηση των εναλλακτών εντός της γεώτρησης επιτυγχάνεται με τη χρήση δακτυλίων που συγκρατούν σε σταθερές αποστάσεις τους πλαστικούς αγωγούς, ενώ στο εσωτερικό της γεώτρησης τοποθετείται υλικό πλήρωσης (συνήθως μπετονίτης).

2.2.3.3. Εγκατάσταση με γεωτρήσεις άντλησης και επαναφοράς υπογείων υδάτων (ανοιχτό κύκλωμα)

Σε μια τέτοια εγκατάσταση απαιτείται να υπάρχει στην εξεταζόμενη περιοχή διαθέσιμος υδροφόρος ορίζοντας, επαρκούς δυναμικότητας, σε μικρό βάθος, ώστε να αποφευχθούν οι δαπανηρές γεωτρήσεις μεγάλου βάθους για την τοποθέτηση των εναλλακτών. Η θερμοκρασία του νερού στον υδροφόρο ορίζοντα μεταβάλλεται ελάχιστα κατά τη διάρκεια του έτους, καθιστώντας αποδοτική τη λειτουργία της αντλίας. Ωστόσο, το νερό του υδροφόρου ορίζοντα δεν είναι πάντα εκμεταλλεύσιμο, καθώς πρέπει να είναι κατάλληλο, ώστε να μην προκαλεί διάβρωση στις εγκαταστάσεις, ενώ παράλληλα δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε άλλη εφαρμογή. Παρά τους παραπάνω περιορισμούς, το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της εγκατάστασης είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις σε χώρο.



Εικόνα 2.12: Εγκατάσταση με γεωτρήσεις άντλησης και επαναφοράς υπογείων υδάτων (40)

Παρά την πολυπλοκότητα της κατασκευής τους και του υψηλού κόστους, οι γεωθερμικές αντλίες έχουν το πλεονέκτημα ότι λειτουργούν χωρίς πρόβλημα σε οποιοδήποτε καιρικές και θερμοκρασιακές συνθήκες περιβάλλοντος, υπό το μηδέν το χειμώνα και πάνω από 40°C το καλοκαίρι. Τα συστήματα γεωθερμίας παρουσιάζουν πολύ υψηλό ετήσιο συντελεστή συμπεριφοράς (COP), ο οποίος κυμαίνεται γύρω στο 4,0, ενώ μπορεί να φθάσει σε ιδανικές συνθήκες έως 5,5. Αρκεί να αναφέρουμε ότι, για παράδειγμα, σε συνθήκες λειτουργίας (είσοδος κυκλώματος γης 18°C έξοδος 10°C/ είσοδος κυκλώματος σπιτιού 35°C έξοδος 40°C) μπορεί να φθάσει μέχρι COP ίσο με 5. Η λειτουργία τους είναι ανταγωνιστική, καθώς ο μεγάλος βαθμός απόδοσης που επιτυγχάνουν, συνεπάγεται τόσο εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων, όσο και μείωση των εκλυόμενων ρύπων CO₂ και NO_x. Συγκριτικά αναφέρεται ότι, ένας συμβατικός καυστήρας ορυκτών καυσίμων μπορεί να είναι 78-95% αποδοτικός, ενώ μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι 400%. (41)

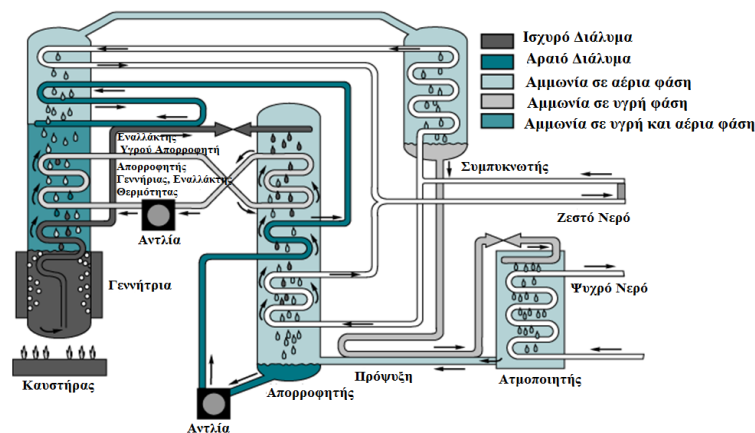
2.2.4. Αντλίες Θερμότητας Απορρόφησης

Οι αντλίες θερμότητας με καύση αερίου (gas heat pumps), ή αντλίες θερμότητας με απορρόφηση, είναι αντλίες θερμότητας με συμπιεστές που λειτουργούν με κινητήρα αερίου καυσίμου, αντί για ηλεκτρικό κινητήρα. Ο κύκλος λειτουργίας είναι αναστρέψιμος και βασίζεται στην ίδια αρχή με τις ηλεκτροδοτούμενες αντλίες, όμως διαφοροποιείται ως προς το ψυκτικό μέσο και την πηγή θερμότητας. Το ψυκτικό μέσο είναι συνήθως μείγμα αμμωνίας-νερού, στο οποίο αποδίδεται η θερμική ενέργεια που ανακτάται στο σύστημα, που προέρχεται από ελεγχόμενη φλόγα καυσίμου, η οποία αξιοποιείται με δυο δυνατούς τρόπους, από:

- το νερό ψύξης της μηχανής, και
- τα καυσαέρια.

Οι αντλίες θερμότητας με καύση αερίου μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως καύσιμο το φυσικό αέριο, το οποίο είναι φθηνότερο από τα άλλα συμβατικά καύσιμα και η χρήση του προωθείται στη χώρα μας για περιβαλλοντικούς και οικονομικούς λόγους. Επιπλέον, ως καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το υγραέριο (LPG) το οποίο είναι διαδεδομένο σε περιοχές που δεν υπάρχει φυσικό αέριο.

Οι αντλίες θερμότητας με καύση αερίου καυσίμου είναι συστήματα φιλικά προς το περιβάλλον για δύο λόγους. Παρόλο που παρουσιάζουν την ίδια βασική αρχή λειτουργίας και τα πλεονεκτήματα των αντλιών θερμότητας, ωστόσο ως πηγή θερμότητας χρησιμοποιούν καθαρή καύση αερίου. Αυτό τα καθιστά ανεξάρτητα της τοπικής ηλεκτροδότησης, αποφεύγοντας προβλήματα όπως black-out. Επιπλέον, είναι ανεξάρτητες από τις εξωτερικές συνθήκες, δίνοντας τους τη δυνατότητα να παρουσιάζουν υψηλές αποδόσεις. (42), (43)



Εικόνα 2.13: Σύστημα αντλίας απορρόφησης (44)



2.3. Ηλιακά Συστήματα (18), (45)

2.3.1. Γενικά

Με τα ηλιακά συστήματα γίνεται η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, μιας καθαρής, ανανεώσιμης μορφής ενέργειας, τα επίπεδα της οποίας είναι ιδιαίτερα υψηλά στη χώρα μας, με τη μέση ηλιακή ακτινοβολία να φτάνει τις 1600 KWh/(m² year). Η δέσμευση και η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με τους ειδικά διαμορφωμένους ηλιακούς συλλέκτες. Εκτός από τους συλλέκτες, ένα τοπικό ηλιοθερμικό σύστημα περιλαμβάνει το δοχείο αποθήκευσης θερμότητας (θερμοδοχείο) και τις απαραίτητες σωληνώσεις κυκλοφορίας του μέσου εναλλαγής και μεταφοράς της θερμότητας. Η εγκατάσταση συμπληρώνεται με τις ειδικές βάνες κυκλοφορίας του ρευστού, τα δοχεία διαστολής και τις υδραυλικές και τις ηλεκτρικές συνδέσεις.

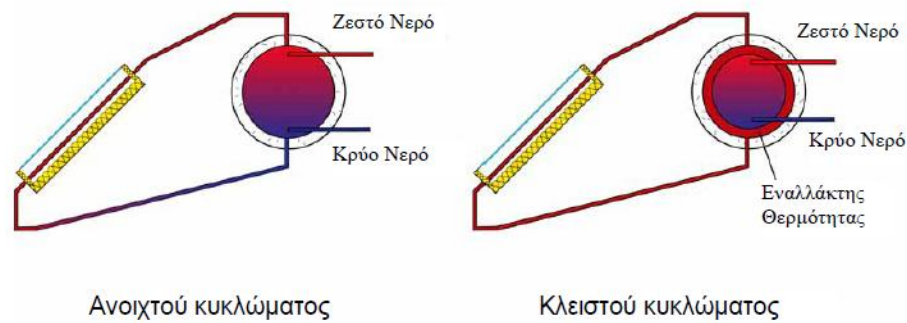
Διακρίνουμε δύο είδη ηλιακών συστημάτων ανάλογα με το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου: (46), (47)

- Ανοικτού κυκλώματος

Στους ηλιακούς θερμοσίφωνες ανοικτού κυκλώματος το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό χρήσης, και επομένως έχουμε απευθείας θέρμανση του νερού. Καθώς δεν υπάρχει ο διαχωρισμός μεταξύ θερμαινόμενου μέσου και νερού χρήσης, τα συστήματα αυτά είναι απλούστερης κατασκευής και φθηνότερα. Ωστόσο, παρουσιάζουν ορισμένα προβλήματα σε χαμηλές θερμοκρασίες (παγετούς), καθώς δεν είναι δυνατή η χρήση αντιψυκτικών μιγμάτων στο νερό χρήσης.

- Κλειστού κυκλώματος

Στους ηλιακούς θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος το νερό χρήσης και το θερμαινόμενο μέσο διαφοροποιούνται. Το θερμαινόμενο μέσο μπορεί να είναι κάποιο άλλο ρευστό, όπως λάδι, ενώ στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί ως θερμαινόμενο μέσο νερό θα πρέπει να προστεθούν αντιψυκτικά και αντιδιαβρωτικά πρόσθετα, για προστασία της συσκευής. Το θερμαινόμενο μέσο κυκλοφορεί σε ιδιαίτερο κύκλωμα το οποίο θερμαίνει το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε χωρίς να γίνεται ανάμιξή τους, μέσω εναλλάκτη θερμότητας.



Εικόνα 2.14: Κυκλώματα Ηλιακών Συστημάτων (48)

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι η "καρδιά" ενός ενεργητικού ηλιοθερμικού συστήματος, ο οποίος μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα και τη μεταφέρει σε κάποιο ρευστό (νερό, ηλιακό ρευστό, αέρα). Οι τεχνολογίες ηλιακών συστημάτων που εφαρμόζονται στην χώρα μας είναι (46):

- i) Συλλέκτες χωρίς κάλυμμα. Είναι συλλέκτες απλής τεχνολογίας και οικονομικοί. Οι συλλέκτες αυτού του τύπου αποτελούνται από μαύρους πλαστικούς ή μεταλλικούς σωλήνες -χωρίς μόνωση- μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το υγρό, επιτυγχάνοντας συναλλαγή. Η μέγιστη θερμοκρασία που επιτυγχάνεται είναι 20°C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- ii) Επίπεδοι συλλέκτες (απλοί ή επιλεκτικοί) Είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος ηλιακού συλλέκτη. Αποτελείται από επίπεδο μονωμένο πλαίσιο, το οποίο καλύπτεται από τη μια πλευρά με διαφανές κάλυμμα από τζάμι ή πλαστικό. Το πλαίσιο περιέχει μια μαύρη/σκουρόχρωμη πλάκα που απορροφά την ηλιακή ενέργεια. Το ρευστό μεταφοράς θερμότητας κυκλοφορεί μέσα ή πάνω από την απορροφητική πλάκα μεταφέροντας τη θερμότητα. Η θερμοκρασία που παράγεται μπορεί να φτάσει ως 70°C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- iii) Συλλέκτες κενού Οι συλλέκτες κενού αποτελούνται από σειρά γυάλινων σωλήνων κενού, ο καθένας από τους οποίους περιέχει έναν απορροφητή (π.χ. μια μαύρη μεταλλική πλάκα) που απορροφά την ηλιακή ενέργεια. Λόγω της μονωτικής ιδιότητας του κενού η θερμοκρασία που παράγεται μπορεί να φτάσει ως 100°C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ωστόσο η τεχνολογία αυτή είναι πολύ ακριβή.

Αξίζει να σημειωθεί, για λόγους πληρότητας, ότι εκτός από τους επίπεδους συλλέκτες, έχουν κατασκευαστεί και συγκεντρωτικοί συλλέκτες. Οι συλλέκτες αυτοί χρησιμοποιούν κατοπτρικές επιφάνειες για τη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε έναν απορροφητή,



τον «δέκτη». Αν και επιτυγχάνουν υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες, εκμεταλλεύονται μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Επιπλέον, δεν συνίσταται η χρήση τους σε οικιακές κατασκευές, καθώς το κόστος τους είναι πολύ μεγάλο, ενώ οι ιχνηλάτες χρειάζονται συχνή συντήρηση.

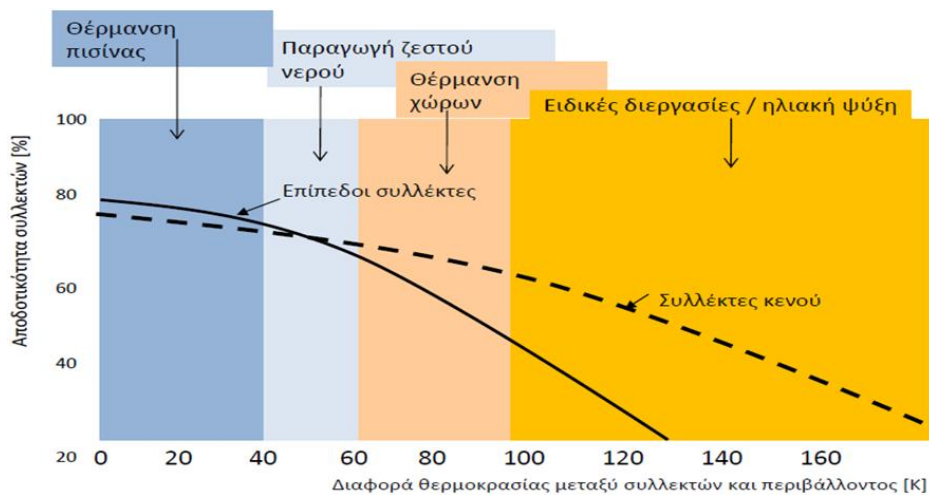
Τα παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Τεχνολογία Συλλέκτη	Κόστος	Μέγιστη παραγόμενη θερμοκρασία	Απόδοση kWh/m ² /χρόνο	Τυπική χρήση
Χωρίς κάλυμμα	Χαμηλό	20°C	300	Θέρμανση Πισίνας
Επίπεδος συλλέκτης (μαύρη μπογιά)	Μεσαίο	70°C	650	Θέρμανση Πισίνας Θέρμανση Χώρου ΖΝΧ
Επίπεδος συλλέκτης (επιλεκτικός απορροφητής)	Μεσαίο		700	ΖΝΧ Θέρμανση χώρου Ηλ. Κλιματισμός
Συλλέκτες κενού	Υψηλό	100°C	850	Ηλ.Κλιματισμός Βιομηχανικές εφαρμογές

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά Συλλεκτών ανά τεχνολογία (46)

Από τους τύπους των συλλεκτών, ο πιο διαδεδομένος είναι αυτός των επίπεδων συλλεκτών. Χρησιμοποιώντας επίπεδους επιλεκτικούς ηλιακούς συλλέκτες, επιφάνειας ίσης με το 15-20% του εμβαδού του θερμαινόμενου χώρου, επιτυγχάνεται περίπου 40% κάλυψη των συνολικών αναγκών μιας κατοικίας σε θέρμανση και ζεστό νερό. (49)

Η απόδοση των ηλιακών συστημάτων εξαρτάται τόσο από τη τεχνολογία που χρησιμοποιούν, όσο και από το θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο λειτουργούν. Εν γένει, ο βαθμός απόδοσης μειώνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασιακή διαφορά του εργαζόμενου μέσου, ενώ ανάλογα με τη τεχνολογία μεταβάλλεται η ο ρυθμός μείωσης του βαθμού απόδοσης. Παρακάτω παρατίθεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα, στο οποίο απεικονίζεται η μεταβολή του βαθμού απόδοσης των δύο πιο διαδεδομένων τεχνολογιών. Τονίζεται ότι το διάγραμμα είναι ενδεικτικό, καθώς τα χαρακτηριστικά των συλλεκτών μεταβάλλονται από πολλές παραμέτρους. (50)



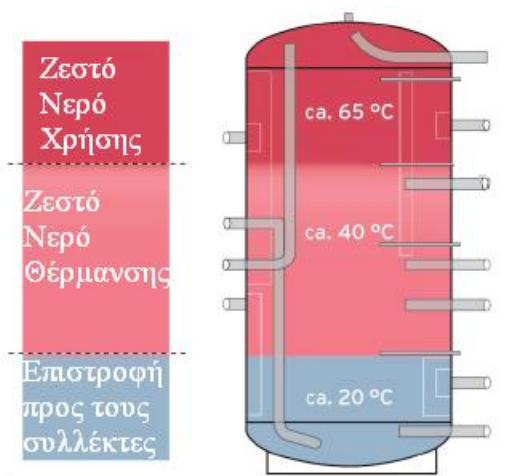
Διάγραμμα 2.1: Αποδοτικότητα των δύο τύπων συλλεκτών και οι περιοχές εφαρμογής τους ανάλογα με τη θερμοκρασιακή διαφορά (50)

Η απόδοση του συστήματος ηλιακών συλλεκτών, επηρεάζεται και από τον προσανατολισμό και την κλίση των συλλεκτών. Ο βέλτιστος προσανατολισμός των συλλεκτών είναι ο νότιος για το βόρειο ημισφαίριο (γωνία αζιμούθιου ίση με μηδέν). Παρόλα αυτά, ενδέχεται να προτιμηθεί μικρή απόκλιση, με στόχο την αποφυγή της σκίασης της συλλεκτικής επιφάνειας. Στην περίπτωση που έχουμε απόκλιση μέχρι 20° η μείωση της προσπίπτουσας ενέργειας είναι μικρή. Όσον αφορά τη βέλτιστη κλίση β των συλλεκτών, αυτή επιλέγεται ανάλογα με τη χρήση τους (51). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι:

- για χρήση όλο το χρόνο συνιστάται η κλίση συλλεκτών να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.
- για χρήση τους χειμερινούς μήνες: κλίση συλλεκτών = γεωγραφικό πλάτος της περιοχής + 15° .
- για χρήση τους καλοκαιρινούς μήνες: κλίση συλλεκτών = γεωγραφικό πλάτος της περιοχής - 15° . (51) (Σημειώνεται ότι η αντίστοιχη κλίση στην ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 εκτιμάται ότι είναι $\beta=0$ με 5°)

Ο συνδυασμός των επιμέρους συνιστωσών (λ.χ. δεξαμενή διαστρωμάτωσης, εικόνα) του ηλιακού κυκλώματος και η ορθή διαστασιολόγηση τους πρέπει να γίνει έτσι ώστε να καλύπτει τις ανάγκες του κτιρίου, στο οποίο υπόκειται. Ιδιαίτερα για τη χρήση ταμειυτήρα διαστρωμάτωσης έχει πολλά οφέλη καθώς μπορεί να δεχθεί πολλές διαφορετικές πηγές (λέβητας, αντλία θερμότητας, κ.α.) και να εξυπηρετήσει διαφορετικές χρήσεις (σώματα, ενδοδαπέδια, ΖΝΧ, πισίνα, κ.α.). Παράλληλα εξασφαλίζει για τους συλλέκτες την χαμηλότερη

δυνατή θερμοκρασία, άρα και τον βέλτιστο βαθμό απόδοσης και ταυτόχρονα επιτρέπει την θέση προτεραιοτήτων στις πηγές θερμότητας.



Εικόνα 2.15: Δεξαμενή Διαστρωμάτωσης για την κάλυψη της ζήτησης σε ζεστό νερό για κτίριο κατοικίας (50)

2.3.2. Ηλιακά Συστήματα Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (52)

Η πιο διαδεδομένη μορφή εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας στη χώρα μας είναι η χρήση των ηλιακών θερμοσίφωνων, δηλαδή ένα ηλιακό σύστημα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, σε οικιακούς και επαγγελματικούς χώρους. Η χρήση αυτή είναι πολύ σημαντική καθώς η κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (μπάνιο, πλύσιμο, κλπ) αντιπροσωπεύει ένα σοβαρό ποσοστό (περίπου 10-15%) επί της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια (κατοικίες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα, κλπ). Αξίζει να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία του Τ.Ε.Ε κάθε νέο ή ριζικώς ανακαινισμένο κτίριο είναι υποχρεωτικό να καλύπτει τις ανάγκες σε για ζεστό νερό χρήσης από ηλιακά συστήματα κατά 60%. (8)

Οι κοινοί ηλιακοί θερμοσίφωνες για τη θέρμανση νερού οικιακής χρήσης χρησιμοποιούν επίπεδους συλλέκτες και αποτελούν την πιο διαδεδομένη εφαρμογή για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας με μετατροπή σε θερμότητα. Η μέση ετήσια απόδοση μετατροπής είναι περίπου 30 – 40%. (53) Όταν δεν επαρκεί η ηλιοφάνεια, τίθενται σε λειτουργία ένα εφεδρικό σύστημα παραγωγής, συνήθως ηλεκτρικοί συλλέκτες ή λέβητες, πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Στην περίπτωση αυτή γίνεται χρήση ενός θερμοδοχείου τριπλής ενέργειας, που μπορούν να χρησιμοποιούν ενέργεια προς θέρμανση ζεστού νερού. Η εφαρμογή αυτή καλύπτει ανάγκες σε ατομικό επίπεδο, όμως υπάρχει η δυνατότητα κάλυψης και μεγαλύτερων αναγκών, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ηλιακών συλλεκτών.



Στη βιβλιογραφία γίνεται μια εκτίμηση των αναγκών η οποία παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα (45) :

		Χαμηλή ζήτηση [Λίτρα]	Μέση ζήτηση [Λίτρα]	Υψηλή ζήτηση [Λίτρα]
Μονοκατοικίες και συγκροτήματα κατοικιών	ανά άτομο και ημέρα	30	45	60

Πίνακας 2.2: Ανηγγμένες Ανάγκες σε Ζεστό νερό χρήσης (45)

Μία τυπική οικιακή εγκατάσταση για μία τετραμελή οικογένεια δεν ξεπερνά σε κόστος τα 1000€. Το κόστος αυτό δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλο αν αναλογιστεί κανείς τα οφέλη εξοικονόμησης τα οποία προκύπτουν και τον ιδιαίτερα μεγάλο χρόνο ζωής τους. Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι οι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούν μια δωρεάν πηγή ενέργειας, όπως ο ήλιος, σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές των οποίων τα καύσιμα, ιδιαίτερα τον τελευταίο καιρό, παρουσιάζουν διαρκή αύξηση της τιμής τους.

Μία τυπική οικιακή εγκατάσταση εξοικονομεί περίπου 1400 kWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως. Αυτή η ποσότητα ενέργειας αντιστοιχεί σε τουλάχιστον 70% των ετήσιων αναγκών μίας τετραμελούς οικογένειας σε ζεστό νερό χρήσης. Με την κατάλληλη σύνδεση, η χρήση του ζεστού νερού μπορεί να γίνει και με πλυντήρια (πιάτων και ρούχων) τεχνολογίας Hot Fill (σύνδεσης με την παροχή ζεστού νερού), ενισχύοντας την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας και χρημάτων.

2.3.3. Ηλιακά Συστήματα με ταυτόχρονη Υποβοήθηση Θέρμανσης

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το σύστημα θέρμανσης με λέβητα μπορεί να λειτουργεί σε συνδυασμό με ηλιακό σύστημα, το οποίο μπορεί να υποβοηθάει τη θέρμανση των χώρων. Στη περίπτωση αυτή, το ηλιακό σύστημα είναι υπεύθυνο τόσο για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης όσο και για τη θέρμανση των χώρων («Solar combisystems» ή απλά «combi»). Προτεραιότητα έχει πάντα η ηλιακή ενέργεια, ενώ ο λέβητας σε αυτό το σύστημα λειτουργεί μόνο όταν η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί. Επιπλέον, το ηλιακό σύστημα μπορεί να λειτουργεί σε συνδυασμό με άλλα συστήματα θέρμανσης, όπως αντλίες θερμότητας επιτυγχάνοντας έτσι καλύτερο συντελεστή συμπεριφοράς (COP). Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μεγάλη εξοικονόμηση καυσίμων, βελτίωση της απόδοσης του συστήματος και ταυτόχρονα φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο θέρμανσης.

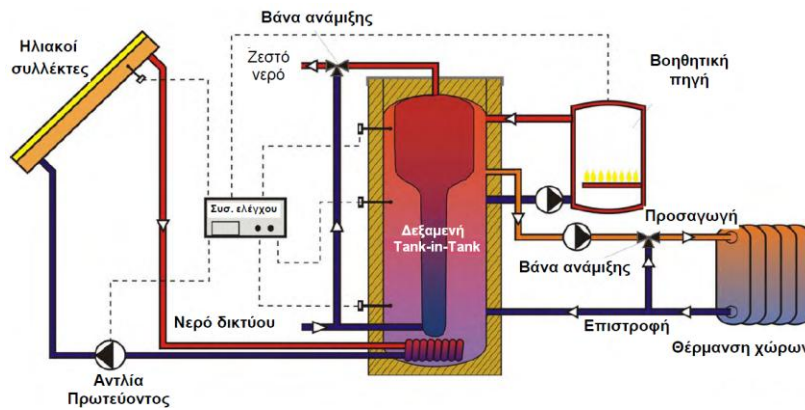


Ο ήλιος θερμαίνει το μέσο (λ.χ. νερό) που ανακυκλοφορεί στους ηλιακούς συλλέκτες σε θερμοκρασία 45°C έως 90°C αναλόγως ηλιοφάνειας, εποχής, προσανατολισμού και κλίσης. Το ζεστό νερό από τους συλλέκτες μεταφέρει τη θερμότητα στην αποθήκη ζεστού νερού με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας. Στη συνέχεια, το ζεστό νερό κατάλληλης θερμοκρασίας, διανέμεται από την αποθήκη στα θερμαντικά σώματα, στο ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης του σπιτιού ή στα fancoil. Η διανομή γίνεται με τη βοήθεια ενός κυκλοφορητή, ο οποίος ελέγχεται από έναν θερμοστάτη που τοποθετείται στους θερμαινόμενους χώρους. (54)

Σε περίπτωση που εγκατασταθούν ηλιακά συστήματα συνδυασμένης λειτουργίας, αυτά μπορούν να καλύψουν από 10% έως 50% (45) τις ανάγκες μιας κατοικίας σε θέρμανση και σε ζεστό νερό χρήσης, ανάλογα με το μέγεθος της συλλεκτικής επιφάνειας, τον όγκο του θερμοδοχείου, τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής και τα χαρακτηριστικά της κατοικίας (μέγεθος, ποιότητα μόνωσης, θερμικές ανάγκες). (55) Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι, για την κάλυψη του 40-50% του φορτίου του χώρου απαιτείται συλλεκτικό πεδίο ίσο με το 20 % του χώρου. (47) Η οικονομία σε πετρέλαιο ή αέριο μπορεί να φτάσει μέχρι και 75% αναλόγως της επιλογής του συστήματος. Η ιδανική εφαρμογή του συστήματος είναι για συστήματα θέρμανσης χαμηλών θερμοκρασιών (ενδοδαπέδια, fancoils), ενώ για θέρμανση με θερμαντικά σώματα

Είδος Τεχνολογίας	Τιμή (€/m ²)	Τυπικό εύρος m ²	Τυπική χρήση	Τυπικός τελικός χρήστης	Κάλυψη (εύρος)
Θερμοσιφωνικά συστήματα ΖΝΧ	400	2-4	ΖΝΧ	Μονοκατοικία ή διαμέρισμα	60-90%
"Μεσαία" κεντρικά ηλιακά	350	20-100	ΖΝΧ	Πολυκατοικία	60-80%
"Μεγάλα" κεντρικά ηλιακά	300	100-1000	ΖΝΧ	Σύμπλεγμα κατοικιών, ξενοδοχείο, νοσοκομείο κλπ.	50-80%
Συστήματα "COMBI"	450	8-100	ΖΝΧ & Θέρμανση	Μονοκατοικία ή πολυκατοικία	10-50 %

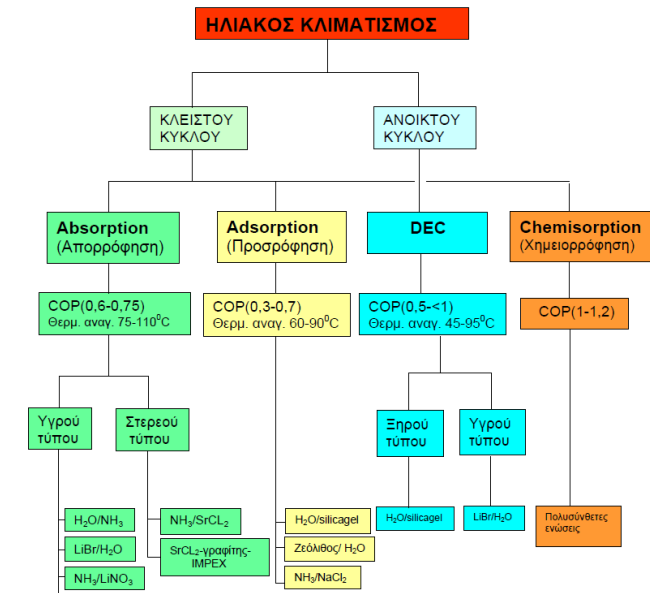
Πίνακας 2.3: Πίνακας Ενεργειακών και οικονομικών στοιχείων "τυπικών" τεχνολογιών ΘΗΣ στον Ελλαδικό χώρο (45)



Εικόνα 2.16: Διάγραμμα Σύνδεσης Boiler Τριπλής Ενέργειας με ηλιακό και λέβητα (56)

2.3.4. Ηλιακός Κλιματισμός

Τα ψυκτικά φορτία που καλείται να απάγει ένα συμβατικό σύστημα κλιματιστικών, είναι πολύ μεγάλο και οδηγεί σε μεγάλες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας. Με την ηλιακή ενέργεια μπορούμε να επιτύχουμε, εκτός από τη θέρμανση χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, την ψύξη των χώρων. Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίζονται τα ψυκτικά φορτία με μια φιλική προς το περιβάλλον ενέργεια. Ο ηλιακός κλιματισμός είναι μια συμφέρουσα τεχνολογία, αν αναλογιστούμε την σύμπτωση της μέγιστης ανάγκης για ψύξη με την μέγιστη ηλιακή επιφάνεια.



Διάγραμμα 2.2: Διάγραμμα ταξινόμησης συστημάτων Ηλιακού Κλιματισμού. Η διάταξη είναι κατά τον





Ένα τυπικό σύστημα ηλιακού κλιματισμού αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, τη δεξαμενή αποθήκευσης, τη μονάδα ελέγχου, σωληνώσεις, αντλίες και ένα θερμοοδηγούμενο ψύκτη (chiller). Οι ψύκτες αποτελούν τον πυρήνα των εγκαταστάσεων ηλιακού κλιματισμού. Αν και οι ηλιακοί συλλέκτες είναι αυτοί που παρέχουν την αναγκαία ενέργεια σε μια εγκατάσταση, οι ψύκτες αποτελούν το μηχανισμό που παράγει ψυκτικά φορτία χρησιμοποιώντας το θερμό νερό, που έρχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες, ως κύρια πηγή

ενέργειας. Το παραγόμενο ψυχρό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κλιματισμό του αέρα (αφύγρανση, ρύθμιση θερμοκρασίας) ή για ψύξη/δροσισμό χώρων (fancoil, chilled ceilings κα.). (57), (46)

Τα ψυκτικά μηχανήματα διακρίνονται κυρίως σε:

- Κλειστά κυκλώματα για ψύξη νερού
- Ανοιχτά κυκλώματα για κλιματισμό αέρα.

Περαιτέρω διάκριση φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

Μέθοδος	Κλειστού Κύκλου		Ανοιχτού Κύκλου	
	Στερεό	Υγρό	Στερεό	Υγρό
Ψυκτικός κύκλος	Κλειστός ψυκτικός κύκλος		Ψυκτικό μέσο (νερό) είναι σε επαφή με τον αέρα	
Αρχή	Ψυχρό νερό υπό εξάτμιση		Αφύγρανση του αέρα και ψύξη με εξάτμιση	
Φάση υλικού ρόφησης	Στερεό	Υγρό	Στερεό	Υγρό
				
Τυπικά ζεύγη υλικών	νερό - silica gel	νερό -βρωμιούχο λίθιο αμμωνία - νερό	νερό - silica gel νερό - χλωριούχο ασβέστιο	νερό - χλωριούχο ασβέστιο, νερό - χλωριούχο λίθιο
Τεχνολογία διαθέσιμη στην αγορά	Ψύκτης προσρόφησης	Ψύκτης απορρόφησης	DEC	Κοντά στην εισαγωγή στην αγορά
Τυπική ψυκτική ικανότητα(kW)	50 - 430 kW	15 kW - 5 MW	20 kW - 350 kW (ανά μονάδα)	
Τυπικό COP	0,5 - 0,7	0,6 - 0,75 (απλής βαθμίδας)	0,5 - > 1	> 1
Θερμοκρασία αναγέννησης	60 - 90 °C	80 - 110 °C	45 - 95 °C	45 - 70 °C
Ηλιακοί συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες αέρος	Επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες αέρος

Πίνακας 2.4 : Συστήματα Ηλιακού Κλιματισμού και οι τεχνολογίες τους (58)

Όπως διαπιστώνεται και από την εικόνα ο συντελεστής των συστημάτων αυτών είναι πολύ χαμηλός σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες κλιματισμού για οικιακή χρήση. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το υψηλό τους κόστος τα καθιστά ασύμφορα για εφαρμογή.



2.4. Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (Σ.Η.Θ.)

2.4.1. Γενικά

Η συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι από τη φύση της μη αποδοτική, αφού μετατρέπεται μόνο το ένα τρίτο της ενέργειας των καυσίμων σε ωφέλιμη ενέργεια. Το υπόλοιπο ποσοστό της ενέργειας, χάνεται με την μορφή θερμικών απωλειών. Αυτό, σε συνδυασμό με την καύση πρωτογενούς καυσίμου (πετρέλαιο, αέριο, κα) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας με αποδόσεις από 70-90%, δημιουργούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Αν όμως, είχαμε τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούμε την θερμική ενέργεια, που διαφεύγει ως απώλεια, για την κάλυψη των θερμικών αναγκών, τότε η απόδοση του συστήματος θα αυξανόταν, καθώς σε σύγκριση με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής θα μειωνόντουσαν οι απώλειες, και η εξοικονόμηση του καυσίμου θα ήταν σημαντική, εφόσον η ίδια ποσότητα καυσίμου θα παρήγαγε περισσότερη ενέργεια. (59)

Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και χρήσιμης θερμικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας, σε ένα ενιαίο, ολοκληρωμένο σύστημα (60) επιτυγχάνεται με την τεχνολογία της συμπαράγωγής (ΣΗΘ, Cogeneration (Combined) Heat and Power, CHP). Η Σ.Η.Θ. δεν αποτελεί μια συγκεκριμένη τεχνολογία αλλά περισσότερο μια εφαρμογή με συνδυασμό τεχνολογιών για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης ή/και ψύξης, καθώς και για μηχανική ή/και ηλεκτρική ενέργεια των τελικών καταναλωτών.

Η παραγόμενη μηχανική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση συμπιεστών και αντλιών, κάτι που επιτρέπει τον συνδυασμό της εγκατάστασης με άλλες τεχνολογίες παραγωγής θερμικής ενέργειας, όπως οι αντλίες θερμότητας. Σε περίπτωση που έχουμε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η τελευταία μπορεί να αξιοποιηθεί είτε άμεσα στο δίκτυο, είτε στις ιδιοκαταναλώσεις (61) άλλων συστημάτων και εφαρμογών, επιτυγχάνοντας την αυτονομία του κτιρίου. Σε κάθε περίπτωση η ενέργεια καταναλώνεται τοπικά μειώνοντας τις απώλειες μετάδοσης και διανομής. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση χώρων και ζεστού νερού χρήσης, όσο και στην κάλυψη των αναγκών σε ψύξη ή κλιματισμό⁸. Με τον τρόπο αυτό το σύστημα είναι σε θέση να καλύπτει τις εποχιακές ανάγκες του κτιρίου.

Όλα τα συστήματα συμπαράγωγής περιλαμβάνουν μια γεννήτρια και ένα σύστημα ανάκτησης θερμότητας. Ο καθορισμός του συνολικού βαθμού απόδοσης του συστήματος,

⁸ με συστήματα απορρόφησης που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό και αναφέρονται παρακάτω.



είναι μια σύνθετη διαδικασία που προκύπτει από την αλληλεπίδραση μεταξύ των μεμονωμένων βαθμών απόδοσης των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής και ανάκτησης θερμότητας. Όλο το σύστημα μπορεί να αντιμετωπισθεί ως δύο υποσυστήματα, το σύστημα ηλεκτρικής ισχύος (συνήθως μια μηχανή ή ένας στρόβιλος) και το σύστημα ανάκτησης θερμότητας (συνήθως κάποιος τύπος λέβητα). (59) Παράλληλα, ο λέβητας συμβάλλει ώστε να εξισορροπεί τις αιχμές στην ενεργειακή κατανάλωση τις πολύ κρύες μέρες, κατά τη διάρκεια ενός blackout ή μιας τεχνικής επισκευής, ή όταν το σπίτι είναι ακατοίκητο για αρκετό καιρό και χρειάζεται γρήγορη θέρμανση. (62)

Τα αποδοτικότερα συστήματα ΣΗΘ (με πάνω από 80% συνολικό βαθμό απόδοσης) είναι εκείνα που ικανοποιούν μεγάλη θερμική ζήτηση με την ταυτόχρονη παραγωγή σχετικά μικρότερης ηλεκτρικής ισχύος. Όσο αυξάνεται η απαιτούμενη θερμοκρασία της ανακτώμενης ενέργειας, τόσο μειώνεται ο λόγος της παραγόμενης ισχύος προς τη θερμότητα. Η μειωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντική για την οικονομική λειτουργία της ΣΗΘ, καθώς η διάθεση της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά είναι τεχνικά ευκολότερη από ότι είναι στην περίπτωση της πλεονάζουσας θερμικής ενέργειας. Εντούτοις, την περίοδο αυτή υπάρχουν ακόμη εμπόδια στη διανομή της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά. (59)

Τα συστήματα συμπαραγωγής διακρίνονται ανάλογα με το θερμοδυναμικό κύκλο, στον οποίο βασίζεται ο κύκλος λειτουργίας τους, και με το εργαζόμενο μέσο που χρησιμοποιούν (καύσιμο):

- i. Συστήματα συμπαραγωγής με αμοστρόβιλους:
 - (a) Αντίθλιψης
 - (b) Απομάστευσης
 - (c) Σε κύκλο βάσης
 - (d) Κύκλοι βάσης Rankine με οργανικά ρευστά (ORC)
- ii. Συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλους:
 - (a) Ανοικτού κύκλου
 - (b) Κλειστού κύκλου
- iii. Συστήματα συμπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου
 - (a) Συστήματα Συμπαραγωγής Συνδυασμένου Κύκλου Rankine – Joule
 - (b) Συστήματα Συμπαραγωγής Συνδυασμένου Κύκλου Diesel - Rankine
- iv. Συστήματα συμπαραγωγής με μηχανές εσωτερικής καύσης (MEK)
 - (a) Otto



(b) Diesel

- v. Συστήματα συμπαραγωγής Stirling (Μηχανές εξωτερικής καύσης)
- vi. Κυψέλες καυσίμου
- vii. Τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής (πακέτα)

Λόγω των πρόσφατων τεχνολογικών εξελίξεων, έχουν αναπτυχθεί νέες διατάξεις των συστημάτων ΣΗΘ που τα καθιστούν οικονομικά συμφέροντα σε ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών. Οι νέες γενιές των στροβίλων, κυψελών καυσίμου και παλινδρομικών μηχανών συνιστούν το αποτέλεσμα εντατικής και συνδυασμένης έρευνας, ανάπτυξης και επίδειξης, τόσο από ιδιωτικά όσο και από τη βιομηχανία. Τα προηγμένα υλικά και οι τεχνικές σχεδίασης μέσω Η/Υ έχουν αυξήσει σημαντικά την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του εξοπλισμού, μειώνοντας ταυτόχρονα τα κόστη και τις εκπομπές ρύπων (59).

Η σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας με τη ΣΗΘ οδηγεί σε μικρότερη κατανάλωση καυσίμων και σε μειωμένες εκπομπές ρύπων σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η ΣΗΘ αποτελεί μια οικονομικά παραγωγική προσέγγιση για τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων μέσω της πρόληψης της ρύπανσης. Αντίθετα, ο παραδοσιακός έλεγχος της ρύπανσης που επιτυγχάνεται απλά μέσω της επεξεργασίας των καυσαερίων δεν παρέχει κανένα οικονομικό όφελος και, στην πραγματικότητα, μειώνει την απόδοση και την ωφέλιμη παραγωγή ενέργειας. (59)

Στη συνέχεια παραθέτουμε ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά όπως επίσης και τα μέχρι τώρα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε συστήματος. (63)



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ Κ.Εν.Α.Κ

Σύστημα	Ηλεκτρική ισχύς	Ετήσια μέση διαθεσιμότητα	Ηλεκτρική απόδοση		Συνολική απόδοση	Ισχύς/Θερμότητα
	MW	%	Φορτίο 100%	Φορτίο 50%	%	—
Ατμοστρόβιλος	0.5-100	90-95	14-35	12-28	60-85	0.1-0.5
Αεριοστρόβιλος ανοιχτού κύκλου	0.1-100	90-95	25-40	18-30	60-80	0.5-0.8
Αεριοστρόβιλος κλειστού κύκλου	0.5-100	90-95	30-35	30-35	60-80	0.5-0.8
Συνδυασμένου κύκλου Joule-Rankine	4-100	77-85	35-45	25-35	70-88	0.6-2.0
Μηχανή Diesel	0.07-50	80-90	35-45	32-40	60-85	0.8-2.4
Μηχανές εσωτερικής καύσης (''πακέτα'')	0.015-2	80-85	27-40	25-35	60-80	0.5-0.7
Κυψέλες καυσίμου	0.04-50	90-92	37-45	37-45	85-90	0.8-1.0
Μηχανές Stirling	0.003-1.5	85-90	35-50	34-49	60-80	1.2-1.7

Πίνακας 2.5: Βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ΣΗΘ (63)



	<u>Πλεονεκτήματα</u>	<u>Μειονεκτήματα</u>
Ατμοστρόβιλοι	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλή απόδοση Μεγάλη ποικιλία καυσίμων Μεταβαλλόμενος λόγος θέρμανση προς ισχύ δυνατότητα κάλυψης περισσότερων της μιας βαθμίδων θερμότητας Διαθέσιμο μεγάλο εύρος μεγεθών Μεγάλη διάρκεια ζωής 	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος Αργή εκκίνηση
Αεριοστρόβιλοι	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλή αξιοπιστία Σταθερή υψηλή ταχύτητα που επιτρέπει – έλεγχο συχνότητας της ηλεκτρικής παραγωγής Υψηλός λόγος ισχύος ανά μονάδα όγκου Σχετικά φθινό κόστος επένδυσης ανά KWe Μεγάλο εύρος καυσίμων (diesel, LPG, νάφθα, βιομάζα) Χαμηλές εκπομπές ρύπων. 	<ul style="list-style-type: none"> Περιορισμένος αριθμός μεγεθών Μειωμένη μηχανική απόδοση σε σύγκριση με τις ΜΕΚ Υψηλά επίπεδα θορύβου Χαμηλή απόδοση σε μερικό φορτίο Η παραγωγή μειώνεται με την άνοδο της εξωτερικής θερμοκρασίας
Μηχανές εσωτερικής καύσης	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλή απόδοση ισχύος για ένα μεγάλο εύρος φορτίων Η απόκριση του συστήματος στις μεταβολές φορτίου είναι ταχέως, χωρίς να παρουσιάζεται έντονη αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά τις μεταβατικές περιόδους Σχετικά φθινό κόστος επένδυσης ανά KWe Μεγάλο εύρος μεγεθών από 3KWe Γρήγορη εκκίνηση (15sec) ακόμη και σε πλήρες φορτίο – σε αεριοστρόβιλους 0.5-2ώρες Χαμηλό κόστος επένδυσης σε μικρά μεγέθη Λειτουργία ακόμη και με αέριο χαμηλής πίεσης(κάτω από 1 bar). 	<ul style="list-style-type: none"> Μεγάλες ανάγκες ψύξης Χαμηλός λόγος ισχύος ανά μονάδα όγκου Υψηλά επίπεδα θορύβου Υψηλό κόστος συντήρησης
Μηχανές Stirling	<ul style="list-style-type: none"> Λιγότερα κινούμενα μέρη, λιγότερες τριβές Κατάλληλο για μαζική παραγωγή Παραγωγή ισχύος ανεξάρτητη από την παραγωγή θερμότητας Υψηλός θεωρητικά βαθμός απόδοσης Εύκολος έλεγχος 	<ul style="list-style-type: none"> Έλλειψη εμπειρίας Μεγάλο κόστος λόγω της νέας τεχνολογίας
Μικροτουρμπίνες	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλή αξιοπιστία χάρη στα λίγα κινούμενα μέρη Απλή εγκατάσταση Μικρό κόστος συντήρησης Συμπαγές μέγεθος Χαμηλό βάρος Χαμηλά επίπεδα θορύβου Χαμηλά επίπεδα εκπομπών ρύπων Υψηλή θερμοκρασία καυσαερίων 	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος
Κυψέλες καυσίμου	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλά επίπεδα ρύπων και θορύβου Υψηλή απόδοση για ένα μεγάλο εύρος φορτίων Βαθμιωτός σχεδιασμός, απλή κατασκευή Γρήγορες αλλαγές φορτίου, μικρό κόστος συντήρησης Μεταβαλλόμενος λόγος θέρμανση προς ισχύ 	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος Μειωμένη Αργή εκκίνηση Διάβρωση των ηλεκτρολυτών
Συνδυασμένου κύκλου	<ul style="list-style-type: none"> Μεγάλη ισχύς συγκέντρωσης(ισχύς/ μονάδα όγκου) 	<ul style="list-style-type: none"> Περίπλοκη εγκατάσταση(διάταξη ρυθμίσεων και ελέγχου) Μειωμένος βαθμός απόδοσης σε λειτουργία σε μερικό φορτίο

Πίνακας 2.6 : Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών ΣΗΘ (63)

2.4.2. μ-ΣΗΘ (61) (64)

Μια σχετικά νέα τεχνολογία είναι αυτή της μικρο-συμπαγωγής (microCHP), η οποία εφαρμόζεται κυρίως στον κτιριακό τομέα. Ουσιαστικά, η μικρο-συμπαγωγή βασίζεται στην ιδέα της συμπαγωγής, δηλαδή την υψηλών αποδόσεων ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Η εφαρμογή της οδηγεί σε εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και ταυτόχρονη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, καθιστώντας την ανταγωνιστική σε σχέση με τους λέβητες. Οι μονάδες μικρής ή πολύ μικρής ΣΗΘ είναι αυτές που έχουν ισχύ εξόδου μέχρι 50 kWe (σύμφωνα με τη Ευρωπαϊκή οδηγία 2004/8/EG). (65)



Η ανάπτυξη τυποποιημένων μονάδων συμπαραγωγής (πακέτων) μικρής ισχύος συνέβαλε στη διάδοση των συστημάτων μ-ΣΗΘ, λόγω της ευκολίας στην εγκατάσταση και την χρήση. Τα πακέτα παραδίδονται έτοιμα για λειτουργία, μέσα σε ηχομονωτικό κέλυφος μεγέθους παραπλήσιο με ένα κοινό λέβητα, ενώ η μόνη απαίτηση για την ολοκλήρωση της εγκατάστασης είναι η σύνδεση του με τα δίκτυα νερού, ηλεκτρισμού και καυσίμου.

Διάφορες συμβατικές και μη τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί, ώστε να εφαρμοσθούν στα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής, οι περισσότερες εκ των οποίων βασίζονται σε αυτές των συστημάτων συμπαραγωγής μεγαλύτερης κλίμακας. Τα παλινδρομικά συστήματα (ΜΕΚ) αποτελούν την πλέον διαδεδομένη εμπορικά τεχνολογία, που εφαρμόζεται στα μ-ΣΗΘ. Πέραν όμως από τα παλινδρομικά συστήματα, ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι μηχανές Stirling οι οποίες, αν και είναι ακόμα εξελισσόμενες, οι μέχρι τώρα εφαρμογές τους έχουν παρουσιάσει αξιοσημείωτα αποτελέσματα.

Άλλες τεχνολογίες που αναμένονται να είναι διαθέσιμες στο μέλλον είναι οι μικροστρόβιλοι αερίου και τα συστήματα ORC (Organic Rankine Cycle Systems), καθώς έχει σημειωθεί ένας σημαντικός αριθμός επιτυχημένων επιδεικτικών έργων εφαρμογής τους, σε διάφορες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως η Αυστρία. Οι κυψέλες καυσίμου πολυμερούς ηλεκτρολύτη και στερεού οξειδίου καυσίμου είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο και έχει εφαρμοσθεί σε ορισμένο αριθμό πιλοτικών εγκαταστάσεων. Αν και θεωρείται μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, ο κύριος ανασταλτικός παράγοντας διάδοσής της είναι, μέχρι και σήμερα, το υψηλό κόστος εφαρμογής τους.

Οι μονάδες μικροσυμπαραγωγής χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη συμβατικά καύσιμα όπως πετρέλαιο, φυσικό αέριο και υγραέριο. Παράλληλα, γίνονται μελέτες για την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων από βιοκαύσιμα, όπως βιοντίζελ και κραμβέλαιου στις μηχανές ντίζελ, τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετική βιοαποικοδομισιμότητα και χαμηλή τοξικότητα. Επίσης, αρκετές εταιρείες επιχειρούν την κατασκευή κινητήρων από συσσωματώματα ξύλου (pellets) και από ηλιακούς συλλέκτες, οι οποίες όμως βρίσκονται σε πιλοτικό στάδιο. (63)

Τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής τα οποία λειτουργούν σε σπίτια ή μικρές εμπορικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται βασικά για την κάλυψη θερμικών αναγκών έχοντας τον ηλεκτρισμό ως δεύτερο προϊόν. Αποτέλεσμα αυτού του μοντέλου λειτουργίας είναι να παράγεται συχνά μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας από αυτήν που στιγμιαία είναι απαραίτητη. Η πλεονάζουσα ενέργεια μπορεί να διοχετευθεί στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, αν η σύνδεση είναι εφικτή. Η σύνδεση και λειτουργία των συστημάτων ΣΗΘ στα



δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι οι ισχύουσες τιμές εμπορίας της ηλεκτρικής ενέργειας, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και οι τεχνικές απαιτήσεις της εγκατάστασης, τα επίπεδα ζήτησης του θερμικού φορτίου, η διαθεσιμότητα του καυσίμου και η ύπαρξη επαρκών εγκαταστάσεων για τη μεταφορά του, κλπ.

