



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΒΑΣΗ
ΤΟΝ Κ.Εν.Α.Κ.»**

Διπλωματική Εργασία
ΒΑΣΙΛΙΑ ΝΙΚΟΛΑΟΥ

Επιβλέπων: ΜΑΡΙΑ ΦΟΥΝΤΗ, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2011



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το Εργαστήριο Ετερογενών Μειγμάτων και Συστημάτων Καύσης του Τομέα Θερμότητας που εδρεύει στο κτίριο Ο της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μ. Πολυτεχνείου. Η μελέτη αυτή μπορεί να βοηθήσει στην περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσής τους δίνοντας πλήρη εικόνα των επιλογών που έχει ο υποψήφιος επενδυτής στη διάθεσή του.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος την καθηγήτρια κυρία Μαρία Φούντη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα με υψηλή πρακτική εφαρμογή, καθώς για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε στην επίλυση των αποριών μου. Επίσης τον Υποψήφιο Διδάκτορα Εμμανουήλ Μαλλιωτάκη για την ανιδιοτελή προσφορά του και την επιστημονική καθοδήγησή του στην ολοκλήρωση της εργασίας. Όλους τους ερευνητές του εργαστηρίου για το ευχάριστο κλίμα και την διατήρηση της λειτουργίας του εργαστηρίου παρ' όλες τις δυσχερείς καταστάσεις. Τέλος τη φίλη και συνάδελφό μου Μαγδαληνή Αλ Φάντελ για την άψογη συνεργασία, την αμέριστη συμπαράσταση, το ενεργό ενδιαφέρον και την εις βάθος συμβολή της στην από κοινού μελέτη του θέματος που μας ανατέθηκε.



Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	9
Abstract	10
1. Νομοθετικό πλαίσιο	11
1.1. Ευρωπαϊκή οδηγία 2002/91/ΕΚ.....	12
1.1.1. Οι απαιτήσεις της οδηγίας	12
1.2. Ελληνική Νομοθεσία	13
1.2.1. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)	14
1.2.2. Οι τεχνικές οδηγίες του ΤΕΕ	14
1.3. Στόχος 2019 ZERO BUILDINGS.....	15
1.4. Ταξινόμηση κτιρίων σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.	18
1.4.1. Ενεργειακή ταξινόμηση.....	18
1.4.1.1. Κτίριο Αναφοράς.....	18
1.4.2. Ταξινόμηση ανά χρήση.....	19
1.5. Προφίλ καταναλώσεων κτιρίων	19
1.5.1. Κατοικίες	20
1.5.2. Τριτογενής τομέας.....	21
1.6. Εφαρμογές ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων.....	22
2. Μέθοδοι μείωσης κατανάλωσης ενέργειας	28
2.1. Ιδιότητες μονωτικών υλικών	29
2.1.1. Διογκωμένη πολυστερίνη	29
2.1.2. Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη.....	30
2.1.3. Υαλοβάμβακας	31
2.1.4. Πετροβάμβακας	33
2.1.5. Αφρός πολυουρεθάνης	34
2.2. Θερμομόνωση κτιριακού κελύφους	35
2.2.1. Τοιχοποιίες.....	36
2.2.2. Δάπεδο.....	37
2.2.2.1. Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος.....	37
2.2.2.2. Δάπεδο σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	37
2.2.2.3. Για ενδιάμεσες πλάκες.....	37
2.2.3. Οροφές	38
2.2.4. Κουφώματα	38
2.2.5. Εξάλειψη θερμογεφυρών.....	41



2.2.6.	Σκίαση ανοιγμάτων.....	44
2.2.7.	Μικροκλίμα	45
2.2.8.	Προσανατολισμός.....	47
2.3.	Ανανέωση αέρα	49
2.3.1.	Φυσικός αερισμός	50
2.3.2.	Υβριδικός αερισμός.....	50
2.3.3.	Συνέπιες του αερισμού στη θέρμανση και ψύξη	52
2.3.4.	Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες (ΚΚΜ).....	53
3.	Αξιολόγηση υπολογιστικών προγραμμάτων	55
3.1.	Transient System Simulation TRNSYS	55
3.1.1.	Γενικά.....	55
3.1.2.	Μοντελοποίηση του κτιρίου.....	56
3.1.3.	Προσδιορισμός θερμικών ζωνών	58
3.1.4.	Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του TRNSYS	59
3.1.5.	Παρατηρήσεις	64
3.2.	EnergyPlus	64
3.2.1.	Γενικά.....	64
3.2.2.	Μοντελοποίηση του κτιρίου.....	65
3.2.2.1.	Δομή Προγράμματος Προσομοίωσης	65
3.2.2.2.	Προσδιορισμός θερμικών ζωνών	68
3.2.3.	Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του EnergyPlus	70
3.2.4.	Παρατηρήσεις	74
3.3.	TEE-KENAK	76
3.3.1.	Γενικά.....	76
3.3.2.	Μοντελοποίηση του κτιρίου.....	77
3.3.3.	Προσδιορισμός Θερμικών ζωνών	80
3.3.3.1.	Παράμετροι διαχωρισμού θερμικών ζωνών	81
3.3.4.	Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του KENAK μέσω του EPA-NR	82
3.3.5.	Παρατηρήσεις	85
4.	Μελέτη σεναρίων επεμβάσεων	87
4.1.	Παρουσίαση υφιστάμενου κτιρίου	87
4.1.1.	Γενικά στοιχεία υφιστάμενου κτιρίου	87
4.1.2.	Περιγραφή των όψεων.....	88
4.1.3.	Κύριες διαστάσεις κτιρίου	89
4.1.4.	Εξωτερικές και εσωτερικές συνθήκες κατοικίας.....	90



4.1.5.	Θερμικές ζώνες κτιρίου.....	92
4.2