Σήμερα, ένα από τα πιο σημαντικά πιθανά εμπόδια της διάδοσης της τεχνολογίας μικρής συμπαραγωγής αποτελεί η μη δυνατότητα σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Τα οικιακά ηλεκτρικά φορτία είναι εξαιρετικά ασταθή με βάση γύρω στα 100 W, μέσο όρο στα 400-600W και φορτία αιχμής πάνω από 15-20kW. Παρόλο που είναι δυνατό τα συστήματα ΣΗΘ να λειτουργούν απομονωμένα, χρησιμοποιώντας κατάλληλο σύστημα αποθήκευσης και ελέγχου, κάτι τέτοιο θα ελαχιστοποιούσε τα οικονομικά πλεονεκτήματα. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, το σύστημα ρυθμίζεται ώστε να χρησιμοποιεί το δίκτυο ως σύστημα εξισορρόπησης, όπου θα εξάγεται η όποια περίσσεια ρεύματος και θα εισάγεται όποτε υπάρχει ανάγκη, η οποία είναι και η συνηθέστερη πρακτική. (59)

Η μικρής κλίμακας συμπαραγωγή, για να είναι βιώσιμη σε οικιακές εφαρμογές, είναι απαραίτητο να είναι συμβατή με τις άλλες λειτουργικές παραμέτρους της κεντρικής θέρμανσης όπως τα επίπεδα ροής του νερού και τις θερμοκρασίες έτσι ώστε να μην απαιτείται η τοποθέτηση, για παράδειγμα μεγάλων δεξαμενών αποθήκευσης για θερμική απορρόφηση. Επιπλέον, ο ετεροχρονισμός μεταξύ ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου στις κατοικίες, σε συνδυασμό με την μεταβαλλόμενη τιμή του ρεύματος κατά τη διάρκεια της ημέρας, επιβάλλει την ύπαρξη μέσου αποθήκευσης θερμότητας, για την οικονομική εκμετάλλευση του συστήματος συμπαραγωγής. Τέλος είναι επίσης σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη ότι, η μικρή συμπαραγωγή δεν ανταποκρίνεται καλά σε γρήγορους κύκλους ανοίγματος-κλεισίματος και ότι οι μηχανές είναι συνήθως σχεδιασμένες να καλύπτουν το 60% του φορτίου αιχμής. Αυτό μεγιστοποιεί τις χρήσιμες ώρες λειτουργίας κάτω από κατά μέσο όρο χειμερινές συνθήκες και κανονικά οδηγεί στην αύξηση των ετήσιων αναγκών που καλύπτονται από το βασικό σύστημα. (59)



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ Κ.Εν.Α.Κ

A/A	ΕΙΔΟΣ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΣΧΥΟΣ kW _e	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
1	ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	5 – 50	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ ΜΗΧΑΝΗ STIRLING ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ
2	ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	50 – 250	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ ΜΗΧΑΝΗ DIESEL ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ

Πίνακας 2.7: Προτεινόμενα συστήματα ΣΗΘ για διάφορα είδη κτιρίων κατοικιών (64)

A/A	ΒΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΗΘ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ %	ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ %	ΟΛΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ %	C	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ (°C)
1	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ	15	1300	32 – 35	50 – 60	80 – 85	0,5 – 0,8	Θ.Ν. Α.Χ.Π	400 – 450
2	ΜΗΧΑΝΗ DIESEL	100	20000	35 – 45	40 – 45	75 – 90	0,7 – 0,9	Θ.Ν. Α.Χ.Π (*)	320 – 450
3	ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΜΕ ΛΕΒΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	100	30000	25 – 35	40 – 50	70 – 85	0,25 – 0,8	Α.Χ.Π (*)	400 – 600
4	ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	25	200	25 – 35	40 – 50	70 – 85	0,6 – 0,8	Θ.Ν. Α.Χ.Π	200 – 300
5	ΜΗΧΑΝΗ STIRLING	3	100	35 – 45	50 – 60	80 – 85	0,5 – 0,8	Θ.Ν.	400 – 500
6	ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	3	120	30 – 40	30 – 40	60 – 80	0,7 – 1	Θ.Ν.	140 – 200
7	ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΗΣ	500	100000	25 – 30	40 – 60	65 – 90	0,1 – 0,3	Α.Χ.Π Α.Μ.Π	180 – 200

Θ.Ν. = Θερμό Νερό
Α.Χ.Π. = Ατμός Χαμηλής Πίεσης
Α.Μ.Π. = Ατμός Μέσης Πίεσης
C = Λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια
(*) Μεγάλης ισχύος μηχανές μπορούν να δώσουν και Α.Μ.Π.

Πίνακας 2.8: Συγκριτικός Πίνακας συστημάτων ΣΗΘ για κτίρια (64)

Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η διαστασιολόγηση του συστήματος ΣΗΘ στο κτήριο, δηλαδή, η επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας για τη μονάδα ΣΗΘ και συνεπώς ο σχεδιασμός όλου του συστήματος. Τα βασικά κριτήρια για τη βέλτιστη επιλογή του συστήματος ΣΗΘ αφορούν στην:

- οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης,
- εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας,
- αδιάλειπτη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ, προσφέροντας ηλεκτρική ενέργεια, ΖΝΧ, ατμό, θερμική/ψυκτική ενέργεια στους ενοίκους του κτηρίου,
- περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα από τη χρήση της ΣΗΘ.

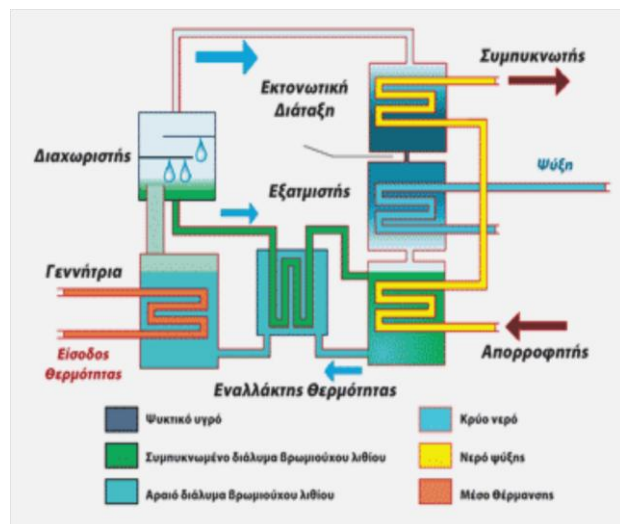
Επίσης, απαιτούνται γνώσεις του ισχύοντος νομοθετικού πλαισίου και των ρυθμιστικών διατάξεων που αφορούν την εγκατάσταση και λειτουργία της μονάδας ΣΗΘ στο κτίριο. Είναι πιθανόν οι προαναφερόμενες διατάξεις να θέτουν όρια στο σχεδιασμό και στη λειτουργία της μονάδας ΣΗΘ (π.χ. επίπεδα θορύβου, όριο εκπομπών αερίων ρύπων, κλπ). (64)

2.4.3. Τριπαραγωγή (63)

Τα συστήματα ΣΗΘ που αναφέρθηκαν θα πρέπει να λειτουργούν περισσότερο από 3500 ώρες ετησίως, ώστε να συμφέρει οικονομικά η λειτουργία τους. Στις χώρες της νότιας Ευρώπης, όπως η Ελλάδα, λόγω του εύκρατου κλίματος που επικρατεί δεν είναι εύκολο να συμπληρωθούν πολλές ώρες λειτουργίας, καθώς η ανάγκη για θέρμανση περιορίζεται σε λίγους χειμερινούς μήνες. Αντίθετα, παρουσιάζουν εντονότερη ανάγκη για ψύξη κατά τη διάρκεια των θερμών καλοκαιρινών μηνών. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, τα συστήματα συμπαραγωγής θα πρέπει να λειτουργούν και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, για την παραγωγή ψυχρού νερού / ψυχρού αέρα για τον κλιματισμό χώρων. Στην περίπτωση αυτή, τα συστήματα ονομάζονται συστήματα τριπαραγωγής.

Η τριπαραγωγή (trigeneration) ή συνδυασμένη παραγωγή Ηλεκτρισμού, θερμότητας και Ψύξης (ΣΗΘΨ - Combined Heat Cooling and Power Generation, CHCP), είναι μία νέα τεχνολογία, η οποία στηρίζεται στην ιδέα της συμπαραγωγής. Η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας έγκειται στο γεγονός ότι εκτός από τη παραγωγή μηχανικής ενέργειας (που συχνά μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια) και της θερμότητας, έχουμε επιπλέον την παραγωγή ψύξης. Το σύστημα χρησιμοποιώντας κι εδώ μία και μόνη πηγή ενέργεια, όπως αυτές των καυσίμων ή της

ηλιακής ενέργεια, παράγει θερμότητα, από την οποία στη συνέχεια παράγεται ψύξη, μέσω ενός ψύκτη απορρόφησης. Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι ψύκτες είναι αυτοί που χρησιμοποιούν το ζεύγος εργασίας αμμωνίας-νερού ή νερού-βρωμιούχου. Εκ των δυο αυτών το ζεύγος

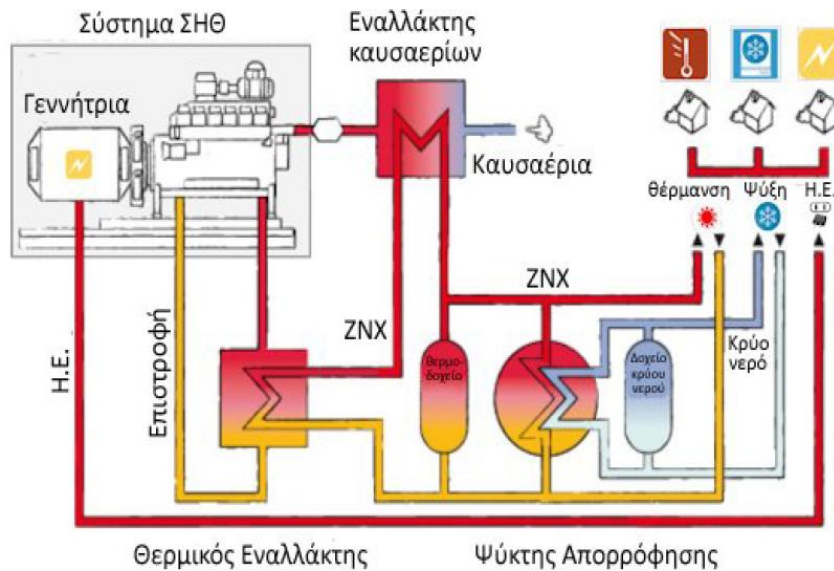


Διάγραμμα 2.3: Αρχή λειτουργίας ενός ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μονού σταδίου (8).

νερό/LiBr χρησιμοποιείται κυρίως για τις περιπτώσεις κλιματισμού, όπου δεν απαιτούνται θερμοκρασίες χαμηλότερες από 0°C. Ωστόσο ο κλιματισμός με τη μέθοδο αυτή δεν είναι τόσο αποτελεσματικός λόγω του χαμηλού συντελεστή συμπεριφοράς.

Εφαρμογή - Στάδιο	NH ₃ Απορρόφηση		LiBr – Απορρόφηση	
	Μονό	Μονό	Μονό	Διπλό
Ψυκτική Ικανότητα (kW _ψ)	20- 2500	300 – 5000	300 – 5000	300 – 5000
Συντελεστής συμπεριφοράς COP	0.6 – 0.7	0.5 – 0.6	0.9 – 1.1	0.9 – 1.1
Εύρος Θερμοκρασίας προσιδόμενης θερμότητας (°C)	120 – 132	120 – 132	150 – 170*	150 – 170*
Κόστος Συστήματος (€/ton)	1250 – 1750	870 - 920	930 – 980	930 – 980

Πίνακας 2.9: Σύγκριση ψυκτών απορρόφησης NH₃ και LiBr (τιμές 2010) (64)



Εικόνα 2.17: Σύστημα ΣΗΘ με ψύκτη απορρόφησης (64)



3. Αξιολόγηση υπολογιστικών προγραμμάτων

Η προσπάθεια για την ακριβή μοντελοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου και των συστημάτων του, έχει συμβάλει στην ανάπτυξη πολλών διαφορετικών υπολογιστικών εργαλείων, κάθε ένα με τα δικά του χαρακτηριστικά και το δικό του τρόπο προσέγγισης. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια ανασκόπηση των δημοφιλέστερων υπολογιστικών εργαλείων, το TRNSYS και το EnergyPlus, καθώς και του ελληνικού λογισμικού TEE-KENAK, το οποίο χρησιμοποιείται από τους ενεργειακούς επιθεωρητές και είναι σύμφωνο με τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Στα πλαίσια της ανασκόπησης, επεξηγείται ο τρόπος λειτουργίας τους, αλλά και το μαθηματικό μοντέλο πάνω στο οποίο βασίζονται οι υπολογισμοί τους. Τέλος διερευνάται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων τους, όπως αυτά προέκυψαν μέσω εμπειρικών ή αναλυτικών δοκιμών, ώστε να ελεγχθεί αν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

3.1. Transient simulating system TRNSYS

3.1.1. Γενικά

Το TRNSYS είναι ένα πλήρες και επεκτάσιμο υπολογιστικό περιβάλλον προσομοίωσης μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο. Παραμένει ένα από τα πιο ευέλικτα προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης καθώς επιτρέπει την προσθήκη μαθηματικών μοντέλων με τις απαραίτητες επιπρόσθετες συνιστώσες, παρέχει την ικανότητα προσομοίωσης ενός πολυζωνικού κτιρίου -μέσω του μοντέλου TYPE 56- και την επικοινωνία με άλλα προγράμματα προσομοίωσης. Ο πηγαίος κώδικας, ο πυρήνας του προγράμματος καθώς και ο κώδικας των διαφόρων μοντέλων που περιλαμβάνει το TRNSYS, δίνονται στον χρήστη ο οποίος μπορεί να τα τροποποιήσει κατάλληλα ώστε να εξυπηρετεί καλύτερα τις δικές του ανάγκες. (66)

Επίσης υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής νέων μοντέλων που μπορεί να κατασκευάσει ο ίδιος ο χρήστης ή άλλοι προγραμματιστές χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, C++, PASCAL, FORTRAN κ.α.). Αυτό είναι δυνατόν χάρη στην αρχιτεκτονική του προγράμματος, η οποία είναι βασισμένα στα αρχεία DLL. Επιπλέον, το TRNSYS μπορεί να συνδεθεί εύκολα με πολλά άλλα προγράμματα για επεξεργασία πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (π.χ. Microsoft Excel, Matlab, COMIS κτλ.). Το TRNSYS μπορεί να προσομοιάσει τις εξής εφαρμογές:

- Ηλιακά συστήματα (θερμικά ηλιακά και φωτοβολταϊκά)



- Συστήματα Ψύξης - Θέρμανσης
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συμπαγωγή, Κυψέλες καυσίμου
- Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση

Το TRNSYS αποτελείται από τα ακόλουθα προγράμματα:

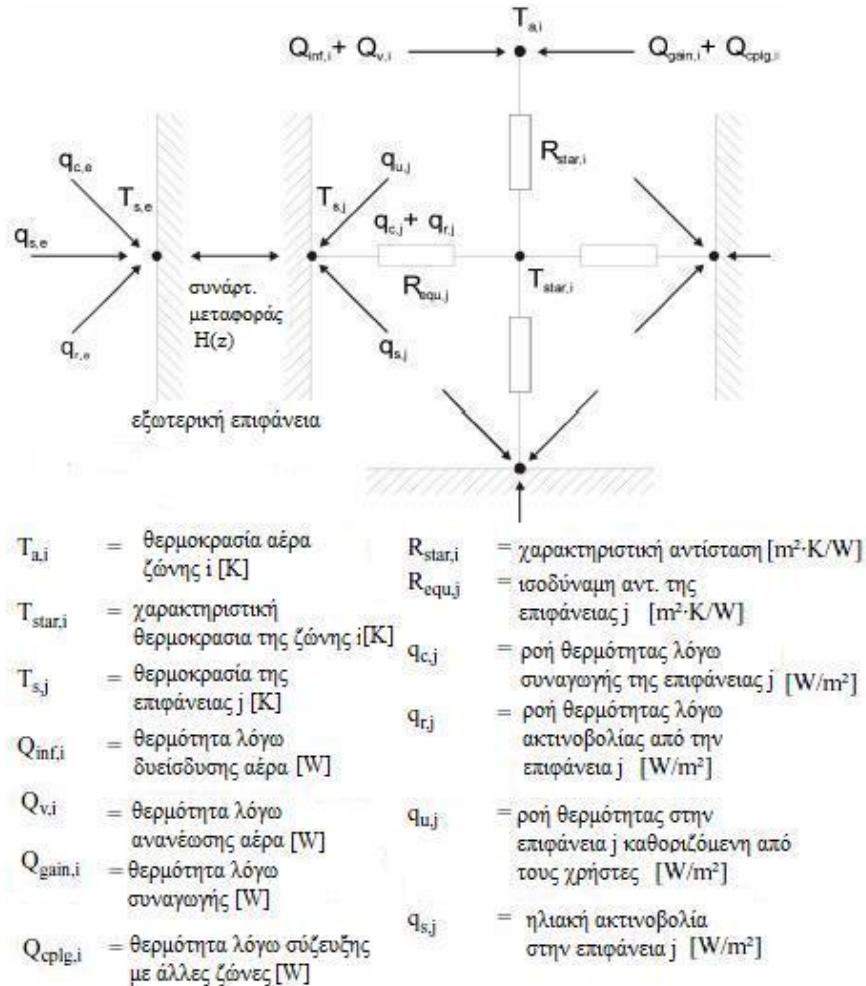
1. “Simulation Studio”, στο οποίο γίνεται ο σχεδιασμός των προγραμμάτων προσομοίωσης,
2. το “TRNBuild” στο οποίο ρυθμίζονται οι παράμετροι του πολυζωνικού κτιρίου
3. το “TRNEdit” το οποίο χρησιμοποιείται για την υλοποίηση παραμετρικών εκτελέσεων, ενώ εκτός αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία αυτόνομων προγραμμάτων.

3.1.2. Μοντελοποίηση του κτιρίου

Το TRNSYS σχεδιάστηκε για να μοντελοποιήσει χρονικά μεταβαλλόμενα θερμικά συστήματα. Το πρόγραμμα έχει μία αρθρωτή προσέγγιση να λύνει τα συστήματα από μοντέλα που ονομάζονται TYPES. Κάθε TYPE περιγράφεται από μία υπορουτίνα γραμμένη σε γλώσσα FORTRAN η οποία μπορεί να συνδεθεί με άλλα TYPE συνθέτοντας έναν αλγόριθμο προσομοίωσης. Τα κτιριακά μοντέλα στο TRNSYS ποικίλουν, από την απλή μακροσκοπική εξέταση ενός κτιρίου ως σύνολο, έως την ενδελεχή διάκριση του κτιρίου σε ζώνες με τις παραμέτρους που υπεισέρχονται (το μοντέλο TYPE 56). (67) (68) (69)

Στην Εικόνα 3.1 που ακολουθεί (Saelens 2002) παρουσιάζεται σχηματικά η πιο σημαντική ροή θερμότητας στο TYPE 56. Στην εξωτερική επιφάνεια διακρίνονται η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος και η συναγωγή θερμότητας και συνυπολογίζεται και η απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας. Η μεταβαλλόμενη ροή θερμότητας που συμβαίνει διαμέσου των επιφανειών υπολογίζεται με την μονοδιάστατη προσέγγιση των Stephenson και Mitalas (1971) η οποία θα αναπτυχθεί στη συνέχεια. Η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από τις επιφάνειες προσεγγίζεται από τη μέθοδο που εφαρμόστηκε από τον Seem (1987). Για κάθε ζώνη ορίζεται μία χαρακτηριστική θερμοκρασία η οποία ονομάζεται T_{star} (star temperature). Η θερμοκρασία T_{star} χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της καθαρής ροής θερμότητας δια ακτινοβολίας και συναγωγής από την εσωτερική επιφάνεια των τοίχων. Οι θερμοκρασίες των εσωτερικών επιφανειών συνδέονται με την T_{star} μέσω ισοδύναμων αντιστάσεων. Κατά τον ίδιο

τρόπο η T_{star} συνδέεται με την θερμοκρασία του αέρα μέσω της αντίστασης R_{star} (star resistance).



Εικόνα 3.1: Ροή θερμότητας στο μοντέλο TYPE 56. (69)

Στο πρόγραμμα προσομοίωσης κτιρίων οι εξισώσεις αυτές θα πρέπει να επιλυθούν σε συνδυασμό με τις διεργασίες που εκτελούνται εντός του κτιρίου όπως θέρμανση, κλιματισμός, ανανέωση αέρα κλπ. Οι υπολογισμοί μεταφοράς θερμότητας στο TRNSYS, όπως προαναφέρθηκε, βασίζονται στη μεθοδολογία των συναρτήσεων μεταφοράς όπως περιγράφηκαν από τους Stephenson και Mitalas το 1971. Πρότειναν τον συντελεστή θερμικής απόκρισης, ο οποίος περιλαμβάνει την επίδραση της θερμικής συσσώρευση στον υπολογισμό του φορτίου που πρέπει να απομακρύνεται από τον χώρο προκειμένου αυτός να διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία. Ο συντελεστής θερμικής απόκρισης αξιολογεί την απόκριση του συστήματος στην μία πλευρά του κτιρίου όταν στην άλλη έχουμε τυχαίες θερμοκρασιακές



διεγέρσεις. Αυτή η έννοια αναπτύχθηκε και αποτέλεσε την βάση της μεθόδου WFM (Weight Factor Method) ή TFM (Transfer Function Method)

3.1.3. Προσδιορισμός θερμικών ζωνών

Η ακρίβεια στον υπολογισμό των ζητούμενων μεγεθών σε μία κτιριακή εγκατάσταση εξαρτάται κυρίως από τις παραμέτρους που υπεισέρχονται μέσα σε αυτόν. Οι παράμετροι αυτοί διαφέρουν από χώρο σε χώρο γεγονός που καθιστά απαραίτητη την μελέτη κάθε χώρου-ζώνης ξεχωριστά και όχι το κτίριο ως σύνολο. Το TRNSYS παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα εξέτασης ενός κτιρίου διαχωρίζοντάς το σε θερμικές ζώνες μέσω του προγράμματος TRNBuild.

Κάθε ζώνη καθορίζεται από πολλές παραμέτρους σκιαγραφώντας το δικό της θερμικό προφίλ. Οι τιμές των παραμέτρων δίνονται ενδεικτικά από τον χρήστη ο οποίος είτε επιλέγει τις μέσα από βιβλιοθήκες, είτε πληκτρολογεί ο ίδιος την ζητούμενη. Οι παράμετροι που ζητούνται είναι οι εξής:

- Οι ιδιότητες του κτιρίου. Οι ιδιότητες περιλαμβάνουν τις τιμές σταθερών όπως αυτή του Stephan Boltzmann, την πυκνότητα του αέρα καθώς και τιμές συντελεστών για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας.
- Οι επιτρεπτοί προσανατολισμοί για τους τοίχους και τα παράθυρα.
- Τα δεδομένα των τοίχων.
- Τα δεδομένα των παραθύρων.
- Η μέθοδος θέρμανσης κάθε ζώνης.
- Η μέθοδος ψύξης της ζώνης.
- Η διείσδυση του αέρα.
- Η μέθοδος αερισμού κάθε ζώνης.
- Τα εσωτερικά φορτία κάθε ζώνης.
- Επιλογή συνυπολογισμού της θερμικής άνεσης σε μία ζώνη. Η επιλογή θερμικής άνεσης “Comfort” είναι προαιρετική και απαιτεί την εισαγωγή δεδομένων όπως: συντελεστή ένδυσης, μεταβολικός ρυθμός ανάλογα με την δραστηριότητα, το εξωτερικό έργο, και τη σχετική ταχύτητα αέρα ατόμων στο χώρο. Οι τιμές δίνονται σε πίνακες.
- Οι επιθυμητές έξοδοι του μοντέλου του κτιρίου και οι επιπλέον εισοδοι. Οι επιπλέον εισοδοι ορίζονται στην περίπτωση που επιθυμούμε τον καθορισμό της τιμής μιας μεταβλητής από άλλο μοντέλο που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση. Οι έξοδοι που

μπορεί να έχει το μοντέλο του πολυζωνικού κτιρίου είναι πολλές και συγκεκριμένες και αφορούν κάθε ζώνη ξεχωριστά, ή ένα σύνολο ζωνών, κάθε επιφάνεια ξεχωριστά ή το σύνολο των επιφανειών και τέλος ενεργειακά ισοζύγια σε επιφάνειες ή ζώνες μεμονωμένα ή στο σύνολό τους.

Κάθε μία από τις ανωτέρω παραμέτρους περιλαμβάνει και υπο-παραμέτρους για την ορθή εξέταση του προβλήματος. Το υπολογιστικό μοντέλο TRNSYS διαθέτει επίσης μία μεγάλη γκάμα από πίνακες με τις τιμές των παραμέτρων, οι οποίοι βασίζονται σε εθνικές προδιαγραφές κάθε χώρας. Παράλληλα ο χρήστης μπορεί να προσθέσει οτιδήποτε επιθυμεί λαμβάνοντας βέβαια και την ανάλογη ευθύνη. Η ίδια φιλοσοφία επικρατεί και στον τρόπο υπολογισμού των ζητούμενων. Άλλωστε όπως έχει προαναφερθεί, ο πηγαίος κώδικας είναι ανοιχτός και μπορεί επεξεργαστεί. Στόχος του πολυζωνικού κτιρίου είναι η μεγαλύτερη ακρίβεια των υπολογισμών μέσα από μία ενδεδειγμένη εξέταση κάθε ζώνης και την συμβολή αυτής στο συνολικό κτίριο. (68)

3.1.4. Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του TRNSYS

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα προγράμματα προσομοίωσης εμπεριέχουν σφάλματα τα οποία αυξάνουν το ποσοστό αβεβαιότητας. Προς την κατεύθυνση αυτή έχει συνταχθεί η έκθεση που παρουσιάζεται στο (69) σκέλος της βιβλιογραφίας στην οποία γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων ενεργειακής αποδοτικότητας κτιρίου που προέκυψαν από το πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS με τα αποτελέσματα που μετρήθηκαν κατά την δοκιμή του πειράματος. (70)



Εικόνα 3.2: Νότια όψη του υπό μελέτη κτιρίου (70)

Η έκθεση αφορά ένα νεόδμητο παθητικό κτίριο το οποίο βρίσκεται στην περιοχή Heusden-Zolder του Βελγίου. Το κτίριο δεν κατοικείται την περίοδο που εκτελέστηκε το πείραμα ώστε να μηδενιστεί η επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα. Το εν λόγω κτίριο είναι μία διώροφη μεζονέτα με δίρριχτη κεραμοσκεπή και με κέλυφος αποτελούμενο από ξύλινα πλαίσια συνδεδεμένα με οπτοπλινθοδομή. Όλα τα δομικά υλικά διακρίνονται για τον πολύ καλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Η πλειοψηφία των ανοιγμάτων βρίσκεται στην νότια πλευρά του κτιρίου για



την μέγιστη αξιοποίηση άμεσου ηλιακού κέρδους. Σημειώνεται ότι κατά το σχεδιασμό έχει προβλεφτεί η τοποθέτηση ενός εναλλάκτη εδάφους-αέρα για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του εισερχόμενου ρεύματος αέρα, αλλά και ηλιακοί συλλέκτες για την παροχή ζεστού νερού χρήσης, τα οποία δεν είχαν τοποθετηθεί κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος και ως εκ τούτου δεν ελήφθησαν υπόψη.

Το πείραμα διεξήχθη μεταξύ των μηνών Μαρτίου και Απριλίου 2004 και είχε διάρκεια 43 ημερών. Αποτελεί ένα Co-Heating test⁹ στο οποίο ρυθμίζεται η θερμοκρασία και η ηλεκτρική ισχύς για τη θέρμανση του χώρου. Διακρίνονται 3 υποπερίοδοι: 1) Αρχική περίοδος με πρόσδοση επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας, 2) περίοδος με εσωτερική θερμοκρασία χώρου 24°C, 3) περίοδος με εσωτερική θερμοκρασία χώρου 22°C.

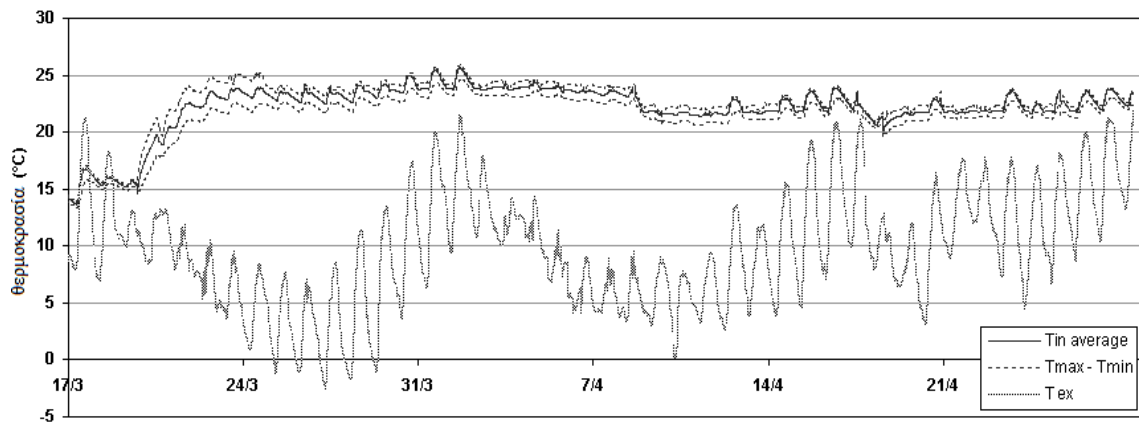
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΗΛ ΙΣΧΥΣ	ΗΜΕΡΕΣ εργάσιμες/μη εργασιμες
17/3-21/3	24°C	2400W	5/0
22/3-8/4	24°C	1200W	13/5
8/4-28/4	22°C	1200W	13/7

Πίνακας 3.1: Δίνονται τα στοιχεία διεξαγωγής του πειράματος (περίοδος, θερμοκρασία, ηλ ισχύς, ημέρες λειτουργίας) (70)

Την 3^η περίοδο η ηλεκτρική ισχύς δεν ήταν αρκετή για να διατηρήσει τη θερμοκρασία στα προηγούμενα επίπεδα και για το λόγο αυτό μειώθηκε στους 22°C. Επίσης το εσωτερικό κλίμα διαταράχτηκε για 12 ημέρες διότι οι ιδιοκτήτες εκτελούσαν εργασίες αποπεράτωσης.

Αφού ελήφθησαν οι θερμοκρασιακές μετρήσεις σχεδιάστηκε το θερμοκρασιακό προφίλ του κτιρίου.

⁹ Το co-heating test αποτελεί μία μέθοδο μέτρησης των απωλειών θερμότητας σε W/K που εμφανίζονται σε ένα μη κατοικήσιμο κτίριο. Περιλαμβάνει την θέρμανση του εσωτερικού χώρου με τη χρήση ηλεκτρικής αντίστασης με σκοπό την αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας για κάποια χρονική περίοδο (1 έως 3 εβδομάδες). Μετρώντας την ηλεκτρική ενέργεια που αποδίδεται σε Watt και την διαφορά θερμοκρασίας (σε Kelvin) μεταξύ του εσωτερικού χώρου και του εξωτερικού περιβάλλοντος (ΔT) προκύπτει ο συντελεστής απωλειών θερμότητας σε W/K. Για να επιτευχθεί αξιόλογη διαφορά θερμοκρασίας (συνήθως 10 K ή περισσότερο) το test πρέπει να διεξάγεται τους χειμερινούς μήνες, συνήθως Οκτώβριο/Νοέμβριο και Μάρτιο/Απρίλιο. (71)



Εικόνα 3.3: Θερμοκρασιακό προφίλ του κτιρίου όπως προέκυψε από τις πειραματικές μετρήσεις. (70)

ΣΗΜΕΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1	ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2
ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΘΕΡΟΚΡΑΣΙΑ	24	22
ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	7,96	11,19
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	23,4 ± 1,0	21,9 ± 1,1
1 ^{ος} όροφος καθιστικό Ν	23,6 ± 1,3	22,2 ± 1,2
1 ^{ος} όροφος γραφείο ΒΑ	22,8 ± 1,3	21,5 ± 1,3
1 ^{ος} όροφος αποθήκη ΒΔ	22,8 ± 1,2	21,5 ± 1,1
2 ^{ος} όροφος ημι-υπαίθριος Ν	24,2 ± 0,8	22,5 ± 0,9
2 ^{ος} όροφος υπνοδωμάτιο ΒΑ	23,1 ± 1,0	21,7 ± 1,1
2 ^{ος} όροφος σοφίτα ΒΔ	23,7 ± 0,9	22,2 ± 1,1

Πίνακας 3.2: Μέση μετρήσιμη θερμοκρασία κάθε χώρου. (70)

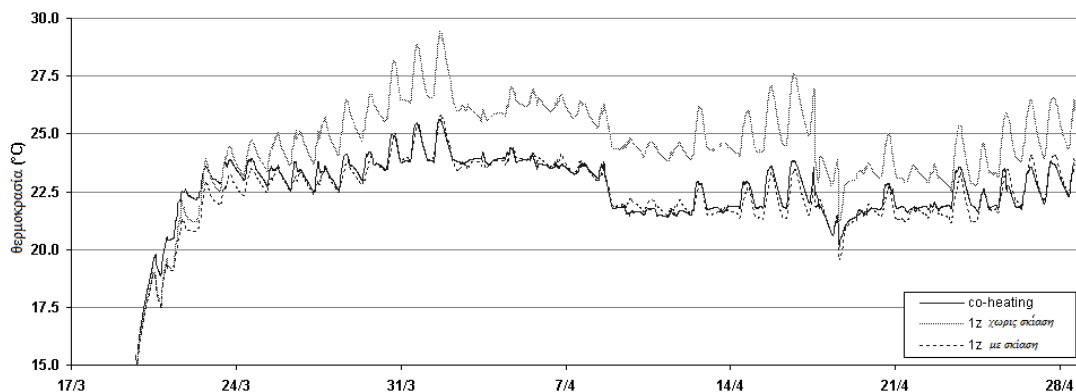
Κατά την μελέτη του κτιρίου με το πρόγραμμα TRNSYS, εξετάστηκαν διάφορα μοντέλα προσομοίωσης:

- το βασικό μοντέλο μονοζωνικού κτιρίου μέσω του “TYPE 56” (Εικόνα 3.4)
- επέκταση του βασικού μοντέλου με το “TYPE 34” για την σκίαση της νότιας όψης(Εικόνα 3.4)

- αύξηση των θερμικών ζωνών σε τέσσερις, δύο για κάθε όροφο με βόρειο/νότιο προσανατολισμό(Εικόνα 3.5)
- εισαγωγή του συστήματος αερισμού (Εικόνα 3.5)
- κατανομή του θερμικού φορτίου στις ζώνες (παραγωγή θερμότητας σε κάθε ζώνη) και εξέταση της επίδρασης του αερισμού λαμβάνοντας υπόψη τη ροή αέρα μεταξύ των γειτονικών δωματίων(Εικόνα 3.5).

Επίσης έγιναν ορισμένες παραδοχές οι οποίες αξίζει να σημειωθούν δεδομένου ότι πολλά από τα στοιχεία που ζητάει το πρόγραμμα είναι αδύνατον να προβλεφτούν:

- Τα εσωτερικά κέρδη των ενοίκων δεν ελήφθησαν υπόψη.
- Το πρόγραμμα υπολογίζει την θερμοκρασία στο κέντρο της ζώνης, εν αντιθέσει με το πείραμα όπου ο αισθητήρας που είχε τοποθετηθεί δίπλα στον τοίχο, μετρούσε την θερμοκρασία του τοίχου.
- Η θερμοκρασία κάτω από την πλάκα του ισογείου θεωρήθηκε 10°C όση και η ετήσια θερμοκρασία εδάφους της περιοχής.



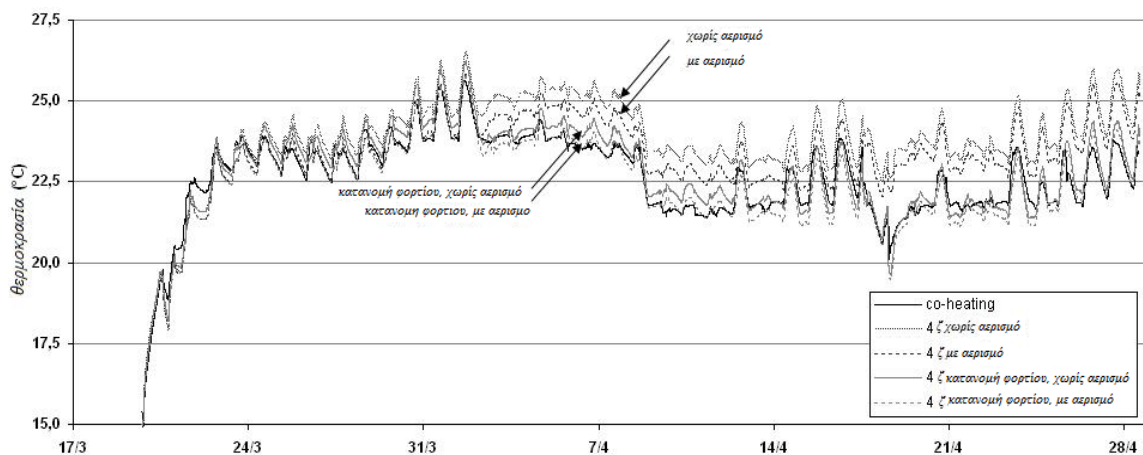
Εικόνα 3.4: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου (αποτελέσματα προσομοίωσης μονοζωνικού μοντέλου)

(70)



ΜΟΝΤΕΛΟ	1 ^{ος} όροφος	1 ^{ος} όροφος	2 ^{ος} όροφος	2 ^{ος} όροφος
	B	N	B	N
Co-heating (1 ^η περ)	22,8	23,6	23,4	24,3
(2 ^η περ)	21,5	22,2	21,9	22,5
4 ζώνες/ χωρίς ανανέωση αέρα	21,6	27,5	22,4	23,7
	21,9	25,5	22,6	23,5
4 ζώνες /με ανανέωση αέρα	22,1	25,0	23,2	24,0
	22,1	23,9	23,0	23,5
4 ζώνες/με κατανομή φορτίου/χωρίς ανανέωση αέρα	22,0	24,8	23,3	24,3
	20,9	23,0	21,7	22,4
4 ζώνες/με κατανομή φορτίου/με ανανέωση αέρα	22,2	23,8	23,4	23,9
	21,1	22,2	21,8	22,2

Πίνακας 3.3: Μέση θερμοκρασία για τις διάφορες ζώνες την 1^η και την 2^η περίοδο (70)



Εικόνα 3.5: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου (αποτελέσματα προσομοίωσης με το μοντέλο
πολυζωνικού κτιρίου) (70)



3.1.5. Παρατηρήσεις

Από το θερμοκρασιακό προφίλ του μονοζωνικού κτιρίου (Εικόνα 3.4) παρατηρείται ότι αν συμπεριληφθεί στο μοντέλο ο παράγοντας σκίασης (όπως μπαλκόνια και προεξοχές) προκύπτουν καλύτερα αποτελέσματα. Σε διαφορετική περίπτωση, εμφανίζονται αποκλίσεις μέχρι και 2°C. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο πολυζωνικού κτιρίου (Εικόνα 3.5) χωρίς εσωτερικό αερισμό, οδηγούμαστε σε υπερεκτίμηση της θερμοκρασίας του αέρα στη ζώνη, εφόσον προσδίδεται θερμότητα στο χώρο. Εξαιτίας αυτού, η μέση θερμοκρασία αυξάνεται όπως άλλωστε φαίνεται και στην Εικόνα 3.5. Αντίθετα καλύτερη θερμοκρασιακή κατανομή μεταξύ των ζωνών εμφανίζεται με την ύπαρξη εσωτερικού αερισμού. Οι ζώνες της βόρειας όψης θερμαίνονται καθώς διέρχεται ο θερμός αέρας. Ωστόσο, για βέλτιστο αποτέλεσμα είναι καλύτερα να κατανεμηθεί το θερμικό φορτίο σε όλες τις ζώνες, αντί να χρησιμοποιείται σύστημα αερισμού για να διανέμει τη θερμότητα (4 ζώνες κατανομή φορτίου, χωρίς αερισμό). Τέλος ο συνδυασμός και των δύο μέτρων προσεγγίζει καλύτερα από κάθε άλλο μοντέλο τα αποτελέσματα του πειράματος. (70)

3.2. EnergyPlus

3.2.1. Γενικά

Το EnergyPlus είναι ένα λεπτομερές πρόγραμμα προσομοίωσης, σχεδιασμένο για τη μοντελοποίηση κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων και όλων των σχετικών εγκαταστάσεων θέρμανσης, αερισμού, και κλιματισμού. Το πρόγραμμα είναι επεκτάσιμο και κατά συνέπεια εφαρμόσιμο σε διάφορες περιπτώσεις, χάριν στην αρθρωτή του δομή, δίνοντας τη δυνατότητα στο χρήστη να συμπεριλάβει διάφορα προγράμματα και υπολογιστικά μοντέλα (όπως DOE-2, WINDOW 5, BLAST, IBLAST¹⁰, Ground Heat Transfer¹¹ κ.ά). Διαθέτει δυο δυνατούς τύπους προσομοίωσης:

- την προσομοίωση της «ημέρας σχεδιασμού» (ο χρήστης εισάγει ένα σύνολο παραμέτρων, όπως μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία ξηρής σφαίρας και την αντίστοιχη θερμοκρασία υγρής σφαίρας, ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου κ.ά.) και,

¹⁰ Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει τον υπολογισμό των συναρτήσεων μεταφοράς με αγωγή (conduction transfer function, CTF), επιτρέποντας τη θεμελιώδη, στρωματική επίλυση της μεταφερόμενης μάζας διαμέσου των επιφανειών και του ισοζυγίου μάζας για την ζώνη αέρα, με τρόπο παρόμοιο με το ισοζύγιο θερμότητας.

¹¹ Είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο πεπερασμένων διαφορών για τη μοντελοποίηση της μεταφοράς θερμότητας διαμέσου των δομικών στοιχείων που είναι σε επαφή με το έδαφος.



- την προσομοίωση για χρονικό διάστημα ενός έτους (απαιτείται το προφίλ των καιρικών παραμέτρων σε ωριαία βάση, όπως η θερμοκρασία ξηρής και υγρής σφαίρας, η άμεση και η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κ.ά., ώστε το πρόγραμμα να παρέχει ένα ετήσιο προφίλ ορισμένων αποτελεσμάτων. (72)

Η ευελιξία που παρουσιάζει η χρήση αυτού του προγράμματος ενδυναμώνεται από τη δυνατότητα επιλογής από το χρήστη διαφόρων συστημάτων από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος και να τα προσαρμόζει στην κάθε εξεταζόμενη περίπτωση, ενώ παράλληλα μπορεί, αν το επιθυμεί, να επεμβαίνει στον κώδικα του προγράμματος, που είναι γραμμένος σε FORTRAN. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι, ενώ το συγκεκριμένο πρόγραμμα ανταποκρίνεται καλά στη μοντελοποίηση του κτιριακού κελύφους, είναι σχετικά δυσκίνητο στη προσομοίωση των συστημάτων, διότι δεν υπάρχει η δυνατότητα της συρόμενης τοποθέτησης των συστημάτων σε γραφική διεπαφή. Αντίθετα, η ευελιξία του προγράμματος στη μοντελοποίηση των συστημάτων περιορίζεται στον ορισμό σημείων ελέγχου. (73) (74) (75)

3.2.2. Μοντελοποίηση του κτιρίου

3.2.2.1. Δομή Προγράμματος Προσομοίωσης

Στο Σχήμα 3.1 διακρίνονται τα κύρια προγράμματα που καλεί το κύριο πρόγραμμα, ενώ οι ενότητες που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.2, αντιστοιχούν στα υποπρογράμματα (όπως COMIS κ.ά) ή μοντέλα (όπως η ενότητα του μοντέλου ατμόσφαιρας¹²). Κάθε μια από αυτές τις υποενότητες του προγράμματος καλείται από την αντίστοιχη κύρια ενότητα, με στόχο τη βέλτιστη προσομοίωση μιας συγκεκριμένης παραμέτρου του μοντέλου και την επίλυση των απαραίτητων και ταυτόχρονα πολύπλοκων εξισώσεων

¹² βασίζεται στο εμπειρικό μοντέλο του Perez (1991), για τη μη ισοτροπική κατανομή της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και τον υπολογισμό της προσπίπτουσας διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας



κατάστασης για συγκεκριμένες τοποθεσίες στο βρόχο. Με την βοήθεια των κόμβων, ακόμα και όταν υπάρχουν άγνωστες μεταβλητές κατάστασης, επιλύονται οι αντιπροσωπευτικές εξισώσεις ελέγχου του συστήματος μέσω ρητής επαναληπτικής μεθόδου πεπερασμένων διαφορών.

Η επίλυση των συστημάτων από το EnergyPlus εκτελείται σε τρία βασικά στάδια: 1) πρόβλεψη, 2) προσομοίωση του HVAC συστήματος, και 3) διόρθωση. Πριν από το βήμα της πρόβλεψης, προσδιορίζονται οι όροι που αφορούν τα κέρδη και τις απώλειες διαμέσου του κτιριακού περιβλήματος του κτιρίου, τα εσωτερικά κέρδη θερμότητας, τα φορτία διήθησης και τα φορτία που οφείλονται στις ανταλλαγές αέρα με άλλες ζώνες. Στη συνέχεια, για τη συγκεκριμένη έξοδο του συστήματος, που είναι η επιλεγμένη θερμοκρασία ή/και ο δείκτης υγρασίας, γίνεται μια πρόβλεψη του απαιτούμενου φορτίου από τα στοιχεία του συστήματος. Τα συστήματα προσομοιάζονται με τη βοήθεια ενός μετατροπέα υπολογισμού του απαιτούμενου σήματος εισόδου για τη συγκεκριμένη έξοδο. Το υπολογιζόμενο απαιτούμενο σήμα εισόδου αποστέλλεται ως απαιτούμενη έξοδος των ανάντι στοιχείων. Παράλληλα εκτελείται μια επαναληπτική διαδικασία ώστε να ληφθεί υπόψη η απόδοση του κάθε εξαρτήματος στο σύστημα, διότι υπάρχει πιθανότητα ορισμένα να μην είναι σε θέση να παρέχουν την απαιτούμενη απόδοση (για παράδειγμα, λόγω περιορισμένης χωρητικότητας ψύξης). Το τρίτο βήμα είναι μια διόρθωση της θερμοκρασίας ζώνης, βάσει της πραγματικά υπολογιζόμενης εκροής του συστήματος. Δεδομένου ότι οι χρονικές σταθερές του συστήματος HVAC και του αέρα ζώνη είναι συνήθως πολύ μικρότερες από εκείνες του κτιρίου, το EnergyPlus διαθέτει ένα μεταβλητό χρονικό βήμα για τον αέρα ζώνη και το σύστημα HVAC. Επειδή το χρονικό βήμα δεν μπορεί να προσαρμοσθεί κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης σε μια οριζόμενη από ένα εξωτερικό σήμα προσαρμοσμένη τιμή, λαμβάνει μια σταθερή και οριζόμενη από το χρήστη τιμή (ελάχιστη δυνατή τιμή 1 λεπτό). (75)

3.2.2.2. Προσδιορισμός θερμικών ζωνών

Το πρώτο βήμα του EnergyPlus πριν την προσομοίωση είναι ο διαχωρισμός του κτιρίου σε ζώνες, προσομοιάζοντας στην ουσία ένα πολυζωνικό σύστημα. Οι ζώνες αυτές δεν ορίζονται από τα γεωμετρικά στοιχεία του χώρου, αλλά από τις θερμικές συνθήκες. Συνεπώς, ως "θερμική ζώνη" ορίζεται ένας όγκος αέρα σε ενιαία θερμοκρασία, συμπεριλαμβανομένων όλων των επιφανειών που οριοθετούν ή βρίσκονται στο εσωτερικό του εν λόγω όγκου αέρα. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, μια ζώνη δεν είναι απαραίτητα ένας ενιαίος χώρος, αλλά μπορεί να είναι μια περιοχή του κτιρίου ή μια ομάδα από δωμάτια, που υπόκεινται στον ίδιο τύπο



θερμικού ελέγχου και έχουν παρόμοια εσωτερικά χαρακτηριστικά φορτία. Οι ζώνες μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους θερμικά, μέσα από παρακείμενες επιφάνειες και λόγω των αναμειξεων του αέρα ζώνης.

Η αρχή λειτουργίας του EnergyPlus είναι να υπολογίζει την ενέργεια που απαιτείται για τη διατήρηση κάθε ζώνης σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία (θερμική ισορροπία ζώνης) για κάθε ώρα της ημέρας. Οι συνθήκες σε κάθε ζώνη ενημερώνονται με μια εξίσωση για την εκτίμηση των θερμοκρασιών του αέρα ζώνης, η οποία χρησιμοποιεί ήδη υπολογισμένες τιμές των συνθηκών ζώνης. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή ως η μέθοδος Euler. Ωστόσο, λόγω της συνεχούς αλληλεπίδρασης των ζωνών, οι ήδη υπολογισμένες συνθήκες μεταβάλλονται. Για την αντιμετώπιση αυτής της αδυναμίας χρησιμοποιείται η μέθοδος «πρόβλεψης- διόρθωσης», όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως (Διαχειριστή Προσομοίωσης Συστημάτων Κτιρίου Σχήμα 3.3).

Σημειώνεται ότι, γενική αρχή της προσομοίωσης μέσω προγράμματος είναι ο διαχωρισμός του κτιρίου σε όσο το δυνατόν λιγότερες ζώνες, καθώς μεγαλύτερο του απαιτούμενου πλήθους ζωνών συνεπάγεται περισσότερα δεδομένα εισόδου και πολυπλοκότερους υπολογισμούς, χωρίς όμως να αυξάνεται η ακρίβεια των υπολογισμών.

Οι επιφάνειες που περιλαμβάνονται σε μια ζώνη του κτιρίου είναι θεμελιώδεις παράμετροι μοντελοποίησης της. Για να επιτευχθεί σωστή μοντελοποίηση της ζώνης και του κτιρίου, απαιτείται η ορθή διάκριση των επιφανειών τις οποίες μέσα στο πρόγραμμα διακρίνονται σε:

- Επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας, οι οποίες διαχωρίζουν χώρους στους οποίους παρατηρούνται σημαντικές διαφορές θερμοκρασίας (όπως η εξωτερική στέγη, οι εξωτερικοί τοίχοι και τα πατώματα σε επαφή με το έδαφος) και,
- Επιφάνειες αποθήκευσης θερμότητας, οι οποίες διαχωρίζουν χώρους που διατηρούνται στην ίδια θερμοκρασία.

Ο πρώτος κανόνας της μοντελοποίησης του κτιρίου είναι: «αν η επιφάνεια δεν απαιτείται να ορισθεί ως μια επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας, πρέπει πάντα να καθορίζεται ως επιφάνεια αποθήκευσης θερμότητας».

Εκτός από την παραπάνω διάκριση των επιφανειών, το πρόγραμμα δέχεται ακόμα τις εξής παραδοχές:

- ομοιόμορφες επιφανειακές θερμοκρασίες και στις δύο πλευρές της επιφάνειας,
- ενιαία ακτινοβολία μακρού και βραχέως κύματος,
- επιφάνειες διάχυτης ακτινοβολίας και ανακλαστικότητας, και



- μονοδιάστατη αγωγή θερμότητας (εξισώσεις Fourier) για μεταβαλλόμενη κατάσταση.

Άλλες παραδοχές που γίνονται κατά την προσομοίωση του ισοζυγίου θερμότητας και μάζας είναι:

- Ο αέρας σε κάθε θερμική ζώνη μπορεί να μοντελοποιηθεί αναδεμένος με ομοιόμορφη θερμοκρασία. Καθώς η παραδοχή αυτή δεν ανταποκρίνεται στην φυσική πραγματικότητα, υπάρχει η δυνατότητα κλήσης άλλων υπολογιστικών μοντέλων όπως το Computational Fluid Dynamics (CFD), και το COMIS (Huang και συνεργάτες 1999), ώστε να βελτιστοποιηθούν οι υπολογισμοί.
- Για τη μοντελοποίηση της μεταφοράς μάζας των υδρατμών, και ιδιαίτερα η προσρόφηση/εκρόφηση της υγρασίας, υιοθετούνται διάφορα μοντέλα όπως αυτό των εξισώσεων μεταφοράς με αγωγή (conduction transfer function, CTF) ή το EMPD¹³ (effective moisture penetration depth model).

3.2.3. Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του EnergyPlus

Κάθε έκδοση του προγράμματος EnergyPlus, όπως και για κάθε άλλο πρόγραμμα προσομοίωσης, πριν από την επίσημη διάθεση του, υποβάλλεται σε διάφορες δοκιμές, έχοντας ως στόχο τη διόρθωση σφαλμάτων που οφείλονται στον ίδιο τον κώδικα του ή στις παραμέτρους εισαγωγής, όπως και τη διαπίστωση της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την προσομοίωση. Υπάρχουν διάφοροι τύποι δοκιμών, εκ των οποίων οι κυριότερες είναι οι συγκριτικές και οι εμπειρικές δοκιμές.

Κατά τις εμπειρικές δοκιμές, τα υπολογιζόμενα από το πρόγραμμα αποτελέσματα, συγκρίνονται με καταγεγραμμένα δεδομένα ενός υφιστάμενου κτιρίου. Μια τέτοια δοκιμή του EnergyPlus πραγματοποιήθηκε για το Κτίριο Διοίκησης του Πανεπιστημίου του Σάο Πάολο στη Βραζιλία, κατά την οποία ελέγχθηκε η ακρίβεια προσομοίωση του συστήματος κλιματισμού του συγκροτήματος. (72)

Το Κτίριο Διοίκησης του Πανεπιστημίου του Σάο Πάολο είναι ένα συγκρότημα δύο εξώροφων κτιρίων με βορειοδυτικό προσανατολισμό 43° και μικτή επιφάνεια δαπέδου 3000m². Το εξεταζόμενο σύστημα κλιματισμού αποτελείται από συμβατικά κλιματιστικά τύπου window και split χωρίς κεντρικό έλεγχο. Τα χαρακτηριστικά του κτιρίου (γεωμετρίες,

¹³ Το μοντέλο EMPD ένα αποτελεσματικό απλοποιημένο μοντέλο της κατά βάθος διείσδυσης της υγρασίας, το οποίο κάνει εκτίμηση της αλληλεπίδρασης της υγρασίας μέσα στον τον χώρο αέρα με τις εξωτερικές επιφάνειες και τα έπιπλα



υλικά τοίχων και παραθύρων, φωτισμός, χρονοδιάγραμμα εξοπλισμού και χρήσης) εισήχθησαν στο πρόγραμμα, όμως δεν αναφερόντουσαν στην έκθεση.

Για την μελέτη των εσωτερικών κερδών (φωτισμού, εξοπλισμού, χρήσης κτιρίου) και του χρονοδιαγράμματός τους, έγιναν ορισμένες επιθεωρήσεις και υιοθετήθηκαν κάποιες υποθέσεις καθώς δεν υπήρχε καταγεγραμμένο ιστορικό του προφίλ χρήσης του κτιρίου. Το προφίλ των εσωτερικών κερδών θεωρήθηκε ότι ακολουθεί το ίδιο προφίλ με την ενεργειακή ζήτηση, σύμφωνα με τις καταγραφές και παράλληλα έγινε μια εκτίμηση της συνεισφοράς κάθε φορτίου στην κατανάλωση ενέργειας (Πίνακας 3.5).

Εσωτερικά κέρδη	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
Χρήση κτιρίου	110 άτομα	1008 άτομα
Φωτισμός	10 kW	82,8 kW
Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	8 kW	57,6 kW

Πίνακας 3.4: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές ανά είδος εσωτερικού κέρδους (72)

Τελική Χρήση	Συνεισφορά (%)
HVAC	45
Φωτισμός	30
Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	21
Άλλα	4

Πίνακας 3.5: Κατανομή της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά τελική χρήση (72)

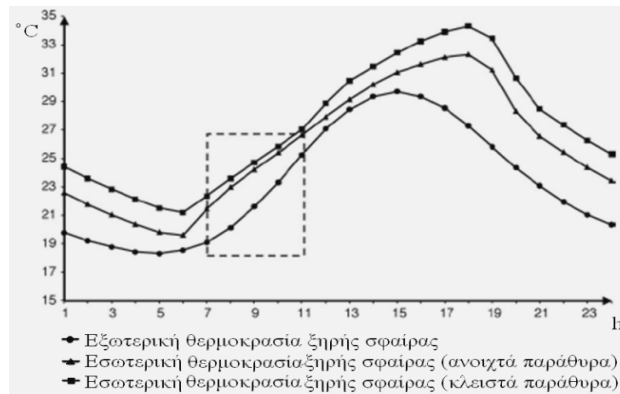
Το διάστημα μελέτης, δεδομένου ότι βρισκόμαστε στο νότιο ημισφαίριο, είναι η περίοδος από 1 Ιανουαρίου έως 31 Μαρτίου 2005 (διάστημα 54 ημερών), οπότε και αναμένεται συνεχή χρήση του συστήματος κλιματισμού λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 3.6 στον οποίο παρουσιάζονται οι κύριες παράμετροι καιρού για το εξεταζόμενο διάστημα:

Παράμετρος	Μέγιστη	Μέση	Ελάχιστη
Θερμοκρασία ξηρής σφαίρας (°C)	33,2	27,0	18,4
Θερμοκρασία υγρής σφαίρας (°C)	24,6	22,0	18,0
Ολική ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²)	1328,9	971,6	244,8
Ταχύτητα ανέμου (m/s)	4,1	2,4	1,5
Διεύθυνση ανέμου (°)	330	150	10

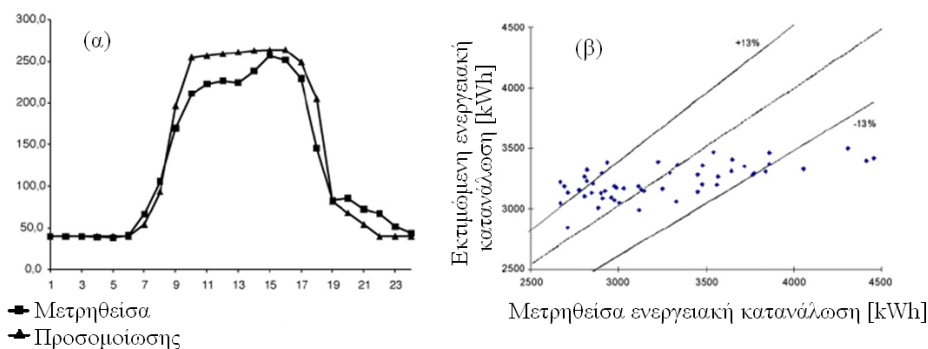
Πίνακας 3.6 Κύριες Παράμετροι Καιρού από τα αρχεία του Ινστιτούτου Αστροφυσικής, Γεωφυσικής και Ατμοσφαιρικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου (IAG-USP) (72)

Το πρόγραμμα εκτέλεσε δυο προσομοιώσεις για τα θερμικά κέρδη, μια θεωρώντας όλα τα παράθυρα κλειστά και μια θεωρώντας όλα τα παράθυρα ανοιχτά, θεωρώντας παράλληλα ότι

όλα τα κλιματιστικά μέσα ήταν εκτός λειτουργίας. Η εξωτερική και η εσωτερική θερμοκρασία ξηρής σφαίρας για τις δυο περιπτώσεις παραθέτονται στο παρακάτω διάγραμμα.(Διάγραμμα 3.1)



Διάγραμμα 3.1: Εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία ξηρής σφαίρας για δύο συνθήκες ανοιχτών και κλειστών παραθύρων (72)



Διάγραμμα 3.2: Σύγκριση των μετρήσεων με τα αποτελέσματα του EnergyPlus για το προφίλ ημερήσιας ενεργειακής ζήτησης (α) και κατανάλωσης (β) (72)

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το EnergyPlus (Διάγραμμα 3.2) με τα πραγματικά δεδομένα παρατηρείται ότι το 80% των αποτελεσμάτων βρίσκονται μέσα σε ένα εύρος διακύμανσης 13% σε σχέση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Η αβεβαιότητα αυτή οφείλεται στις παραδοχές που έγιναν στα δεδομένα εισόδου και σε αστάθμητους παράγοντες, όπως είναι η συμπεριφορά των ενοίκων του κτιρίου. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι, δεδομένου ότι η κύρια χρήση του κτιρίου είναι για το χρονικό διάστημα μεταξύ 08:00-18:00, η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται κατά τις πρώτες ώρες χρήσης των γραφείων.



Στο πραγματικό κτίριο, οι ένοικοι μπορούν να επιλέξουν μεταξύ των κλιματιστικών και του ανοίγματος των παραθύρων, ώστε να αποκατασταθεί η θερμική άνεση. Αυτή η συμπεριφορά είναι επίσης αρκετά δύσκολο να ληφθεί υπόψη από το EnergyPlus, όταν η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία ξηρής σφαίρας είναι περίπου 23-24 °C. Στην περίπτωση που οι ένοικοι επιλέξουν το άνοιγμα των παραθύρων, η ενεργειακή ζήτηση που θα καταγραφεί από τις μετρήσεις θα είναι χαμηλότερη της προβλεπόμενης από το πρόγραμμα προσομοίωσης, με αποτέλεσμα το EnergyPlus να εκτιμήσει υψηλότερη ενεργειακή κατανάλωση¹⁴.

Στη συνέχεια μελετήθηκε η επίδραση ορισμένων παραμέτρων καιρού. Εκτελώντας μια σειρά προσομοιώσεων, όπου κάθε παράμετρος μεταβαλλόταν ανάλογα με την αβεβαιότητά της (Πίνακας 3.7). Η συνολική αβεβαιότητα που οφείλεται στις παραμέτρους καιρού είναι πολύ χαμηλότερη από τη διαφορά μεταξύ της προσομοίωσης και των πραγματικών δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας. Η μικρή μεταβολή οφείλεται στο γεγονός ότι η ψυκτική ισχύς του συστήματος κλιματισμού είναι υποδιαστασιοποιημένη και επομένως σε κάθε περίπτωση προσομοίωσης, υπολογίζεται η κατανάλωση ενέργειας στο πλήρες φορτίο (μέγιστη κατανάλωση ενέργειας).

Παράμετροι καιρού	Αβεβαιότητα	Διακύμανση Ενεργειακής Κατανάλωσης κτιρίου (%)
Θερμοκρασία Ξηρής Σφαίρας	±1,0 °C	±1,2
Ημερήσιο Εύρος	±1,4 °C ¹⁵	±1,2
Σχετική Υγρασία	±5%	±0,8
Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία	±20W/m ²	±1,2

Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα ανάλυση ευαισθησίας της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου βάσει της διακύμανσης των καιρικών παραμέτρων (72)

Στη συνέχεια έγινε ανάλυση της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων, μελετώντας την επίδραση κάθε είδους εσωτερικού κέρδους χωριστά, διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους καθώς και τις παραμέτρους καιρού αμετάβλητες. Στον Πίνακα 3.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για διακύμανση της τάξης του 20% στην ωριαία τιμή του κάθε χρονοδιαγράμματος. Από τα αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι, η αβεβαιότητα λόγω των

¹⁴ Σημειώνεται ότι σύμφωνα με τα αποτελέσματα του EnergyPlus, η ψυκτική εγκατεστημένη ισχύς στο κτίριο δεν επαρκεί για να εξασφαλίσει θερμική άνεση, με αποτέλεσμα το σύστημα να λειτουργεί σε πλήρες φορτίο

¹⁵ Παρατήρηση: η αβεβαιότητα του ημερήσιου εύρους έχει υπολογισθεί βάσει την αβεβαιότητα ±1,0 °C της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας.



διακυμάνσεων των εσωτερικών κερδών είναι 5-10 φορές υψηλότερη από εκείνη που προκύπτει από την αντίστοιχη διακύμανση των παραμέτρων καιρού.

Εσωτερικά φορτία	Διακύμανση ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίου (%)
Χρήση	±6,2
Φωτισμός	±12,4
Ηλεκτρικός εξοπλισμός	±10,6

Πίνακας 3.8: Αποτελέσματα ανάλυση ευαισθησίας της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου για διακύμανση των τιμών των εσωτερικών φορτίων. (72)

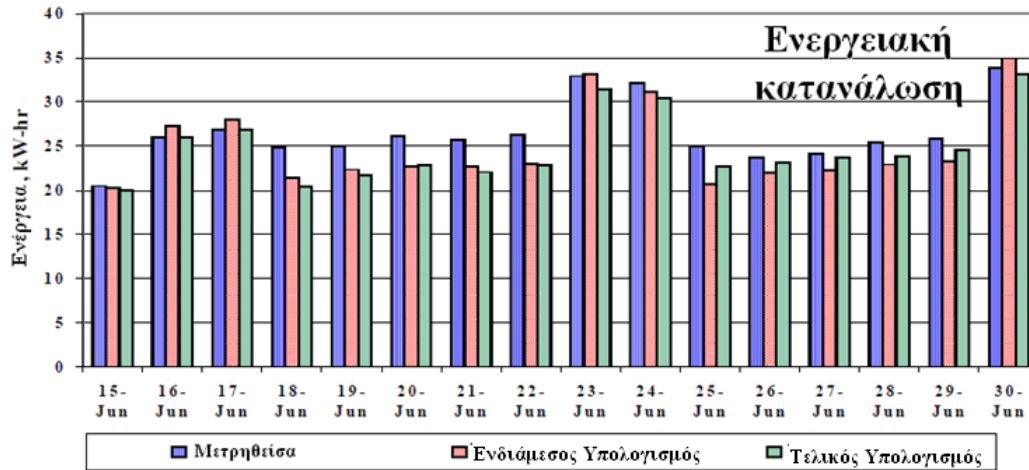
Τέλος, εκτιμήθηκε η επίδραση της παραδοχής που εισήχθη στην αρχή της μελέτης κι αφορούσε την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς COP, για τον οποίο υποτέθηκε ένας μέσος συντελεστής συμπεριφοράς COP για όλα τα κλιματιστικά. Επομένως για τα κλιματιστικά τύπου window, για τα οποία η τιμή COP κυμαίνεται συνήθως 2,0 - 3,0, λήφθηκε COP ίσος με 2,5. Εκτελώντας τους υπολογισμούς για διακύμανση 20 %, παρατηρήθηκε σφάλμα της τάξης 12-16%.

3.2.4. Παρατηρήσεις

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής διαπιστώνουμε ότι, με τη χρήση του EnergyPlus, επιτυγχάνεται μια ικανοποιητική πρόβλεψη των ενεργειακών καταναλώσεων του κτιρίου. Όμως, ο σωστός καθορισμός των παραμέτρων εισόδου που αφορούν τα εσωτερικά κέρδη και το COP είναι μείζονος σημασίας, καθώς αποτελούν την κύρια πηγή αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων. Αντίθετα, λόγω της υποδιαστασιολόγησης του συστήματος κλιματισμού, οι παράμετροι καιρού είχαν μικρή επίδραση στους υπολογισμούς.

Σε ανάλογα αποτελέσματα κατέληξε και μια μελέτη που διεξήχθη από το τους ερευνητές του Πανεπιστημίου της πολιτείας Αριζόνας, η οποία είχε ως στόχο να επικυρωθεί η ικανότητα του EnergyPlus να προσομοιώνει τα συστήματα χαμηλών θερμοκρασιών. (76) Στην μελέτη αυτή εξετάστηκε μια υφιστάμενη μονώροφη κατοικία στο Carefree, για την οποία οι ερευνητές ανέπτυξαν ένα μοντέλο αναφοράς, το οποίο εισήχθη στο πρόγραμμα. Με την εκτέλεση της προσομοίωσης διαπιστώθηκαν αδυναμίες στον ακριβή υπολογισμό της θερμοκρασίας λειτουργίας¹⁶ και της καταναλισκόμενης ενέργειας, οι οποίες οφείλονταν στα λανθασμένα χαρακτηριστικά του «μοντέλου αναφοράς» και όχι σε σφάλμα του κώδικα του προγράμματος.

¹⁶ Ορίζεται ως ο μέσος όρος της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του αέρα δωματίου



Διάγραμμα 3.3: Ενεργειακή Κατανάλωση κτιρίου (72)

Με την εκτέλεση επιπλέον προσομοιώσεων με βελτιωμένες παραμέτρους εισόδου, επιτεύχθηκε ικανοποιητική προσέγγιση των δεδομένων των μετρήσεων, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 3.3. Η μελέτη αυτή έδειξε το EnergyPlus προσομοιάζει σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό τα συστήματα χαμηλών θερμοκρασιών, για το μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης περιόδου. Ωστόσο, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτιόταν σε μεγάλο βαθμό από τον κατάλληλο προσδιορισμό των τιμών των παραμέτρων εισόδου, καθώς αυτές έχουν μεγάλο αντίκτυπο στα συστήματα.

Οι εμπειρικές δοκιμές αν και δείχνουν το ποσοστό της ακρίβειας των αποτελεσμάτων σε σύγκριση με πραγματικές μετρήσεις, δεν είναι πάντα δυνατόν να γίνουν, καθώς απαιτείται η ύπαρξη ιστορικού με καταγεγραμμένες μετρήσεις της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου. Συνηθέστερος είναι ο έλεγχος του προγράμματος με τις συγκριτικές δοκιμές, κατά τις οποίες το πρόγραμμα συγκρίνεται με το ίδιο ή με άλλα προγράμματα για να διαπιστωθούν οι αδυναμίες του και τα σφάλματα που προκύπτουν κατά την υλοποίηση των υπολογισμών. Η Διεθνή Οργάνωση Ενέργειας (International Energy Agency, IEA) και το πρόγραμμα Ηλιακής θέρμανσης και ψύξης (Solar Heating and Cooling, SHC), όπως επίσης και το ANSI / ASHRAE (77), έχουν θεσπίσει μια συγκεκριμένη μέθοδο, την BesTest, η οποία περιλαμβάνει ένα σύνολο απλών περιπτώσεων, για τις οποίες υπάρχει μια μοναδική λύση. Στόχος ήταν να δοκιμαστεί το EnergyPlus μαζί με άλλα προγράμματα, ώστε να εντοπισθούν τα σφάλματα και να διαπιστωθεί η ορθότητα των υπολογισμών, μέσω της σύγκρισης με την εμπειρική λύση της περίπτωσης. Τα σφάλματα που εντοπίστηκαν από τις δοκιμές διορθώθηκαν, με αποτέλεσμα η ακρίβεια των υπολογισμών σε σχέση με την εμπειρική λύση να βελτιωθεί σημαντικά, ώστε να εξασφαλισθεί ένα πιο ισχυρό και αξιόπιστο εργαλείο προσομοίωσης. Η κάθε εξεταζόμενη περίπτωση όπως



και οι αποκλίσεις που σημειώθηκαν στα αποτελέσματα των δοκιμών, αναφέρονται εκτενώς στις σχετικές εκθέσεις, οι οποίες παρατίθενται στη βιβλιογραφία. (78), (79), (80), (81)

3.3. ΤΕΕ-KENAK

3.3.1. Γενικά

Το Λογισμικό ΤΕΕ-KENAK για την ενεργειακή επιθεώρηση και πιστοποίηση κτιρίων, ενεργειακή μελέτη κτιρίων, επιθεώρηση λεβήτων / εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού, αναπτύχθηκε από την Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας, του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) στα πλαίσια του προγράμματος συνεργασίας με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ). (82), (83), (8).

Το ΤΕΕ-KENAK δημιουργήθηκε σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά και εθνικά πρότυπα, τον Κανονισμό Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτιρίων και τις σχετικές Τεχνικές Οδηγίες Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ) που είναι οι εξής:

TOTEE 20701-1/2010 (2010α)	Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης
TOTEE 20701-2/2010 (2010β)	Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων.
TOTEE 20701-3/2010 (2010γ)	Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών
TOTEE 20701-4/2010 (2010δ)	Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων & εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού.

Το λογισμικό ΤΕΕ-KENAK, αποτελείται από 5 ανεξάρτητα μεταξύ τους λογισμικά, τα οποία είναι δομημένα σε περιβάλλον παραθύρων (windows) με παρεμφερείς μάσκες εισαγωγής δεδομένων:

- Ενεργειακή Επιθεώρηση Κτιρίου
- Ενεργειακή Μελέτη
- Ενεργειακή Επιθεώρηση Λέβητα



- Ενεργειακή Επιθεώρηση Εγκατάστασης Θέρμανσης
- Ενεργειακή Επιθεώρηση Εγκατάστασης Κλιματισμού

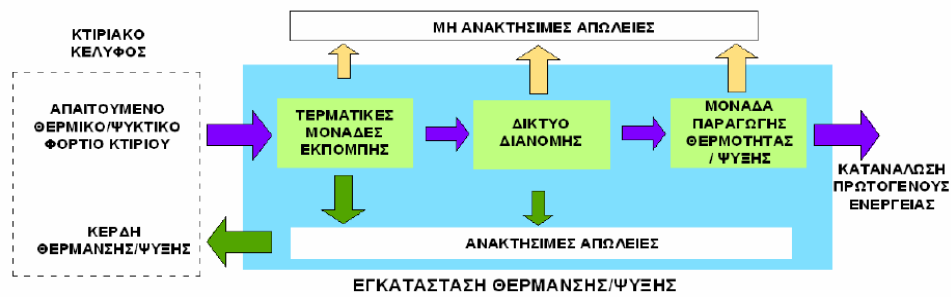
Το TEE-KENAK Ενεργειακή Επιθεώρηση Κτιρίων, έκδοση 1.0, χρησιμοποιείται για την εκπόνηση υπολογισμών της ενεργειακής απόδοσης κτιρίου σύμφωνα με τις απαιτήσεις και προδιαγραφές του νόμου 3661/2008 (ΦΕΚ Α' 89), του Κανονισμού Ενεργειακή Απόδοσης Κτιρίων - KENAK (Φ.Ε.Κ. 407/9.4.2010) και της σχετικής Τεχνικής Οδηγίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (20701-1/2010) «Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων και την Έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης». Η τεχνική οδηγία αυτή κατευθύνει αναλυτικά τον επιθεωρητή για τις παραμέτρους που θα χρησιμοποιήσει κατά τους υπολογισμούς ανάλογα τα δεδομένα και τις προδιαγραφές των κτιριακών εγκαταστάσεων.

3.3.2. Μοντελοποίηση του κτιρίου

Ο πυρήνας των υπολογισμών βασίζεται στο προϋπάρχον λογισμικό EPA-NR (έκδοση 1.7.6.19), το οποίο αναπτύχθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Intelligent Energy - Europe, 17η Γ.Δ. της Ε.Ε. (EIE/04/125/S07.38651), ο οποίος έχει τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να είναι σύμφωνος με τις εθνικές απαιτήσεις, όπως αυτές προβλέπονται στον Κανονισμό Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτιρίων και στις σχετικές Τεχνικές Οδηγίες Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας.

Η ροή των ενεργειακών υπολογισμών μελετά:

- Την ενεργειακή απαίτηση του κτιρίου
- Την αποδιδόμενη ενέργεια προς τις ζώνες μέσω του συστήματος διανομής & εκπομπής των μηχανολογικών εγκαταστάσεων
- Την παραγόμενη ενέργεια από τις εγκαταστάσεις και η αντίστοιχη κατανάλωση σε πρώτη ύλη
- Την πρωτογενή ενέργεια και την εκπεμπόμενη ποσότητα CO₂

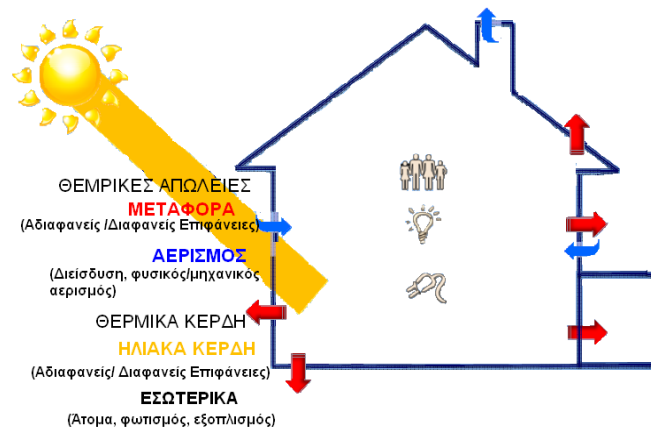


Εικόνα 3.6: Σχηματική απεικόνιση της ροής των ενεργειακών υπολογισμών (82)

Τα υπολογιζόμενα φορτία από το πρόγραμμα εκφράζονται από τις παρακάτω ποιοτικές εξισώσεις:

$$\text{Θερμικά Φορτία} = \{\text{Συνολικές απώλειες}\} - (\{\text{συντελεστής χρήσης}\} \cdot \{\text{συνολικά κέρδη}\})$$

$$\text{Ψυκτικά Φορτία} = \{\text{συνολικά κέρδη}\} - (\{\text{συντελεστής χρήσης}\} \cdot \{\text{Συνολικές απώλειες}\})$$



Εικόνα 3.7: Θερμικά κέρδη και Θερμικές Απώλειες Κτιρίου (82)

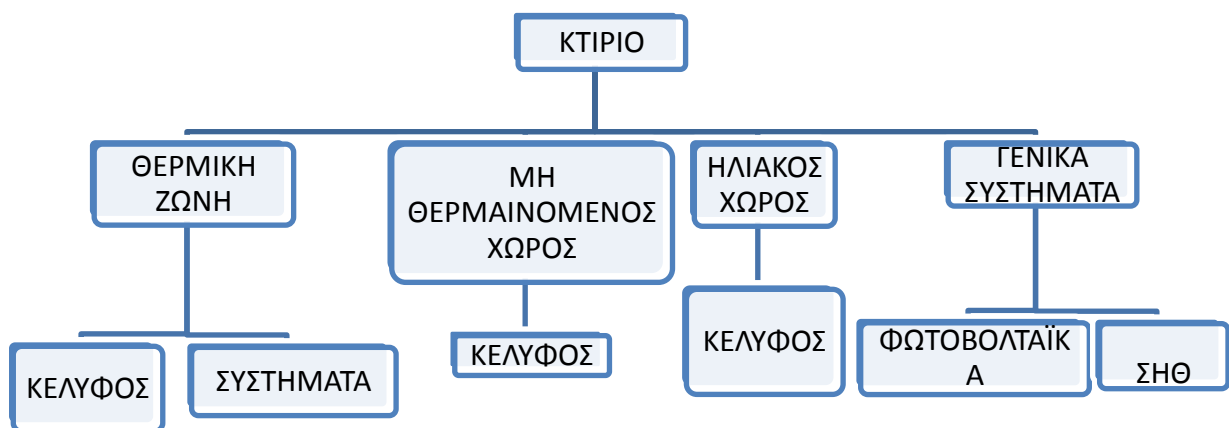
Στην ενεργειακή μελέτη κτιρίου σύμφωνα με το TEE-KENAK λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω παραδοχές:

1. Δεν υπάρχει θερμική σύζευξη μεταξύ των ζωνών
2. Οι μη θερμαινόμενοι και οι ηλιακοί χώροι θεωρούνται τμήματα του κελύφους μεταξύ των ζωνών και του εξωτερικού περιβάλλοντος
3. Η ροή θερμότητας γίνεται μονοδιάστατα σύμφωνα με τον τύπο $Q=A \cdot U \cdot \Delta\theta$
4. Η μετάδοση της θερμότητας γίνεται κάθετα στο δομικό στοιχείο
5. Ανεπηρέαστη η ροή από άλλες πηγές θερμότητας

6. Οι φυσικές ιδιότητες των υλικών είναι ανεξάρτητες από τη θερμοκρασία
7. Τα υλικά είναι ομογενή και ισότροπα και σε τέλεια θερμική επαφή

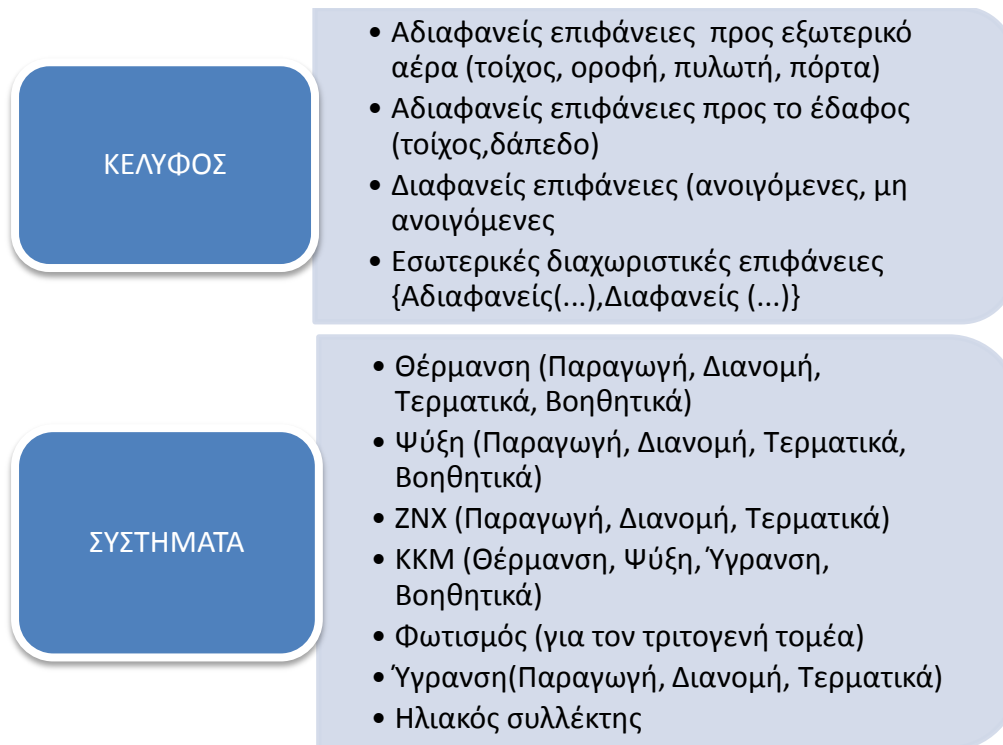
Σύμφωνα με το άρθρο 5 του ΚΕΝΑΚ, για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων εφαρμόζεται η μέθοδος ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος του Ευρωπαϊκού Προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 13790, και των υπολοίπων σχετικών προτύπων. Επίσης, στους υπολογισμούς που διεξάγονται όλα τα δομικά στοιχεία προσμετρούνται από τις εξωτερικές επιφάνειες, ενώ παρέχεται και η δυνατότητα διαχωρισμού του κτιρίου σε θερμικές ζώνες.

Με στόχο την ορθή μελέτη του κτιρίου, το λογισμικό αναλύει τη δομή του κτιρίου όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.4: Δομή Κτιρίου, (82)

Το κέλυφος και τα συστήματα επιδέχονται επιπλέον διάκριση, όπως φαίνεται από το παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.5: Ανάλυση Κελύφους και Συστημάτων, (82)

3.3.3. Προσδιορισμός Θερμικών ζωνών

Οι θερμικές ζώνες αποτελούν χώρους με παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας ή/και κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Για το διαχωρισμό του κτιρίου σε θερμικές ζώνες ακολουθούνται οι παρακάτω γενικοί κανόνες:

- Ο διαχωρισμός του κτιρίου να γίνεται στο μικρότερο δυνατό αριθμό ζωνών, προκειμένου να επιτυγχάνεται οικονομία στο πλήθος των δεδομένων εισόδου και στον υπολογιστικό χρόνο.
- Κατά τη μελέτη ή την επιθεώρηση ο προσδιορισμός των θερμικών ζωνών να γίνεται καταγράφοντας την πραγματική εικόνα λειτουργίας του κτιρίου.
- Τμήματα του κτιρίου με όγκο μικρότερο από το 10% του συνολικού όγκου του κτιρίου να εξετάζονται ενταγμένα σε άλλες θερμικές ζώνες, κατά το δυνατόν παρόμοιες, ακόμη και αν οι συνθήκες λειτουργίας τους δικαιολογούν τη θεώρησή τους ως ανεξάρτητων ζωνών.

Για τους υπολογισμούς των απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης και ψύξης, το κτίριο θα πρέπει να μελετάται ως μια ενιαία θερμική ζώνη ή να διακριτοποιείται (να διαχωρίζεται) κατά



περίπτωση σε περισσότερες θερμικές ζώνες. Για την απλοποίηση της διαδικασίας θεωρείται ότι δεν υπάρχει θερμική σύζευξη μεταξύ των θερμικών ζωνών καθώς δεν υπάρχει σημαντική αλλαγή στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Αντιθέτως, πολλαπλασιάζεται τόσο η είσοδος των δεδομένων στο μοντέλο του κτιρίου, όσο και ο υπολογιστικός χρόνος

3.3.3.1. Παράμετροι διαχωρισμού θερμικών ζωνών

Ο καθορισμός ανεξάρτητων διαφορετικών θερμικών ζωνών σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. (Φ.Ε.Κ. 407/9.4.2010), και το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 επιβάλλεται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες:

- Η επιθυμητή θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων διαφέρει περισσότερο από 4 K (4 °C) σε σχέση με τα άλλα τμήματα του κτιρίου κατά τη χειμερινή ή/και τη θερινή περίοδο.
- Υπάρχουν χώροι με διαφορετική χρήση / λειτουργία. Για παράδειγμα, σε ένα νοσοκομείο υπάρχουν αίθουσες νοσηλείας, γραφείων, χειρουργείων, ειδικών ιατρικών μηχανημάτων, εργαστήρια κ.ά. Οι χώροι διαφορετικών χρήσεων έχουν συνήθως και διαφορετικές εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, νωπό αέρα κ.ά.).
- Υπάρχουν χώροι στο κτίριο, που εξυπηρετούνται από διαφορετικά συστήματα θέρμανσης ή/και ψύξης ή/και κλιματισμού λόγω διαφορετικών εσωτερικών συνθηκών.
- Υπάρχουν χώροι στο κτίριο που παρουσιάζουν πολύ μεγάλες (σε σχέση με το υπόλοιπο κτίριο) συναλλαγές ενέργειας (π.χ. εσωτερικά ή/και ηλιακά κέρδη, θερμικές απώλειες). Για παράδειγμα, οι χώροι με νότιο προσανατολισμό σε ένα κτίριο έχουν σημαντικά ηλιακά κέρδη σε σχέση με τους υπόλοιπους χώρους.
- Οι χώροι με μηχανικό αερισμό πρέπει να διαφοροποιούνται από τους χώρους με μόνο φυσικό αερισμό. Στην περίπτωση που οι χώροι με μηχανικό αερισμό έχουν σημαντικά διαφορετικούς ρυθμούς αερισμού πρέπει επίσης να χωριστούν σε ζώνες. Επιπλέον υπάρχουν χώροι, στους οποίους το σύστημα του μηχανικού αερισμού (παροχής νωπού αέρα ή κλιματισμού) καλύπτει λιγότερο από το 80% της επιφάνειας κάτοψης του χώρου.

Χώροι που καταλαμβάνουν όγκο μικρότερο του 10% του όγκου του κτιρίου ή/και έχουν χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση συγκριτικά με την κατανάλωση στο υπόλοιπο κτίριο, δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως αυτόνομες θερμικές ζώνες.

Ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες εναπόκειται στην ευχέρεια του μελετητή ή του επιθεωρητή και μπορεί να βασιστεί στους εθνικούς κανονισμούς και τις σχετικές τεχνικές



οδηγίες. Ωστόσο, για τις ανάγκες της ενεργειακής μελέτης και της ενεργειακής επιθεώρησης η ακρίβεια των υπολογισμών δεν επηρεάζεται σημαντικά από το διαχωρισμό του κτιρίου σε περισσότερες θερμικές ζώνες από αυτές που συστήνεται να επιλέγονται βάσει των παραπάνω κανόνων. Για το λόγο αυτό, αν το κτίριο δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των τμημάτων του, η βέλτιστη προσέγγιση είναι να θεωρηθεί ως μία ενιαία θερμική ζώνη.

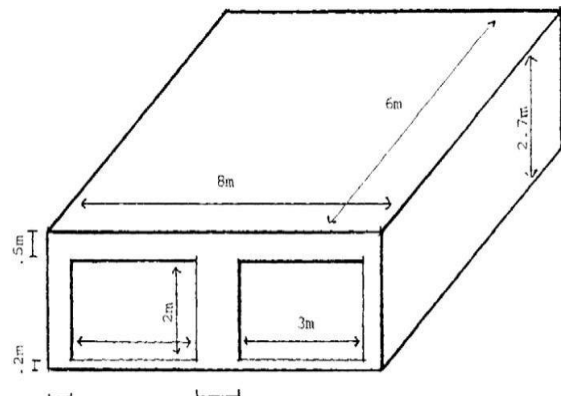
Στο πλαίσιο της ενεργειακής μελέτης ενός κτιρίου καθορίζονται και οι θερμαινόμενοι χώροι (ή θερμικές ζώνες) και οι μη θερμαινόμενοι χώροι (και οι ηλιακοί χώροι - αίθρια), που γειτνιάζουν και έχουν θερμική σύζευξη με τους θερμαινόμενους χώρους. Οι μη θερμαινόμενοι χώροι του κτιρίου είναι ενεργειακά αδρανείς χώροι, χωρίς απαιτήσεις για θέρμανση, ψύξη και αερισμό. Κατά τους υπολογισμούς, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη και ο φωτισμός των μη θερμαινόμενων χώρων θεωρούνται μηδενικά.

Διευκρινίζεται, ωστόσο, ότι στους μη θερμαινόμενους χώρους ενός κτιρίου, δεν συμπεριλαμβάνονται μη θερμαινόμενοι χώροι κύριας χρήσης (π.χ. χώροι στάθμευσης, αποθήκες καταστημάτων, κ.ά.), για τους οποίους προβλέπεται η υπαγωγή τους στο κτίριο ως θερμικές ζώνες με την αντίστοιχη χρήση (όταν ο όγκος τους είναι τουλάχιστον 10% του συνόλου του κτιρίου).

3.3.4. Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του KENAK μέσω του EPA-NR

Καθώς το λογισμικό TEE-KENAK κυκλοφόρησε πρόσφατα, δεν υπάρχουν αναφορές για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων του. Για το λόγο αυτό εξετάστηκε η υπολογιστική μέθοδος του ENRtool η οποία αναπτύχθηκε από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα EPA-NR, πάνω στο οποίο βασίστηκε η δημιουργία του TEE-KENAK. Η αξιολόγηση του ENRtool έγινε, όπως και στο ENERGYPLUS, μέσω της μεθόδου BESTEST (Building Energy Simulation TEST). Στο πρόγραμμα αυτό μελετήθηκαν ορισμένες βασικές περιπτώσεις ενεργειακής συμπεριφοράς ενός απλού κτιριακού μοντέλου. Από το σύνολο των περιπτώσεων που έχουν καθοριστεί από τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), το λογισμικό επεβλήθη σε έλεγχο μόνο για τις περιπτώσεις 600-640 και 900-940 που άπτονται της λειτουργίας του προγράμματος κάνοντας εφικτή τη σύγκρισή του και με άλλα προγράμματα.

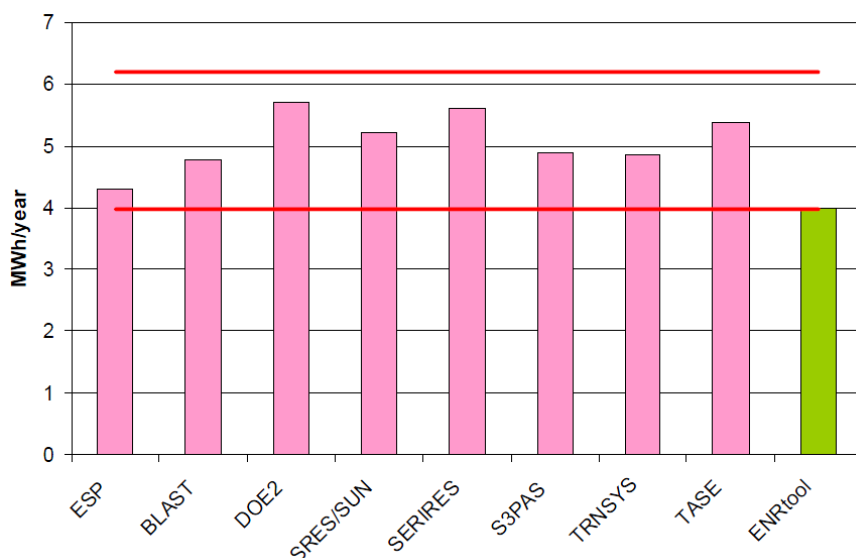
Η μελέτη αφορά ένα απλό ορθογωνίου σχήματος κτίριο, ευρισκόμενο στην πόλη Denver της πολιτείας του Colorado των ΗΠΑ, χωρίς ρεαλιστικά συστήματα ρύθμισης εσωτερικού κλίματος. Οι αποδόσεις των συστημάτων αυτών δεν λαμβάνονται υπόψη συνεπώς οι ενεργειακές καταναλώσεις για θέρμανση/ ψύξη του χώρου ταυτίζονται με τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου. Για το κτίριο είναι γνωστά τα κλιματολογικά δεδομένα



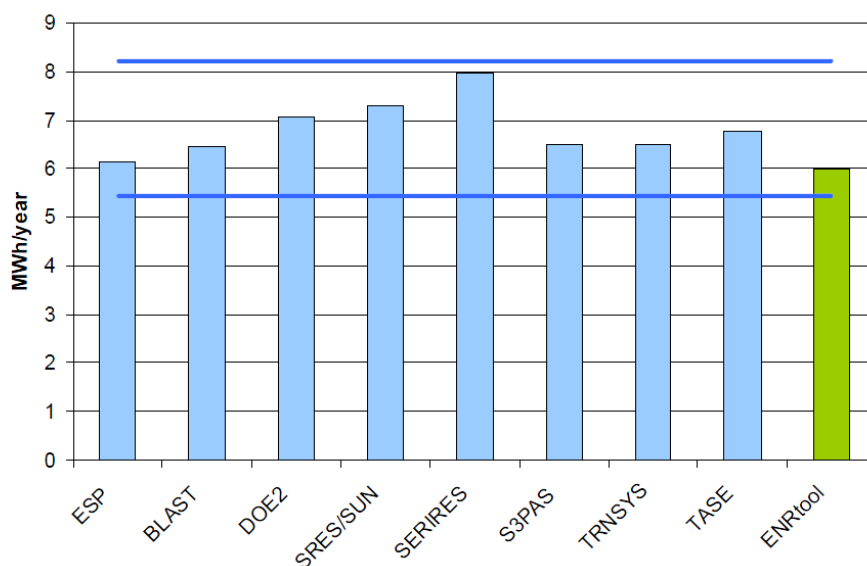
Εικόνα 3.8: Η δομή του κτιρίου-μοντέλου που εξετάζεται στο BESTEST (84)

της περιοχής, τα χαρακτηριστικά του κελύφους, η διείσδυση του αέρα, τα εσωτερικά φορτία ανά έτος, καθώς και οι επιθυμητές θερμοκρασίες. Η μέθοδος Bestest περιλαμβάνει ορισμένες τυπικές περιπτώσεις (στην προκειμένη περίπτωση τις 600 και 900) σύμφωνα με τις οποίες μοντελοποιείται το κτίριο. Στη συνέχεια και για κάθε άλλη περίπτωση, η μοντελοποίηση εξελίσσεται βασιζόμενη στην αρχική (600 ή 900) μεταβάλλοντας ορισμένες από τις παραμέτρους. Οι δύο βασικές περιπτώσεις 600 και 900 διαφέρουν ως προς την εσωτερική θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων. Για την ακρίβεια, στην περίπτωση 600 το κτίριο διαθέτει υλικά μικρής θερμοχωρητικότητας και για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται ως ελαφριάς κατασκευής. Αντιθέτως η περίπτωση 900 διαθέτει υλικά μεγαλύτερης θερμοχωρητικότητας χαρακτηρίζοντάς την ως βαριάς κατασκευής. Τα υλικά αυτά επηρεάζουν κατ' επέκταση τη θερμοχωρητικότητα όλης της θερμικής ζώνης (8).

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μέθοδο αυτή είναι διαθέσιμα στην βιβλιογραφία (84). Στη συνέχεια παραθέτονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα που αφορούν την ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση και ψύξη, όπως αυτά υπολογίσθηκαν από το λογισμικό ENRtool, για τις δύο βασικές περιπτώσεις 600 και 900. Σημειώνεται ότι οι οριζόντιες γραμμές στα διαγράμματα υποδηλώνουν το 95 % του εύρους εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων. Το εύρος αυτό ορίστηκε από τα αποτελέσματα των 8 λεπτομερή προγραμμάτων που φαίνονται και στα διαγράμματα. Συνεπώς υπάρχει 95% πιθανότητα η πραγματική τιμή να βρίσκεται στο διάστημα αυτό.

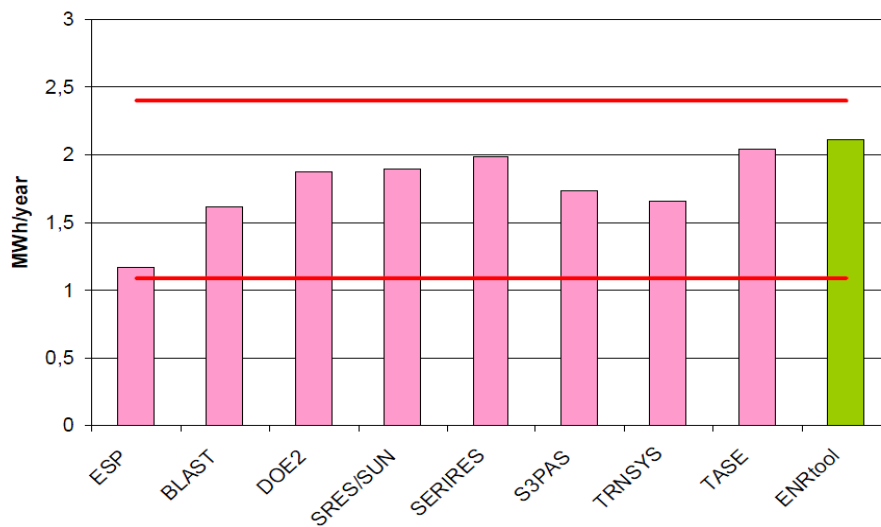


Διάγραμμα 3.6: Ετήσια Ενεργειακή Ζήτηση για θέρμανση- Περίπτωση 600 (84)

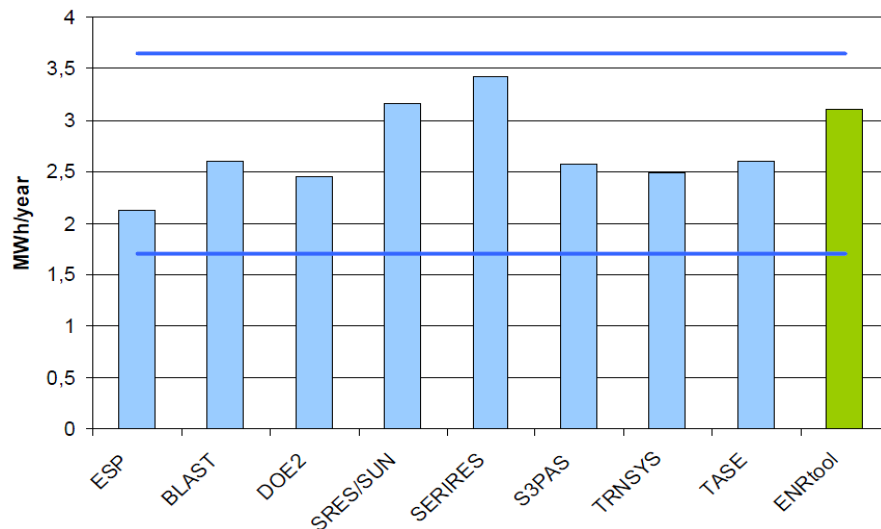


Διάγραμμα 3.7: Ετήσια Ενεργειακή Ζήτηση για ψύξη- Περίπτωση 600 (84)

Στην περίπτωση 900 η θερμική χωρητικότητα του κτιρίου έχει αυξηθεί προσεγγίζοντας καλύτερα την τιμή ενός πραγματικού κτιρίου. Αντιθέτως τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των περιπτώσεων 900 – 940 δεν διαφέρουν από τα αντίστοιχα των 600 – 640.



Διάγραμμα 3.8: Ετήσια Ενεργειακή Ζήτηση για θέρμανση- Περίπτωση 900 (84)



Διάγραμμα 3.9: Ετήσια Ενεργειακή Ζήτηση για ψύξη- Περίπτωση 900 (84)

3.3.5. Παρατηρήσεις

Τα αποτελέσματα από το ENRtool βρίσκονται εντός των αποδεκτών ορίων όπως ορίστηκαν από τα αποτελέσματα των υπολοίπων υπολογιστικών εργαλείων για όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις. Γενικά, το ENRtool ανταποκρίνεται ικανοποιητικά όταν συγκρίνεται με άλλα πιο λεπτομερή προγράμματα δυναμικής προσομοίωσης τα οποία είναι σε θέση να λαμβάνουν υπόψη όλες τις δοθείσες κλιματολογικές συνθήκες και το κτιριακό μοντέλο. Η υπολογισθείσα ετήσια ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση και ψύξη στα υπό μελέτη κτίρια είναι εξίσου ακριβής με το ENRtool, όσο και με τα υπόλοιπα λογισμικά του BESTEST.

4. Μελέτη σεναρίων επεμβάσεων

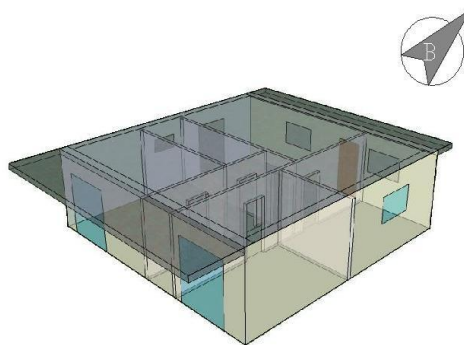
Στο κεφάλαιο αυτό θα διεξαχθεί μια περιγραφή του εξεταζόμενου κτιρίου, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η διεξαγωγή της ενεργειακής του μελέτης. Σημειώνεται ότι η εκπόνηση μελέτης ενεργειακής απόδοσης είναι υποχρεωτική βάσει του νόμου 3661/2008 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α 89), για όλα τα νέα ή ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια με τις εξαιρέσεις του άρθρου 11, όπως αυτός τροποποιήθηκε σύμφωνα με τα άρθρα 10 και 10^Α του νόμου 3851/2010. Η μελέτη ενεργειακής απόδοσης εκπονείται βάσει του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων- Κ.Εν.Α.Κ (ΦΕΚ Β 407/9.4.2010) και τις Τεχνικές οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας που συντάχθηκαν υποστηρικτικά του κανονισμού όπως αυτές ισχύουν επικαιροποιημένες.

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να εξετασθεί η υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση του κτιρίου, και η διεξαγωγή ενεργειακής μελέτης με στόχο την εύρεση δυνατών μεθόδων για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας για τη σωστή λειτουργία του κτιρίου.

4.1. Παρουσίαση υφιστάμενου κτιρίου

4.1.1. Γενικά στοιχεία υφιστάμενου κτιρίου

Στην παρούσα εργασία μελετάται μια παλαιά μονοκατοικία, τετραγωνικού σχήματος, εξωτερικών διαστάσεων 9,98m x 9,98m. Όπως φαίνεται και στο σχέδιο του κτιρίου, η είσοδος του κτιρίου έχει βόρειο προσανατολισμό.



Εικόνα 4.1: Προοπτικό σχέδιο του υπό μελέτη κτιρίου.

Η μονοκατοικία περιλαμβάνει πέντε δωμάτια που επικοινωνούν με διάδρομο. Στο κτίριο δεν περιλαμβάνονται μη θερμαινόμενοι ή ηλιακοί χώροι. Κατά συνέπεια, τα δωμάτια καθώς και ο διάδρομος θεωρούνται θερμαινόμενοι χώροι.



Στα πλαίσια της μελέτης της θεωρούμε ότι το κτίριο είναι εκτεθειμένο, δηλαδή είναι τοποθετημένο σε θέση τέτοια ώστε να μην εφάπτεται αλλά και ούτε να σκιάζεται από άλλο κτίριο. Η θέση του κτιρίου ευνοεί τον ηλιασμό των κάθετων όψεων και του δώματος. Η παράμετρος αυτή είναι πολύ σημαντική, τόσο για τα θερμικά και ψυκτικά φορτία του κτιρίου, όσο και για τη χρήση ηλιακών συστημάτων τα οποία θα εξετασθούν στη συνέχεια.

4.1.2. Περιγραφή των όψεων

Ο προσανατολισμός του κτιρίου ευνοεί τον σχεδιασμό συστημάτων άμεσου ηλιακού κέρδους όπως φαίνεται και από την ανωτέρω εικόνα. Η νότια όψη κατέχει το 55% των ανοιγμάτων του κτιρίου ήτοι 2 κινητούς υαλοπίνακες διαστάσεων 2,03m x 2,26m και 2,06m x 2,26m αντιστοίχως. Οι εν λόγω υαλοπίνακες σκιάζονται από σταθερό σκίαστρο που διατρέχει όλη την όψη, διαστάσεων 2,00m x 9,98m. Η υπόλοιπη επιφάνεια της όψης αποτελείται από την εξωτερική τοιχοποιία με το φέροντα οργανισμό όπως περιγράφονται στο επόμενο εδάφιο. Οι διαστάσεις της νότιας όψης όπως και όλων των άλλων όψεων είναι 9,98m x 3,00m.

Στη βόρεια όψη περιλαμβάνονται δύο κινητοί υαλοπίνακες διαστάσεων 1,49m x 0,92m ο καθένας, σκιαζόμενοι από σταθερό προεξέχον οριζόντιο τμήμα το οποίο διατρέχει όλη την όψη διαστάσεων 1,00m x 9,98m. Επίσης περιλαμβάνεται η θύρα εισόδου διαστάσεων 1,00m x 2,26m. Το υπόλοιπο τμήμα της όψης αποτελείται από την εξωτερική τοιχοποιία με τον φέροντα οργανισμό.

Οι οριζόντιες προεξοχές που χρησιμοποιούνται για την σκίαση των ανοιγμάτων της βόρειας και της νότιας όψης, εξασφαλίζουν την ελάχιστη εισερχόμενη ακτινοβολία το καλοκαίρι χωρίς να εμποδίζει τον ηλιασμό το χειμώνα.

Στην ανατολική πλευρά του κτιρίου περιλαμβάνεται ένας κινητός υαλοπίνακας διαστάσεων 0,95m x 1,54m, ενώ στην δυτική πλευρά ένας κινητός υαλοπίνακας 1,01m x 0,52m για την επικοινωνία του λουτρού με τον εξωτερικό περιβάλλον και ένας κινητός υαλοπίνακας στο σαλόνι διαστάσεων 1,52m x 2,21m. Όλο το υπόλοιπο τμήμα των όψεων αποτελείται από την εξωτερική τοιχοποιία με τον φέροντα οργανισμό.

4.1.3. Κύριες διαστάσεις κτιρίου

Στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφονται οι εξωτερικές διαστάσεις του κτιρίου, ανά προσανατολισμό και επιμέρους χώρου.



Δωμάτιο	Εξωτερικές Όψεις				
	Μήκος		Πλάτος		Ύψος
	m	Προσανατολισμός	m	Προσανατολισμός	
Υπνοδωμάτιο 1	4,89	Ανατολή	3,31	Νότος	3,00
Υπνοδωμάτιο 2	3,71	Δύση	5,15	Νότος	3,00
Μπάνιο	2,10	Δύση	5,15	-	3,00
Κουζίνα	5,09	Ανατολή	3,31	Βορράς	3,00
Σαλόνι	4,17	Δύση	6,67	Βορράς	3,00
Διάδρομος	5,81	-	1,52	Νότος	3,00
Κτίριο	9,98	-	9,98	-	3,00

Πίνακας 4.1: Οι εξωτερικές διαστάσεις του κτιρίου και των επιμέρους χώρων.

Για τη διεξαγωγή της μελέτης, θα πρέπει να είναι γνωστό το συνολικό εμβαδόν δαπέδου του κτιρίου, το οποίο περιλαμβάνει όλους τους κύριους, βοηθητικούς και κοινόχρηστους χώρους. Ο υπολογισμός του εμβαδού, όπως και όλων των μεγεθών που εισάγονται στο πρόγραμμα, γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές διαστάσεις της κατασκευής του κτιρίου. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται η κατανομή της επιφάνειας των θερμαινόμενων χώρων, βάσει εξωτερικών και εσωτερικών διαστάσεων και ο υπολογισμός του συνολικού εμβαδού δαπέδου. Παράλληλα, υπολογίζεται ο όγκος των επιμέρους χώρων και του κτιρίου, βάσει των εξωτερικών διαστάσεων.

Δωμάτιο	Εμβαδόν θερμαινόμενου χώρου m ²		Όγκος θερμαινόμενου χώρου m ³
	Εξωτερικό	Εσωτερικό	
Υπνοδωμάτιο 1	16,19	15,73	48,56
Υπνοδωμάτιο 2	19,11	18,58	57,32
Μπάνιο	10,82	10,03	32,45
Κουζίνα	16,85	16,38	50,54
Σαλόνι	27,81	26,99	83,44
Διάδρομος	8,83	8,04	26,49
Σύνολο	99,60	95,75	298,80

Πίνακας 4.2: Τα εμβαδά και οι όγκοι του κτιρίου και των επιμέρους χώρων.

4.1.4. Εξωτερικές και εσωτερικές συνθήκες κατοικίας

Βάση της TOTEE 20701-1/2010 καθορίστηκαν οι επιθυμητές συνθήκες λειτουργίας και τα εσωτερικά θερμικά φορτία από τους χρήστες και τις συσκευές. Το κτίριο μελετάται για τις κλιματολογικές συνθήκες της Ζώνης Γ', και συγκεκριμένα της Θεσσαλονίκη (Μίκρα). Τα δεδομένα για τις συνθήκες λειτουργίας δίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 4.3.



ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ	
Ωράριο λειτουργίας	18 ώρες
Ημέρες λειτουργίας	7
Μήνες λειτουργίας	12
Περίοδος θέρμανσης	15/10 έως 30/4
Περίοδος Ψύξης	1/6 έως 31/8
Μέση εσωτερική θερμοκρασία θέρμ (°C)	20
Μέση εσωτερική θερμοκρασία ψύξης (°C)	26
Μέση εσωτερική σχετική υγρασία χειμώνα (%)	40
Μέση εσωτερική σχετική υγρασία θέρους (%)	45
Απαιτούμενος νωπός αέρας (m ³ /h/m ²)	0,75
Στάθμη γενικού φωτισμού (lux)	200
Ισχύς φωτισμού ανά μονάδα επιφάνειας για κτίριο αναφοράς (W/m ²)	3,6
Ετήσια κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης (m ³ /(m ² .έτος)) ¹⁷	0,73
Μέση επιθυμητή θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης (°C)	50
Μέση ετήσια θερμοκρασία νερού δικτύου ύδρευσης (°C)	16,4
Εκλυόμενη θερμότητα από χρήστες ανά μονάδα επιφάνειας της θερμικής ζώνης (W/m ²)	4
Μέσος συντελεστής παρουσίας χρηστών	0,71
Εκλυόμενη θερμότητα από συσκευές ανά μονάδα επιφάνειας της θερμικής ζώνης (W/m ²)	2
Μέσος συντελεστής λειτουργίας συσκευών	0,75

Πίνακας 4.3: Εσωτερικές συνθήκες κατοικίας.

¹⁷ Η ετήσια κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης υπολογίζεται με την παραδοχή ότι ανά 100m² κατοικούν 5 άτομα. Στην υφιστάμενη κατοικία ωστόσο θεωρήθηκε ότι κατοικούν 4 άτομα γεγονός που καθιστά αναγκαία τη μείωση της υπόψη κατανάλωσης για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας. Η τιμή υπολογίστηκε σύμφωνα με τον πίνακα 2.5 της 1^{ης} TOTEE κατά τον οποίο για κατοικίες η ανάγκες για ΖΝΧ είναι 50 lt/άτομο/ ημέρα



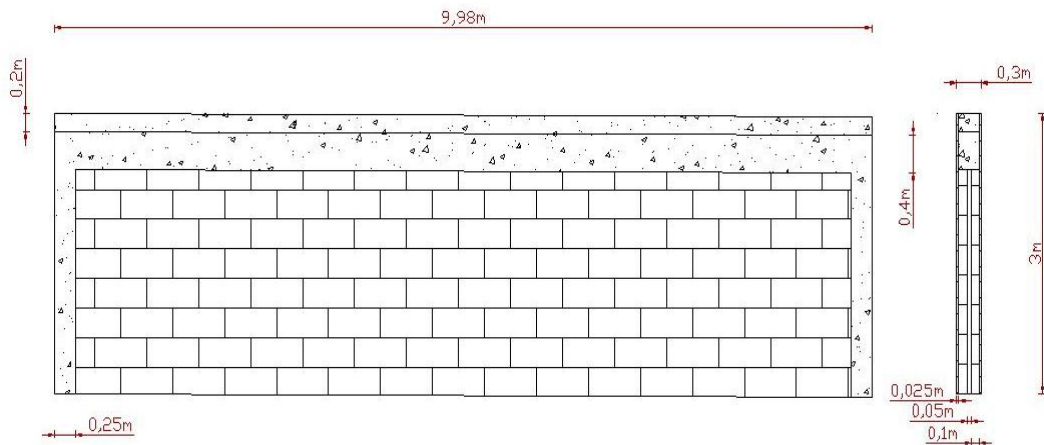
4.1.5. Θερμικές ζώνες κτιρίου

Για την διάκριση του κτιρίου σε θερμικές ζώνες θα πρέπει να πληρούνται οι προϋποθέσεις του άρθρου 3 του Κ.Εν.Α.Κ. (Φ.Ε.Κ.407/9.4.2010) και έχουν αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στην παρούσα ενεργειακή μελέτη δεν ικανοποιείται καμία από αυτές τις προϋποθέσεις συνεπώς δεν θα ληφθούν πέραν της μίας θερμικής ζώνης του κτιρίου. Υπενθυμίζεται ότι όλοι οι χώροι θεωρούνται θερμαινόμενοι.

4.2. Περιγραφή στοιχείων τοιχοποιίας

Στην ενότητα αυτή θα γίνει μια γενική παρουσίαση των δομικών στοιχείων του κτιρίου, προτού πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε παρέμβαση. Μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε πλήρως τον τρόπο με τον οποίο δομείται το εξεταζόμενο κτίριο ώστε να είναι δυνατή η περαιτέρω ανάλυση των επεμβάσεων που θα πραγματοποιηθούν.

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του κτιρίου, το κέλυφος έχει την απλούστερη δυνατή διάταξη, κατά την οποία ο φέρων οργανισμός συνδεδεμένος με την τοιχοποιία εντοπίζεται μόνο στις εξωτερικές επιφάνειες. Δεν υπάρχουν δηλαδή υποστυλώματα στο εσωτερικό του κτιρίου. Ο σκελετός αποτελείται περιμετρικά από δοκάρια από οπλισμένο σκυρόδεμα σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου πάχους 25 cm, ύψους 40 cm και συνολικού μήκους 40 m περίπου και 4 κολώνες από οπλισμένο σκυρόδεμα σχήματος τετραγώνου πλευράς 25 cm και ύψους 2,4 m. Όλες οι οριζόντιες και κάθετες δοκοί φέρουν επίχρισμα ασβεστοτσιμεντοκονιάματος στην εξωτερική και εσωτερική όψη 2,5 cm έκαστη. Η εξωτερική τοιχοποιία αποτελείται από 2 σειρές από 10 cm οπτοπλινθοδομή συμπεριλαμβανομένου και του κονιάματος μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται στρώμα ακίνητου αέρα πάχους 5 cm. Στα εξωτερικά στρώματα της τοιχοποιίας υπάρχει 2,5 cm επίχρισμα ασβεστοτσιμεντοκονίαμα τόσο στην εσωτερική όσο και στην εξωτερική πλευρά της όψης.



Εικόνα 4.2: : Σκαρίφημα της πρόοψης και της αριστερής πλάγιας όψης σε τομή της εξωτερικής τοιχοποιίας του κτιρίου.

Όσον αφορά το δάπεδο, αποτελείται από 20 cm οπλισμένο σκυρόδεμα. Η εσωτερική πλευρά ενισχύθηκε με 5 cm σκυρόδεμα ρύσεως επάνω από το οποίο τοποθετήθηκε πάτωμα κεραμικών πλακιδίων ύψους 1 cm. Τέλος, η ταράτσα αποτελείται από πλάκα 20 cm οπλισμένου σκυροδέματος, η εσωτερική πλευρά της οποίας επικαλύφθηκε από 2,5 cm επίχρισμα ασβεστοτσιμεντοκονιάματος και η εξωτερική φέρει σκυρόδεμα ρύσεως 5 cm και ασφαλτόπανο 0,4 cm.

Στα εξωτερικά ανοίγματα έχουν τοποθετηθεί κινητοί θερμομονωτικοί και αεροστεγανοί υαλοπίνακες και πλαίσια σύγχρονης τεχνολογίας με ικανοποιητικό συντελεστή θερμοπερατότητας. Κατά την τοποθέτησή τους τα κουφώματα τοποθετήθηκαν στην εξωτερική πλευρά της τοιχοποιίας για την μείωση της θερμογέφυρας στο λαμπά και στο ανωκάσι/κατωκάσι του κουφώματος. Το εξωτερικό περίβλημα ολοκληρώνεται με την τοποθέτηση εξωτερικής θύρας ασφαλείας με πολύ καλό επίπεδο θερμικής μόνωσης.

Δομικά υλικά	Πυκνότητα	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	Ειδική θερμοχωρητικότητα
	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	c_p (J/kgK)
Επίχρισμα ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1900	1,00	1100
Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	2,5	1000
Οπτοπλινθοδομή	1500	0,51	1000
Κεραμικά πλακίδια	2000	1,84	840
Σκυρόδεμα ρύσεως	2000	1,35	1000
Ασφαλτόπανο	1100	0,23	1000

Πίνακας 4.4: Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κτιριακού κελύφους με τα βασικά χαρακτηριστικά τους.



4.2.1. Δεδομένα για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα

Τύπος δομικού στοιχείου	Εμβαδόν (m ²)	Πάχος (m)	γ^{18}	α^{19}	ϵ^{20}
Νότια οπτοπλινθοδομή	13,5	0,25	180	0,4	0,8
Νότια δοκάρια/υποστυλώματα	5,19	0,25	180	0,4	0,8
Βόρεια οπτοπλινθοδομή	17,75	0,25	0	0,4	0,8
Βόρεια δοκάρια/υποστυλώματα	5,19	0,25	0	0,4	0,8
Ανατολική οπτοπλινθοδομή	21,30	0,25	90	0,4	0,8
Ανατολικά δοκάρια/υποστυλώματα	7,19	0,25	90	0,4	0,8
Δυτική οπτοπλινθοδομή	18,87	0,25	270	0,4	0,8
Δυτικά δοκάρια/υποστυλώματα ²¹	7,19	0,25	270	0,4	0,8
Οροφή	129,54 ²²	0,20	-	0,65	0,8

Πίνακας 4.5: Δεδομένα αδιαφανών δομικών στοιχείων σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα

	Εμβαδόν	Πάχος	Κατώτερο βάθος	Περίμετρος
Δάπεδο	99,6	0,2	0	39,92

Πίνακας 4.6: Δεδομένα αδιαφανών δομικών στοιχείων σε επαφή με το έδαφος

4.2.2. Δεδομένα για τα διαφανή δομικά στοιχεία σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα

Τα νότια ανοίγματα θεωρούνται άμεσου ηλιακού κέρδους αφού κατέχουν μεγάλο ποσοστό της νότιας όψης και απέναντί τους βρίσκεται επιφάνεια με υψηλή θερμοχωρητικότητα (εσωτερικός τοίχος από τούβλο με $c_p = 1000 \text{ J/kgK}$). Η διάκριση αυτή γίνεται από το πρόγραμμα μέσω της επιλογής παθητικά ηλιακά συστήματα.

¹⁸ αζιμούθιο της επιφάνειας 0=βόρεια, 90=ανατολική, 180=νότια, 270=δυτική

¹⁹ απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας της επιφάνειας (οι επιφάνειες θεωρήθηκαν όλες ανοιχτόχρωμες)

²⁰ συντελεστής εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας της επιφάνειας (σύνθετος δομικό υλικό)

²¹ Συμπεριλαμβάνεται και η περιμετρική επιφάνεια της πλάκας ίση με $0,2 \times 9,98 = 1,99 \text{ m}^2$ αφού θα μονωθεί και αυτή ενώ αποτελείται από το ίδιο υλικό κατασκευής. Βέβαια το μήκος της οροφής είναι κατά πολύ μεγαλύτερο των 0,2 m που ζητείται από το πρόγραμμα αλλά είναι αποδεκτό αφού είμαστε στην ασφαλή πλευρά των υπολογισμών.

²² Συμπεριλαμβανομένων των σκιάστρων αφού μονωτικό υλικό θα τοποθετηθεί και στα σκιάστρα για μείωση του συντελεστή θερμογεφυρών. Χωρίς τα σκιάστρα η επιφάνεια της οροφής ανέρχεται σε $99,6 \text{ m}^2$.



Κούφωμα	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m ²)	²³ Συντελεστής διαπερατότητας g_w
Νότιο άνοιγμα υπνοδωματίου 1	180	90	4,59	0,54
Νότιο άνοιγμα υπνοδωματίου 2	180	90	4,66	0,54

Πίνακας 4.7: Δεδομένα κουφωμάτων άμεσου κέρδους.

Κούφωμα	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m ²)	Συντελεστής διαπερατότητας g_w
Βόρειο άνοιγμα κουζίνας	0	90	1,37	0,54
Βόρειο άνοιγμα σαλονιού	0	90	1,37	0,54
Ανατολικό άνοιγμα κουζίνας	90	90	1,46	0,54
Δυτικό άνοιγμα σαλονιού	270	90	3,36	0,54
Δυτικό άνοιγμα λουτρού	270	90	0,52	0,54

Πίνακας 4.8: Δεδομένα κουφωμάτων.

4.2.3. Συντελεστές θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων

Οι συντελεστές θερμοπερατότητας ανά δομικό στοιχείο για την εξεταζόμενη κατοικία υπολογίζονται στη διπλωματική εργασία «Επίδραση θερμικής μόνωσης στην εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ», σύμφωνα με την μεθοδολογία που ορίζεται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 και 2/2010. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Δομικό στοιχείο	Εξωτερική τοιχοποιία	Εξωτερική δοκός/υποστύλωμα	Δάπεδο	Βατό δώμα	Εξωτερική πόρτα	Διαφανή στοιχεία
U W/(m ² K)	1,26	3,13	3,42	3,34	1,83	1,7

Πίνακας 4.9: Συντελεστές θερμοπερατότητας για κάθε δομικό στοιχείο

4.3. Υπολογισμός παροχής αέρα διείσδυσης

Ο αερισμός λόγω αεροστεγανότητας του κτηρίου ή θερμικής ζώνης (διείσδυσης του αέρα), πραγματοποιείται μέσω των χαραμιάδων των κουφωμάτων του κελύφους (συναρμογές κουφωμάτων με περιμετρικά δομικά στοιχεία, συναρμογή κινητών φύλλων κουφωμάτων) ή των θυρίδων αερισμού (για συσκευές φυσικού αερίου) ή των καμινάδων εστιών καύσης (τζάκι, θερμάστρα πετρελαίου ή ξύλων κ.ά.), καθώς επίσης και από τους αρμούς των δομικών αδιαφανών επιφανειών του κτηρίου.

²³ Συντελεστής διαπερατότητας ηλιακής ακτινοβολίας κουφώματος, λαμβάνεται ανάλογα με το ποσοστό του πλαισίου του κουφώματος και τον τύπο του υαλοπίνακα. Επιλέχθηκε μία τυπική τιμή του συντελεστή διαπερατότητας ίση με 0,54 για ενεργειακό υαλοπίνακα χαμηλής εκπομπής και ποσοστό πλαισίου 10%



Το κτίριο δεν διαθέτει θυρίδες εξαερισμού ούτε καμινάδες συνεπώς διείσδυση αέρα γίνεται μόνο μέσω των χαραμιάδων των κουφωμάτων. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται η σχέση:

$$V_{inf} = \sum(l \cdot a) \cdot R \cdot H$$

όπου :

- l (m) το συνολικό μήκος των χαραμιάδων του ανοίγματος (πόρτα, παράθυρο κ.ά.),
- a [$m^3/(h \cdot m)$] ο συντελεστής αεροδιαπερατότητας από χαραμιάδες του ανοίγματος, ανάλογα με την ποιότητα του κουφώματος, που λαμβάνει τιμές από τον πίνακα 3.23 της 1^{ης} ΤΟΤΕΕ,
- R [-] ο συντελεστής διεισδυτικότητας, που εξαρτάται από το λόγο επιφάνειας των εξωτερικών προς τα εσωτερικά ανοίγματα,
- H [-] ο συντελεστής θέσης του ανοίγματος και ανεμόπτωσης.

Κατά τη μελέτη ή την επιθεώρηση του κτηρίου και για τον προσδιορισμό του αερισμού λόγω της ύπαρξης χαραμιάδων λαμβάνεται συντελεστής $R = 0,7$, συντελεστής $H = 1,87$ για κανονική ανεμόπτωση, ελεύθερη θέση και για ελεύθερες όψεις κτηρίου (μη ερχόμενες σε επαφή με όμορου). Μ' αυτές τις παραδοχές και για τις τιμές συντελεστή αεροδιαπερατότητας a , όπως αναγράφονται στον σχετικό πίνακα 3.23 της 1^{ης} ΤΟΤΕΕ, εκτιμήθηκαν τυπικές τιμές του αερισμού λόγω της ύπαρξης χαραμιάδων (δηλαδή λόγω διείσδυση του αέρα) ανά τετραγωνικό μέτρο ανοίγματος ($m^3/h/m^2$) όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Διείσδυση λόγω ύπαρξης χαραμιάδων					
ΔΩΜΑΤΙΟ	ΜΗΚΟΣ ΧΑΡΑΜΑΔΩΝ	a	R	H	V_{inf}
ΥΠΝ 1	8,58	1,2	0,7	1,87	13,47746
ΥΠΝ 2	8,64	1,2	0,7	1,87	13,57171
ΜΠΑΝΙΟ	3,06	1,2	0,7	1,87	4,806648
ΚΟΥΖΙΝΑ	4,98	1,2	0,7	1,87	7,822584
ΣΑΛΟΝΙ	9,64	1,2	0,7	1,87	15,14251
	6,52	1,2	0,7	1,87	10,24162
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ	-	-	-	-	-
				$\Sigma V_{inf} =$	65,06254

Πίνακας 4.10: Τιμές υπολογισμού διείσδυσης αέρα από τις χαραμιάδες των κουφωμάτων

4.4. Στοιχεία Η/Μ εξοπλισμού κτιρίου

Το εξεταζόμενο κτίριο θεωρούμε ότι αποτελεί αντιπροσωπευτικό παράδειγμα των υφιστάμενων κατοικιών στην Ελλάδα, με οικοδομική άδεια πριν το 1979. Βάσει της



παραδοχής αυτής θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μια εκτίμηση των συστημάτων που διαθέτει η κατοικία, ώστε στη συνέχεια να είναι δυνατή η εκπόνηση της ενεργειακής μελέτης με τη χρήση του προγράμματος.

Δεδομένου ότι δεν υπήρχαν διαθέσιμα τεχνικά στοιχεία των συστημάτων, ο προσδιορισμός τους, έγινε βάσει των όσων ορίζονται στις Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1 και 3.²⁴

4.4.1. Σύστημα θέρμανσης χώρων

Για την κάλυψη των αναγκών των χώρων σε θέρμανση είναι εγκατεστημένος λέβητας πετρελαίου υψηλών θερμοκρασιών, ο οποίος έχει τοποθετηθεί στο λεβητοστάσιο πλησίον της κατοικίας. Η παραγόμενη θερμότητα μεταφέρεται μέσω του δικτύου διανομής, ώστε τελικά να αποδοθεί στο χώρο μέσω των τερματικών μονάδων, οι οποίες είναι τα κλασικά σώματα καλοριφέρ.

Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010, για τις υφιστάμενες μονάδες θέρμανσης χώρων λέβητα - καυστήρα ο πραγματικός βαθμός απόδοσης και η πραγματική θερμική ισχύς προσδιορίζονται από την ανάλυση καυσαερίων, η οποία είναι υποχρεωτική σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 10315/93 και αναγράφονται στο φύλλο συντήρησης και ρύθμισης του συστήματος θέρμανσης. Λόγω έλλειψης των στοιχείων αυτών, για τις ανάγκες της εργασίας οι τιμές των παραμέτρων του υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης που παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα λαμβάνονται με βάση ρεαλιστικές τιμές.

²⁴ Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό των συστημάτων παρατίθεται σε σχετικό παράρτημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



Σύστημα θέρμανσης κατοικιών											
Μονάδα παραγωγής θερμότητας											
Είδος μονάδας παραγωγής						Λέβητας-Καυστήρας					
Πραγματική θερμική ισχύς μονάδας (kW)						28,375					
Θερμική απόδοση μονάδας (%)						75,6					
Είδος καυσίμου						Πετρέλαιο θέρμανσης					
Μηνιαίο ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου της θερμικής ζώνης από το σύστημα											
ΙΑΝ	1	ΦΕΒ	1	ΜΑΡ	1	ΑΠΡ	1	ΜΑΙ	0	ΙΟΥ	0
ΙΟΥ	0	ΑΥΓ	0	ΣΕΠ	0	ΟΚΤ	1	ΝΟΕ	1	ΔΕΚ	1
Λ											
Δίκτυο διανομής θερμότητας											
Θερμική ισχύς που μεταφέρει το δίκτυο διανομής (kW)						21,452					
Χώρος διέλευσης						Εσωτερικοί χώροι					
Βαθμός θερμικής απόδοσης δικτύου διανομής (%)						89					
Τερματικές μονάδες											
Είδος τερματικών μονάδων θέρμανσης χώρων						Σώματα καλοριφέρ					
Θερμική απόδοση τερματικών μονάδων						0,864 (άμεσης απόδοσης σε εξωτερικό τοίχο, εκτός ισορροπίας)					
Βοηθητική ενέργεια											
Τύπος βοηθητικών συστημάτων				Αριθμός συστημάτων				Ισχύς βοηθητικών συστημάτων (kW)			
Κυκλοφορητής				1				0,170			

Πίνακας 4.11: Σύστημα θέρμανσης

4.4.2. Σύστημα ψύξης χώρων

Για την κάλυψη των αναγκών των χώρων σε ψύξη, το κτίριο διαθέτει τρεις ατομικές κλιματιστικές συσκευές, παλαιάς τεχνολογίας, οι οποίες θα εξετασθούν ως τοπικές αντλίες θερμότητας. Τα συστήματα αυτά αποδίδουν άμεσα την παραγόμενη ψύξη στο χώρο καλύπτοντας περίπου το 50% των συνολικών ψυκτικών φορτίων της θερμικής ζώνης. Λόγω της τοπικής παραγωγής, το σύστημα ψύξης δεν περιλαμβάνει δίκτυο διανομής ψύξης, συνεπώς δεν υπάρχουν και απώλειες διανομής.

Οι κλιματιστικές συσκευές υποθέτουμε ότι λειτουργούν κατά την περίοδο των θερινών μηνών, από Μάιο έως Αύγουστο. Μολονότι σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2010, το σύστημα ψύξης λειτουργεί έως και το μήνα Σεπτέμβριο, ο μήνας αυτός παραλείπεται, καθώς θεωρούμε ότι, για τις κλιματολογικές συνθήκες της Θεσσαλονίκης κατά τη συγκεκριμένη περίοδο, το επίπεδο των ψυκτικών φορτίων δεν δικαιολογεί τη λειτουργία των κλιματιστικών.

Τα χαρακτηριστικά του συστήματος ψύξης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.



Σύστημα Ψύξης κατοικιών											
Μονάδα παραγωγής Ψύξης											
Είδος μονάδας παραγωγής						Τοπικές αντλίες θερμότητα					
Πραγματική ψυκτική ισχύς μονάδας (kW)						10,56					
Συντελεστής συμπεριφοράς μονάδας EER						1,5					
Είδος καυσίμου						Ηλεκτρικό ρεύμα					
Μηνιαίο ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου της θερμικής ζώνης από το σύστημα											
ΙΑΝ	0	ΦΕΒ	0	ΜΑΡ	0	ΑΠΡ	0	ΜΑΙ	0	ΙΟΥΝ	0,5
ΙΟΥΛ	0,5	ΑΥΓ	0,5	ΣΕΠΤ	0	ΟΚΤ	0	ΝΟΕ	0	ΔΕΚ	0
Δίκτυο διανομής ψύξης											
Ψυκτική ισχύς που μεταφέρει το δίκτυο διανομής (kW)						0					
Χώρος διέλευσης						Εσωτερικοί χώροι					
Βαθμός θερμικής απόδοσης δικτύου διανομής (%)						100					
Τερματικές μονάδες											
Είδος τερματικών μονάδων θέρμανσης χώρων						Τοπικές αντλίες θερμότητας					
Θερμική απόδοση τερματικών μονάδων (%)						93					
Βοηθητική ενέργεια											
Τύπος βοηθητικών συστημάτων				Αριθμός συστημάτων				Ισχύς βοηθητικών συστημάτων (kW)			
-				-				-			

Πίνακας 4.12: Σύστημα Ψύξης

4.4.3. Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης

Δεδομένου ότι αναφερόμαστε σε μια παλιά κατοικία, υποθέτουμε ότι, για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, οι ένοικοι χρησιμοποιούν έναν τοπικό ηλεκτρικό θερμαντήρα, (θερμοσίφωνα), που είναι τοποθετημένος εντός της κατοικίας. Η υπόθεση αυτή θεωρείται βάσιμη, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό των ελληνικών κατοικιών χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού θερμαντήρα, σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:



Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης-Z.N.X											
Μονάδα παραγωγής Z.N.X											
Είδος μονάδας παραγωγής						Ηλεκτρικοί θερμαντήρες					
Ισχύς μονάδας (kW)						4					
Θερμική απόδοση μονάδας (%)						100					
Είδος καυσίμου						Ηλεκτρικό ρεύμα					
Μηνιαίο ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου της θερμικής ζώνης από το σύστημα											
ΙΑΝ	1	ΦΕΒ	1	ΜΑΡ	1	ΑΠΡ	1	ΜΑΙ	1	ΙΟΥΝ	1
ΙΟΥΛ	1	ΑΥΓ	1	ΣΕΠΤ	1	ΟΚΤ	1	ΝΟΕ	1	ΔΕΚ	1
Δίκτυο διανομής θερμότητας											
Θερμική ισχύς που μεταφέρει το δίκτυο διανομής Z.N.X (kW)						0					
Χώρος διέλευσης						Εσωτερικοί χώροι					
Βαθμός θερμικής απόδοσης δικτύου διανομής (%)						100%					
Μονάδα αποθήκευσης θερμότητας											
Είδος αποθήκευσης ζεστού νερού χρήση						Ηλεκτρικός θερμαντήρας					
Θερμική απόδοση μονάδας αποθήκευσης Z.N.X						98,0% (=100%-2,0% πλευρικές απώλειες)					
Βοηθητική ενέργεια											
Τύπος βοηθητικών συστημάτων				Αριθμός συστημάτων				Ισχύς βοηθητικών συστημάτων (kW)			
-				-				-			

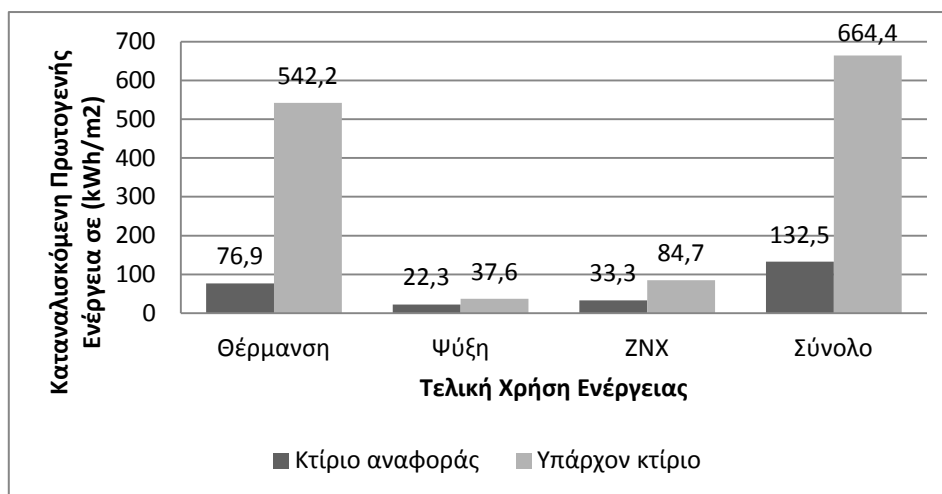
Πίνακας 4.13: Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης-Z.N.X

4.5. Υφιστάμενο κτίριο και κτίριο αναφοράς

Εισάγοντας τις παραπάνω παραμέτρους στο πρόγραμμα TEE-KENAK, εκτελούνται αυτόματα οι υπολογισμοί των αποτελεσμάτων που αφορούν τις ενεργειακές ανάγκες και καταναλώσεις τόσο του υφιστάμενου κτιρίου, όσο και του κτιρίου αναφοράς. Το κτίριο αναφοράς, όπως έχει προαναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές. Έχει επίσης καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά τόσο στα εξωτερικά δομικά στοιχεία του, όσο και στις Η/Μ εγκαταστάσεις που αφορούν τη ΘΨΚ των εσωτερικών χώρων, την παραγωγή ΖΝΧ και το φωτισμό. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ενεργειακές ανάγκες εφεξής θα μετρώνται σε πρωτογενή ενέργεια ανά τελική χρήση (kWh/m²). Οι τιμές που προκύπτουν είναι οι εξής:

Πρωτογενής ενέργεια ανά τελική χρήση	Θέρμανσης (kWh/m ²)	Ψύξης (kWh/m ²)	ZNX (kWh/m ²)	Σύνολο (kWh/m ²)	Λειτουργικό κόστος (€)
Κτίριο αναφοράς	76,9	22,3	33,3	132,5	1099,90
Υπάρχον κτίριο	542,2	37,6	84,7	664,4	5736,50

Πίνακας 4.14: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση (kWh/m²)



Διάγραμμα 4.1: Σύγκριση υφιστάμενου κτιρίου με κτίριο αναφοράς με παράμετρο την καταναλισκόμενη πρωτογενή ενέργεια

Μελετώντας τα αποτελέσματα του λογισμικού διαπιστώνουμε ότι η μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των καταναλώσεων του υφιστάμενου κτιρίου και του κτιρίου αναφοράς παρατηρείται για τη θέρμανση του κτιρίου. Η αντίστοιχη απόκλιση που παρουσιάζουν οι ανάγκες ψύξης και ZNX, αν και μικρότερη εξακολουθεί να είναι εξίσου σημαντική. Αθροίζοντας τις επιμέρους ενεργειακές καταναλώσεις του υφιστάμενου κτιρίου, προκύπτουν συνολικές καταναλώσεις σχεδόν πενταπλάσιες του κτιρίου αναφοράς, κατατάσσοντας το υφιστάμενο κτίριο στην ενεργειακή κατηγορία (H).

Οι υψηλές καταναλώσεις του συστήματος θέρμανσης συγκριτικά με το κτίριο αναφοράς οφείλονται σε δύο κύριες παραμέτρους:

- Το κτίριο αναφοράς πληροί τις προδιαγραφές θερμομόνωσης όπως αυτές διατυπώνονται στο άρθρο 8 του Κ.Εν.Α.Κ.. Η μόνωση του κτιρίου έχει ως άμεση συνέπεια μειωμένες θερμικές ανάγκες και τελικώς χαμηλότερο επίπεδο καταναλώσεων.
- Η θέρμανση του κτιρίου αναφοράς γίνεται με λέβητα πετρελαίου δικαιολογημένο σύμφωνα με τις θερμικές απαιτήσεις του εξυπηρετούμενου κτιρίου. Ο λέβητας είναι πιστοποιημένος με βαθμό ενεργειακής απόδοσης τριών αστερών (***) . Η σωστή διαστασιολόγηση και ο υψηλός βαθμός απόδοσης του λέβητα, οδηγούν σε αποδοτικότερη λειτουργία του και κατά συνέπεια σε χαμηλότερες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας.

Οι παραπάνω παράμετροι ευθύνονται κατά κύριο λόγο για την μεγάλη απόκλιση που παρουσιάζουν οι καταναλώσεις θέρμανσης. Αυτός είναι και ο λόγος που οι δύο αυτές



παράμετροι αποτελούν τους κύριους άξονες των επεμβάσεων που θα εξετασθούν με στόχο την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, θα γίνει παραμετρική μελέτη των επεμβάσεων που αφορούν τον Η/Μ εξοπλισμό του συστήματος, διατηρώντας το κτίριο αμόνωτο. Το κύριο χαρακτηριστικό των μονάδων που θα επιλεγούν είναι η δυνατότητα τους να συνεργάζονται με θερματικές μονάδες υψηλών θερμοκρασιών. Οι υψηλές θερμικές απώλειες του κτιρίου επιβάλλουν τη λειτουργία του συστήματος σε υψηλές θερμοκρασίες, ώστε να καταστεί εφικτή η αντιστάθμιση τους.

4.6. Μελέτη επεμβάσεων αναβάθμισης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού σε αμόνωτη κατοικία

Στην ενότητα αυτή θα εξετασθούν επεμβάσεις αντικατάστασης του υφιστάμενου συστήματος λέβητα-καυστήρα πετρελαίου με μονάδες λειτουργίας σε υψηλές θερμοκρασίες μέσου, καθώς το κτίριο παραμένει αμόνωτο. Αρχικά θα εξετασθεί η πλέον συνήθης επέμβαση εγκατάστασης νέου και πιο αποδοτικού συστήματος λέβητα-καυστήρα. Οι λέβητες που θα επιλεγούν είναι νέας τεχνολογίας, συμβατικοί ή συμπύκνωσης, ενώ ως καύσιμη ύλη επιλέγεται το φυσικό αέριο ή τα pellets (βιομάζα), κατά περίπτωση. Στη συνέχεια, θα εξετασθούν λιγότερο διαδεδομένες επεμβάσεις αντικατάστασης του λέβητα, όπως είναι η μικρο-συμπαγωγή και οι αντλίες θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών.

Ωστόσο, εκτός από την επέμβαση στο σύστημα θέρμανσης, θα συμπεριληφθούν και επεμβάσεις αντικατάστασης του συστήματος ψύξης και παραγωγής ΖΝΧ. Η κάλυψη των φορτίων αυτών γίνεται με συστήματα χαμηλής απόδοσης, καταναλώνοντας σημαντικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι καταναλώσεις της κατοικίας για τα φορτία αυτά να υπερβαίνουν εκείνες του κτιρίου αναφοράς, αυξάνοντας τελικώς τις συνολικές καταναλώσεις.

4.6.1. Αναβάθμιση του συστήματος παραγωγής θερμικής ενέργειας

Εξετάζοντας το υφιστάμενο σύστημα διαπιστώθηκαν αρκετές σοβαρές αδυναμίες στα επιμέρους τμήματα του, όπως:

1. Η εγκατεστημένη ισχύς του λέβητα και ο βαθμός απόδοσης του. Η υπερδιαστασιολόγηση του λέβητα-καυστήρα έχει ως συνέπεια το σύστημα να λειτουργεί στο μεγαλύτερο διάστημα σε μερικό φορτίο και με μικρότερη απόδοση και,



2. η φθαρμένη μόνωση του περιβλήματος του υφιστάμενου συστήματος, με αποτέλεσμα μεγάλο ποσοστό της παραγόμενης θερμότητας να διαφεύγει με την μορφή απωλειών.

Η παρούσα κατάσταση του συστήματος οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, η ριζική αναβάθμιση του συστήματος και η ουσιαστική μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων δεν μπορεί να επιτευχθεί, παρά μόνο αν η επέμβαση αφορά ολόκληρο το σύστημα λέβητα-καυστήρα. Στην αντικατάσταση της παλαιάς μονάδας παραγωγής συμπεριλαμβάνεται και η αντικατάσταση των βοηθητικών συστημάτων του λεβητοστασίου με νέα αποδοτικότερα (κυκλοφορητές, ανεμιστήρες, αυτοματισμοί κ.ά.). Επιπλέον, κρίνεται σκόπιμη η κατάργηση της χρήσης πετρελαίου αφού εκτός του ότι είναι οικονομικά ασύμφορο, έχει μεγάλο περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Η εγκατάσταση του συστήματος παραγωγής θέρμανσης θα πραγματοποιηθεί στο λεβητοστάσιο, αφού πρωτίστως αφαιρεθεί το προϋπάρχον σύστημα θέρμανσης. Η πλειοψηφία των συστημάτων που θα εξετασθούν εγκαθίσταται αποκλειστικά εντός ειδικά διαμορφωμένου χώρου, που στην περίπτωση μας είναι το λεβητοστάσιο. Ωστόσο στο λεβητοστάσιο προβλέπεται να τοποθετηθούν ακόμα και τα συστήματα που έχουν τη δυνατότητα να εγκαθίστανται εντός της κατοικίας, όπως επίτοιχοι λέβητες, αντλίες θερμότητας κ.α.), κυρίως λόγω έλλειψης του απαραίτητου χώρου εντός της κατοικίας.

Η εγκατάσταση του επιλεγμένου συστήματος στο λεβητοστάσιο αυξάνει τις συνολικές απώλειες του, καθώς αυτές επιβαρύνονται με τις απώλειες του δικτύου διανομής. Το υφιστάμενο δίκτυο διανομής περιβάλλεται από φθαρμένη μόνωση, με αποτέλεσμα να είναι αυξημένες οι θερμικές απώλειες. Συνεπώς, στα πλαίσια της επέμβασης θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η εγκατάσταση μόνωσης στο δίκτυο διανομής.

Για την βέλτιστη αντιμετώπιση των θερμικών απωλειών του δικτύου διανομής, επιλέγεται η μόνωση πάχους ίσου με την ακτίνα της σωλήνωσης. Το κόστος της επέμβασης αυτής εκτιμάται στα 400 €. Παρόλο που για όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις επιλέγεται η ίδια μόνωση για το δίκτυο διανομής, ο βαθμός συνεισφοράς του σε κάθε περίπτωση είναι διαφορετική, ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ και τις θερμοκρασίες του μέσου.

Θερμοκρασία μέσου	Βαθμός απόδοσης
Αμόνωτη κατοικία (υψηλές θερμοκρασίες μέσου)	95,5%
Επαρκώς και βέλτιστα μονωμένη κατοικία (χαμηλές θερμοκρασίες μέσου)	97%
Λειτουργία δικτύου διανομής για δροσισμό	98,5%

Πίνακας 4.15: Βαθμός απόδοσης μονωμένου δικτύου διανομής ανά περίπτωση



4.6.1.1. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης με εγκατάσταση λεβήτων φυσικού αερίου

Αρχικά, θα εξετάσουμε την επίδραση στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου που θα έχει η αντικατάσταση της υφιστάμενης μονάδας με μονάδα λέβητα φυσικού αερίου, συμβατικού ή συμπύκνωσης. Καθώς η κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση γινόταν μέχρι τώρα με καύση πετρελαίου, η διαδικασία μετατροπής του συστήματος για την αλλαγή του καυσίμου, αυξάνει το συνολικό κόστος της επένδυσης.

Παραδοχές:

1. Στα πλαίσια της εργασίας δεχόμαστε ότι η κατοικία πληροί τις απαιτήσεις που ορίζονται από την ΕΠΑ Θεσσαλονίκης,
2. Επιπλέον γίνεται η παραδοχή ότι η κατοικία βρίσκεται πλησίον ήδη εγκατεστημένης παροχρητευτικής στήλης

Ο προς εγκατάσταση λέβητας θα επιλεγεί με γνώμονα την ονομαστική του ισχύ, η οποία εκτιμάται ότι θα πρέπει να κυμαίνεται κοντά στα 17kW. Αν και αναφερόμαστε σε αμόνωτη κατοικία, το μέγεθος αυτό είναι δικαιολογημένο καθώς τα κουφώματα έχουν αντικατασταθεί από καινούργια, καλύτερης ποιότητας. Σημειώνεται ότι η ισχύς των λεβήτων που θα επιλεγούν θα πρέπει να μην υπερβαίνει την παραπάνω τιμή περισσότερο από 25%, ώστε να αποφευχθούν προβλήματα υπερδιαστασιολόγησης.

4.6.1.1.1. Εγκατάσταση συμβατικού λέβητα φυσικού αερίου

Η επιλογή ενός συμβατικού λέβητα είναι πιο διαδεδομένη εν συγκρίσει με τις άλλες μονάδες παραγωγής, καθώς το κόστος του είναι μικρό και η εγκατάσταση του χαρακτηρίζεται ως απλή διαδικασία.

Με αναζήτηση στο διαδίκτυο και συμβουλευόμενοι επαγγελματίες που δραστηριοποιούνται στο χώρο της θέρμανσης, επιλέχτηκε ένα αντιπροσωπευτικός λέβητας αυτής της κατηγορίας. Η εγκατάσταση του λέβητα συνοδεύεται από πίνακα ελέγχου και αυτοματισμών. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του λέβητα που σχετίζονται με την παρούσα εργασία, όπως αυτά παρουσιάζονται στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή, παρατίθενται παρακάτω:



Τύπος συσκευής: Επιδαπέδιος χυτοσίδηρος λέβητας φυσικού αερίου με ατμοσφαιρικό καυστήρα	
Ονομαστική θερμική ισχύς	20 kW
Θερμικό όφελος	21,7 kW
Βαθμός απόδοσης σε φορτίο 100%	92 %
Καύσιμο	Φυσικό αέριο
Ηλεκτρική Κατανάλωση βοηθητικών συστημάτων (λ.χ. κυκλοφορητής)	110W

Πίνακας 4.16: Τεχνικά χαρακτηριστικά συμβατικού λέβητα φυσικού αερίου

Τα κόστη κτήσης του λέβητα και το παρελκόμενων εξαρτημάτων του, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιγραφή	Κόστος €
Αποξηλώσεις λέβητα, σωληνώσεων.	250,00
Προμήθεια, τοποθέτηση, σύνδεση λέβητα.	1500,00
Προμήθεια, τοποθέτηση, σύνδεση καυστήρα.	400,00
Προμήθεια, τοποθέτηση, σύνδεση κυκλοφορητή	200,00
Προμήθεια, τοποθέτηση, σύνδεση μικρούλικων (βάνες, αυτόματος πλήρωσης, δοχείο διαστολής, ασφαλιστικές βαλβίδες, φίλτρο κλπ)	300,00
Υδραυλικά - Ηλεκτρολογικά	1000,00
Διάφορα	150,00
Κόστος Φυσικού αερίου (μελέτη, εγκατάσταση, τέλη σύνδεσης)	1400,00
Τέλη σύνδεσης	360,00
Σύνολο	5200,00

Πίνακας 4.17: Ενδεικτικά κόστη για την εγκατάσταση συμβατικού λέβητα

Τονίζεται ότι τα κόστη του λέβητα συμπίκνωσης, όπως επίσης και των υπόλοιπων τεχνολογιών που πρόκειται να εξετασθούν στην παρούσα εργασία είναι ενδεικτικά, καθώς αυτά εξαρτώνται από τις δυνατότητες και την ποιότητα των εξαρτημάτων που επιλέγονται. Κατά τη διαδικασία εγκατάστασης μπορεί να προκύψουν επιπλέον έξοδα επιβαρύνοντας το τελικό κόστος επένδυσης.

4.6.1.1.2. Εγκατάσταση λέβητα συμπίκνωσης φυσικού αερίου

Κατά ανάλογο τρόπο επιλέγεται και ο λέβητας συμπίκνωσης. Στην περίπτωση αυτή επιλέχθηκε ένας επίτοιχος λέβητας φυσικού αερίου, του οποίου τα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης. Ο επίτοιχος λέβητας παρουσιάζει ένα μεγάλο πλεονέκτημα στην εγκατάσταση του, καθώς η συσκευή περιέχει όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα που απαιτούνται για την λειτουργία του. Τα τεχνικά στοιχεία που μας ενδιαφέρουν στην παρούσα μελέτη είναι:



Τύπος συσκευής: Επίτοιχος λέβητας συμπύκνωσης φυσικού αερίου	
Ονομαστική θερμική ισχύς 80/60°C	19,0/22,9kW (θέρμανσης/ θέρμανση & Ζ.Ν.Χ)
Ονομαστική θερμική ισχύς 50/30°C	20,5kW
Ονομαστικό θερμικό φορτίο	19,5/23,5kW
Βαθμός απόδοσης σε φορτίο 80/60°C	98/88%
Βαθμός απόδοσης σε φορτίο 40/30°C	108/97%
Ηλεκτρική Κατανάλωση βοηθητικών συστημάτων (λ.χ. κυκλοφορητής)	110 W

Πίνακας 4.18: Τεχνικά χαρακτηριστικά λέβητα συμπύκνωσης φυσικού αερίου

Καθώς για τη θέρμανση της κατοικίας απαιτείται το θερμό μέσο να διέρχεται από τις θερματικές μονάδες έχοντας υψηλή θερμοκρασία, για την παρούσα περίπτωση θα χρησιμοποιηθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν τη λειτουργία στους 80/60°C.

Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικές τιμές των δαπανών που απαιτούνται για την εγκατάσταση και λειτουργία του λέβητα και των βοηθητικών συστημάτων:

Περιγραφή	Κόστος €
Αποξηλώσεις λέβητα, σωληνώσεων.	250,00
Προμήθεια, τοποθέτηση, σύνδεση λέβητα.	2600,00
Προμήθεια, τοποθέτηση, σύνδεση ανοξειδωτης καμινάδας	450,00
Προμήθεια, τοποθέτηση, σύνδεση μικρούλικών (βάνες, αυτόματος πλήρωσης, δοχείο διαστολής, ασφαλιστικές βαλβίδες, φίλτρο κλπ)	300,00
Υδραυλικά - Ηλεκτρολογικά:	1000,00
Διάφορα:	150,00
Κόστος Φυσικού αερίου (μελέτη, εγκατάσταση, τέλη φυσικού αερίου)	1400,00
Σύνολο	6150,00

Πίνακας 4.19: Ενδεικτικά κόστη για την εγκατάσταση λέβητα συμπύκνωσης

4.6.1.2. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης με εγκατάσταση λεβήτων βιομάζας-pellets

Εν αναμονή της άρσης της απαγόρευσης σχετικά με τη καύση της βιομάζας στο νομό Θεσσαλονίκης, παρουσιάζει ενδιαφέρον να εξετασθεί η δυνατότητα κάλυψης των θερμικών αναγκών με χρήση pellets, έναντι του φυσικού αερίου. Η επιλογή των pellets δικαιολογείται τόσο λόγω των χαμηλών εκπομπών τους όσο και του χαμηλού κόστους αγοράς καυσίμου. Η εγκατάσταση του λέβητα της κατηγορίας αυτής συνοδεύεται απαραίτητα από την εγκατάσταση ενός σιλό, χωρητικότητας ικανής να εξασφαλίσει στους ενοίκους κάποια αυτονομία, η οποία ωστόσο επιβαρύνει το συνολικό κόστος της επέμβασης.



Η επιλογή του λέβητα έγινε έχοντας ως κριτήριο την ονομαστική του ισχύ. Τα χαρακτηριστικά του λέβητα που ενδιαφέρουν την παρούσα ενεργειακή μελέτη είναι η ονομαστική ισχύς του λέβητα και ο βαθμός απόδοσης:

Τύπος συσκευής: Λέβητας pellets	
Ονομαστική ισχύς του λέβητα	20,93kW
Βαθμός απόδοσης	90%
Ηλεκτρική Κατανάλωση βοηθητικών συστημάτων (λ.χ. κυκλοφορητής, τροφοδοσία)	150 W

Πίνακας 4.20: Τεχνικά χαρακτηριστικά συμβατικού λέβητα pellets

Τα κόστη κτήσης του λέβητα και το παρελκόμενων εξαρτημάτων του, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιγραφή	Κόστος €
Αποξηλώσεις λέβητα, σωληνώσεων.	250,00
Προμήθεια λέβητα, καυστήρα, κυκλοφορητή και σιλό	3060,00
Λοιπά κόστη (τοποθέτησης και σύνδεσης καυστήρα, κυκλοφορητή, παρελκόμενα κ.ά.)	1900,00
Κόστος Φυσικού αερίου (μελέτη, εγκατάσταση)	0
Τέλη σύνδεσης	0
Σύνολο	5210,00

Πίνακας 4.21: Ενδεικτικά κόστη για την εγκατάσταση συμβατικού λέβητα pellets

Σημειώνεται ότι στα παραπάνω κόστη δεν συμπεριλαμβάνεται η ειδική διαμόρφωση της αποθήκης του καυσίμου, για την ασφαλή διατήρηση του εντός του λεβητοστασίου. Ωστόσο τονίζεται ότι απαιτούνται ειδικές επεμβάσεις στο χώρο, ανάλογα με τις απαιτήσεις του, ώστε να τηρούνται όλοι οι κανονισμοί ασφαλείας, ιδιαίτερα όταν η εγκατάσταση πρόκειται να γίνει εντός των μεγάλων αστικών κέντρων.

4.6.1.3. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης με εγκατάσταση αντλία θερμότητας αέρα-νερού υψηλών θερμοκρασιών

Στην πλειοψηφία τους οι αντλίες θερμότητας αέρος/νερού λειτουργούν αποκλειστικά σε συνεργασία με τερματικές μονάδες, καθώς δεν έχουν τη δυνατότητα να θερμάνουν το εργαζόμενο μέσο σε υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο, στην αγορά υπάρχει διαθέσιμος ένας τύπος αντλίας θερμότητας, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να συνεργάζεται με τερματικές μονάδες υψηλών θερμοκρασιών αγγίζοντας ακόμα και τους 80°C, χάριν στο διβάθμιο ψυκτικό κύκλο. Η αντλία θερμότητας αυτή είναι διαιρούμενου τύπου και κατασκευάζεται από γνωστή εταιρεία, που δραστηριοποιείται στο χώρο των αντλιών θερμότητας.



Το κύριο μειονέκτημα των αντλιών αυτής της κατηγορίας είναι ο πολύ χαμηλός συντελεστής συμπεριφοράς COP, κυρίως λόγω των υψηλών καταναλώσεων ισχύος, συγκριτικά με τις αντλίες θερμότητας που λειτουργούν αποκλειστικά σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο, η δυνατότητα της να συνεργάζεται με τις ήδη εγκατεστημένες μονάδες τις καθιστά δυνατή λύση για την ανακαίνιση υφιστάμενης κατοικίας.

Στον Πίνακα 4.22 παραθέτονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως αυτά αναφέρονται από τον κατασκευαστή. Τα στοιχεία αυτά αφορούν τις ονομαστικές συνθήκες για τις αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση χώρων, σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, παράγραφος 4.1.2.2. Έτσι, κατά τη μελέτη ή την επιθεώρηση λαμβάνεται ως τελική θερμική απόδοση ο ονομαστικός συντελεστής επίδοσης COP για ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας εξωτερικού αέρα 7°C και θερμοκρασία μέσου 45 °C.:

Τύπος συσκευής: Αντλία Θερμότητας Υψηλών Θερμοκρασιών	
Ονομαστική ισχύς	16 kW
COP	2,41
Ηλεκτρική Κατανάλωση βοηθητικών συστημάτων (λ.χ. κυκλοφορητής)	150 W

Πίνακας 4.22: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας αέρος/νερού υψηλών θερμοκρασιών

Τα κόστη κτήσης της αντλίας και των παρελκόμενων εξαρτημάτων του, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιγραφή	Κόστος €
Κόστος μονάδας	7700,00
Κόστος υδραυλικής και ηλεκτρολογικής εγκατάστασης	750,00
Συνολικό κόστος κτήσης και εγκατάστασης αντλίας θερμότητας	8450,00
Κόστος αποξήλωσης παλαιού συστήματος	250,00
Συνολικό κόστος επέμβασης	8700,00

Πίνακας 4.23: Ενδεικτικά κόστη για την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας αέρος/νερού υψηλών θερμοκρασιών

4.6.1.4. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης με εγκατάσταση μ-ΣΗΘ φυσικού αερίου

Στα πλαίσια της διερεύνησης όλων των δυνατών τεχνολογιών που μπορούν να συμπεριληφθούν στο σύστημα θέρμανσης μιας κατοικίας εξετάζεται η εγκατάσταση μιας μονάδας μικρο-συμπαγωγής. Σε περιπτώσεις κατοικιών η συνηθέστερη επιλογή είναι η εγκατάσταση μονάδας μικρο-συμπαγωγής με μηχανή εσωτερικής καύσης, και για το λόγο



αυτό επιλέγουμε μονάδα με κινητήρα Otto η οποία χρησιμοποιεί ως καύσιμη ύλη φυσικό αέριο.

Η ισχύς και ο θερμικός βαθμός απόδοσης της μονάδας αποτέλεσαν τα κύρια κριτήρια για την επιλογή του συστήματος που θα εγκατασταθεί. Κατόπιν αναζήτησης επιλέχθηκε μονάδα συμπαραγωγής με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Χαρακτηριστικό μέγεθος	
Τύπος κινητήρα	Τρικύλινδρος Otto
Ονομαστική θερμική ισχύς	19kW
Θερμικός βαθμός απόδοσης	64,6%
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	25,4%
Ηλεκτρική Κατανάλωση βοηθητικών συστημάτων (λ.χ. κυκλοφορητής)	110W

Πίνακας 4.24: Τεχνικά χαρακτηριστικά μ- Σ.Η.Θ.

Το συνολικό κόστος της επέμβασης ανέρχεται κατ' εκτίμηση στις 32628€.

4.6.2. Αναβάθμιση του συστήματος παραγωγής ψύξης

Όπως προέκυψε από τους υπολογισμούς του προγράμματος, η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για ψύξη είναι αρκετά μεγαλύτερη εκείνης του κτιρίου αναφοράς. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σύστημα κλιματισμού είναι παλιό και ο συντελεστής EER που χαρακτηρίζει τη λειτουργία του είναι χαμηλός εν συγκρίσει με τον αντίστοιχο συντελεστή που λαμβάνεται υπόψη στο κτίριο αναφοράς (EER=3).

Προς βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης, τόσο για την άνεση των ενοίκων, όσο και για την μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, εξετάζεται η αγορά και εγκατάσταση κλιματιστικών νέας τεχνολογίας, με ταυτόχρονη απεγκατάσταση των παλαιών. Η επέμβαση αυτή είναι η πλέον συνήθης, καθώς μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλες τις περιπτώσεις κατοικιών. Τα κλιματιστικά που θα επιλεγούν θα είναι ανάλογης ισχύος με τα παλαιά κλιματιστικά, ανάλογα με το χώρο τοποθέτησης τους. Η τοποθέτηση των κλιματιστικών πρόκειται να γίνει στο χώρο τον οποίο θα εξυπηρετήσουν, επομένως δεν απαιτείται δίκτυο διανομής.

Στα δυο υπνοδωμάτια επιλέγεται η εγκατάσταση δυο κλιματιστικών (2) ονομαστικής ισχύος 2,5 kW, τα οποία επιτυγχάνουν μέγιστη ψυκτική ισχύ ίση με 3 kW. Ομοίως για το σαλόνι, το οποίο είναι μεγαλύτερης επιφάνειας, θα επιλεγεί κλιματιστικό ονομαστικής ισχύος 5 kW, το οποίο επιτυγχάνει μέγιστη ψυκτική ισχύ ίση με 6 kW. Τα επιλεχθέντα κλιματιστικά είναι ενεργειακής κλάσης A με τεχνολογία inverter, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα και εξοικονόμηση ενέργειας.



Οι δύο τύποι κλιματιστικών έχουν υψηλό συντελεστή απόδοσης EER, ο οποίος μάλιστα είναι υψηλότερος του κτιρίου αναφοράς. Εκείνο που θα πρέπει να προσεχθεί κατά τους υπολογισμούς είναι ότι, παρουσιάζουν διαφορετικό συντελεστή απόδοσης EER. Συγκεκριμένα, ο συντελεστής ψυκτικής απόδοσης των κλιματιστικών που εγκαθίστανται στα υπνοδωμάτια είναι 3,38, ενώ ο αντίστοιχος συντελεστής του κλιματιστικού που εγκαθίσταται στο σαλόνι είναι 3,23. Για το λόγο αυτό, στο λογισμικό οι δύο τύποι κλιματιστικών ξεχωριστά, ο κάθε ένας από τους οποίους θα εξυπηρετεί διαφορετικό ποσοστό της ψυχομένης επιφάνειας. Σταθμίζοντας το συνολικό ποσοστό ανάλογα με την επιφάνεια που εξυπηρετείται προκύπτει ότι, τα δυο κλιματιστικά των υπνοδωματίων καλύπτουν συνολικά 28% των ψυκτικών φορτίων, ενώ το κλιματιστικό του σαλονιού καλύπτει το υπόλοιπο 22%.

Το προφίλ της επέμβασης στο σύστημα ψύξης της κατοικίας όπως επίσης και τα κόστη κτήσης και εγκατάστασης, παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα. Σημειώνεται ότι στα κόστη συμπεριλαμβάνεται και το κόστος εργασίας απεγκατάστασης των παλαιών μονάδων και την εγκατάσταση των νέων.

Σύστημα ψύξης κατοικιών											
Μονάδα παραγωγής ψύξης											
Είδος μονάδας παραγωγής						Τοπική αντλία θερμότητας					
Είδος καυσίμου						Ηλεκτρικό ρεύμα					
Πραγματική θερμική ισχύς μονάδας (kW)						5		5			
Συντελεστής συμπεριφοράς μονάδας EER						3,38		3,23			
Κόστος						1627		1572			
Χώρος εγκατάστασης						Σαλόνι			Υπνοδωμάτια		
Μηνιαίο ποσοστό κάλυψης ψυκτικού φορτίου της θερμικής ζώνης από το σύστημα υπνοδωματίου (%)											
ΙΑΝ	0	ΦΕΒ	0	ΜΑΡ	0	ΑΠΡ	0	ΜΑΙ	0	ΙΟΥΝ	0,28
ΙΟΥΛ	0,28	ΑΥΓ	0,28	ΣΕΠΤ	0	ΟΚΤ	0	ΝΟΕ	0	ΔΕΚ	0
Μηνιαίο ποσοστό κάλυψης ψυκτικού φορτίου της θερμικής ζώνης από το σύστημα σαλονιού(%)											
ΙΑΝ	0	ΦΕΒ	0	ΜΑΡ	0	ΑΠΡ	0	ΜΑΙ	0	ΙΟΥΝ	0,22
ΙΟΥΛ	0,22	ΑΥΓ	0,22	ΣΕΠΤ	0	ΟΚΤ	0	ΝΟΕ	0	ΔΕΚ	0
Δίκτυο διανομής ψύξης											
Ψυκτική ισχύς που μεταφέρει το δίκτυο διανομής (kW)						Δεν υπάρχει κεντρικό δίκτυο διανομής 0					
Χώρος διέλευσης						Εσωτερικοί χώροι					
Βαθμός ψυκτικής απόδοσης δικτύου διανομής (%)						100					
Τερματικές μονάδες											
Είδος τερματικών μονάδων θέρμανσης χώρων						Τοπικές αντλίες θερμότητας					
Θερμική απόδοση τερματικών μονάδων						0,93					
Βοηθητική ενέργεια											
Τύπος βοηθητικών συστημάτων				Αριθμός συστημάτων				Ισχύς βοηθητικών συστημάτων (KW)			
-				-				-			

Πίνακας 4.25: Σύστημα Ψύξης



4.6.3. Αναβάθμιση συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.

Συγκριτικά με τα φορτία θέρμανσης, το μερίδιο ενέργειας που κατέχουν τα φορτία ζεστού νερού χρήσης είναι μικρότερο. Ωστόσο, η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για ZNX είναι αρκετά υψηλότερη της αντίστοιχης κατανάλωσης που παρουσιάζει το κτίριο αναφοράς, και αυτό διότι στο κτίριο αναφοράς η παραγωγή ZNX γίνεται με λέβητα πετρελαίου και ηλιακούς συλλέκτες. Με στόχο τη μείωση των καταναλώσεων αυτής της κατηγορίας κρίνεται απαραίτητο μεταξύ των επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας να συμπεριληφθούν επεμβάσεις στο σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, με κυριότερη την εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων.

Σύμφωνα με το άρθρο 8, παράγραφος 3, του Κ.Εν.Α.Κ, σε όλα τα νέα ή ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια είναι υποχρεωτική η κάλυψη μέρους των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης από ηλιοθερμικά συστήματα. Το ελάχιστο ποσοστό του ηλιακού μεριδίου σε ετήσια βάση καθορίζεται σε 60%.

Η κάλυψη των αναγκών σε ZNX θα γίνεται μέσω ενός συστήματος τριπλής ενέργειας, το οποίο θα αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, την εκάστοτε μονάδα παραγωγής και την ηλεκτρική αντίσταση, η οποία λειτουργεί εφεδρικά. Ο συνδυασμός των τριών αυτών πηγών γίνεται με την εγκατάσταση θερμοδοχείου με διπλή σερπαντίνα., ως μέσο παραγωγής και αποθήκευσης ζεστού νερού. Επιπροσθέτως, το σύστημα περιλαμβάνει ειδικούς αυτοματισμούς οι οποίοι δίνουν πάντα προτεραιότητα στην ηλιακή ενέργεια, και μόνο όταν η τελευταία δεν επαρκεί χρησιμοποιούνται και οι υπόλοιπες πηγές.

Κατά τη διάρκεια όλου του έτους, η χρήση της ηλεκτρικής αντίστασης είναι εφεδρική. Σύμφωνα με τις οδηγίες του προγράμματος, σε αυτήν την περίπτωση, η ηλεκτρική αντίσταση δε συμμετέχει καθόλου στο ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου. Επομένως, στον τύπο μονάδας εισάγεται μόνο η μονάδα θέρμανσης και ο μέσος μηνιαίος βαθμός κάλυψης του λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα (100% κάλυψη) για όλους τους μήνες που λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης. Για τους υπόλοιπους μήνες λαμβάνεται ποσοστό κάλυψης ίσο με το μηδέν.

4.6.3.1. Αναβάθμιση συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης με χρήση των μονάδων παραγωγής θέρμανσης

Η μονάδα θέρμανσης κάθε σεναρίου λειτουργεί ως βοηθητική μονάδα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης. Για την ενεργειακή μελέτη του συστήματος, χρησιμοποιούνται τα



χαρακτηριστικά του συστήματος θέρμανσης, όπως αυτά παρουσιάζονται στη διεπαφή της θέρμανσης.

Δεδομένου ότι η μονάδα θέρμανσης εγκαθίσταται στο λεβητοστάσιο, το ηλιακό σύστημα μαζί με το θερμοδοχείο, θα τοποθετηθούν στο λεβητοστάσιο, για απλοποίηση της διάταξης. Ο βαθμός απόδοσης του θερμοδοχείου καθορίζεται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 στην παράγραφο 4.8.3. Βάσει της παραγράφου αυτής, οι συνολικές απώλειες του θερμοδοχείου για τοποθέτηση του σε εσωτερικό μη θερμαινόμενο χώρο είναι 7%(=5% απώλειες εναλλάκτη + 2% πλευρικές απώλειες). Ο βαθμός απόδοσης προκύπτει ως το συντελεστή θερμικών απωλειών, δηλαδή 93%.

Καθώς το θερμοδοχείο τοποθετείται στο λεβητοστάσιο, απαιτείται επιπλέον εγκατάσταση δικτύου διανομής για τη μεταφορά του ζεστού νερού χρήσης στην κατοικία. Το δίκτυο θεωρούμε ότι θα είναι κατάλληλης διατομής και επαρκώς μονωμένου. Τέλος, σύμφωνα με την παράγραφο 4.8.3 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, ο βαθμός απόδοσης του δικτύου λαμβάνεται ίσος με 92%, βάσει του πίνακα 4.16 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. και εφόσον θεωρείται επαρκώς μονωμένο.

Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης-Z.N.X											
Μονάδα παραγωγής Z.N.X											
Τύπος μονάδας			Καύσιμο			Ισχύς			Βαθμός Απόδοσης		
Συμβατικός λέβητας			Φυσικό αέριο			20			92		
Λέβητας Συμπύκνωσης			Φυσικό Αέριο			3,9			88		
Λέβητας Pellets			Pellets (βιομάζα)			20,93			90		
Αντλία Θερμότητας Υ.Θ.			Ηλεκτρικό			16			2,41		
μ-ΣΗΘ			Φυσικό Αέριο			19			64,6		
Μηνιαίο ποσοστό κάλυψης ψυκτικού φορτίου της θερμικής ζώνης από το σύστημα υπνοδωματίου (%)											
ΙΑΝ	1	ΦΕΒ	1	ΜΑΡ	1	ΑΠΡ	1	ΜΑΙ	0	ΙΟΥΝ	0
ΙΟΥΛ	0	ΑΥΓ	0	ΣΕΠΤ	0	ΟΚΤ	1	ΝΟΕ	1	ΔΕΚ	1
Δίκτυο διανομής ZNX											
Χώρος διέλευσης						Εσωτερικοί χώροι					
Ανακυκλοφορία						Όχι					
Βαθμός θερμικής απόδοσης δικτύου διανομής (%)						92%					
Κόστος €						300					
Μονάδα αποθήκευσης θερμότητας											
Είδος αποθήκευσης ζεστού νερού χρήση						Ηλιακός Θερμαντήρας					
Θερμική απόδοση μονάδας αποθήκευσης Z.N.X						93,0%					

Πίνακας 4.26: Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης-Z.N.X



4.6.3.2. Ηλιακοί συλλέκτες για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης

Για την κάλυψη των φορτίων μιας κατοικίας, επιλέγεται η εγκατάσταση δυο επίπεδων ηλιακών συλλεκτών υψηλής απόδοσης εν σειρά, η τοποθέτηση των οποίων θα γίνει πάνω στην οροφή του λεβητοστασίου. Για να επιτευχθεί μέγιστη ετήσια αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, οι συλλέκτες θα τοποθετηθούν με νότιο προσανατολισμό και σε κλίση ίση περίπου με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, δηλαδή 40°.

Το ολοκληρωμένο ηλιακό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, απαρτίζεται από τα παρακάτω στοιχεία:

- i) 2 επιλεκτικούς επίπεδους συλλέκτες καλής ποιότητας, συνολικής συλλεκτικής επιφάνειας 4,3m²
- ii) Τη βάση ταράτσας των συλλεκτών
- iii) Ανοξείδωτη σπирάλ μόνωση 30m και με μόνωση πάχους 13 mm
- iv) Ψηφιακός διαφορικός ελεγκτής με αισθητήρια συλλεκτών και θερμοδοχείου.
- v) Αντλιοστάσιο ηλιακών με κυκλοφορητή και τα απαραίτητα όργανα και βαλβίδες ελέγχου και ασφαλείας,
- vi) Δοχείο διαστολής για ηλιακά, μεγέθους 18 lt
- vii) Θερμοδοχείο τριπλής ενέργειας 300 lt, μεταλλικό με υάλωση εμαγιέ εσωτερικά, και ηλεκτρική αντίσταση 4kW.
- viii) Αντιψυκτικό υψηλών θερμοκρασιών ειδικό για ηλιακά
- ix) Σύνδεση μέσω τρίοδης βάνας με τη βοηθητική πηγή και αισθητήριο θερμοκρασίας,

Συνοπολογίζοντας το κόστος κτήσης των παραπάνω εξαρτημάτων με το κόστος εργασίας για την τοποθέτηση, πλήρωση και εκκίνηση συστήματος προκύπτει ότι, το συνολικό κόστος της επέμβασης εγκατάστασης των ηλιακών είναι γύρω στα 5000€, συμπεριλαμβανομένου του Φ.Π.Α.. Το κόστος αυτό ανάγεται στην εγκατεστημένη συλλεκτική επιφάνεια που πρόκειται να εγκατασταθεί.

Τα στοιχεία της επέμβασης όπως αυτά εισάγονται στην ενεργειακή μελέτη, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος	Θέρμανση	ZNX	Συν. α	Συν. β	Επιφάνεια (m ²)	γ(°)	β(°)	F _s	Κόστος €
Επίπεδος επιλεκτικός συλλέκτης	-	Ναι	0,337	-	4,3	180	40	1	1163

Πίνακας 4.27: Στοιχεία ηλιακού συστήματος



Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί για τον υπολογισμό του συντελεστή αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας σε όλα τα ηλιακά συστήματα γίνεται με τη μέθοδο καμπυλών f {S. Klein, W.A. Beckman και J.A Duffie, Πανεπιστήμιο του Winsconsin}, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 12976.2:2006. Το φορτίο που καλύπτεται από το ηλιοθερμικό σύστημα ταυτίζεται με τις ενεργειακές ανάγκες της κατοικίας, όπως αυτές υπολογίσθηκαν από το λογισμικό του TEE-KENAK.

4.6.4. Αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης με αξιοποίηση ηλιοθερμικού συστήματος

Η εγκατάσταση των μονάδων που αναφέρθηκαν παραπάνω αναμένεται να μειώσουν την καταναλισκόμενη ενέργεια του συστήματος. Ωστόσο καθώς δεν προβλέπεται μόνωση των δομικών στοιχείων του κτιρίου, οι ενεργειακές απαιτήσεις που τα συστήματα θα πρέπει να καλύψουν, εξακολουθούν να είναι υψηλές. Μια προσέγγιση της μείωσης των καταναλώσεων είναι η κάλυψη μέρους αυτών από μονάδες με χαμηλούς έως μηδενικούς ρύπους.

Στα πλαίσια της προσέγγισης αυτής εξετάζεται η κάλυψη μέρους των θερμικών απαιτήσεων με χρήση ηλιακής υποβοήθησης θέρμανσης, έτσι ώστε να μειωθούν οι καταναλώσεις από την κύρια μονάδα θέρμανσης. Η εγκατάσταση του ηλιακού συστήματος θα εξετασθεί σε συνδυασμό με όλες τις μονάδες παραγωγής θέρμανσης που παρουσιάσθηκαν παραπάνω, μέσω του συνεργαζόμενου θερμοδοχείου, ώστε να διαπιστωθεί το μέγεθος της συμβολής του συστήματος στην μείωση των καταναλώσεων. Η εκτέλεση του προγράμματος θα γίνει εκ νέου διατηρώντας τα στοιχεία των μονάδων θέρμανσης σταθερά και μεταβάλλοντας τις τιμές του πεδίου που αναφέρεται στους ηλιακούς συλλέκτες.

Το ηλιοθερμικό σύστημα που πρόκειται να εγκατασταθεί θα αποτελείται από τους ίδιους συλλέκτες που εξετάσθηκαν για την παραγωγή ZNX. Το σύστημα όμως, πρέπει να είναι μεγαλύτερης συλλεκτικής, δεδομένου ότι αυξάνεται το φορτίο που καλούνται να καλύψουν οι ηλιακοί συλλέκτες, απαιτείται αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας. Για το λόγο αυτό θα εγκατασταθούν επτά (7) ηλιακοί επίπεδοι συλλέκτες συνολικής συλλεκτικής επιφάνειας 15,05 m². Για την τοποθέτηση του ηλιοθερμικού συστήματος και την εύρυθμη λειτουργία του σε συνδυασμό με την κύρια μονάδα παραγωγής απαιτείται η εγκατάσταση εξαρτημάτων ανάλογων εκείνων που περιλαμβάνονται στην περίπτωση ηλιακού συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, ενώ θα πρέπει να συμπεριληφθούν επιπλέον στοιχεία, όπως ένα δοχείο αδράνειας και επιπλέον αυτοματισμοί. Η επιβάρυνση του κόστους που οφείλεται στα



παραπάνω συστήματα είναι της τάξης των 3000-4000€, με αποτέλεσμα το συνολικό κόστος της επέμβασης να στα 9000€, συμπεριλαμβανομένου του Φ.Π.Α..

Η εγκατάσταση επτά συλλεκτών δεν επηρεάζει μόνο το σύστημα θέρμανσης αλλά και το σύστημα παραγωγής ζεστού νερού. Για το λόγο αυτό, στο παρόν σενάριο ο συντελεστής αξιοποίησης για ζεστό νερό χρήσης (συν. α) είναι διαφορετικός από τον αντίστοιχο συντελεστή που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως. Τα στοιχεία της επέμβασης όπως αυτά εισάγονται στην ενεργειακή μελέτη, για κάθε περίπτωση μόνωσης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος	Θέρμανση	ZNX	Συν. α	Συν. β	Επιφάνεια (m ²)	γ (°)	β (°)	F _s	Κόστος (€)
Επίπεδος επιλεκτικός συλλέκτης	Ναι	Ναι	0,116	0,142	15,05	180	40	1	598

Πίνακας 4.28: Στοιχεία ηλιακού συστήματος για θέρμανση και παραγωγή ZNX

4.6.5. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων παραμετρικής μελέτης

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των υπολογισμών, οι οποίοι εκτελέστηκαν τη χρήση του λογισμικού T.E.E -Κ.Εν.Α.Κ. για τα σενάρια επεμβάσεων στον Η/Μ εξοπλισμό. Στα ειδικά πεδία του προγράμματος εισήχθησαν οι τιμές των παραμέτρων των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και ZNX, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στους πίνακες. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν χωρίζονται σε δύο κύριες ομάδες, με κριτήριο την εφαρμογή ή όχι της ηλιακής θέρμανσης.

4.6.5.1. 1^η Περίπτωση: Θέρμανση χωρίς ηλιακή υποβοήθηση

Στα εξεταζόμενα σενάρια περιλαμβάνεται η αντικατάσταση του υφιστάμενου λέβητα με νέα μονάδα θέρμανσης, χωρίς την εγκατάσταση ηλιοθερμικού συστήματος για τη θέρμανση του κτιρίου. Ταυτόχρονα εγκαθίστανται νέα κλιματιστικά, για τη ψύξη του κτιρίου, και ηλιακοί συλλέκτες για την κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους των απαιτήσεων σε ZNX.

Στις διεπαφές του προγράμματος εισήχθησαν οι τιμές των παραμέτρων για κάθε ένα από τα αναφερθέντα σενάρια, με στόχο τον υπολογισμό του αντίκτυπου που θα είχε κάθε επέμβαση στο ενεργειακό προφίλ του υφιστάμενου κτιρίου. Οι εξεταζόμενες επεμβάσεις παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ονομαστικής ισχύος και βαθμού απόδοσης στο σύστημα παραγωγής. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι αναζητήθηκαν αντιπροσωπευτικά συστήματα των εξεταζόμενων τεχνολογιών, χαρακτηριστικών τέτοιων ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις του συστήματος θέρμανσης της κατοικίας



Υπενθυμίζουμε ότι, στις εξεταζόμενες επεμβάσεις δεν συμπεριλαμβάνεται θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους, και έτσι οι επεμβάσεις συγκρίνονται για τις ίδιες ενεργειακές ανάγκες. Για το λόγο αυτό διατηρούνται σταθερές οι παράμετροι που αναφέρονται στο κέλυφος του κτιρίου.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται η μεταβολή των ενεργειακών καταναλώσεων του κτιρίου συναρτήσει των εξεταζόμενων επεμβάσεων, όπως αυτή υπολογίστηκε από το λογισμικό.

Καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια σε kWh/m ² θερμαινόμενου χώρου ανά τελική χρήση και επέμβαση							
	Κτίριο αναφ.	Υπάρχον κτίριο	Συμβατικός Λέβητας	Λέβητας Συμπύκνωσης	Λέβητας Pellets	μ-Σ.Η.Θ	Αντλία Θερμότητας Υ.Θ.
Θέρμανση	76,9	542,2	359,4	337,9	353,2	508,3	381,6
Ψύξη	22,3	37,6	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
ZNX	33,3	84,7	10,1	10,6	9,8	14,4	10,6
Φωτισμός	0	0	0	0	0	0	0
Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	132,5	664,4	385	364	378,5	538,1	407,7
Κατάταξη	-	H	H	H	H	H	H

Πίνακας 4.29 : Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) μετά την επέμβαση στον Η/Μ εξοπλισμό του κτιρίου χωρίς ηλιακή θέρμανση, και ενεργειακή κατάταξη αυτού

Εξοικονόμηση και κόστος	Κτίριο αναφ.	Υπάρχον κτίριο	Λέβητας Συμβατ.	Λέβητας Συμπύκν.	Λέβητας Pellets	μ-ΣΗΘ	Αντλία Θερμότητας Υ.Θ.
Λειτουργικό κόστος (€)	1.099,90	5.736,50	3.081,10	2.907,00	477,6	4.347,60	1.605,30
Αρχικό κόστος επένδυσης (€)			14.054,90	15.004,90	14.064,90	41.554,90	17.554,90
Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)			42,1	45,2	43	19	38,6
Μείωση εκπομπών CO ₂ (Kg/m ²)			96	99,9	161,2	67,9	33,6
Περίοδος αποπληρωμής (έτη)			5,3	5,3	2,7	29,9	4,2

Πίνακας 4.30: Οικονομικά στοιχεία των επεμβάσεων αναβάθμισης του Η/Μ εξοπλισμού χωρίς ηλιακή θέρμανση και εξοικονόμηση των εκπεμπόμενων ρύπων



4.6.5.2. 2^η Περίπτωση: Θέρμανση με ηλιακή υποβοήθηση

Στην παρούσα περίπτωση επεμβάσεων, εκτός από την εγκατάσταση των νέων μονάδων που εξετάζονται στην προηγούμενη περίπτωση, συμπεριλαμβάνεται και η εγκατάσταση ηλιακού συστήματος ικανού να καλύψει τις ανάγκες σε ZNX και θέρμανση. Κατά τη λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος, το ZNX έχει πάντα προτεραιότητα έναντι της θέρμανσης. Η εκμεταλλεύομενη από τον ήλιο ενέργεια διατίθεται για θέρμανση μόνο αν έχει εξασφαλισθεί η κάλυψη των αναγκών σε ZNX.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα της μελέτη των σεναρίων. Όλες οι παράμετροι που εισήχθησαν στην προηγούμενη ενότητα διατηρούνται, ενώ μεταβάλλονται μόνο οι τιμές του πίνακα των ηλιακών συλλεκτών.

Καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια σε kWh/m ² θερμαινόμενου χώρου ανά τελική χρήση και επέμβαση							
	Κτίριο αναφ.	Υπάρχον κτίριο	Λέβητας Συμβατ.	Λέβητας Συμπύκν.	Λέβητας Pellets	μ-ΣΗΘ	Αντλία Θερμότητας Υ.Θ.
Θέρμανση	76,9	542,2	344,9	324,3	339,1	487,6	366,3
Ψύξη	22,3	37,6	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
ZNX	33,3	84,7	7,6	8	7,4	10,9	8,1
Φωτισμός	0	0	0	0	0	0	0
Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	132,5	664,4	368	347,8	362	514	389,8
Κατάταξη	-	H	H	Z	H	H	H

Πίνακας 4.31 : Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) μετά την επέμβαση στον Η/Μ εξοπλισμό του κτιρίου με ηλιακή θέρμανση, και ενεργειακή κατάταξη αυτού

Εξοικονόμηση και κόστη	Κτίριο αναφ.	Υπάρχο ν κτίριο	Λέβητας Συμβατ.	Λέβητας Συμπύκν.	Λέβητας Pellets	μ-ΣΗΘ	Αντλία Θερμότητ ας Υ.Θ.
Λειτουργικό κόστος (€)	1.099,90	5.736,50	2.942,00	2.774,40	460,3	4.149,60	1.535,50
Αρχικό κόστος επένδυσης (€)			18.053,90	19.003,90	18.063,90	45.553,90	21.553,90
Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)			296,4	316,6	302,4	150,5	274,6
Μείωση εκπομπών CO ₂ (Kg/m ²)			44,6	47,7	45,5	22,6	41,3
Περίοδος αποπληρ. (έτη)			0,6	0,6	0,6	3	0,8

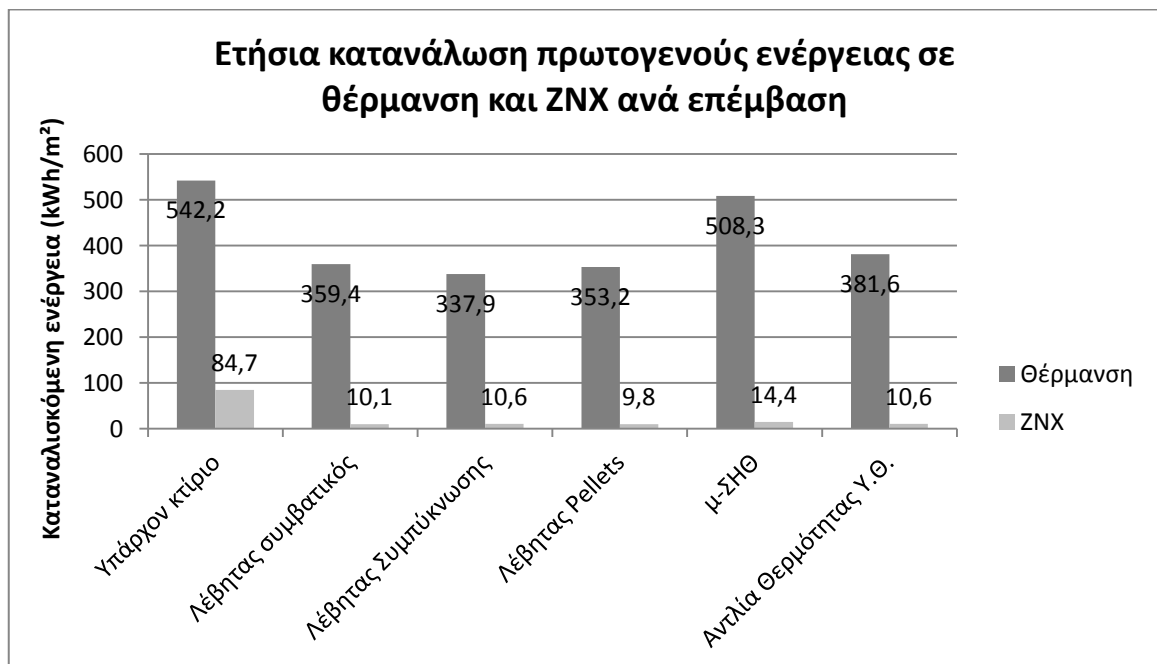
Πίνακας 4.32: Οικονομικά στοιχεία των επεμβάσεων αναβάθμισης του Η/Μ εξοπλισμού με ηλιακή θέρμανση και εξοικονόμηση των εκπεμπόμενων ρύπων

4.7. Γενικά συμπεράσματα από την αναβάθμιση του Η/Μ εξοπλισμού για αμόνωτη κατοικία

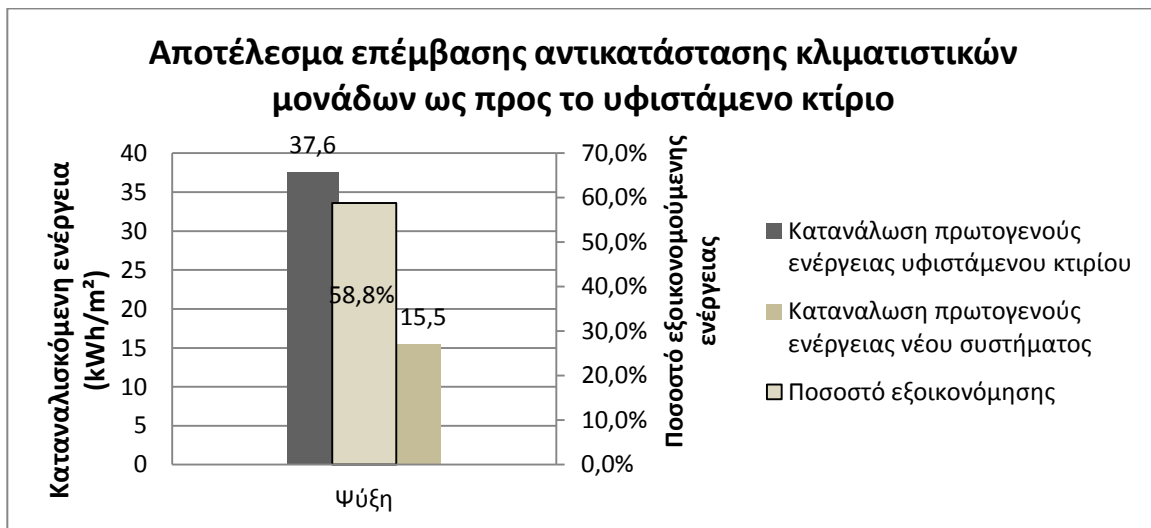
Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκαν οι δυνατές επεμβάσεις που μπορούν να συμπεριληφθούν για την ανακαίνιση ενός υφιστάμενου κτιρίου. Η εκτέλεση των υπολογισμών για την εκπόνηση της μελέτης έγινε σύμφωνα με τις προδιαγραφές των Τεχνικών Οδηγιών του Τ.Ε.Ε. Τα συμπεράσματα που εξάγονται από την εκτέλεση του λογισμικού παρουσιάζονται παρακάτω.

4.7.1. Ενεργειακό προφίλ κατοικίας με παράμετρο την εγκαθιστάμενη μονάδα θέρμανσης χωρίς ηλιακή θέρμανση

Στον Πίνακα 4.29 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την καταναλισκόμενη πρωτογενή ενέργεια ανά τελική χρήση και συνολικά του κτιρίου, μετά την επέμβαση στον Η/Μ.



Διάγραμμα 4.2: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) για θέρμανση και ΖΝΧ ανά εξεταζόμενη επέμβαση, χωρίς ηλιακή υποβοήθηση στην περίπτωση κάλυψης των θερμικών αναγκών αμόνωτης κατοικίας



Διάγραμμα 4.3: Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας για ψύξη(kWh/m²) λόγω αντικατάστασης των παλαιών κλιματιστικών, σε αμόνωτη κατοικία.

Η κύρια επέμβαση πραγματοποιείται στο σύστημα θέρμανσης της κατοικίας. Ωστόσο, υπενθυμίζεται ότι εκτός από τις επεμβάσεις αναβάθμισης του συστήματος θέρμανσης, αντικαθίσταται και το σύστημα ψύξης, με στόχο την βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου συνολικά. Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.29 διαπιστώνουμε ότι, η αντικατάσταση των παλαιών κλιματιστικών, με κλιματιστικά νέας τεχνολογίας οδήγησε σε μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων κατά 22,1kWh/m², με αποτέλεσμα η τελική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για ψύξη να είναι χαμηλότερη του κτιρίου αναφοράς.

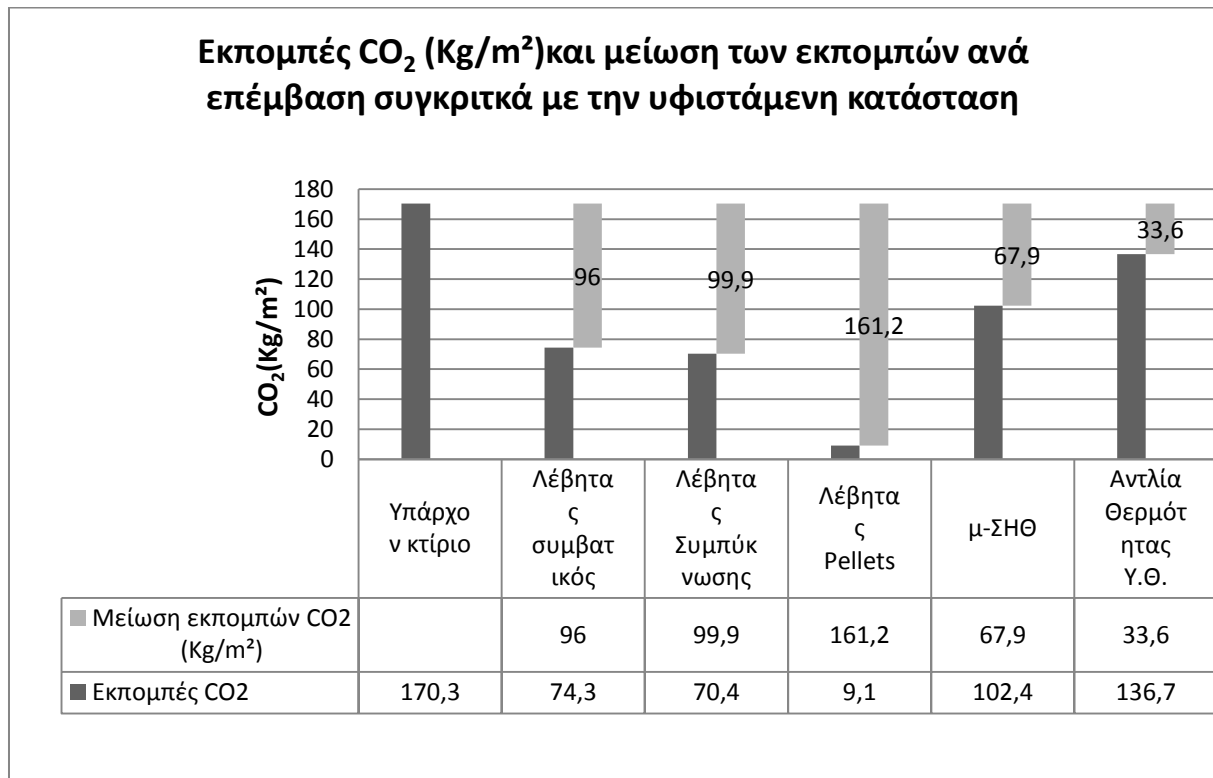
Η μονάδα θέρμανσης που εγκαθίσταται εκτός από την κάλυψη των απαιτήσεων σε θέρμανση, είναι υπεύθυνη για την υποβοήθηση της παραγωγής ZNX, όταν δεν επαρκεί η ηλιακή ενέργεια (λ.χ. λόγω συννεφιάς). Βάσει των αποτελεσμάτων του Πίνακα 4.29 διαπιστώνεται ότι η εφαρμογή των νέων μονάδων θέρμανσης συμβάλλει στη μείωση των επιπέδων καταναλισκόμενης πρωτογενούς ενέργειας σε θέρμανση και ZNX. Ιδίως στην περίπτωση του ZNX, χάριν στην συμβολή των ηλιακών συλλεκτών, οι οποίοι εξασφαλίζουν ετησίως 22,9 kWh/m², η ελάττωση των φορτίων οδηγεί σε επίπεδα καταναλώσεων χαμηλότερα του κτιρίου αναφοράς.

Αντίθετα, η επίδραση της αναβάθμισης του συστήματος παραγωγής θερμότητας στα επίπεδα των καταναλώσεων για τη θέρμανση ανά επέμβαση είναι χαμηλότερη. Όπως παρατηρείται στο Διάγραμμα 4.2 παρά την μείωση τους, τα επίπεδα της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση διατηρούνται υψηλά. Αποτέλεσμα αυτού είναι η συνολική



κατανάλωση ενέργειας να παραμένει υψηλή συγκριτικά με το κτίριο αναφοράς, έχοντας σαν συνέπεια η ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου να παραμένει ίδια (H).

Η μείωση των καταναλώσεων καυσίμου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της πρωτογενούς καταναλισκόμενης ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα συμβάλει και στη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων CO₂.



Διάγραμμα 4.4: Εκπομπές CO₂ (Kg/m²) και μείωση των εκπομπών ανά επέμβαση που εξετάζεται για αμόνωνη κατοικία

Πηγή ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας (kgCO ₂ /kWh)
Φυσικό αέριο	1,05	0,196
Πετρέλαιο θέρμανσης	1,10	0,264
Ηλεκτρική ενέργεια	2,90	0,989
Υγραέριο	1,05	0,238
Βιομάζα	1,00	---
Τηλεθέρμανση από Δ.Ε.Η.	0,70	0,347

Πίνακας 4.33: Συντελεστής αναγωγής της κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου σε πρωτογενή ενέργεια, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010.

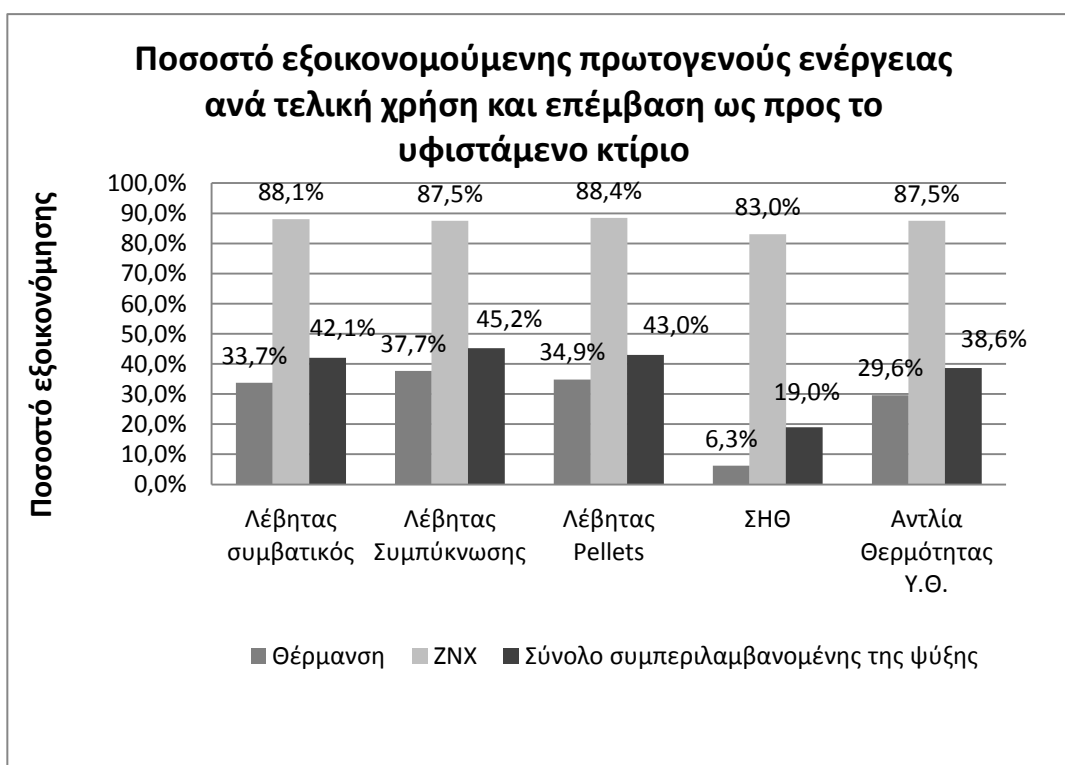
Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.33, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας προκαλεί την υψηλότερη έκλυση ρύπων ανά μονάδα καταναλισκόμενης ενέργειας, σε αντίθεση με τη βιομάζα για την



οποία οι αντίστοιχες εκπομπές θεωρούνται αμελητέες. Αυτό δικαιολογεί την μεγαλύτερη μείωση που παρουσιάζει η χρήση λέβητα pellets, σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.4, έναντι των υπόλοιπων μονάδων, και κυρίως της αντλίας θερμότητας, η οποία χρησιμοποιεί αποκλειστικά ηλεκτρική ενέργεια.

Όσον αφορά τις μονάδες που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, παρατηρούμε ότι η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων είναι ανάλογη του βαθμού απόδοσης της μονάδας θέρμανσης. Συγκεκριμένα, η μονάδα Σ.Η.Θ. παρουσιάζει μικρότερη μείωση εκπομπών σε σύγκριση με τους λέβητες αερίου, λόγω της μεγάλης κατανάλωσης καυσίμου που συνεπάγεται ο χαμηλός βαθμός απόδοσης. Αντίθετα, ο λέβητας συμπύκνωσης, ο οποίος έχει το μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μείωση εκπομπών CO₂, μεταξύ των μονάδων με καύσιμο το φυσικό αέριο.

Στο Διάγραμμα 4.5 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της εξοικονομούμενης ενέργειας ως προς το υφιστάμενο κτίριο, για κάθε μια από τις εξεταζόμενες επεμβάσεις. Το συνολικό ποσοστό εξοικονόμησης, προκύπτει συνυπολογίζοντας το εξοικονομούμενο ποσοστό χάριν στη λειτουργία των νέων κλιματιστικών. Τονίζεται ότι, στις συνολικές καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας δεν συμπεριλαμβάνονται οι καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος για το φωτισμό και τις λοιπές συσκευές της κατοικίας.



Διάγραμμα 4.5: Ποσοστό εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση και επέμβαση σε αμόνωτη κατοικία ως προς το υφιστάμενο κτίριο



Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν συμπεραίνονται τα ακόλουθα:

a) Η αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών παρουσιάζει χαμηλή ονομαστική ισχύ συγκριτικά με τις υπόλοιπες μονάδες, ενώ ο συντελεστής COP είναι χαμηλός για την τεχνολογία των αντλιών θερμότητας. Ο συνδυασμός αυτών των στοιχείων οδηγεί τελικά σε υψηλότερες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας συγκριτικά με τους λέβητες, και επομένως σε μικρότερη εξοικονόμηση ενέργειας, περίπου 38,6%. Επιπροσθέτως, λόγω κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, η μείωση των εκπομπών είναι η χαμηλότερη μεταξύ των επεμβάσεων.

b) Η μ-Σ.Η.Θ. παρουσιάζει ονομαστική ισχύ ανάλογη των λεβήτων, όμως ο βαθμός απόδοσης είναι πολύ χαμηλότερος. Ο χαμηλός βαθμός απόδοσης αναγκάζει το σύστημα να καταναλώνει μεγαλύτερα ποσά πρωτογενούς ενέργειας, ώστε να καλυφθούν οι υψηλές θερμικές απαιτήσεις της κατοικίας. Όπως παρατηρούμε και στο Διάγραμμα 4.5, η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνει το σύστημα συμπαραγωγής είναι μόλις 6,3%, η οποία είναι αμελητέα έναντι της αντίστοιχης εξοικονόμησης που επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση των υπόλοιπων μονάδων.

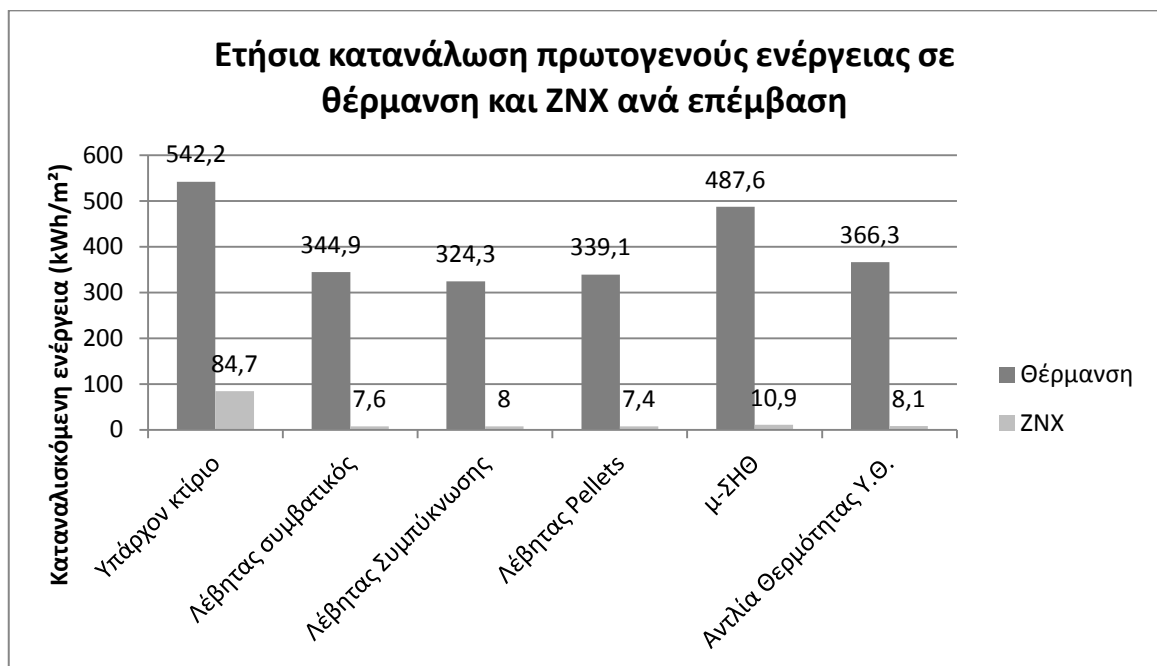
c) Ο λέβητας συμπύκνωσης επιτυγχάνει την μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας συνολικά, σχεδόν 45,2%, συγκριτικά με το συμβατικό λέβητα φυσικού αερίου και το λέβητα pellets, οι οποίοι επιτυγχάνουν 42,1% και 43% αντίστοιχα. Η μεγάλη εξοικονόμηση που επιτυγχάνει ο λέβητας συμπύκνωσης οφείλεται κατά κύριο λόγο στον υψηλό βαθμό απόδοσης σε σχέση με τους άλλους δύο λέβητες, ο οποίος συμβάλει στη χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου.

d) Συγκρίνοντας το συμβατικό λέβητα φυσικού αερίου με το λέβητα pellets παρατηρούμε ότι, ο πρώτος παρουσιάζει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης και επομένως καταναλώνεται ελαφρώς μικρότερη ποσότητα φυσικού αερίου σε σχέση με τα pellets. Ωστόσο, ο χαμηλότερος συντελεστής αναγωγής της βιομάζας σε πρωτογενή ενέργεια σε σχέση με τον αντίστοιχο συντελεστή του φυσικού αερίου, έχει ως συνέπεια ο λέβητας pellets να παρουσιάζει χαμηλότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Για το λόγο αυτό η ποσοστιαία εξοικονόμηση που επιτυγχάνει ο λέβητας pellets, είναι υψηλότερη της αντίστοιχης εξοικονόμησης του συμβατικού λέβητα φυσικού αερίου.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις οδηγούν στο συμπέρασμα, μεταξύ των προτεινόμενων επεμβάσεων, οι δυο πιο αποδοτικές επεμβάσεις για την αναβάθμιση του Η/Μ μιας υφιστάμενης κατοικίας φαίνεται να είναι ο λέβητας συμπύκνωσης και ο λέβητας pellets.

4.7.2. Ενεργειακό προφίλ κατοικίας με παράμετρο την εγκαθιστάμενη μονάδα θέρμανσης με ηλιακή θέρμανση

Οι υψηλές καταναλώσεις που παρατηρούνται στο Διάγραμμα 4.2 οφείλονται στις υψηλές θερμικές απώλειες του αμόνωτου κτιρίου, οι οποίες συνεπάγονται την κατανάλωση υψηλών ποσών πρωτογενούς ενέργειας για την κάλυψη τους. Με την ηλιακή θέρμανση οι τιμές της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση παρουσιάζουν μείωση, οδηγώντας σε ταυτόχρονη μείωση των συνολικών καταναλώσεων. Στον Πίνακα 4.31 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την καταναλισκόμενη πρωτογενή ενέργεια ανά τελική χρήση και συνολικά, εάν στις προαναφερθείσες επεμβάσεις συμπεριληφθεί η ηλιακή θέρμανση.



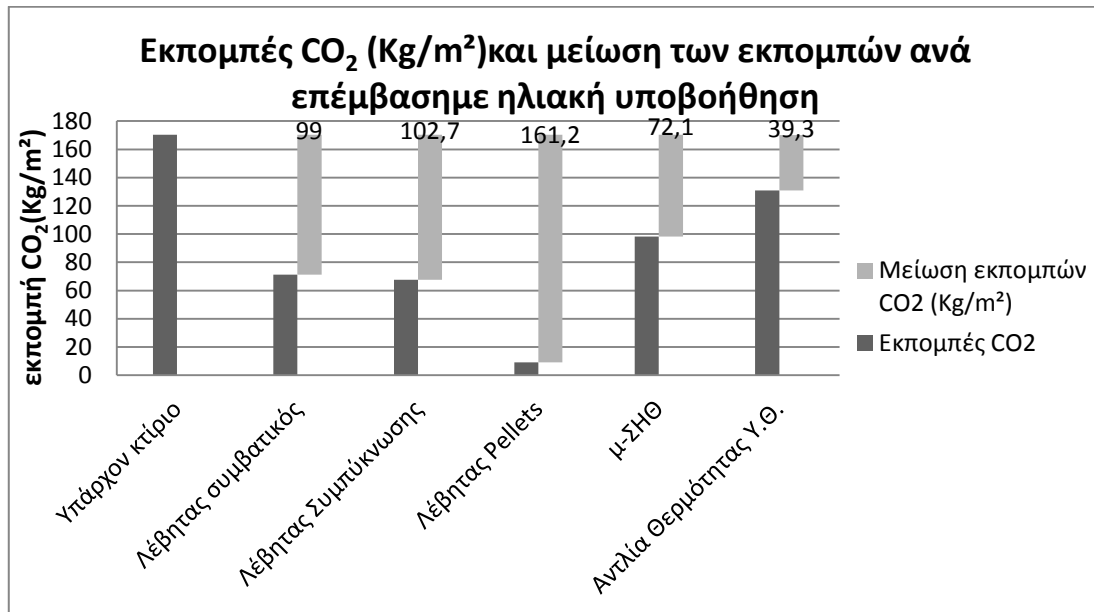
Διάγραμμα 4.6: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) για θέρμανση και ZNX ανά εξεταζόμενη επέμβαση σε αμόνωτη κατοικία, με ηλιακή υποβοήθηση

Η εγκατάσταση της ηλιακής υποβοήθησης δεν επιδρά στα φορτία ψύξης, και για το λόγο αυτό η εξοικονόμηση για την ψύξη παραμένει σταθερή 58,8%.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.31 και το Διάγραμμα 4.6, διαπιστώνουμε ότι εφόσον οι μονάδες θέρμανσης παραμένουν σταθερές, η μείωση των καταναλώσεων για ZNX οφείλεται στην αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας του ηλιακού συστήματος. Επομένως η εξεταζόμενη μονάδα θέρμανσης που εγκαθίσταται καταναλώνει λιγότερη ενέργεια για την κάλυψη των παραγωγή ZNX. Αποτέλεσμα αυτού είναι η περαιτέρω μείωση της καταναλισκόμενης πρωτογενούς ενέργειας για ZNX.

Ωστόσο, αν και σημειώνεται μεγαλύτερη μείωση των καταναλώσεων για θέρμανση, τα επίπεδα καταναλώσεων διατηρούνται υψηλά. Αυτό διαπιστώνεται και από την κατάταξη του κτιρίου για κάθε εξεταζόμενη επέμβαση, η οποία εξακολουθεί να είναι (H) για όλες τις επεμβάσεις, πλην αυτή που αφορά την εγκατάσταση λέβητα συμπύκνωσης.

Μικρή βελτίωση παρατηρείται και στις εκπομπές CO₂ μετά την εφαρμογή της ηλιακής θέρμανσης, όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 4.7.



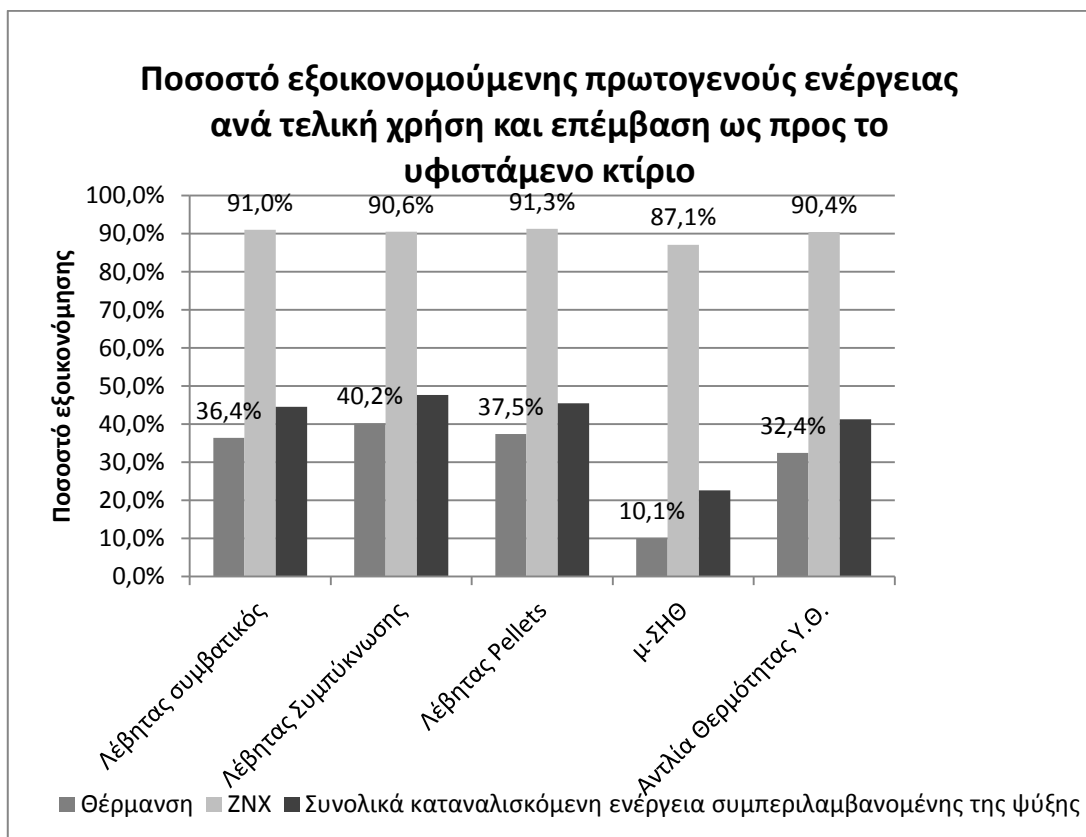
Διάγραμμα 4.7: Εκπομπές CO₂ (Kg/m²) και μείωση των εκπομπών ανά επέμβαση σε αμόνωτη κατοικία με ηλιακή υποβοήθηση

Με την εφαρμογή της ηλιακής θέρμανσης επιτυγχάνεται ο μετριασμός των καταναλισκόμενων ποσών ενέργειας, μειώνοντας ταυτόχρονα και το επίπεδο των εκπομπών. Μόνο στην περίπτωση του λέβητα pellets δεν παρατηρείται μείωση στις εκπομπές CO₂, οι οποίες ωστόσο διατηρούνται σταθερές. Αυτό συμβαίνει διότι, οι εκπομπή ρύπων της επέμβασης αυτής αφορά μόνο την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος από τα κλιματιστικά και τα βοηθητικά συστήματα των εγκαταστάσεων θέρμανσης (λ.χ. κυκλοφορητής).

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν επαληθεύουν τις παρατηρήσεις της προηγούμενης ενότητας. Η διαφορά μεταξύ του ηλιακά υποβοηθούμενου συστήματος και του συστήματος χωρίς ηλιακή θέρμανση ανά εξεταζόμενη επέμβαση είναι, η μείωση των επιπέδων της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση και ΖΝΧ.

Στο Διάγραμμα 4.8 παρουσιάζεται το ποσοστό της εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας σε σχέση με την ενεργειακή κατανάλωση του υφιστάμενου κτιρίου, ανά τελική

χρήση που επιτυγχάνει ετησίως κάθε μια από τις προτεινόμενες επεμβάσεις στο σύστημα παραγωγής θέρμανσης, συμπεριλαμβανομένης της εξοικονόμησης στο σύστημα ψύξης.



Διάγραμμα 4.8: Ποσοστό εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση και επέμβαση με ηλιακή υποβοήθηση σε αμόνωτη κατοικία, ως προς το υφιστάμενο κτίριο

Όπως διαπιστώνεται από το Διάγραμμα 4.8 το ποσοστό εξοικονομούμενης ενέργειας αυξάνεται συγκριτικά με την εξοικονόμηση που επιτυγχάνει το μη ηλιοβοηθούμενο σύστημα.

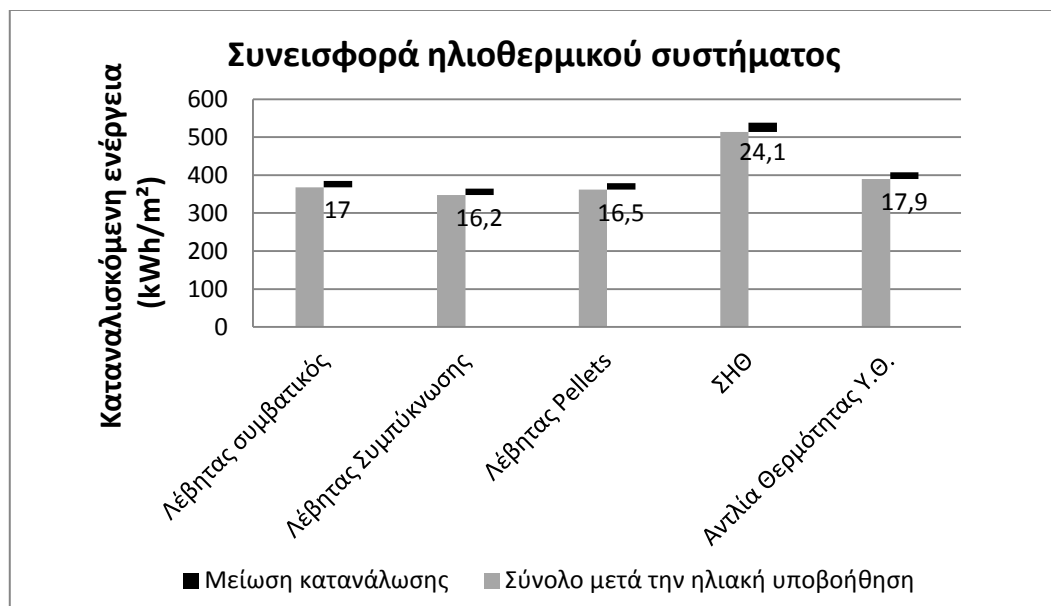
4.7.3. Συμπεράσματα για το ποσοστό συνεισφοράς της ηλιακής θέρμανσης στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου.

Με την ηλιακή υποβοήθηση αυτό που μεταβάλλεται ουσιαστικά είναι το επίπεδο των καταναλώσεων για θέρμανση και ZNX, ανά εξεταζόμενη επέμβαση. Συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν με τη χρήση του προγράμματος, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:



	Συνολικές καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας(kWh/m ²)		Μείωση της κατανάλωσης	Ποσοστό μείωσης
	Χωρίς ηλιακή υποβοήθηση	Με ηλιακή υποβοήθηση		
Λέβητας συμβατικός	385	368	17	4,42%
Λέβητας Συμπύκνωσης	364	347,8	16,2	4,45%
Λέβητας Pellets	378,5	362	16,5	4,36%
ΣΗΘ	538,1	514	24,1	4,48%
Αντλία Θερμότητας Υ.Θ.	407,7	389,8	17,9	4,39%

Πίνακας 4.34: Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ανά εξεταζόμενη επέμβαση λόγω εγκατάστασης συστήματος ηλιακής θέρμανσης για την κάλυψη των αναγκών αμόνωντης κατοικίας



Διάγραμμα 4.9: Μείωση καταναλώσεων πρωτογενούς ενέργειας ανά επέμβαση λόγω της συνεισφοράς του ηλιοθερμικού συστήματος στις ανάγκες αμόνωντης κατοικίας συγκριτικά με την κατανάλωση των αντίστοιχων επεμβάσεων χωρίς ηλιακή υποβοήθηση

Η μεγαλύτερη συνεισφορά του ηλιοθερμικού συστήματος σημειώνεται για την περίπτωση της μονάδας συμπαραγωγής, η οποία παρουσιάζει και τη μεγαλύτερη κατανάλωση. Αντίθετα, τη μικρότερη συνεισφορά την παρατηρούμε για το σύστημα λέβητα συμπύκνωσης, διότι στην περίπτωση αυτή οι καταναλώσεις είναι ήδη χαμηλές, λόγω του υψηλού βαθμού απόδοσης. Ωστόσο παρατηρείται ότι, για το μέγεθος της επέμβασης εγκατάστασης του ηλιοθερμικού συστήματος το ποσοστό εξοικονομούμενης ενέργειας ανά επέμβαση είναι αρκετά χαμηλό,

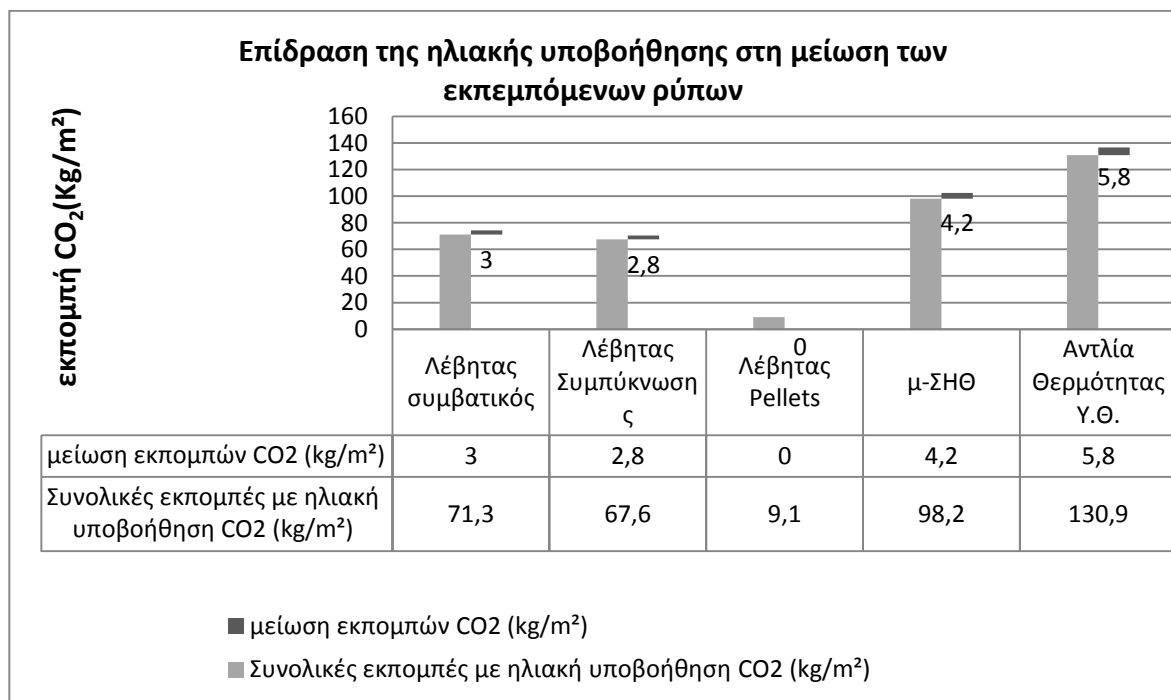


μικρότερο από 4,5%, που αντιπροσωπεύει ένα μικρό μέρος των καταναλώσεων πρωτογενούς ενέργειας του συστήματος.

Καθώς το επίπεδο εξοικονομούμενης ενέργειας είναι χαμηλό, αναμενόμενο είναι τα αποτελέσματα που αφορούν τους εκπεμπόμενους ρύπους να παρουσιάζουν ανάλογα μικρή πτώση των τιμών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του λογισμικού, η ετήσια μείωση των εκπομπών λόγω της επέμβασης της ηλιακής υποβοήθησης είναι χαμηλή συγκριτικά με τα τελικές εκπομπές CO₂ (kg/m²) με αποτέλεσμα το ποσοστό της μείωσης να είναι χαμηλό.

	Συνολικές εκπομπές χωρίς ηλιακή υποβοήθηση CO ₂ (kg/m ²)		Μείωση των εκπομπών CO ₂ (kg/m ²)	Ποσοστό μείωσης (%)
	Χωρίς ηλιακή υποβοήθηση	Με ηλιακή υποβοήθηση		
Λέβητας συμβατικός	74,3	71,3	3	4,04%
Λέβητας Συμπύκνωσης	70,4	67,6	2,8	3,98%
Λέβητας Pellets	9,1	9,1	0	0,00%
ΣΗΘ	102,4	98,2	4,2	4,10%
Αντλία Θερμότητας Υ.Θ.	136,7	130,9	5,8	4,24%

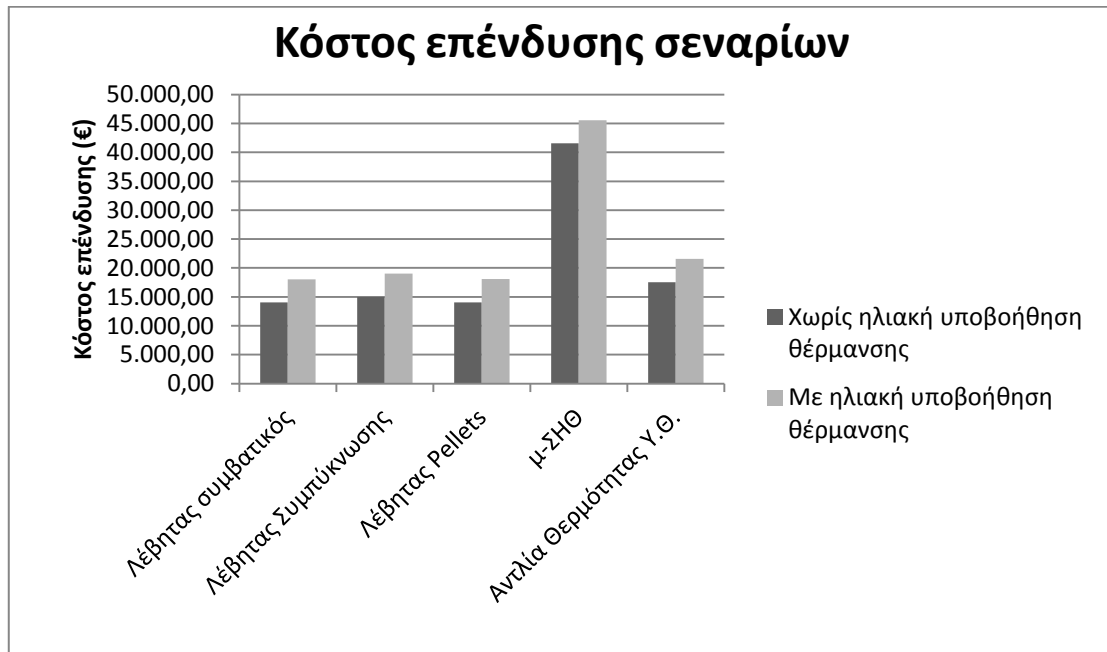
Πίνακας 4.35: Ενεργειακή εξοικονόμηση ανά εξεταζόμενη επέμβαση λόγω εγκατάστασης συστήματος ηλιακής θέρμανσης για την κάλυψη των αναγκών αμόνωτης κατοικίας



Διάγραμμα 4.10 : Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων ανά εξεταζόμενη επέμβαση σε αμόνωτη κατοικία λόγω εγκατάστασης συστήματος ηλιακής θέρμανσης συγκριτικά με τις εκπομπές των αντίστοιχων επεμβάσεων χωρίς ηλιακή υποβοήθηση

4.8. Οικονομική ανάλυση σεναρίων

Για τη σωστή επιλογή της επένδυσης, θα πρέπει να ελεγχθούν εκτός από τα ενεργειακά οφέλη και τα οικονομικά, ώστε να πραγματοποιηθεί η πιο συμφέρουσα επέμβαση. Εισάγοντας στο λογισμικό τα κόστη αγοράς και εγκατάστασης κάθε επιμέρους επέμβασης που εξετάστηκε, προκύπτουν τα συνολικά κόστη ανά επέμβαση.



Διάγραμμα 4.11: Κόστος επένδυσης για κάθε εξεταζόμενο σενάριο επέμβασης σε αμόνωτη κατοικία

Το Διάγραμμα 4.11 παρουσιάζει συγκεντρωμένα τα κόστη ανά εξεταζόμενη επέμβαση. Όπως παρατηρούμε και από το διάγραμμα, το κόστος ανά εξεταζόμενη επέμβαση μεταβάλλεται ανάλογα με την εφαρμοζόμενη τεχνολογία. Γενικά το κόστος των επεμβάσεων που περιλαμβάνουν την εγκατάσταση των συμβατικών λεβήτων, φυσικού αερίου και pellets κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα, ενώ το κόστος της επέμβασης εγκατάστασης του λέβητα συμπύκνωσης είναι λίγο υψηλότερο. Το υψηλότερο κόστος παρουσιάζει η επέμβαση εγκατάστασης μονάδας Σ.Η.Θ, ενώ έπεται εκείνη της αντλία θερμότητα. Τα κόστη επέμβασης επιβαρύνονται κατά ένα σταθερό ποσό των 4000€, σε περίπτωση που συμπεριλαμβάνεται εγκατάσταση ηλιακής θέρμανσης.

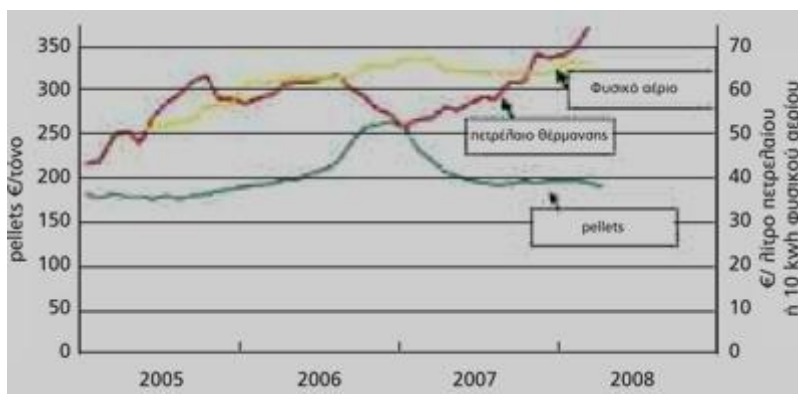
Η μείωση των καταναλώσεων ενέργειας ισοδυναμεί με χαμηλότερες καταναλώσεις καυσίμου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρείται μείωση του λειτουργικού κόστους σε κάθε εξεταζόμενη επέμβαση. Ιδίως στην περίπτωση με την ηλιακή υποβοήθηση η μείωση του κόστους λειτουργίας είναι λίγο μεγαλύτερη, λόγω της συνεισφοράς της ηλιακής ενέργειας. Ο υπολογισμός του λειτουργικού κόστους γίνεται αυτόματα, ανάλογα με το τύπο του καυσίμου

και την κατανάλωση αυτού. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος του καυσίμου δεν ορίζεται από το χρήστη, αλλά λαμβάνεται από τη βάση δεδομένων του ίδιου του προγράμματος, με αποτέλεσμα να υπάρχει πιθανότητα μεγάλης απόκλισης μεταξύ των υπολογισμών του προγράμματος και του πραγματικού κόστους λειτουργίας, λόγω της συνεχούς μεταβολής της τιμής των καυσίμων.

	Λέβητας Συμβατικός	Λέβητας Συμπύκνωσης	Λέβητας Pellets	μ-Σ.Η.Θ	Αντλία Θερμότητας Υ.Θ.
Λειτουργικό κόστος χωρίς την ηλιακή υποβ. €	3.081,10	2.907,00	477,6	4.347,60	1.605,30
Λειτουργικό κόστος με την ηλιακή υποβ. €	2.942,00	2.774,40	460,3	4.149,60	1.535,50
Ετήσια μείωση κόστους €	139,10	132,60	17,30	198,00	69,80
Ποσοστό μείωσης %	4,51%	4,56%	3,62%	4,55%	4,35%

Πίνακας 4.36: Εξοικονόμηση στο λειτουργικό κόστος ανά εξεταζόμενη επέμβαση σε αμόνωτη κατοικία λόγω εγκατάστασης συστήματος ηλιακής θέρμανσης

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.36, η μεγαλύτερη μείωση του λειτουργικού κόστους επιτυγχάνεται με τη χρήση συστήματος καύσης pellets, όπου το ποσοστό ξεπερνάει το 90%. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς τα pellets ως καύσιμο έχουν το μικρότερο κόστος κτήσης.



Εικόνα 4.3: Πορεία τιμών wood pellets σε σύγκριση με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Οι τιμές τους για την 2006-2008 παρέμειναν σταθερές (85)

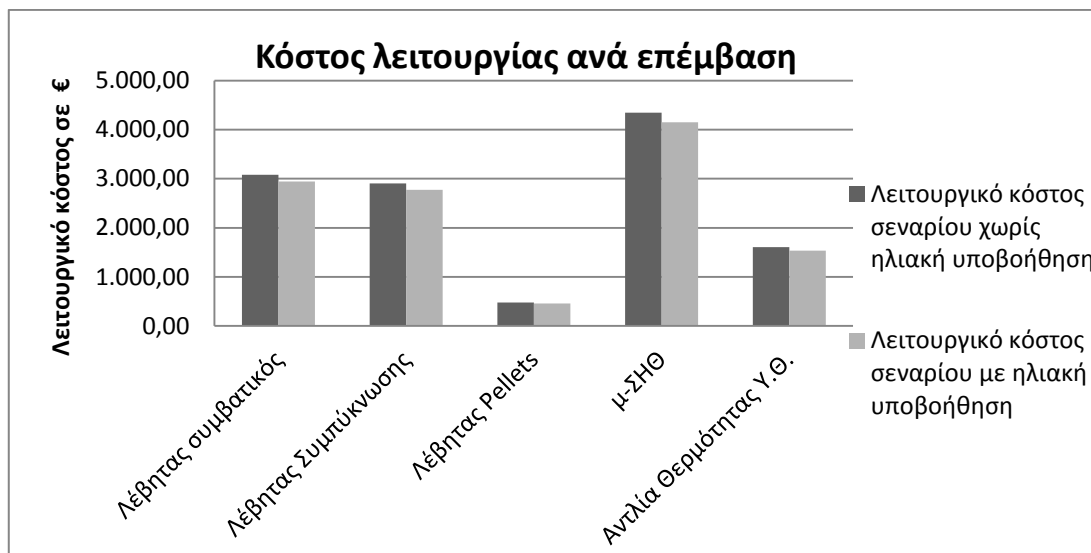
Το λειτουργικό κόστος της αντλίας θερμότητας είναι χαμηλότερο του αντίστοιχου κόστους των μονάδων φυσικού αερίου, και αυτό γιατί η κατανάλωση της αντλίας θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια είναι χαμηλότερη από την κατανάλωση των λεβήτων σε φυσικό αέριο. Έτσι παρόλο που το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας (σε €/kWh) είναι υψηλότερο του



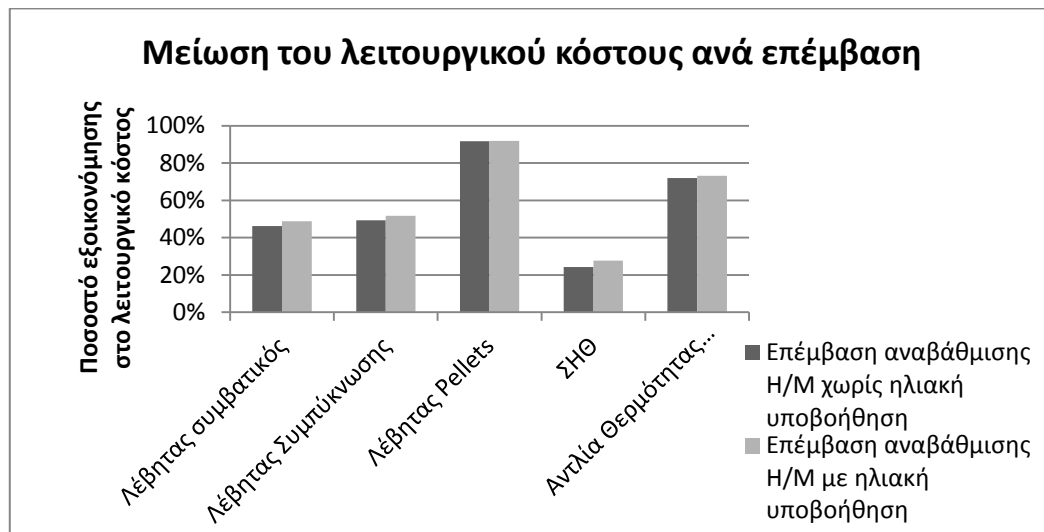
φυσικού αερίου, η χαμηλή κατανάλωση καυσίμου στην αντλία θερμότητας οδηγεί τελικώς σε χαμηλότερο κόστος λειτουργίας.

Τέλος, το λειτουργικό κόστος των μονάδων με καύσιμο το φυσικό αέριο είναι ανάλογο με την κατανάλωση της μονάδας και επομένως του βαθμού απόδοσης. Έτσι το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας έχει ο λέβητας συμπύκνωσης, ο οποίος παρουσιάζει το μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.

Όσον αφορά τις επεμβάσεις που περιλαμβάνουν επιπλέον εγκατάσταση ηλιακού συστήματος θέρμανσης, βάσει του Πίνακα 4.36 διαπιστώνεται ότι, μολονότι με τη συνεισφορά της ηλιακής θέρμανσης επιτυγχάνεται μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων, με συνακόλουθη μείωση των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων και του λειτουργικού κόστους, το όφελος που προκύπτει από την επέμβαση αυτή είναι μικρό αναλογικά με το κόστος της επέμβασης. Η παρατήρηση αυτή γίνεται εμφανής στο Διάγραμμα 4.12, όπου παρουσιάζεται το λειτουργικό κόστος ανά εξεταζόμενη επέμβαση, και στο Διάγραμμα 4.13, όπου παρουσιάζεται η ποσοστιαία μείωση του λειτουργικού κόστους ανά εξεταζόμενη επέμβαση, συμπεριλαμβανομένης ή όχι της ηλιακής θέρμανσης.



Διάγραμμα 4.12: Μεταβολή λειτουργικού κόστους ανά εξεταζόμενη επέμβαση σε αμόνωτη κατοικία λόγω ηλιακής θέρμανσης



Διάγραμμα 4.13: Ποσοστιαία μείωση του λειτουργικού κόστους ως προς το λειτουργικό κόστος του υφιστάμενου κτιρίου λόγω των επεμβάσεων σε αμόνωτη κατοικία

Η μέθοδος υπολογισμού του χρόνου απόσβεσης των επεμβάσεων που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα, είναι απλουστευμένη. Ως περίοδος απόσβεσης υπολογίζεται ο λόγος του κόστους επένδυσης προς το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή της επέμβασης αυτής.

$$\text{Περίοδος αποπληρωμής} = \frac{\text{Αρχικό κόστος επένδυσης}}{\text{Λειτουργικό κόστος}_{\text{υπάρχον}} - \text{Λειτουργικό κόστος}_{\text{σενάριο}}}$$

Σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο υπολογισμού, διαπιστώνεται ότι η περίοδος αποπληρωμής είναι ανάλογη του λειτουργικού κόστους. Η παρατήρηση αυτή επαληθεύεται από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.30, καθώς ο λέβητας pellets ο οποίος παρουσιάζει το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος έχει το μικρότερο χρόνο αποπληρωμής.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για τους λέβητες φυσικού αερίου παρατηρείται ότι, παρόλο που ο λέβητας συμπύκνωσης είναι ακριβότερος του συμβατικού λέβητα, η χαμηλή κατανάλωση καυσίμου δίνει το πλεονέκτημα του χαμηλού λειτουργικού κόστους. Έτσι ο χρόνος απόσβεσης για τους δύο λέβητες είναι σχεδόν ίδιος.

Βάσει των παραπάνω παρατηρήσεων καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για την αμόνωτη κατοικία οι πλέον συμφέρουσες επεμβάσεις είναι εκείνες που αφορούν την εγκατάσταση λέβητα συμπύκνωσης ή λέβητα pellets, διότι εξασφαλίζουν την μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας με το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος.



Η επιλογή της επέμβασης που θα συμπεριληφθεί εξαρτάται από τον ιδιοκτήτη και τις δυνατότητες του χώρου για την εγκατάσταση του συστήματος. Υπενθυμίζεται ότι για την παρούσα μελέτη έγινε η παραδοχή μηδενικής σκίασης των ηλιακών συλλεκτών, κάτι που δεν είναι πάντα εφικτό σε μια κατοικημένη περιοχή.

Ο λέβητας συμπύκνωσης χάριν στη χρήση του φυσικού αερίου, έναντι του πετρελαίου, σε συνδυασμό με την εφαρμογή νέας και πιο αποδοτικής τεχνολογίας οδηγεί σε άμεση μείωση, τόσο των καταναλώσεων ενέργειας, όσο και των εκπεμπόμενων ρύπων. Οι υψηλές αποδόσεις του μειώνουν το λειτουργικό κόστος έναντι του συμβατικού λέβητα, με αποτέλεσμα παρά το υψηλό κόστος επένδυσης να επιτυγχάνεται γρήγορη απόσβεση του κεφαλαίου.

Ο λέβητας pellets επιτυγχάνει τη δεύτερη υψηλότερη εξοικονόμηση ενέργειας, χάριν στην καύση βιομάζας, παρά το χαμηλό βαθμό απόδοσης της μονάδας. Επιπλέον, για την καύση των pellets, δεν λαμβάνονται υπόψη οι εκπεμπόμενοι ρύποι, οδηγώντας με τον τρόπο αυτό στην άμεση μείωση αυτών, συγκριτικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις. Το κόστος αγοράς των pellets είναι χαμηλότερο του φυσικού αερίου και της ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα για τις ίδιες απαιτήσεις του συστήματος, το λειτουργικό κόστος του λέβητα pellets να είναι το χαμηλότερο μεταξύ των εξεταζόμενων επεμβάσεων. Το χαμηλό κόστος λειτουργίας έχει ως συνέπεια την άμεση απόσβεση του αρχικού κόστους επένδυσης. Ωστόσο, ο λέβητας pellets για τη λειτουργία του απαιτεί συχνό ανεφοδιασμό με καύσιμο, ενώ με τη χρήση φυσικού αερίου η παροχή του καυσίμου γίνεται αυτόματα από τον παροχέα.

4.9. Μελέτη επεμβάσεων αναβάθμισης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού συμπεριλαμβανομένης της επέμβασης μόνωσης της κατοικίας

Στην προηγούμενη ενότητα εξετάστηκαν επεμβάσεις εφαρμόσιμες σε αμόνωτη κατοικία. Όπως διαπιστώθηκε, το επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας ήταν σημαντικό, ωστόσο δεν σημειώθηκε μεταβολή της ενεργειακής κατάταξης. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στις υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις της κατοικίας και στον υψηλό ρυθμό απωλειών. Μάλιστα, οι υψηλές θερμικές απώλειες επέβαλαν τη μελέτη μονάδων παραγωγής σε συνεργασία με τερματικές μονάδες ψηλών θερμοκρασιών, όπως είναι τα συμβατικά καλοριφέρ.

Για να είναι εφικτή η εξέταση μονάδων θέρμανσης χαμηλών θερμοκρασιών, θα πρέπει πρωτίστως να έχουμε εξασφαλίσει χαμηλές θερμικές απώλειες από το κτιριακό κέλυφος. Για το λόγο αυτό, στην ενότητα αυτή θα συμπεριληφθεί επέμβαση μόνωσης του κτιριακού κελύφους, ώστε στη συνέχεια να καταστεί εφικτή η εγκατάσταση συστήματος ενδοδαπέδιας



θέρμανσης. Οι συγκεκριμένες τερματικές μονάδες μπορούν να συνεργάζονται άριστα με μονάδες θέρμανσης, όπως οι αντλίες θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών, η εφαρμογή των οποίων δεν ήταν δυνατή στην αμόνωτη κατοικία.

Καθώς η θερμομόνωση του κτιρίου ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας εργασίας, τα απαραίτητα δεδομένα μόνωσης του κτιρίου θα αντληθούν από τη διπλωματική εργασία «Επίδραση θερμικής μόνωσης στην εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ», η οποία πραγματεύεται τις δυνατότητες θερμομόνωσης του κτιριακού κελύφους της παρούσας κατοικίας, χρησιμοποιώντας το λογισμικό T.E.E.-Κ.Εν.Α.Κ.. Από την εργασία αυτή θα αντλήσουμε τις απαραίτητες πληροφορίες, ώστε να εξετασθεί η εφαρμογή της αντλίας θερμότητας για δύο διαφορετικά σενάρια μόνωσης του κτιρίου. Το πρώτο σενάριο αναφέρεται στην εγκατάσταση αντλίας θερμότητας σε επαρκώς μονωμένο κτίριο, ενώ το δεύτερο σε βέλτιστο μονωμένο. Στον παρακάτω πίνακα εμπεριέχονται τα στοιχεία των σεναρίων αυτών που θα χρησιμοποιηθούν για την εξέταση της αντλίας θερμότητας.

	Επαρκώς μονωμένο	Βέλτιστο σενάριο
Πάχος θερμομόνωσης καθέτων δομικών στοιχείων	30 mm	160 mm
Πάχος θερμομόνωσης οριζόντιων επιφανειών (οροφής)	50 mm	100 mm
Ενεργειακή Κατάταξη	E	Δ
Κόστος	12925,20 €	15182,80 €

Πίνακας 4.37: Στοιχεία θερμομόνωσης κατοικίας όπως αυτά παρατίθενται στη διπλωματική εργασία «Επίδραση θερμικής μόνωσης στην εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ»

4.9.1. Αναβάθμιση του συστήματος παραγωγής θερμικής ενέργειας

Για την κάλυψη των αναγκών της μονωμένης κατοικίας, επιλέγεται η εγκατάσταση αντλίας θερμότητας αέρα-νερού, διαιρούμενου τύπου, η οποία πρόκειται να τοποθετηθεί στο λεβητοστάσιο. Ο συγκεκριμένος τύπος αντλίας έχει τη δυνατότητα λειτουργίας mono-energy, κατά την οποία η αντλία θερμότητας διαστασιολογείται με τρόπο τέτοιο ώστε να μπορεί να καλύπτει αποδοτικά το 80% των απαιτούμενων αναγκών σε θέρμανση, κατά τη διάρκεια της πιο κρύας μέρας του έτους. Το υπόλοιπο 20% των αναγκών καλύπτεται από βοηθητικό ηλεκτρικό θερμαντήρα, ο οποίος περιλαμβάνεται στην εσωτερική μονάδα της αντλίας. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται εφεδρικά όταν κριθεί απαραίτητο και για το λόγο αυτό δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.

Η επέμβαση εγκατάστασης του νέου συστήματος περιλαμβάνει παράλληλα τη μόνωση του δικτύου διανομής και την αντικατάσταση των τερματικών μονάδων.



4.9.1.1. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης με εγκατάσταση αντλίας θερμότητας

Για τη μελέτη των σεναρίων θα χρησιμοποιηθεί ο ίδιος τύπος αντλίας για τις δυο περιπτώσεις μόνωσης, καθώς η συγκεκριμένη έκδοση είναι η μικρότερη που κατασκευάζεται στην Ευρώπη.

Σύμφωνα με τη Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010, παράγραφος 4.1.2.2, θα επιλεγούν τα χαρακτηριστικά της αντλίας για τις ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας (θερμοκρασία νερού 45°C/θερμοκρασία περιβάλλοντος ξηρής σφαίρας 7°C). Επομένως, η ονομαστική ισχύς της αντλίας σε λειτουργία θέρμανσης θα είναι 7,1 kW και ο συντελεστής συμπεριφοράς COP είναι 3,47. Η ισχύς του βοηθητικού θερμαντήρα που περιλαμβάνεται στο μοντέλο αυτό είναι 3 kW. Από τη στιγμή που τίθεται σε λειτουργία, ο θερμαντήρας έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζει την αποδιδόμενη ισχύ ανάλογα με την περίπτωση, επιλέγοντας 1,0/2,0/3,0 kW, ώστε η συνολικά αποδιδόμενη ισχύς να προσεγγίζει περισσότερο την πραγματικά ζητούμενη.

Τύπος συσκευής: Αντλία Θερμότητας Χαμηλών Θερμοκρασιών	
Ονομαστική ισχύς	7,1 kW
COP	3,47
Ηλεκτρικός θερμαντήρας 3 kW (στην εσωτερική μονάδα της αντλίας)	<ul style="list-style-type: none">• Step 1:1,0 kW• Step 2:2,0 kW• Step 3:3,0 kW
Ηλεκτρική Κατανάλωση βοηθητικών συστημάτων (λ.χ. κυκλοφορητής)	150 W

Πίνακας 4.38: Χαρακτηριστικά μεγέθη αντλίας θερμότητας στις ονομαστικές συνθήκες για τη λειτουργία θέρμανσης

Η εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας συνοδεύεται από τους απαραίτητους αυτοματισμούς, που επιτρέπουν την αποδοτικότερη λειτουργία της αντλίας. Τα κόστη που παρατίθενται στη συνέχεια, αφορούν την αγορά της αντλίας θερμότητας και των παρελκόμενων εξαρτημάτων καθώς επίσης και την εγκατάσταση της στον προβλεπόμενο χώρο:

Περιγραφή	Κόστος €
Κόστος εξωτερικής και εσωτερικής μονάδας (με Φ.Π.Α)	6300,00
Κόστος ψυκτικής και υδραυλικής εγκατάστασης αντλίας	600,00
Κόστος ηλεκτρικής εγκατάστασης	150,00
Αποξηλώσεις λέβητα, σωληνώσεων	250,00
Σύνολο	7300,00

Πίνακας 4.39: Ενδεικτικά κόστη για την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών

Σημείωση: η αγορά της αντλίας συνοδεύεται και με την αγορά θερμοδοχείου 300 lt, το κόστος του οποίου θα ληφθεί υπόψη στο ζεστό νερό χρήσης.



4.9.1.2. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης με εγκατάσταση ενδοδαπέδιου συστήματος

Με τη μόνωση του κτιρίου, είναι δυνατή η εγκατάσταση ενδοδαπέδιου συστήματος θέρμανσης, μέσω του οποίου θα αποδίδεται η θερμότητα από την αντλία θερμότητας στο χώρο. Για την εγκατάσταση του συστήματος τηρούνται όλοι οι κανόνες για τη σωστή τοποθέτησή του, εξασφαλίζοντας ένα αποδοτικό και υδραυλικά εξισορροπημένο σύστημα. Ο βαθμός απόδοσης για το ενδοδαπέδιο σύστημα υπολογίζεται σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20107-1/2010, παράγραφος 4.4.2. ως εξής:

$$\eta_{em,t} = \frac{\eta_{em}}{f_{rad} \cdot f_{im} \cdot f_{hydr}} = 0,9$$

Όπου:

- $f_{rad} = 1$ καθώς οι τερματικές μονάδες βρίσκονται σε ύψος μικρότερο των 4m
- $f_{im} = 1$, δεδομένου ότι η λειτουργία είναι συνεχής
- $f_{hydr} = 1$ για υδραυλικά εξισορροπημένο σύστημα.
- $\eta_{em} = 0,9$ για ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης

Το κόστος της επέμβασης περιλαμβάνει το κόστος απεγκατάστασης των τερματικών μονάδων παλαιού τύπου και την εγκατάσταση του νέου συστήματος, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους εργασίας για την ολοκλήρωση της επέμβασης:

Αντικατάσταση των τερματικών μονάδων	Κόστος (€)
Κόστος απεγκατάστασης παλαιών τερματικών μονάδων (50€/τμ, συνολικά 6 τερματικές μονάδες)	300,00
Ανηγμένο κόστος υλικών (€/m ²) με Φ.Π.Α	50,00
Ανηγμένο κόστος τελικού δαπέδου (πλακάκια) (€/m ²)	10,00
Συνολικό ανηγμένο κόστος (€/m ²)	60,00
Συνολικό κόστος (€)	6300,00

Πίνακας 4.40: Πίνακας με ενδεικτικά κόστη για την εγκατάσταση ενδοδαπέδιο συστήματος

Αξίζει να παρατηρηθεί ότι, για την τελική επίστρωση δαπέδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε υλικό με τη θέρμανση δαπέδου, λ.χ. πλακάκι, ξύλο, μοκέτα κλπ.. Αυτό που πρέπει να προσεχθεί είναι ότι το κάθε υλικό έχει διαφορετική θερμική αγωγιμότητα. Για να είναι επομένως ορθή η εκπονούμενη μελέτη θέρμανσης δαπέδου και να διασφαλίζεται η θερμική άνεση των ενοίκων, τα υλικά του δαπέδου θα πρέπει να επιλεγούν αρκετά έγκαιρα, έτσι ώστε οι διαφορές τους να ληφθούν υπόψη στη μελέτη. (1) (86)

Με την εγκατάσταση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης επιτυγχάνεται ταυτόχρονα και μόνωση του δαπέδου, λόγω των μονωτικών υλικών που χρησιμοποιούνται. Με την εφαρμογή του



ενδοδαπέδιου συστήματος, επομένως μειώνεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας της κατοικίας.

4.9.2. Αναβάθμιση του συστήματος παραγωγής ψύξης

Ο εξεταζόμενος τύπος αντλίας θερμότητας έχει τη δυνατότητα, χάριν στον αντιστρέψιμο κύκλο της, να παράγει ψύξη κατά τους θερινούς μήνες, η οποία αποδίδεται στον εξεταζόμενο χώρο μέσω ενδοδαπέδιου συστήματος δροσισμού. Με τον τρόπο αυτό χρησιμοποιείται ένα ενιαίο σύστημα για θέρμανση και ψύξη, χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση επιπρόσθετων συστημάτων. Τα παλαιά κλιματιστικά διατηρούνται, ώστε να χρησιμοποιηθούν εφεδρικά, όποτε κριθεί απαραίτητο.

Τα χαρακτηριστικά της αντλίας που θα εισαχθούν στο λογισμικό λαμβάνονται για τις ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας οι οποίες είναι, σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 παράγραφος 4.2.2.1, θερμοκρασία ψυκτικού μέσου 7°C και θερμοκρασία περιβάλλοντος ξηρής σφαίρας 35°C.

Εφόσον η αντλία χρησιμοποιεί το δίκτυο διανομής της εγκατάστασης θέρμανσης, η επέμβαση μόνωσής του έχει συμπεριληφθεί στην αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης, ενώ η απόδοση του λαμβάνεται από τον Πίνακα 4.15. Τέλος, όσον αφορά τις τερματικές μονάδες, ο βαθμός απόδοσης του ενδοδαπέδιου δροσισμού ορίζεται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, πίνακας 4.14, ίσος με 90%.

Στον Πίνακα 4.41 δίνονται συγκεντρωτικά όλα τα δεδομένα για το σύστημα ψύξης του κτιρίου που λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς της ενεργειακής μελέτης, σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας:

Χώρος εγκατάστασης	Λεβητοστάσιο
Τύπος Συσκευής	Αντλία Θερμότητας
Καύσιμο	Ηλεκτρικό
Ονομαστική ισχύς (kW) ανά συσκευή	6,0
EER	3,07
Μηνιαίος βαθμός κάλυψης (%)	50
Βαθμός απόδοσης δικτύου διανομής (%)	98,5
Βαθμός απόδοσης ενδοδαπέδιου συστήματος (%)	90
Ηλεκτρική Κατανάλωση βοηθητικών συστημάτων (W) (λ.χ. κυκλοφορητής)	150

Πίνακας 4.41: Χαρακτηριστικά μεγέθη αντλίας θερμότητας στις ονομαστικές συνθήκες για τη λειτουργία ψύξης



4.9.3. Αναβάθμιση συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.

Η κάλυψη των αναγκών σε ZNX θα γίνεται από τους ηλιακούς συλλέκτες και την αντλία θερμότητας. Τα συστήματα αυτά συνδέονται με το θερμοδοχείο τριπλής ενέργειας, ώστε να εξασφαλίζεται πάντα η επαρκής παραγωγή ZNX από το σύστημα. Μεταξύ των διαθέσιμων πηγών ενέργειας την προτεραιότητα έχει η ηλιακή ενέργεια, ενώ η χρήση της αντλίας θερμότητας γίνεται κατά τους χειμερινούς μήνες.

4.9.3.1. Αναβάθμιση συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης με χρήση των μονάδων παραγωγής θέρμανσης

Η απόδοση της αντλίας θερμότητας για την παραγωγή ζεστού νερού, μελετάται χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά της αντλίας για τη λειτουργία θέρμανσης, όπως αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.38.

Χώρος εγκατάστασης	Λεβητοστάσιο
Τύπος Συσκευής	Αντλία Θερμότητας
Καύσιμο	Ηλεκτρικό
Ονομαστική ισχύς (kW) ανά συσκευή	7,1
COP	3,47
Μηνιαίος βαθμός κάλυψης (%) κατά τους χειμερινούς μήνες	100
Μηνιαίος βαθμός κάλυψης (%) κατά τους θερινούς μήνες	0
Βαθμός απόδοσης δικτύου διανομής (%)	92
Θερμική απόδοση μονάδας αποθήκευσης Z.N.X (%)	93

Πίνακας 4.42: Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης-Z.N.X

4.9.3.2. Ηλιακοί συλλέκτες για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης

Για την κάλυψη των φορτίων ZNX της κατοικίας, θα εξετασθεί η συνεργασία της αντλίας με σύστημα ανάλογο, όπως αυτό που παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.6.3.2.

4.9.4. Αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης με αξιοποίηση ηλιοθερμικού συστήματος

Στην ενότητα 4.6.4 εξετάστηκε η πιθανή εγκατάσταση ηλιακού συστήματος θέρμανσης, η συνεισφορά του οποίου θα οδηγούσε σε μείωση των θερμικών απαιτήσεων της αμόνωτης κατοικίας. Με την μόνωση του κτιριακού κελύφους μειώνονται οι θερμικές απαιτήσεις της κατοικίας, μειώνοντας παράλληλα τα επίπεδα καταναλώσεων σε σημαντικό βαθμό. Αν και η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας είναι χαμηλότερη από την περίπτωση της αμόνωτης κατοικίας, παρουσιάζει ενδιαφέρον να εξετάσουμε τη δυνατότητα περαιτέρω μείωσης της κατανάλωσης αυτής, εκμεταλλευόμενοι την ηλιακή ενέργεια.



Στην παρούσα ενότητα, θα διερευνηθεί η συνεισφορά του ηλιοθερμικού συστήματος, κατά η συνεργασία του με την αντλία θερμότητας, στην κάλυψη των αναγκών της μονωμένης κατοικίας σε θέρμανση και ZNX.

Το ηλιακό σύστημα που θα μελετηθεί αποτελείται από τα ίδια στοιχεία που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 4.6.4. Ωστόσο, οι απαιτήσεις σε θέρμανση έχουν μεταβληθεί λόγω της εγκατάστασης μόνωσης. Για το λόγο αυτό απαιτείται ο εκ νέου προσδιορισμός του συντελεστή αξιοποίησης για θέρμανση (συν. β). Εφαρμόζοντας την μέθοδο των καμπύλων f προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες:

Επαρκώς μονωμένη κατοικία									
Τύπος	Θέρμανση	ZNX	Συν. α	Συν. β	Επιφάνεια (m ²)	γ (°)	β (°)	F _s	Κόστος €
Επίπεδος επιλεκτικός συλλέκτης	Ναι	Ναι	0,116	0,075	15,05	180	40	1	598

Πίνακας 4.43: Στοιχεία ηλιακού συστήματος για θέρμανση και παραγωγή ZNX σε επαρκώς μονωμένη κατοικία

Βέλτιστα μονωμένη κατοικία									
Τύπος	Θέρμανση	ZNX	Συν. α	Συν. β	Επιφάνεια (m ²)	γ(°)	β(°)	F _s	Κόστος €
Επίπεδος επιλεκτικός συλλέκτης	Ναι	Ναι	0,116	0,045	15,05	180	40	1	598

Πίνακας 4.44: Στοιχεία ηλιακού συστήματος για θέρμανση και παραγωγή ZNX σε βέλτιστα μονωμένη κατοικία

Η εκτέλεση του προγράμματος θα γίνει εκ νέου διατηρώντας τα στοιχεία των παραμέτρων του κελύφους και της αντλίας θερμότητας, μεταβάλλοντας μόνο τις τιμές του πεδίου που αναφέρεται στους ηλιακούς συλλέκτες.

4.9.5. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων παραμετρικής μελέτης

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των υπολογισμών, οι οποίοι εκτελέστηκαν τη χρήση του λογισμικού T.E.E -Κ.Εν.Α.Κ. για τα σενάρια επεμβάσεων στον Η/Μ εξοπλισμό. Στα ειδικά πεδία του προγράμματος εισήχθησαν οι τιμές των παραμέτρων των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και ZNX όπως αυτά παρουσιάστηκαν παραπάνω. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν χωρίζονται σε δύο κύριες ομάδες, με κριτήριο την εφαρμογή ή όχι της ηλιακής θέρμανσης.



4.9.5.1. 1^η Περίπτωση: Θέρμανση με αντλία θερμότητας χωρίς ηλιακή υποβοήθηση

Στα εξεταζόμενα σενάρια περιλαμβάνεται η αντικατάσταση του υφιστάμενου λέβητα με αντλία θερμότητας, χωρίς την εγκατάσταση ηλιοθερμικού συστήματος για τη θέρμανση του κτιρίου. Η αντλία θερμότητας εξυπηρετεί ταυτόχρονα τις ανάγκες σε ψύξη του κτιρίου καθώς και μέρος των απαιτήσεων σε ΖΝΧ. Ταυτόχρονα, δυο ηλιακοί συλλέκτες εγκαθίστανται για την κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους των απαιτήσεων σε ΖΝΧ.

Στις διεπαφές του προγράμματος εισήχθησαν οι τιμές των παραμέτρων όπως αυτές παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 4.38, 4.41, 4.42 και 4.27.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται η μεταβολή των ενεργειακών καταναλώσεων του κτιρίου συναρτήσει των εξεταζόμενων επεμβάσεων, όπως αυτή υπολογίστηκε από το λογισμικό.

Σημειώνεται ότι, για τα αποτελέσματα που αφορούν το παλιό Η/Μ σύστημα χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της διπλωματικής «Επίδραση θερμικής μόνωσης στην εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ», στην οποία δεν συμπεριλαμβάνεται μόνωση του δαπέδου. Αντίθετα, η εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας συνοδεύεται με την εγκατάσταση του ενδοδαπέδιου συστήματος, με ταυτόχρονη μόνωση του δαπέδου. Επομένως, παρατηρείται διαφορετικό επίπεδο μόνωσης μεταξύ των επεμβάσεων, το οποίο οδηγεί σε σημαντική μεταβολή των καταναλώσεων.

Καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια σε kWh/m ² θερμαινόμενου χώρου ανά τελική χρήση και επέμβαση						
		Αμόνωτη κατοικία	Επαρκώς μονωμένη κατοικία		Βέλτιστα μονωμένη κατοικία	
	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Λέβητας πετρελαίου	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.	Λέβητας πετρελαίου	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.
Θέρμανση	76,9	542,2	131,3	59,2	70,3	31,8
Ψύξη	22,3	37,6	39,5	18,4	38,6	19,1
ZNX	33,3	84,7	84,7	6,6	84,7	7,4
Φωτισμός	0	0	0	0	0	0
Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	132,5	664,4	255,4	84,2	193,6	58,3
Κατάταξη	-	H	E	B+	Δ	A

Πίνακας 4.45 : Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) μετά τη μόνωση και την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας χωρίς ηλιακή θέρμανση, και ενεργειακή κατάταξη αυτού



Εξοικονόμηση και κόστη	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Λέβητας πετρελαίου	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.	Λέβητας πετρελαίου	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.
Λειτουργικό κόστος (€)	1.099,90	5.736,50	1.716,90	335,7	1.111,20	233,10
Αρχικό κόστος επένδυσης (€)			12.925,20	31.926,10	15.182,80	34.483,70
Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)			61,6	87,3	70,9	91,2
Μείωση εκπομπών CO ₂ (Kg/m ²)			95,6	141,8	110,4	150,6
Περίοδος αποπληρωμής (έτη)			3,2	5,9	3,3	6,3

Πίνακας 4.46: Οικονομικά στοιχεία των επεμβάσεων μόνωσης και εγκατάστασης αντλίας θερμότητας χωρίς ηλιακή θέρμανση και εξοικονόμηση των εκπεμπόμενων ρύπων

4.9.5.2. 2^η Περίπτωση: Θέρμανση με ηλιακή υποβοήθηση

Στην παρούσα περίπτωση επεμβάσεων, συμπεριλαμβάνεται και η εγκατάσταση ηλιακού συστήματος για την κάλυψη αναγκών σε ZNX και θέρμανση. Υπενθυμίζεται ότι, το ZNX έχει πάντα προτεραιότητα έναντι της θέρμανσης. Η εκμεταλλευόμενη από τον ήλιο ενέργεια διατίθεται για θέρμανση μόνο αν έχει εξασφαλισθεί η κάλυψη των αναγκών σε ZNX.

Καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια σε kWh/m ² θερμαινόμενου χώρου ανά τελική χρήση και επέμβαση						
		Αμόνωτη κατοικία	Επαρκώς μονωμένη κατοικία		Βέλτιστα μονωμένη κατοικία	
	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Λέβητας πετρελαίου	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.	Λέβητας πετρελαίου	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.
Θέρμανση	76,9	542,2	131,3	54,1	70,3	29,3
Ψύξη	22,3	37,6	39,5	18,4	38,6	19,1
ZNX	33,3	84,7	84,7	4,8	84,7	5,6
Φωτισμός	0	0	0	0	0	0
Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	132,5	664,4	255,4	77,3	193,6	54
Κατάταξη	-	H	E	B+	Δ	A

Πίνακας 4.47 : Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) μετά τη μόνωση και την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας με ηλιακή θέρμανση, και ενεργειακή κατάταξη αυτού



Καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια σε kWh/m ² θερμαινόμενου χώρου ανά τελική χρήση και επέμβαση						
Εξοικονόμηση και κόστη	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Λέβητας πετρελαίου	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.	Λέβητας πετρελαίου	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.
Λειτουργικό κόστος (€)	1.099,90	5.736,50	1.716,90	308,7	1.111,20	216,40
Αρχικό κόστος επένδυσης (€)			12.925,20	35.925,10	15.182,80	38.482,70
Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)			61,6	88,4	70,9	91,9
Μείωση εκπομπών CO ₂ (Kg/m ²)			95,6	144,1	110,4	152,1
Περίοδος αποπληρωμής (έτη)			3,2	6,6	3,3	7

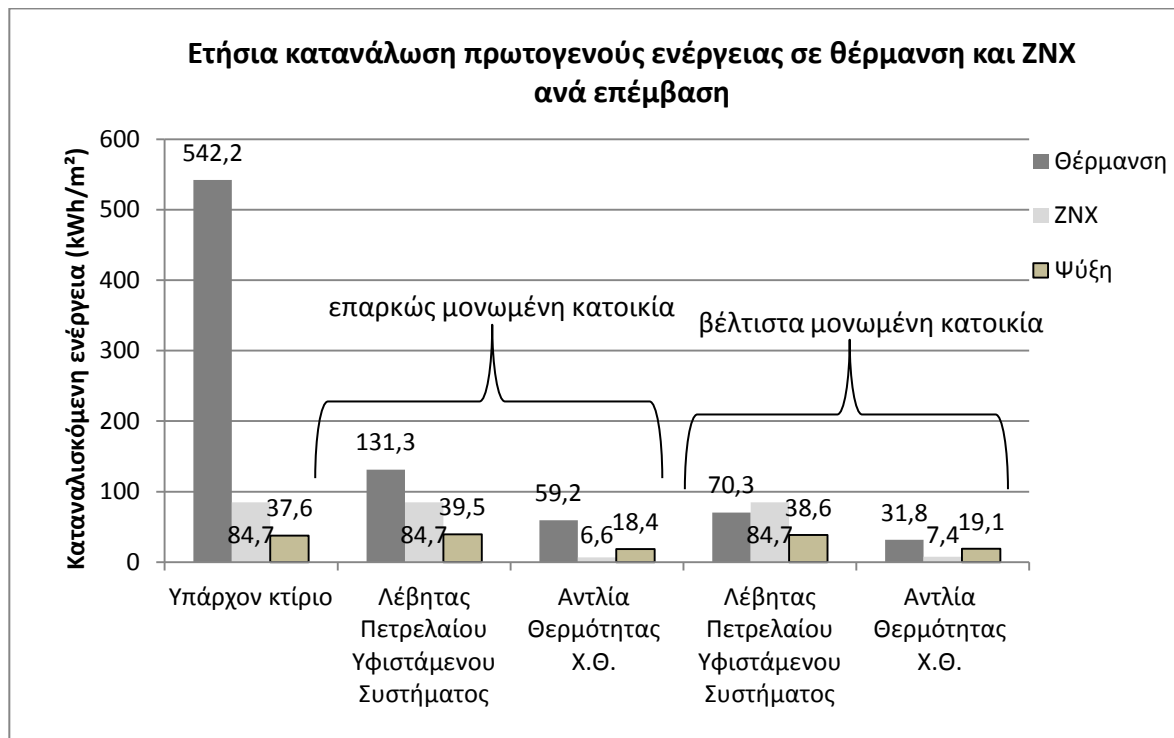
Πίνακας 4.48: Οικονομικά στοιχεία των επεμβάσεων μόνωσης και εγκατάστασης αντλίας θερμότητας με ηλιακή θέρμανση και εξοικονόμηση των εκπεμπόμενων ρύπων

4.10. Γενικά συμπεράσματα από την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας σε μονωμένη κατοικία

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκαν οι δυνατές επεμβάσεις που μπορούν να συμπεριληφθούν για την ριζική ανακαίνιση ενός υφιστάμενου κτιρίου, με ταυτόχρονη μόνωση και αντικατάσταση του παλαιού Η/Μ εξοπλισμού. Η εκτέλεση των υπολογισμών για την εκπόνηση της μελέτης έγινε σύμφωνα με τις προδιαγραφές των Τεχνικών Οδηγιών του Τ.Ε.Ε. Τα συμπεράσματα που εξάγονται από την εκτέλεση του λογισμικού παρουσιάζονται παρακάτω.

4.10.1. Ενεργειακό προφίλ κατοικίας με παράμετρο το επίπεδο μόνωσης του κτιριακού κελύφους χωρίς ηλιακή θέρμανση

Στον Πίνακα 4.45 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την καταναλισκόμενη πρωτογενή ενέργεια ανά τελική χρήση και συνολικά του κτιρίου, μετά την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας και του ενδοδαπέδιου συστήματος.



Διάγραμμα 4.14: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) για θέρμανση, ψύξη και ΖΝΧ ανά εξεταζόμενη επέμβαση σε επαρκώς και βέλτιστα μονωμένη κατοικία, χωρίς ηλιακή υποβοήθηση

Η κύρια επέμβαση πραγματοποιείται στο σύστημα θέρμανσης της κατοικίας με την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας. Ωστόσο, υπενθυμίζεται ότι η αντλία θερμότητας έχει τη δυνατότητα να παράγει ψύξη κατά τους θερινούς μήνες. Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.45 και συγκρίνοντας τις καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας για την επαρκώς μονωμένη κατοικία διαπιστώνουμε ότι, η αντικατάσταση των παλαιών κλιματιστικών οδηγεί σε μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων κατά 21,1kWh/m². Η αντίστοιχη μείωση στην περίπτωση της βέλτιστα μονωμένης κατοικίας είναι 19,5kWh/m². Και στις δυο περιπτώσεις η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για ψύξη είναι μικρότερη από την αντίστοιχη κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς.

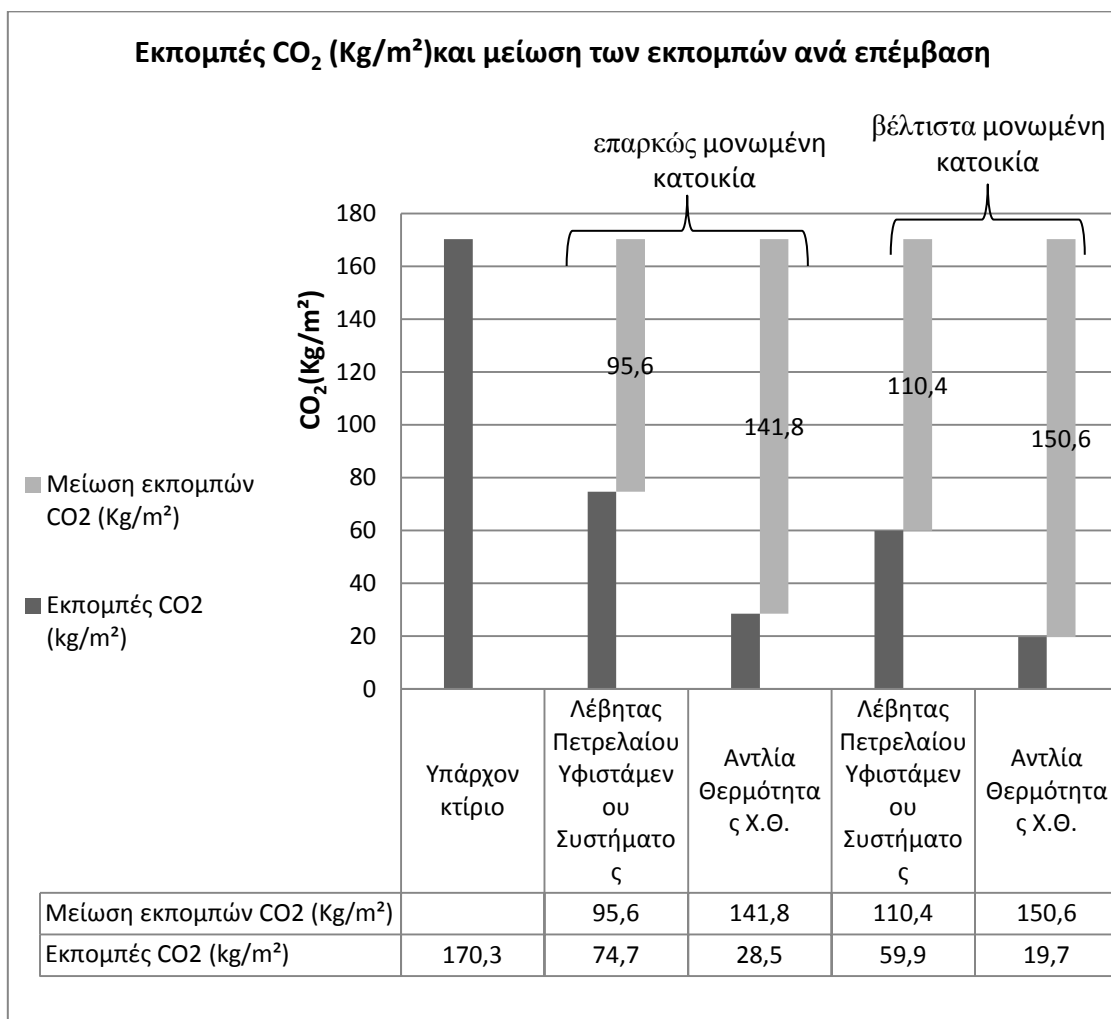
Η αντλία θερμότητας υποβοηθά την παραγωγή ΖΝΧ, όταν δεν επαρκεί η ηλιακή ενέργεια (λ.χ. λόγω συννεφιάς). Βάσει των αποτελεσμάτων του Πίνακα 4.45 διαπιστώνεται η μείωση των επιπέδων καταναλισκόμενης πρωτογενούς ενέργειας για ΖΝΧ σε επίπεδα καταναλώσεων χαμηλότερα του κτιρίου αναφοράς, χάριν στην συμβολή των ηλιακών συλλεκτών, οι οποίοι εξασφαλίζουν ετησίως 22,9 kWh/m², και στη χρήση αποδοτικότερου συστήματος.

Η εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας οδήγησε σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση της μονωμένης κατοικίας. Ήδη με την εφαρμογή θερμομόνωσης, η μείωση



της καταναλισκόμενης ενέργειας ήταν άμεση συγκριτικά με το υφιστάμενο κτίριο, τόσο για την επαρκή όσο και για τη βέλτιστη μόνωση. Με την ταυτόχρονη αντικατάσταση του λέβητα πετρελαίου με την αντλία θερμότητας, επιτυγχάνεται επιπλέον μείωση των καταναλώσεων, με αποτέλεσμα η μειωμένη κατανάλωση να είναι μικρότερη αυτής του κτιρίου αναφοράς. Αποτέλεσμα αυτού είναι η συνολική κατανάλωση ενέργειας να είναι χαμηλότερη από αυτή του κτιρίου αναφοράς, έχοντας σαν συνέπεια η ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου να είναι (B+) για την περίπτωση της επαρκούς μόνωσης και (A) για την περίπτωση της βέλτιστης μόνωσης.

Η μείωση των καταναλώσεων καυσίμου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της πρωτογενούς καταναλισκόμενης ενέργειας και την παράλληλη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων CO₂.

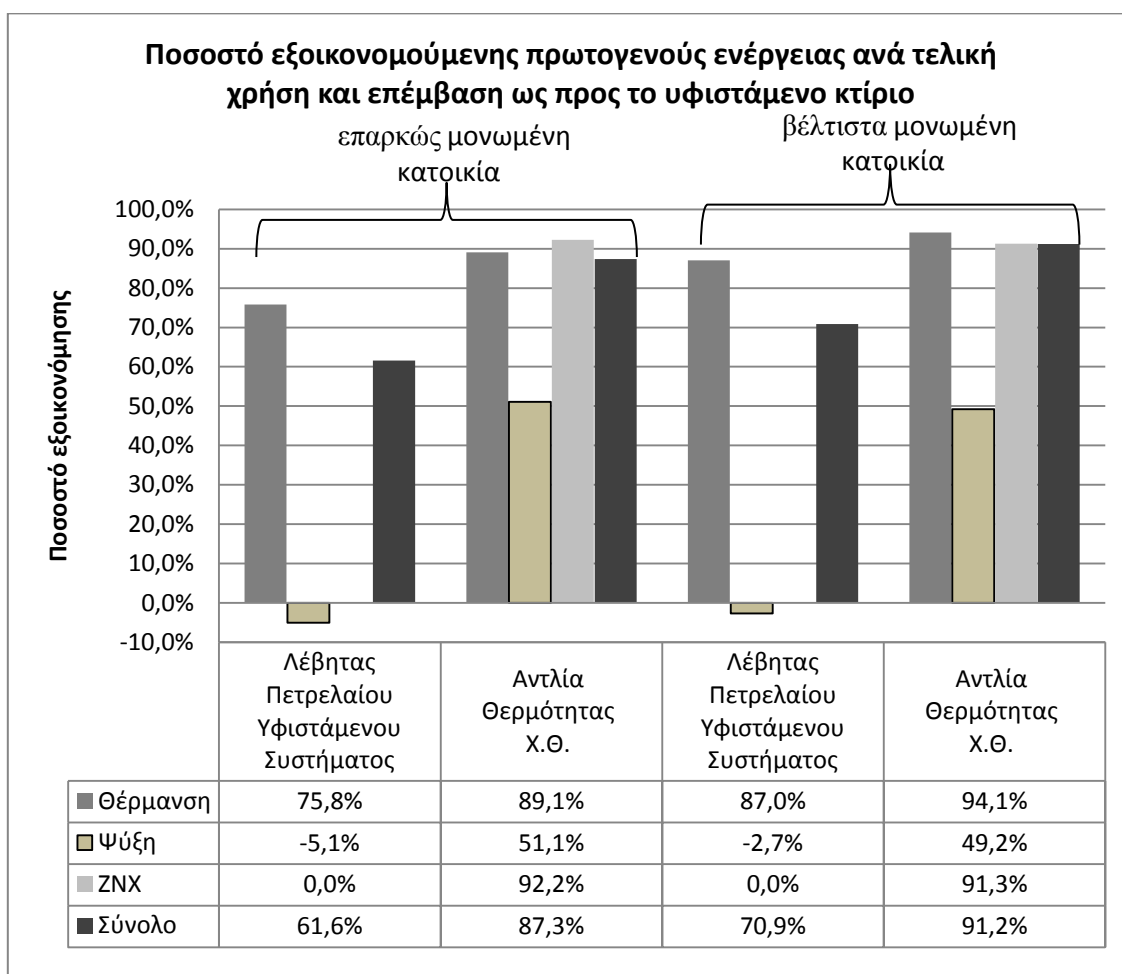


Διάγραμμα 4.15: Εκπομπές CO₂ (Kg/m²) και μείωση των εκπομπών ανά επέμβαση εγκατάστασης αντλίας θερμότητας σε επαρκώς και βέλτιστα μονωμένη κατοικία, χωρίς ηλιακή θέρμανση

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.33, παρόλο που η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας προκαλεί υψηλότερη έκλυση ρύπων ανά μονάδα καταναλισκόμενης ενέργειας συγκριτικά με το

πετρέλαιο, ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το επίπεδο των καταναλώσεων ενέργειας, με αποτέλεσμα η λειτουργία της αντλίας θερμότητας να οδηγεί σε χαμηλότερες εκπομπές.

Στο Διάγραμμα 4.5 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της εξοικονομούμενης ενέργειας ως προς το υφιστάμενο κτίριο, για κάθε μια από τις εξεταζόμενες επεμβάσεις. Το συνολικό ποσοστό εξοικονόμησης, προκύπτει συνυπολογίζοντας το εξοικονομούμενο ποσοστό χάριν στη λειτουργία των νέων κλιματιστικών. Τονίζεται ότι, στις συνολικές καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας δεν συμπεριλαμβάνονται οι καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος για το φωτισμό και τις λοιπές συσκευές της κατοικίας.



Διάγραμμα 4.16: Ποσοστό εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση και επέμβαση μόνωσης και εγκατάστασης αντλίας θερμότητας ως προς το υφιστάμενο κτίριο

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν διαπιστώνεται ότι οι εξεταζόμενες επεμβάσεις μειώνουν σημαντικά την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Η αντλία που χρησιμοποιήθηκε ήταν κοινή σε κάθε περίπτωση μόνωσης, επαρκούς και βέλτιστης. Δεδομένου ότι οι δυνατότητες



της αντλίας παραμένουν σταθερές, η μείωση της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας είναι ανάλογη του επιπέδου μόνωσης του κτιριακού κελύφους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, με τη σύγκριση του υφιστάμενου κτιρίου με τα εξεταζόμενα σενάρια εξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

a) Αναφορικά με τις ενεργειακές καταναλώσεις για τη θέρμανση διαπιστώνεται ότι με την αύξηση της εγκατεστημένης μόνωσης η ίδια αντλία θερμότητας επιτυγχάνει μεγαλύτερη εξοικονόμηση. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς βελτιώνοντας τη θερμομόνωση του κτιρίου, μειώνονται οι θερμικές ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν από την αντλία θερμότητας και κατά συνέπεια να καταναλώνεται λιγότερη πρωτογενής ενέργεια.

b) Εν αντιθέσει με τη θέρμανση, η αύξηση του πάχους μόνωσης αυξάνει τις καταναλώσεις για την ψύξη. Η διαπίστωση αυτή δικαιολογείται αν λάβουμε υπόψη ότι, με την αύξηση της μόνωσης εγκλωβίζονται τα θερμικά κέρδη στο εσωτερικό του κτιρίου, με αποτέλεσμα το σύστημα να καταναλώνει περισσότερη ενέργεια για να απομακρύνει τα θερμικά κέρδη. Η διαπίστωση αυτή επαληθεύεται αν παρατηρήσουμε τα αντίστοιχα ποσοστά για το παλαιό Η/Μ εξοπλισμό. Με την αύξηση του πάχους μόνωσης, τα παλαιά κλιματιστικά καταναλώνουν μεγαλύτερη ενέργεια συγκριτικά με το υφιστάμενο σύστημα, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται αρνητικά ποσοστά. Ιδίως στην περίπτωση της αντλίας θερμότητας, με την εγκατάσταση του ενδοδαπέδιου συστήματος έχουμε επιπλέον μόνωση του δαπέδου, εντείνοντας το πρόβλημα. Ωστόσο, τα επίπεδα κατανάλωσης είναι χαμηλότερα του κτιρίου αναφοράς, συμβάλλοντας έτσι στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου.

c) Τέλος όσον αφορά τις ανάγκες σε ZNX παρατηρείται μείωση της ποσοστιαίας εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας με την αύξηση του πάχους μόνωσης. Οι ανάγκες των ενοίκων σε ZNX παραμένουν σταθερές, και ανεξάρτητες του επιπέδου μόνωσης του κτιρίου. Επιπλέον, η συνεισφορά της ηλιακής ενέργειας παραμένει σταθερή σε κάθε περίπτωση. Η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για ZNX, που υπολογίστηκε από το πρόγραμμα, πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι, με την μείωση των θερμικών αναγκών η αντλία θερμότητας λειτουργεί περισσότερο για την παραγωγή ZNX, αυξάνοντας ελάχιστα την κατανάλωση ενέργειας με την αύξηση του πάχους μόνωσης.

Η μείωση της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας του κτιρίου μετά την εφαρμογή των επεμβάσεων ήταν αναμενόμενη, καθώς αντιμετωπίστηκαν συνολικά τα προβλήματα του υφιστάμενου κτιρίου. Ωστόσο, αυτό που αξίζει να παρατηρηθεί είναι η συμβολή του Η/Μ



μηχανισμού στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που αφορούν τον παλιό και το νέο Η/Μ ανά επίπεδο μόνωσης.

Καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια σε kWh/m ² θερμαινόμενου χώρου ανά τελική χρήση και επέμβαση			
	Λέβητας πετρελαίου	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.	Ποσοστό εξοικονόμησης
Θέρμανση	131,3	59,2	54,9%
Ψύξη	39,5	18,4	53,4%
ZNX	84,7	6,6	92,2%
Σύνολο	255,4	84,2	67,0%
Κατάταξη	E	B+	-

Πίνακας 4.49 : Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) και ποσοστό εξοικονόμησης ως προς το υφιστάμενο σύστημα λέβητα πετρελαίου για επαρκώς μονωμένη κατοικία, μετά την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας χωρίς ηλιακή θέρμανση, και ενεργειακή κατάταξη αυτού

Καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια σε kWh/m ² θερμαινόμενου χώρου ανά τελική χρήση και επέμβαση			
	Λέβητας πετρελαίου	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.	Ποσοστό εξοικονόμησης
Θέρμανση	70,3	31,8	54,8%
Ψύξη	38,6	19,1	50,5%
ZNX	84,7	7,4	91,3%
Σύνολο	193,6	58,3	69,9%
Κατάταξη	Δ	A	-

Πίνακας 4.50: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) και ποσοστό εξοικονόμησης ως προς το υφιστάμενο σύστημα λέβητα πετρελαίου για βέλτιστα μονωμένη κατοικία, μετά την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας χωρίς ηλιακή θέρμανση, και ενεργειακή κατάταξη αυτού

Από τους Πίνακες 4.49 και 4.50, διαπιστώνεται ότι η αντικατάσταση του παλαιού Η/Μ συστήματος με την αντλία θερμότητας συμβάλει σημαντικά στην μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας ενός μονωμένου κτιρίου, επιτυγχάνοντας εξοικονόμηση 67% για την επαρκώς μονωμένη κατοικία και 69,9% για τη βέλτιστα μονωμένη. Παρατηρούμε ότι, η συνεισφορά της αντλίας θερμότητας είναι ελαφρώς μεγαλύτερη στην περίπτωση του βέλτιστα μονωμένου κτιρίου καθώς παρουσιάζει χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις.

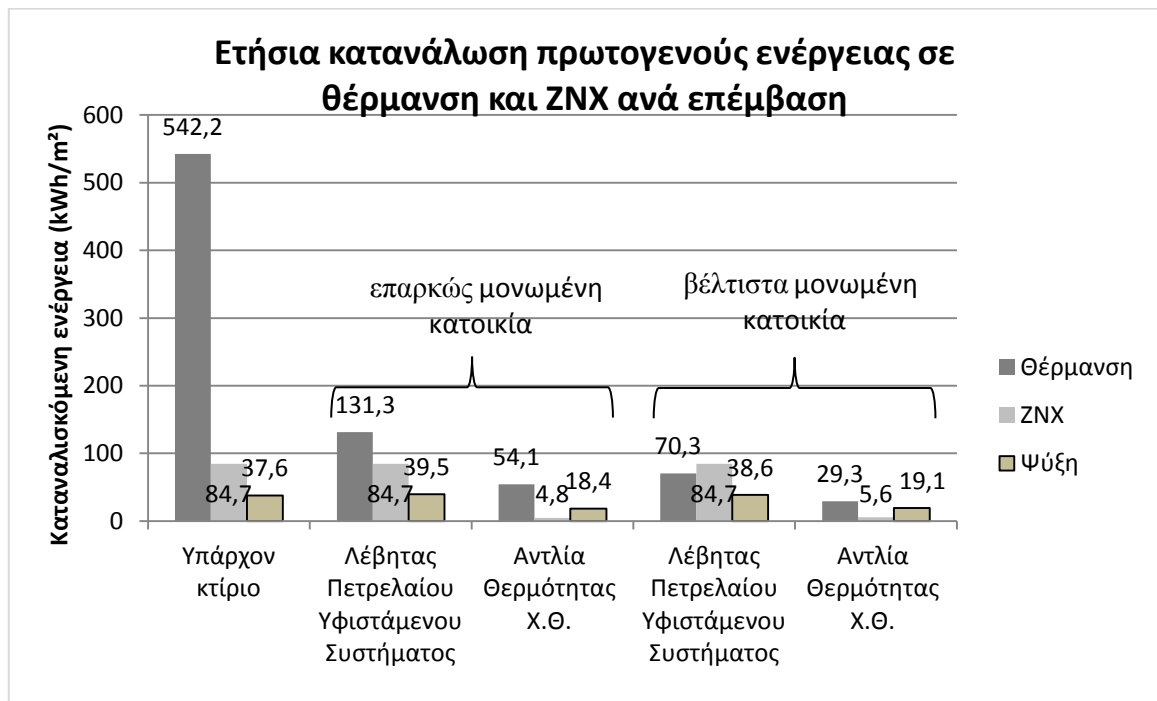
Οι παραπάνω παρατηρήσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η αντικατάσταση του Η/Μ εξοπλισμού συμβάλει σημαντικά στη μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων, ακόμα και όταν η επέμβαση της αντικατάστασης πραγματοποιείται για την κάλυψη των αναγκών μονωμένης κατοικίας.

Σε ό, τι αφορά την αναβάθμιση της εξεταζόμενης κατοικίας, η οποία όπως έχει αναφερθεί είναι αμόνωτη, από ενεργειακής άποψης η μεγαλύτερη μείωση των καταναλώσεων

παρατηρείται όταν εξασφαλίζεται η βέλτιστη μόνωση του κτιρίου και η ταυτόχρονη αντικατάσταση του Η/Μ εξοπλισμού. Παρόλα αυτά, η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση επαρκούς μόνωσης θεωρείται ικανοποιητική.

4.10.2. Ενεργειακό προφίλ κατοικίας με παράμετρο το επίπεδο μόνωσης του κτιριακού κελύφους με ηλιακή θέρμανση

Με την αξιοποίηση της ηλιακής θέρμανσης μειώνονται οι ενεργειακές καταναλώσεις για τη θέρμανση του κτιρίου. Στον Πίνακα 4.47 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την καταναλισκόμενη πρωτογενή ενέργεια ανά τελική χρήση και συνολικά, εάν στις προαναφερθείσες επεμβάσεις εγκατάστασης αντλίας θερμότητας συμπεριληφθεί η ηλιακή θέρμανση.



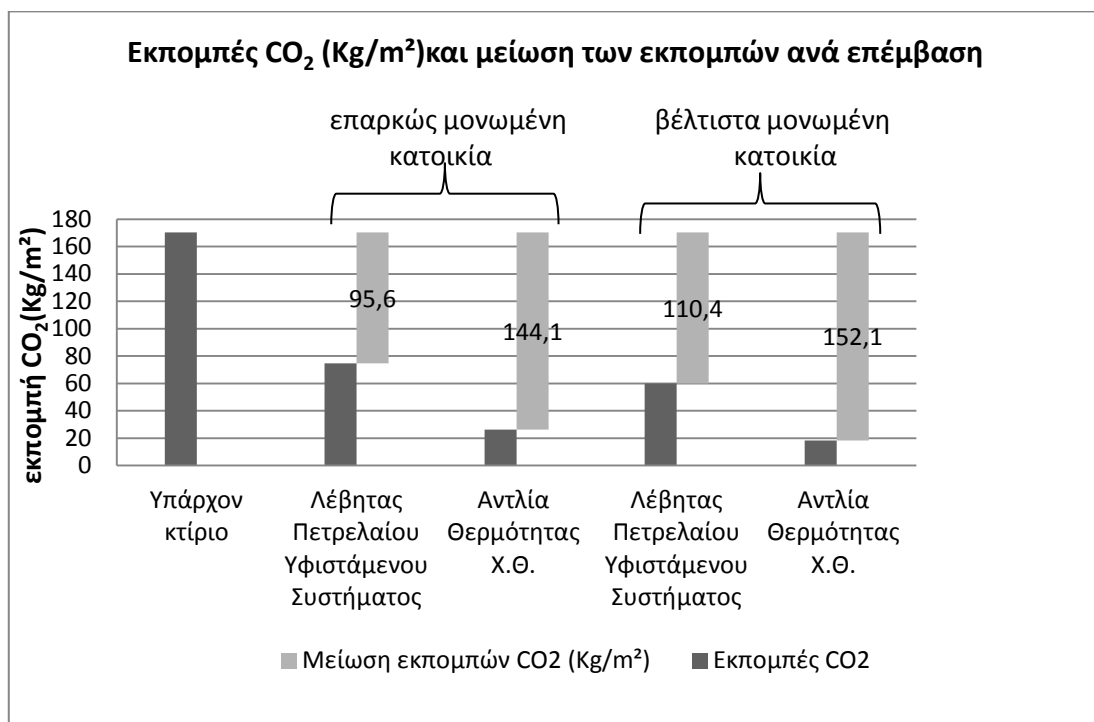
Διάγραμμα 4.17: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) για θέρμανση και ΖΝΧ ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης με το υφιστάμενο και το νέο σύστημα, με ηλιακή υποβοήθηση

Η εγκατάσταση της ηλιακής υποβοήθησης δεν επιδρά στα φορτία ψύξης, και για το λόγο αυτό η εξοικονόμηση για την ψύξη παραμένει ίδια.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.47 και το Διάγραμμα 4.6, διαπιστώνουμε ότι, εφόσον η αντλία θέρμανσης παραμένει ίδια, η παρατηρούμενη μείωση των καταναλώσεων για ΖΝΧ οφείλεται στην αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας του ηλιακού συστήματος. Επομένως, η αντλία θερμότητας καταναλώνει λιγότερη ενέργεια για την κάλυψη των παραγωγή ΖΝΧ, με

αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση της καταναλισκόμενης πρωτογενούς ενέργειας για ΖΝΧ. Σημειώνεται ότι και στην περίπτωση της ηλιακής υποβοήθησης θέρμανσης, παρατηρείται μικρή αύξηση των καταναλώσεων της βέλτιστα μονωμένης κατοικίας για ΖΝΧ, η αιτιολόγηση της οποίας παρατίθεται σε προηγούμενη παράγραφο.

Ωστόσο, αν και σημειώνεται περαιτέρω μείωση των καταναλώσεων για θέρμανση, δεν παρατηρείται αισθητή μεταβολή στα επίπεδα των συνολικών καταναλώσεων. Αυτό διαπιστώνεται και από την κατάταξη του κτιρίου για κάθε εξεταζόμενη επέμβαση, η οποία για την επαρκώς μονωμένη κατοικία παραμένει (B+) και για την βέλτιστα μονωμένη κατοικία παραμένει (A).

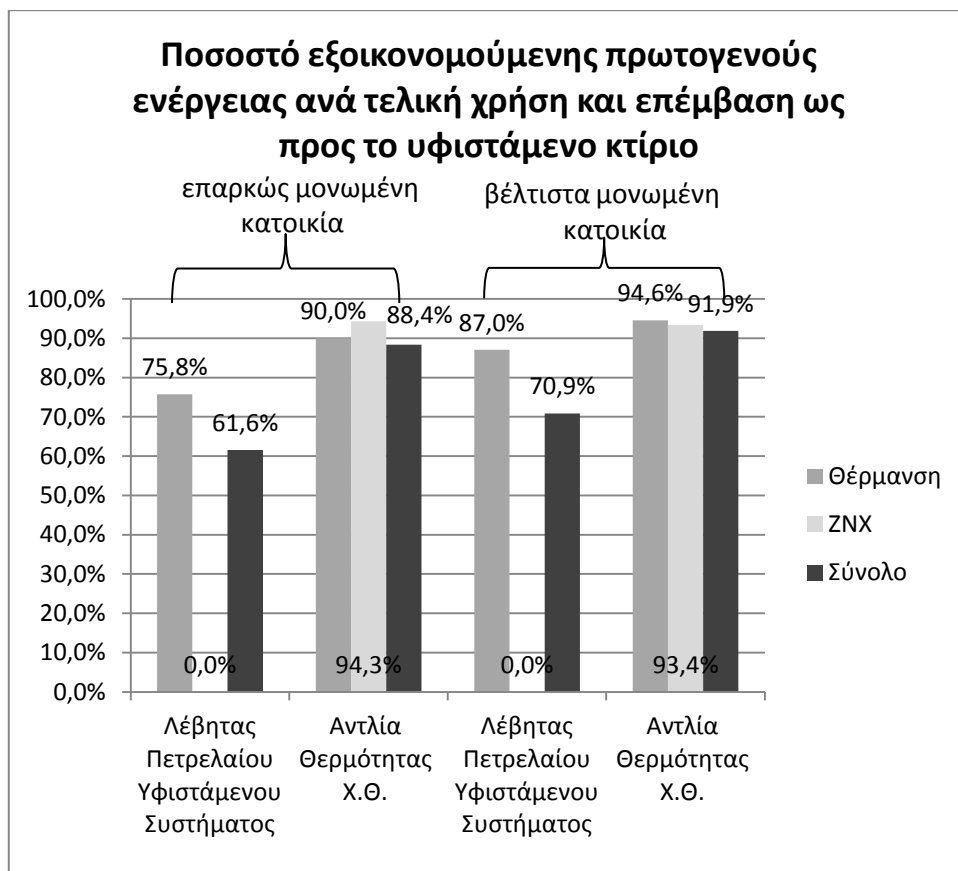


Διάγραμμα 4.18: Εκπομπές CO₂ (Kg/m²) και μείωση των εκπομπών ανά επέμβαση μόνωσης του κτιριακού κελύφους με ηλιακή υποβοήθηση

Με την εφαρμογή της ηλιακής θέρμανσης επιτυγχάνεται ο μετριασμός των καταναλισκόμενων ποσών ενέργειας, μειώνοντας ταυτόχρονα και το επίπεδο των εκπομπών. Η παρατηρούμενη μείωση των εκπομπών είναι μικρή και ανάλογη της εξοικονόμησης που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του ηλιοθερμικού συστήματος. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι, για τη λειτουργία του νέου Η/Μ χρησιμοποιείται, πλην της ηλιακής ενέργειας, μόνο ηλεκτρική ενέργεια.

Και σε αυτή την περίπτωση, η διαφορά μεταξύ του ηλιακά υποβοηθούμενου συστήματος και του συστήματος χωρίς ηλιακή θέρμανση ανά εξεταζόμενη επέμβαση είναι, η μείωση των επιπέδων της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση και ΖΝΧ.

Στο Διάγραμμα 4.19 παρουσιάζεται το ποσοστό της εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας σε σχέση με την ενεργειακή κατανάλωση του υφιστάμενου κτιρίου, ανά τελική χρήση που επιτυγχάνει ετησίως κάθε μια από τις προτεινόμενες επεμβάσεις στο σύστημα παραγωγής θέρμανσης, συμπεριλαμβανομένης της εξοικονόμησης στο σύστημα ψύξης.



Διάγραμμα 4.19: Ποσοστό εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση και επέμβαση μόνωσης του κτιριακού κελύφους ως προς το υφιστάμενο κτίριο με ηλιακή υποβοήθηση

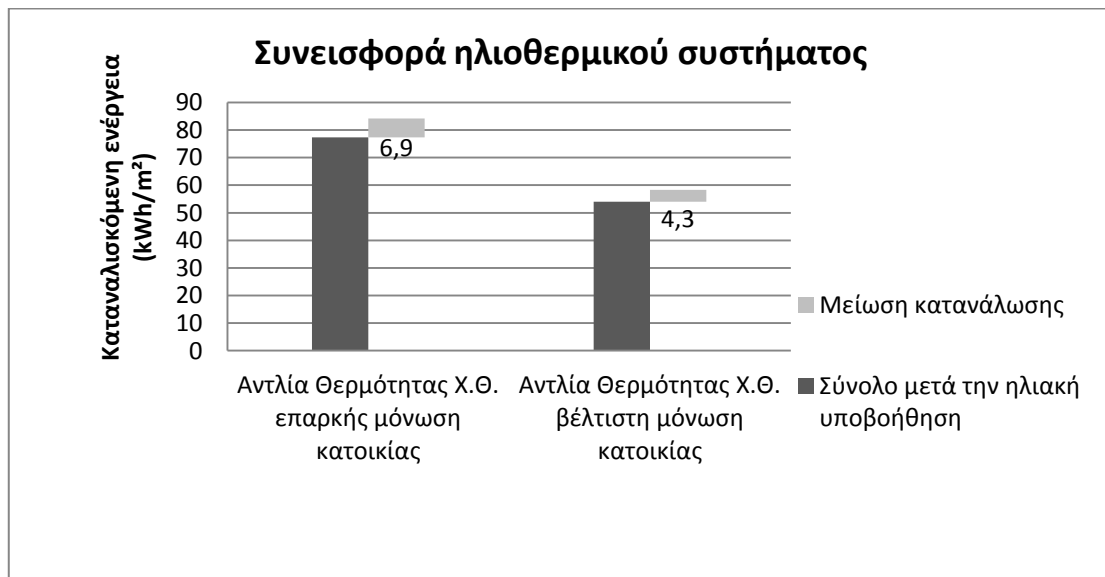
4.10.3. Συμπεράσματα για το ποσοστό συνεισφοράς της ηλιακής θέρμανσης στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου.

Με την ηλιακή υποβοήθηση αυτό που μεταβάλλεται ουσιαστικά είναι το επίπεδο των καταναλώσεων για θέρμανση και ΖΝΧ, ανά εξεταζόμενη επέμβαση. Συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν με τη χρήση του προγράμματος, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:



	Συνολικές καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²) μονωμένης κατοικίας		Μείωση της κατανάλωσης λόγω συνεισφοράς της ηλιακής θέρμανσης (kWh/m ²)	Ποσοστό μείωσης λόγω συνεισφοράς της ηλιακής θέρμανσης
	Χωρίς ηλιακή υποβοήθηση	Με ηλιακή υποβοήθηση		
Αντλία θερμότητας για επαρκώς μονωμένη κατοικία	84,2	77,3	6,9	8,2%
Αντλία θερμότητας για βέλτιστα μονωμένη κατοικία	58,3	54	4,3	5,6%
Ετήσια μείωση κατανάλωσης ως προς το επαρκώς μονωμένο κέλυφος, λόγω αύξησης του πάχους μόνωσης	25,9	23,3	-	-
Ποσοστό μείωσης λόγω αύξησης του πάχους μόνωσης ως	30,8%	30,1%	-	-

Πίνακας 4.51: Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης



Διάγραμμα 4.20: Μείωση καταναλώσεων πρωτογενούς ενέργειας λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης

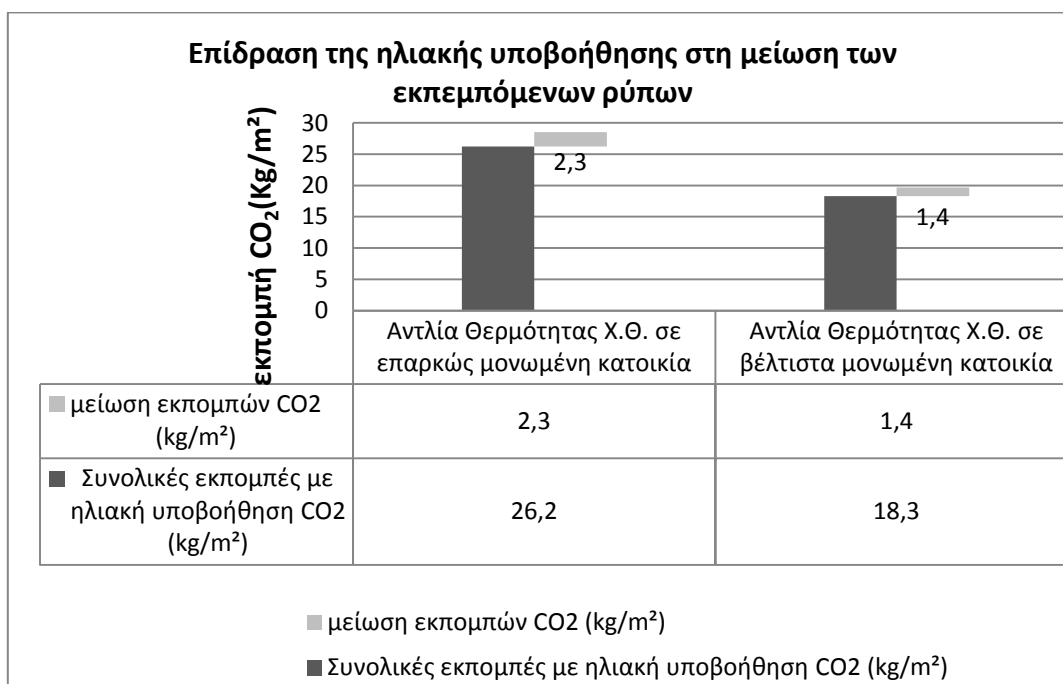


Η μεγαλύτερη συνεισφορά του ηλιοθερμικού συστήματος σημειώνεται για την περίπτωση της αντλίας θερμότητας όταν αυτή λειτουργεί για την κάλυψη των αναγκών επαρκώς μονωμένης κατοικίας, η οποία παρουσιάζει ελαφρώς μεγαλύτερη κατανάλωση. Παρατηρείται ότι, για το μέγεθος της επέμβασης εγκατάστασης του ηλιοθερμικού συστήματος το ποσοστό εξοικονομούμενης ενέργειας ανά επέμβαση είναι χαμηλό, ωστόσο είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό συμμετοχής στην περίπτωση αμόνωτης κατοικίας, το οποίο είναι μικρότερο από 4,5%.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του λογισμικού, η ετήσια μείωση των εκπομπών λόγω της επέμβασης της ηλιακής υποβοήθησης είναι ευθέως ανάλογη της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται.

	Συνολικές εκπομπές CO ₂ (kg/m ²) μονωμένης κατοικίας		Μείωση των εκπομπών CO ₂ (kg/m ²) λόγω συνεισφοράς της ηλιακής θέρμανσης	Ποσοστό μείωσης (%) λόγω συνεισφοράς της ηλιακής θέρμανσης
	Χωρίς ηλιακή υποβοήθηση	Με ηλιακή υποβοήθηση		
Αντλία θερμότητας για επαρκώς μονωμένη κατοικία	28,5	26,2	2,3	8,1%
Αντλία θερμότητας για βέλτιστα μονωμένη κατοικία	19,7	18,3	1,4	5,3%
Ετήσια μείωση εκπομπής ρύπων ως προς το επαρκώς μονωμένο κέλυφος, λόγω αύξησης του πάχους μόνωσης	8,8	7,9	-	-
Ποσοστό μείωσης %	30,9%	30,2%	-	-

Πίνακας 4.52: Μείωση των συνολικών εκπομπών CO₂ (kg/m²) λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης

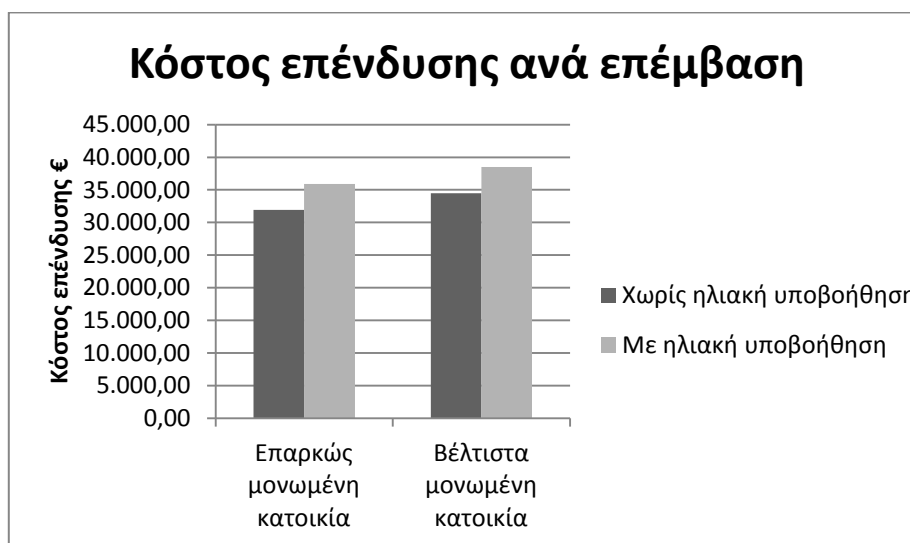


Διάγραμμα 4.21 : Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων CO₂(Kg/m²) λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης

4.11. Οικονομική ανάλυση των σεναρίων που περιλαμβάνουν μόνωση της κατοικίας

Για τη σωστή επιλογή της επένδυσης, θα πρέπει να ελεγχθούν εκτός από τα ενεργειακά οφέλη και τα οικονομικά, ώστε να πραγματοποιηθεί η πιο συμφέρουσα επέμβαση. Εισάγοντας στο λογισμικό τα κόστη αγοράς και εγκατάστασης κάθε επιμέρους επέμβασης που εξετάστηκε, προκύπτουν τα συνολικά κόστη ανά επέμβαση.

Καθώς τα σεναρία στα οποία περιλαμβάνεται μόνο η επέμβαση στη μόνωση του κτιρίου αναλύονται εκτενώς στη διπλωματική εργασία «Επίδραση θερμικής μόνωσης στην εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ», στην παρούσα ενότητα θα εξετασθεί το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την αντικατάσταση του Η/Μ εξοπλισμού.



Διάγραμμα 4.22: Κόστος επένδυσης εγκατάστασης αντλίας θερμότητας ανά επίπεδο μόνωσης κτιριακού κελύφους, συμπεριλαμβανομένης ή όχι της ηλιακής θέρμανσης

Το Διάγραμμα 4.22 παρουσιάζει συγκεντρωμένα τα κόστη ανά εξεταζόμενη επέμβαση, συμπεριλαμβανομένου του κόστους μόνωσης. Τα κόστη επέμβασης επιβαρύνονται κατά ένα σταθερό ποσό των 4000€, σε περίπτωση που συμπεριλαμβάνεται εγκατάσταση ηλιακής θέρμανσης.

Με την εφαρμογή της αντλίας θερμότητας επιτυγχάνεται μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς καταναλώνονται μικρότερα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση του λειτουργικού κόστους. Η μείωση του κόστους λειτουργίας αυξάνεται ελαφρώς στην περίπτωση ηλιακής υποβοήθησης, λόγω της συνεισφοράς της ηλιακής ενέργειας. Σε όλες τις περιπτώσεις το λειτουργικό κόστος υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό, τα αποτελέσματα του οποίου παρατίθενται στη συνέχεια.



		Λειτουργικό κόστος €	Ετήσια μείωση κόστους λόγω ηλιακής υποβ. €	Ποσοστό μείωσης %
	Υπάρχον κτίριο	5.736,50	-	-
Χωρίς την ηλιακή υποβ.	Αντλία θερμότητας για επαρκώς μονωμένη κατοικία	335,7	5.400,80	94,1%
	Αντλία θερμότητας για βέλτιστα μονωμένη κατοικία	233,10	5.503,40	95,9%
Με την ηλιακή υποβ.	Αντλία θερμότητας για επαρκώς μονωμένη κατοικία	308,7	5.427,80	94,6%
	Αντλία θερμότητας για βέλτιστα μονωμένη κατοικία	216,40	5.520,10	96,2%

Πίνακας 4.53: Εξοικονόμηση στο λειτουργικό κόστος ως προς το υφιστάμενο κτίριο λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης

	Λειτουργικό κόστος χωρίς την ηλιακή υποβ. €	Λειτουργικό κόστος με την ηλιακή υποβ. €	Ετήσια μείωση κόστους λόγω ηλιακής υποβ. €	Ποσοστό μείωσης %
Αντλία θερμότητας για επαρκώς μονωμένη κατοικία	335,7	308,7	27,00	8,0%
Αντλία θερμότητας για βέλτιστα μονωμένη κατοικία	233,10	216,40	16,70	5,4%
Ετήσια μείωση κόστους ως προς το επαρκώς μονωμένο κέλυφος, λόγω αύξησης του πάχους μόνωσης	102,60	92,30	-	-
Ποσοστό μείωσης %	30,6%	29,9%	-	-

Πίνακας 4.54: Εξοικονόμηση στο λειτουργικό κόστος λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης

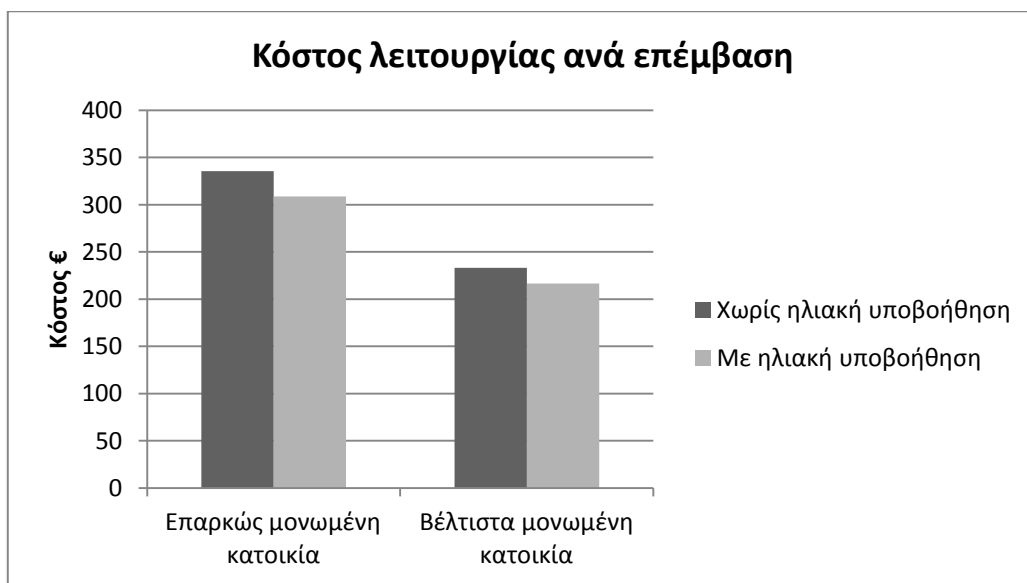
Παρατηρούμε ότι, σύμφωνα με τους Πίνακες 4.53 και 4.54, η μεγαλύτερη μείωση του λειτουργικού κόστους επιτυγχάνεται με τη χρήση του συστήματος αντλίας θερμότητας για την κάλυψη των αναγκών της βέλτιστα μονωμένης κατοικίας, όπου οι ενεργειακές απαιτήσεις



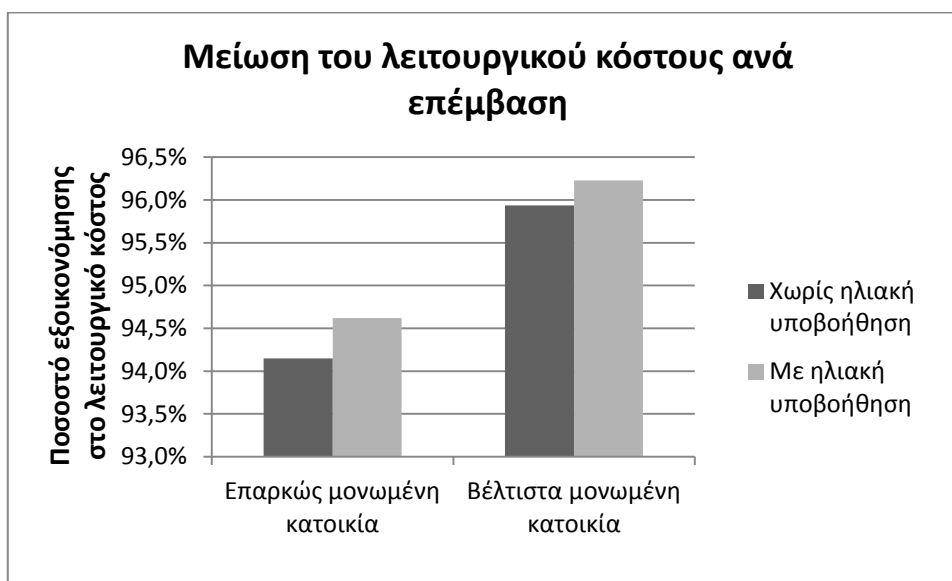
είναι χαμηλότερες. Το όφελος που προκύπτει στην περίπτωση αυτή είναι κατά 102,6€/ετησίως συγκριτικά με το λειτουργικό κόστος για την επαρκώς μονωμένη κατοικία.

Όσον αφορά τις επεμβάσεις που περιλαμβάνουν επιπλέον εγκατάσταση ηλιακού συστήματος θέρμανσης διαπιστώνεται ότι το οικονομικό όφελος ανά βαθμό μόνωσης που επιτυγχάνεται είναι χαμηλό συγκριτικά με το κόστος της εγκατάστασης του ηλιοθερμικού συστήματος. Η παρατήρηση αυτή γίνεται εμφανής στο Διάγραμμα 4.23, όπου παρουσιάζεται το λειτουργικό κόστος ανά εξεταζόμενη επέμβαση, και στο Διάγραμμα 4.24, όπου παρουσιάζεται η ποσοστιαία μείωση του λειτουργικού κόστους ανά εξεταζόμενη επέμβαση, συμπεριλαμβανομένης ή μη της ηλιακής θέρμανσης.

Το λειτουργικό κόστος της αντλίας θερμότητας είναι ήδη αρκετά χαμηλό, επομένως η συνεισφορά του ηλιακού συστήματος δεν αποφέρει μεγάλο όφελος. Το μικρό οικονομικό όφελος, σε σχέση με την σχετικά μικρή συνεισφορά καθιστούν την επιπλέον επέμβαση εγκατάστασης ηλιοθερμικού συστήματος ασύμφορη.



Διάγραμμα 4.23: Μεταβολή λειτουργικού κόστους λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης



Διάγραμμα 4.24: Ποσοστιαία μείωση του λειτουργικού κόστους ως προς το λειτουργικό κόστος του υφιστάμενου κτιρίου λόγω λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, ανά εξεταζόμενη επέμβαση μόνωσης του κτιρίου και εγκατάσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης

Όπως έχει αναφερθεί, η μέθοδος υπολογισμού του χρόνου απόσβεσης των επεμβάσεων που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα, είναι απλουστευμένη. Σύμφωνα με τη μέθοδο υπολογισμού του προγράμματος, διαπιστώνεται ότι η περίοδος αποπληρωμής δεν αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του πάχους μόνωσης, χάριν στην μεγάλη μείωση του λειτουργικού κόστους της αντλίας θερμότητας.

Η επιλογή του πάχους μόνωσης που θα εγκατασταθεί στην κατοικία και θα συμπεριληφθεί στην επέμβαση εγκατάστασης της αντλίας θερμότητας, εξαρτάται αποκλειστικά από τις απαιτήσεις των ενοίκων και την οικονομική τους δυνατότητα.

4.12. Εκτίμηση συνολικού κέρδους ανά επέμβαση

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο υπολογισμός των οικονομικών στοιχείων των επεμβάσεων δεν λαμβάνει υπόψη σημαντικές παραμέτρους για την εκτίμηση της αποδοτικότητας της επέμβασης. Προκειμένου να επιλεγεί η πιο συμφέρουσα επένδυση, θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μια προσέγγιση του οικονομικού οφέλους που προκύπτει για κάθε μια επέμβαση ξεχωριστά.

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα του λογισμικού που αφορούν το κόστος λειτουργίας κάθε επένδυσης, τα οποία θα θεωρηθούν σταθερά κατά τη διάρκεια ζωής της επένδυσης, η οποία λαμβάνεται ίση με 15 έτη. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν



λαμβάνονται υπόψη η μεταβολή στο κόστος των καυσίμων και η διακύμανση της αξίας του χρήματος κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου.

Για κάθε ένα από τα πιθανά σενάρια υπολογίζεται το ετήσιο κέρδος σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{Ετήσιο κέρδος}_{\text{σεναρίου}} = \text{Λειτουργικό κόστος}_{\text{υπάρχον}} - \text{Λειτουργικό κόστος}_{\text{σεναρίου}}$$

Από το ετήσιο κέρδος κάθε σεναρίου υπολογίζεται ο χρόνος απόσβεσης για καθ' ενός.

$$\text{Χρόνος απόσβεσης}_{\text{σεναρίου}} = \frac{\text{Κόστος επένδυσης}_{\text{σεναρίου}}}{\text{Ετήσιο κέρδος}_{\text{σεναρίου}}}$$

Το συνολικό κέρδος του επενδυτή μετά το πέρας της δεκαπενταετίας εκτιμάται βάσει της σχέσης:

$$\text{Συνολικό κέρδος}_{\text{σεναρίου}} = (15 - \text{Χρόνος απόσβεσης}_{\text{σεναρίου}}) \cdot \text{Ετήσιο κέρδος}_{\text{σεναρίου}}$$

Σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας με τις χρηματοροές:

έτος	Αμόνωτη κατοικία					Επαρκώς μονωμένη κατοικία	Βέλτιστα μονωμένη κατοικία
	Λέβητας συμβατικός	Λέβητας Συμπύκν.	Λέβητας Pellets	μ-ΣΗΘ	Αντλία Θερμότητας Υ.Θ.	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ. βέλτιστη μόνωση
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	1.711,8	-	-	-	-
4	-	-	5.258,90	-	-	-	-
5	-	-	5.258,90	-	3.101,1	-	-
6	1.877,5	1.972,1	5.258,90	-	4.131,20	478,7	-
7	2.655,40	2.829,50	5.258,90	-	4.131,20	5.400,80	4.040,1
8	2.655,40	2.829,50	5.258,90	-	4.131,20	5.400,80	5.503,40
9	2.655,40	2.829,50	5.258,90	-	4.131,20	5.400,80	5.503,40
10	2.655,40	2.829,50	5.258,90	-	4.131,20	5.400,80	5.503,40
11	2.655,40	2.829,50	5.258,90	-	4.131,20	5.400,80	5.503,40
12	2.655,40	2.829,50	5.258,90	-	4.131,20	5.400,80	5.503,40
13	2.655,40	2.829,50	5.258,90	-	4.131,20	5.400,80	5.503,40
14	2.655,40	2.829,50	5.258,90	-	4.131,20	5.400,80	5.503,40
15	2.655,40	2.829,50	5.258,90	-	4.131,20	5.400,80	5.503,40
Σύνολο	25.776,10	27.437,60	64.818,60	-	44.413,10	49.085,90	48.067,30

Πίνακας 4.55: Ταμειακή ροή για κάθε εξεταζόμενη επένδυση για την περίπτωση μη ηλιακής υποβοήθησης θέρμανσης



**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ Κ.Εν.Α.Κ**

έτος	Αμόνωτη κατοικία					Επαρκώς μονωμένη κατοικία	Βέλτιστα μονωμένη κατοικία
	Λέβητας συμβατικός	Λέβητας Συμπύκν.	Λέβητας Pellets	μ - ΣΗΘ	Αντλία Θερμότητας Υ.Θ.	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	1.711,8	-	-	-	-
4	-	-	6.970,70	-	-	-	-
5	-	-	12.229,60	-	3.101,1	-	-
6	1.877,5	1.972,1	17.488,50	-	7.232,30	478,7	-
7	4.532,90	4.801,60	22.747,40	-	11.363,50	5.879,50	4.040,1
8	7.188,30	7.631,10	28.006,30	-	15.494,70	11.280,30	9.543,50
9	9.843,70	10.460,60	33.265,20	-	19.625,90	16.681,10	15.046,90
10	12.499,10	13.290,10	38.524,10	-	23.757,10	22.081,90	20.550,30
11	15.154,50	16.119,60	43.783,00	-	27.888,30	27.482,70	26.053,70
12	17.809,90	18.949,10	49.041,90	-	32.019,50	32.883,50	31.557,10
13	20.465,30	21.778,60	54.300,80	-	36.150,70	38.284,30	37.060,50
14	23.120,70	24.608,10	59.559,70	-	40.281,90	43.685,10	42.563,90
15	25.776,10	27.437,60	64.818,60	-	44.413,10	49.085,90	48.067,30

Πίνακας 4.56: Αθροιστικά καθαρά έσοδα για τα σενάρια επεμβάσεων χωρίς ηλιακή υποβοήθηση θέρμανσης

έτος	Αμόνωτη κατοικία					Επαρκώς μονωμένη κατοικία	Βέλτιστα μονωμένη κατοικία
	Λέβητας συμβατικός	Λέβητας Συμπύκν.	Λέβητας Pellets	μ- ΣΗΘ	Αντλία Θερμότητας Υ.Θ.	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.	Αντλία Θερμότητας Χ.Θ. βέλτιστη μόνωση
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	3.040,9	-	-	-	-
5	-	-	5.276,20	-	-	-	-
6	-	-	5.276,20	-	3.652,1	-	-
7	1.507,6	1.730,8	5.276,20	-	4.201,00	2.069,5	158
8	2.794,50	2.962,10	5.276,20	-	4.201,00	5.427,80	5.520,10
9	2.794,50	2.962,10	5.276,20	-	4.201,00	5.427,80	5.520,10
10	2.794,50	2.962,10	5.276,20	-	4.201,00	5.427,80	5.520,10
11	2.794,50	2.962,10	5.276,20	-	4.201,00	5.427,80	5.520,10
12	2.794,50	2.962,10	5.276,20	-	4.201,00	5.427,80	5.520,10
13	2.794,50	2.962,10	5.276,20	-	4.201,00	5.427,80	5.520,10
14	2.794,50	2.962,10	5.276,20	-	4.201,00	5.427,80	5.520,10
15	2.794,50	2.962,10	5.276,20	-	4.201,00	5.427,80	5.520,10
Σύνολο	23.863,60	25.427,60	61.079,10	-	41.461,10	45.491,90	44.318,80

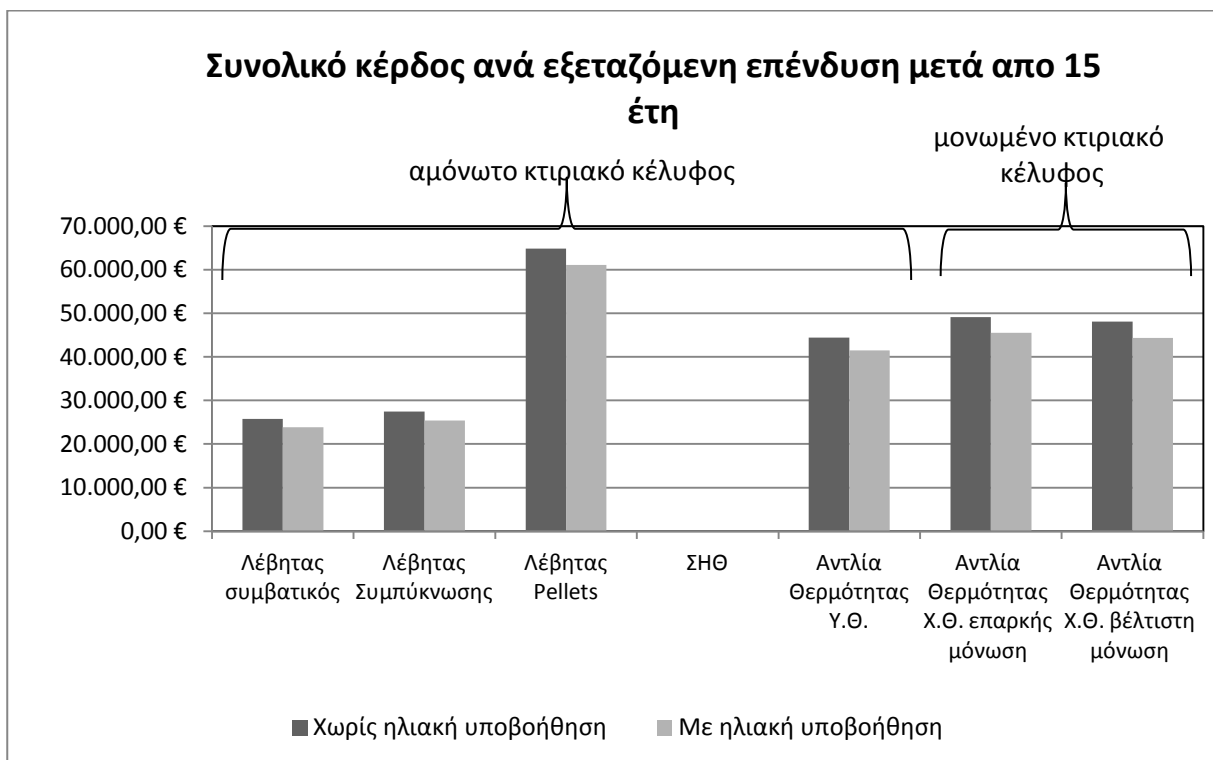
Πίνακας 4.57: Ταμειακή ροή για κάθε εξεταζόμενη επένδυση συμπεριλαμβανομένης της επένδυσης εγκατάστασης ηλιακής υποβοήθησης θέρμανσης



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ Κ.Εν.Α.Κ

έτος	Αμόνωτη κατοικία				Αντλία Θερμότητας Υ.Θ.	Επαρκώς μονωμένη κατοικία Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.	Βέλτιστα μονωμένη κατοικία Αντλία Θερμότητας Χ.Θ.
	Λέβητας συμβατικός	Λέβητας Συμπύκν.	Λέβητας Pellets	μ- ΣΗΘ			
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	3.040,9	-	-	-	-
5	-	-	8.317,10	-	-	-	-
6	-	-	13.593,30	-	3.652,1	-	-
7	1.507,6	1.730,8	18.869,50	-	7.853,10	2.069,5	158
8	4.302,10	4.692,90	24.145,70	-	12.054,10	7.497,30	5.678,10
9	7.096,60	7.655,00	29.421,90	-	16.255,10	12.925,10	11.198,20
10	9.891,10	10.617,10	34.698,10	-	20.456,10	18.352,90	16.718,30
11	12.685,60	13.579,20	39.974,30	-	24.657,10	23.780,70	22.238,40
12	15.480,10	16.541,30	45.250,50	-	28.858,10	29.208,50	27.758,50
13	18.274,60	19.503,40	50.526,70	-	33.059,10	34.636,30	33.278,60
14	21.069,10	22.465,50	55.802,90	-	37.260,10	40.064,10	38.798,70
15	23.863,60	25.427,60	61.079,10	-	41.461,10	45.491,90	44.318,80

Πίνακας 4.58: Αθροιστικά καθαρά έσοδα για τα σενάρια επεμβάσεων συμπεριλαμβανομένης της επένδυσης εγκατάστασης ηλιακής υποβοήθησης θέρμανσης



Διάγραμμα 4.25: Συνολικό κέρδος σύμφωνα με τα αποτελέσματα του TEE-KENAK κάθε επένδυσης που παρουσιάστηκε, μετά το πέρας 15 ετών



Από το Διάγραμμα 4.25 συμπεραίνουμε ότι, διατηρώντας το κτιριακό κέλυφος στην αρχική του κατάσταση (αμόνωτο), τα αποτελέσματα που παρατίθενται στον Πίνακα 4.56 υποδεικνύουν την εγκατάσταση του λέβητα pellets, χωρίς ηλιακή υποβοήθηση θέρμανσης, ως την πιο συμφέρουσα επένδυση. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο, λαμβάνοντας υπόψη το χαμηλό κόστος αγοράς της βιομάζας. Επιπροσθέτως, εκτός από το οικονομικό όφελος, ο λέβητας pellets παρουσιάζει υψηλό ενεργειακό όφελος, επιτυγχάνοντας τη δεύτερη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας μεταξύ των επεμβάσεων που εξετάστηκαν για αμόνωτη κατοικία. Τα παραπάνω δικαιολογούν την επιλογή του λέβητα pellets ως την πλέον συμφέρουσα επέμβαση για αμόνωτη κατοικία.

Για όλες τις επεμβάσεις σε αμόνωτο ή μονωμένο κτιριακό κέλυφος, η χρήση της ηλιακής υποβοήθησης επιφέρει χαμηλότερο όφελος, ενώ το ποσοστό συνεισφοράς της στην ενεργειακή εξοικονόμηση είναι χαμηλό, συγκριτικά με τα επίπεδα καταναλώσεων.

Οι επεμβάσεις αναβάθμισης της υφιστάμενης αμόνωτης κατοικίας με επέμβαση μόνο στο Η/Μ εξοπλισμό έδειξαν ότι, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων με την αντικατάσταση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και ΖΝΧ. Ωστόσο, η μη μόνωση του κελύφους οδηγεί σε υψηλές καταναλώσεις της κατοικίας, ακόμη και με την εφαρμογή της αποδοτικότερης τεχνολογίας, όπως οι λέβητες συμπύκνωσης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκαν επιπλέον δυο σενάρια στα οποία συμπεριλήφθηκε μόνωση του κτιριακού κελύφους, με στόχο να διαπιστωθεί η μεταβολή του επιπέδου εξοικονόμησης που μπορεί να επιτευχθεί, σε περίπτωση μειωμένων ενεργειακών απαιτήσεων. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στην περίπτωση αντικατάστασης του ενεργοβόρου λέβητα πετρελαίου με την αντλία θερμότητας. Συμπεραίνεται επομένως ότι, η αντικατάσταση των συστημάτων είναι αποδοτική ακόμα και στην περίπτωση που οι επεμβάσεις πραγματοποιούνται σε μονωμένη κατοικία.

Ωστόσο, καθώς ενδιαφερόμαστε για την ενεργειακή αναβάθμιση της υφιστάμενης αμόνωτης κατοικίας, είναι απαραίτητο να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα ως προς το υφιστάμενο κτίριο. Σύμφωνα με όσα παρουσιάστηκαν και με τα αποτελέσματα από το Διάγραμμα 4.25 διαπιστώνεται ότι, το συνολικό όφελος στη μονωμένη κατοικία είναι χαμηλότερο από το λέβητα pellets, ο οποίος αφορά αμόνωτη κατοικία, καθώς το κόστος μόνωσης επιβαρύνει την επένδυση εγκατάστασης αντλίας θερμότητας αυξάνοντας την περίοδο αποπληρωμής των επεμβάσεων. Παρόλα αυτά, το ενεργειακό όφελος για τη μονωμένη κατοικία είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό που επιτυγχάνεται από το λέβητα pellets. Συνεπώς,



οι ένοικοι μπορούν να επιλέξουν αν θα συμπεριληφθεί μόνωση ή όχι, ανάλογα με τις απαιτήσεις τους.

Παρατηρήσεις:

i. Η χρήση των συστημάτων από τους ενοίκους της κατοικίας είναι μια παράμετρος η οποία δεν μπορεί να προβλεφθεί από το πρόγραμμα. Επομένως, μπορεί να σημειώνονται μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των υπολογισμών που έγιναν από το λογισμικό και της πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας.

ii. Κατά τη διάρκεια ζωής της εκάστοτε επένδυσης, μειώνεται ο βαθμός απόδοσης με αποτέλεσμα να αυξάνονται βαθμιαία οι καταναλώσεις καυσίμου του συστήματος και κατ' επέκταση τα λειτουργικά έξοδα (κόστος καυσίμου, κόστος συντήρησης κ.ά.). Για παράδειγμα, αν και το κόστος των pellets είναι χαμηλό, η μονάδα παραγωγής θερμότητας παρουσιάζει μεγάλες απαιτήσεις σε συντήρηση, το κόστος της οποίας επιβαρύνει το κόστος λειτουργίας μιας εγκατάστασης.

iii. Στους υπολογισμούς του λειτουργικού κόστους δεν λαμβάνονται υπόψη η παρούσα τιμή των καυσίμων και οι πιθανές διακυμάνσεις αυτών σε βάθος χρόνου.

iv. Για τη μονάδα συμπαραγωγής δεν λαμβάνεται υπόψη η ταυτόχρονη με τη θέρμανση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτουν οικονομικά οφέλη, είτε μέσω της πώλησης του ρεύματος στη Δ.Ε.Η., είτε με την ιδιοκατανάλωση της, των οποίων όμως η συνεισφορά αγνοείται. Αποτέλεσμα αυτού είναι τα αποτελέσματα για την μ-Σ.Η.Θ. να μην δικαιολογούν την επένδυση αυτή.

v. Η συνεισφορά της ηλιακής θέρμανσης πιθανότατα να ήταν μεγαλύτερη αν χρησιμοποιούνταν συλλέκτες κενού υψηλής απόδοσης. Ωστόσο στην περίπτωση αυτή, θα αυξανόταν σε μεγάλο βαθμό το αρχικό κόστος επένδυσης.

vi. Σε επίπεδο οικονομικοτεχνικής μελέτης μιας επένδυσης, εκτός από το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος πρέπει να ληφθεί υπόψη και η αξία του χρήματος κατά τη διάρκεια ζωής της επένδυσης. Για το λόγο αυτό για την αξιολόγηση των επενδύσεων χρησιμοποιούνται μέθοδοι όπως:

1. Η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας (NPV), δηλαδή της παρούσας αξίας της επένδυσης, αν προεξοφληθούν με το επιθυμητό επιτόκιο απόδοσης, στο σήμερα, οι ταμειακές ροές που θα προκύψουν (ως προβλέψεις) κατά την διάρκεια της λειτουργίας της. Εάν είναι θετική αυτό σημαίνει ότι ο επενδυτής θα λάβει απόδοση για τα χρήματά του, τουλάχιστον αυτήν που επιθυμεί



2. Η μέθοδος της εσωτερικής απόδοσης (IRR) δηλαδή της εύρεσης ενός επιτοκίου απόδοσης που φανερώνει την απόδοση των χρημάτων του επενδυτή, εάν αποφασίσει να τοποθετήσει τα χρήματά του στην συγκεκριμένη επένδυση. Μετά τον υπολογισμό του και εφόσον κρίνεται ικανοποιητικό ως απόδοση από τον επενδυτή, γίνεται αποδεκτή η επένδυση.



5. Βιβλιογραφία

1. **Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.** *Πράσινη Βίβλος: Προς μία ευρωπαϊκή στρατηγική για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού.* Βρυξέλλες, : s.n., 2000. 0769 τελικό.
2. **Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας.** Ενεργειακές πηγές. [Ηλεκτρονικό] <http://www.kee.gr/>.
3. **Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.** *Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση τις ενεργειακές επιδόσεις των κτιρίων.* Βρυξέλλες : s.n., 2008.
4. **Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.** *Οδηγία: Σχέδιο δράσης για την ενεργειακή απόδοση: Αξιοποίηση του δυναμικού.* 2006. 545 Τελικό .
5. **Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.** *Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου κι του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (αναδιατύπωση).* Βρυξέλλες : s.n., 2010.
6. **Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής.** *Δικτυακός Τόπος Διαβουλεύσεων: Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων.* 2010.
7. **The International Passive House Association.** [Ηλεκτρονικό] <http://www.passivehouse-international.org/index.php?lang=de>.
8. **Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.** *Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων και την έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης.* Αθήνα : s.n., 2010. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010.
9. **Balaras, Constantinos A., και συν.** ScienceDirect. *European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings.* [Ηλεκτρονικό] 2005. <http://www.sciencedirect.com/>.
10. **Balaras, Constantinos A., και συν.** ScienceDirect. *Empirical assessment of the Hellenic next term non-previous term residential building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings.* [Ηλεκτρονικό] 2007. <http://www.sciencedirect.com/>.
11. **Εύ Έργω Κατασκευαστική.** eco-Κτίριο Γραφείων. [Ηλεκτρονικό] http://efergo.gr/eco_office_building.pdf.
12. **Λαζάρη, Ευγενεία Α.** *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός στην Ελλάδα: Ενεργειακή απόδοση και κατευθύνση.* Πικέρμι : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Σεπτέμβριος 2002.
13. **Η άλλη Ελλάδα.** Προμηθέας Πυρφόρος. [Ηλεκτρονικό] 23 10 2009. [Παραπομπή: 16 04 2011.] http://alliellada.blogspot.com/2009/10/blog-post_23.html.
14. **Υδραυλικός & Εγκαταστάτης-Συντηρητής καυστήρων.** Εγκαίνια του αυτόνομου ενεργειακά κτιρίου "Προμηθεύς Πυρφόρος" της εταιρείας Sol Energy Hellas. 2007.
15. **Σταθακόπουλος, Μ.** Κτίριο από το μέλλον. *Ecotec.* [Ηλεκτρονικό] 2007. <http://www.ecotec.gr/article.php?ID=183>.



16. **OdysOnline.** Το πρώτο ενεργειακά αυτόνομο κτίριο στην Ελλάδα. [Ηλεκτρονικό] 2007.
<http://odysonline.gr/>.
17. **Μανωλάς Χ.** Τα Νέα. Σπίτι χωρίς ΔΕΗ - πετρέλαιο. [Ηλεκτρονικό] 2007.
<http://www.tanea.gr/default.asp?pid=2&ct=1&artid=38185>.
18. **enERGON.** Εμπορία-Μελέτη-Κατασκευή. [Ηλεκτρονικό] www.en-ergon.com/site/services/heating/conventional.
19. **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.** Κεντρική Θέρμανση. 2005.
20. **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .** Οδηγός Καύσης, Λεβήτων και Κλιβάνων-Φούρνων. s.l. : Τομέας: Ορθολογικής Χρήσης Ενέργειας, 1996.
21. **Technotec.** [Ηλεκτρονικό] <http://www.technotec.gr/88470052.el.aspx>.
22. **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.** Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας: Φυσικό Αέριο. [Ηλεκτρονικό] http://www.cres.gr/energy-saving/technologies_n_gas.htm.
23. **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .** Εξοικονόμηση Ενέργειας στα κτίρια. Συμβατικά καύσιμα-Θέρμανση-Εξοπλισμός. [Ηλεκτρονικό] http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/.
24. **Υπουργείο Ανάπτυξης.** Εφαρμογές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στον Οικιακό Τομέα. s.l. : Υπουργείο Ανάπτυξης, 2008.
25. **Ημερησία Online.** Απελευθέρωση της χρήσης pellets στην Αττική και Θεσσαλονίκη. [Ημερησία Online] 2011.
26. **Υδραυλικός & Εγκαταστάτης-Συντηρητής καυστήρων.** Η τεχνολογία των λεβήτων συμπίκνωσης και η κατάσταση στην ευρωπαϊκή αγορά. [Ηλεκτρονικό] 2007.
<http://www.ydravlikos.gr/>.
27. **ΥΔΡΟΜΕΤΑΛ.** Οικολογικοί Ενεργειακοί Λέβητες Συμπύκνωσης. [Ηλεκτρονικό]
<http://www.ydrometal.gr/company/interesting-texts/30-interesting/144-2008-07-23-05-53-40>.
28. **SIELINE A.E.** Sieline Θέρμανση-Ψύξη Ηλιακά συστήματα. [Ηλεκτρονικό]
www.sieline.gr/pages/gr/products/heat_pumps.php.
29. **Dimplex.** Οδηγίες Εγκατάστασης και Χρήσης Αντλία Θερμότητας Εδάφους-Νερού για εσωτερική τοποθέτηση. [Ηλεκτρονικό]
http://sieline.gr/media/File/pdf/HEAT_PUMPS/Dimplex_Ground_Based_%20SI..MR_UserGuide_Greek.pdf.
30. **Carrier.** Enter the world of heat pumps. [Ηλεκτρονικό]
http://www.carrier.gr/carriergreek/products/heating%20products/BROCHURE%20GP_nexa.PDF.
31. **Ελληνικός Σύνδεσμος Επιχειρήσεων Γεωθερμίας & Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας (ΕΣΕΓΕΠΕ).** Γεωθερμία. [Ηλεκτρονικό] <http://www.esegepe.gr/Geothermal.aspx>.
32. **DAIKIN.** Τι είναι οι αντλίες θερμότητας;. [Ηλεκτρονικό] <http://www.daikin.gr/product/for-your-home/heating-cooling/heatpumps.jsp>.



33. **SIELINE A.E.** Αντλίες Θερμότητας Αέρα/Νερού για Θέρμανση & Ψύξη. [Ηλεκτρονικό]
http://sieline.gr/pages/gr/products/heat_pumps/air_water/heat_pump_airwater_heatcool.php.
34. **Καράγιωργας, Μ.; Τσαγκούρης, Μ.; Γαλάτης, Κ.; Μπότζιος-Βαλασκάκης, Α.** *Ηλιοβοηθούμενη Αντλία Θερμότητας με άμεση-βιοκλιματική και έμμεση-ενεργητική λειτουργία ηλιακών συλλεκτών αέρα αποτελέσματα προσομοίωσης και σύγκριση με αποτελέσματα μετρήσεων.* [Ηλεκτρονικό]
<http://vergina.eng.auth.gr/IHT/Proc8th/sol%20cond.htm>.
35. **Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.** *Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών.* Αθήνα : s.n., 2010. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-3/2010.
36. **Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών.** Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής. [Ηλεκτρονικό] Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.
http://www.metal.ntua.gr/index.pl/labs_gr_geophysics.
37. **Αρβανίτης, Απ.** Μύθοι και Πραγματικότητα για τη Γεωθερμία. *Υπουργία Ανάπτυξης.* [Ηλεκτρονικό] 2008. <http://www.ypan.gr/ape/files/mythoi-geothermia.pdf>.
38. **Μενδρινός, Δημήτριος και Καρύτσας, Κωνσταντίνος.** *Γεωθερμία, Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας, Εμπειρία ΚΑΠΕ.* Αθήνα : Μεταλλειολογικά Μεταλλουργικά Χρονικά, 2005. ISSN 1105-2430.
39. **Βουρδουμπά, Γιάννης.** *Εφαρμογές των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας στα Κτίρια.* Χανιά : ΤΕΙ Κρήτης Χανίων, 2009.
40. **ΑΜ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ.** Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας. [Ηλεκτρονικό] Δημόσια και Ιδιωτικά Έργα. <http://www.amkat.gr/geoheatpumpsmain.htm>.
41. **EnergyHomes.** Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας. [Ηλεκτρονικό]
<http://www.energyhomes.gr/material/pages/nrginfo/geoantlies.html>.
42. **eHow.** *How Does a Gas Heat Pump Work?* [Ηλεκτρονικό] <http://www.ehow.com/>.
43. **ghp TECH.** Gas heat Pumps. [Ηλεκτρονικό] <http://www.ghp.gr/products.htm>.
44. **Cabage Bill .** New Gas-fired Heat Pump Technologies Help Chill Greenhouse Effect. [Ηλεκτρονικό] http://www.ornl.gov/info/ornlreview/rev28_2/text/gas.htm.
45. **Γιακουμέλος, Ελευθέριος.** *Θερμικά Ηλιακά Συστήματα (ΘΗΣ), Βέλτιστες τεχνολογίες και "καλές πρακτικές" στο σχεδιασμό συστημάτων ΑΠΕ μικρής κλίμακας για κτίρια, Εγκατάσταση και συντήρηση τους.* s.l. : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας, 2008.
46. **Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων Πολιτών.** *Θερμικά Ηλιακά Συστήματα Εφαρμογές στον οικιακό τομέα.* 2010.
47. **Χασάπης, Δημήτριος.** *Ηλιακά Θερμικά Συστήματα σε Υφιστάμενες Κατοικίες.* s.l. : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 2008.
48. **Χασάπης, Δημήτριος.** *Ηλιακά Θερμικά Συστήματα σε Υφιστάμενες κατοικίες.* s.l. : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.



49. **Υπουργείο Ανάπτυξης**. Εφαρμογές: Η ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στον οικιακό τομέα. [Ηλεκτρονικό] http://www.ypan.gr/ape/iliaka_efarmoges.html.
50. **Κατσιμίχας, Σωτήρης**. *Ηλιοθερμικά συστήματα, θέρμανση και Κ.ΕΝ.Α.Κ*. σ.1. : ASHRAE, 2011.
51. **Αντωνόπουλος, Κίμων**. *Θερμικά Ηλιακά Συστήματα-Μέρος Πρώτο*. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008.
52. **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**. Εξοικονόμηση και Ορθολογική Χρήση Ενέργειας. *Ζεστό Νερό Χρήσης*. [Ηλεκτρονικό] http://www.cres.gr/energy-saving/enimerosi_zesto_nero.htm.
53. **Μαρτινόπουλος, Γ. και Τσιλιγκιρίδης, Γ.** *Ηλιακά Θερμικά Συστήματα στην Ελλάδα- Περιβαλλοντικά Οφέλη*. Θεσσαλονίκη : Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών.
54. **bestpromo**. Ηλιακή Θέρμανση. [Ηλεκτρονικό] ydroklima.bestpromo.gr.
55. **Κελσιος Α.Ε.** Θέρμανση Με Υποβοήθηση Ηλιακής Ενέργειας. [Ηλεκτρονικό] <http://www.celsius.gr/D91542A1.el.aspx>.
56. **Αηδόνης, Αριστοτέλης**. *Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα για θέρμανση και ψύξη*. σ.1. : Ημερίδα ΚΑΠΕ-ΙΕΝΕ: Εφαρμογές τεχνολογιών εξοικονόμησης και ηλιακής ενέργειας στα κτίρια, 2006.
57. **Καραγιώργας, Δ.** *Τεχνολογίες Παραγωγής Ψύξης και Κλιματισμού με τη Χρήση Ηλιακής Ενέργειας και Παράδειγμα Εφαρμογών*. Αθήνα : Bonair, 2008.
58. **Τσούτσος, Θεοχάρης, και συν.** *Οδηγός Ηλιακού Κλιματισμού*. Αθήνα : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 2005.
59. **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**. Οδηγός Συστημάτων Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. [Ηλεκτρονικό] 2005. http://www.cres.gr/kape/education/CHP_gr.pdf.
60. **Εφημερίς της Κυβερνήσεως**. Νόμος υπ' αριθμ. 3468/2006, (Φ.Ε.Κ. Α' 129/27.06.2006). Αθήνα : Εθνικό Τυπογραφείο, 2006. Πρώτο. 129.
61. **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**. Συστήματα συμπααραγωγής μικρής κλίμακας (Micro-CHP). [Ηλεκτρονικό] http://www.greenlodges.net/Deliverables/folleto%20microcogeneracion/greek_brochure_micro_CHP.pdf.
62. **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**. *Έργο PERCH: "Παραγωγή ηλεκτρισμού με μικρά συστήματα ΑΠΕ"- Οδηγός για ιδιοκτήτες Κατοικιών*. 2008.
63. **Αγτζόγλου, Γεώργιος και Ζιώγος, Βασίλειος**. *Διπλωματική Εργασία: Διερεύνηση των Δυνατοτήτων Διείσδυσης Συστημάτων Συμπααραγωγής σε κτίρια*. Θεσσαλονίκη : Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, 2008.
64. **Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος**. *Τεχνική Οδηγία ΤΕΕ: Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε κτίρια*. Αθήνα : s.n., 2010.



65. **Μετάβαση σε μια πράσινη Ελλάδα 2010- 2020.** Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας στην Ελλάδα-Η προοπτική της μέχρι το 2020. [Ηλεκτρονικό] Απρίλιος 2011.
<http://www.diavouleusi.eliamer.gr/energy/>.
66. **Thermal Energy System Specialists.** TRNSYS 17 manual: Getting started. 2010.
67. **Παπαδόπουλος, Σπύρος.** Σχεδιασμός και ανάπτυξη υπολογιστικού εργαλείου για τον καθορισμό των θερμικών φορτίων τυπικού κτιρίου. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα : ΕΜΠ, 2006. Διπλωματική Εργασία.
68. **Στεργίου, Χρήστος.** Προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίου γραφείων στην Αθήνα με χρήση του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. ΑΘΗΝΑ : ΕΜΠ, 2007. Διπλωματική Εργασία.
69. **Van der Veken, Jeroen, και συν.** *Comparison of Steady-State and Dynamic Building Energy Simulation Programs.* s.l. : ASHRAE, 2004.
70. **Veerle, De Meulenaer, και συν.** *Comparison of measurements and simulations of a “PASSIVE HOUSE”.* Laboratory of Building Physics, Department of Civil Engineering. Montréal : s.n., 2005.
71. **Wingfield, Jez, και συν.** *Whole House Heat Loss Test Method (Coheating).* Leeds : Leeds Metropolitan University, 2010.
72. **Neto, Alberto Hernandez και Sanzovo Fiorelli, Flavio Augusto.** *Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption.* 2008.
73. **Crawley, Drury B., και συν.** *EnergyPlus: Energy Simulation.* [Journal Online] s.l. : ASHRAE, 2000. vol. 42 no.4.
74. **Crawley, Drury B., και συν.** *EnergyPlus:New Capabilities in a whole-building.* [Seventh International IBPSA Conference] Rio de Janeiro, Brazil : Simulation Building, 2001.
75. **Trcka, Marija, Wetter, Michael και Hensen, Jan.** *Comparison of co-simulation approaches for building and HVAC/R system simulation.* s.l. : Bilduing Simulation, 2007.
76. **Chantrasrisalai, Chanvit, και συν.** *Experimental Validation of the EnergyPlus Low-Temperature Radiant Simulation.* 2000.
77. *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs.* Atlanta : ANSI/ASHRAE, 2004.
78. **Neymark, J., και συν.** *Applying the building energy simulation test (BESTEST) diagnostic method to verification of space conditioning equipment models used in whole-building energy simulation programs.* s.l. : Energy and Buildings, 2002.
79. **Witte, Michael J., Henninger, Robert H. και Crawley, Drury B.** *Experience testing EnergyPlus with IEA HVAC BESTEST E300-E545 series and IEA HVAC BESTEST fuel-fired furnace series.* Cambridge : SimBuild 2006, IBPSA-USA National Conference, 2006.



80. **Henninger, Robert H., Witte, Michael J. και Crawley, Drury B.** *Analytical and comparative testing of EnergyPlus using IEA HVAC BESTEST E100–E200 test suite.* 2004.
81. **Henninger, Robert H. και Witte, Michael J.** *EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (BESTEST).* California : Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley for U.S. Department of Energy, 2004.
82. **Δρούτσα, Καλλιόπη.** *Λογισμικό TEE-KENAK Επιθεώρηση & Πιστοποίηση Κτιρίων, Ενεργειακή Μελέτη, Επιθεώρηση λέβητα/ εγκατάστασης θέρμανσης/ εγκατάστασης κλιματισμού.* Αθήνα : Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας, 2010.
83. **Αραβαντινός, Δημήτριος.** ASHRAE. *Ελληνικό Παράρτημα.* [Ηλεκτρονικό] 16 Φεβρουάριος 2011. <http://www.ashrae.gr/seminaria.html>.
84. **Wittchen, Kim B.** *ENRtool –BesTest Results.* Danish Building Research Institute. Denmark : EPA-NR, 2007. σ. 22.
85. **Τρίγκας, Μάριος ;.** Χαμηλό κόστος θέρμανσης με χρήση Wood pellets . *buildnet.gr.* [Ηλεκτρονικό] 2010. <http://www.buildnet.gr/>.
86. **Τεχνομηχανική Ε.Π.Ε.** [Ηλεκτρονικό] http://www.tmltd.gr/faqs/FAQundefloor_1.htm.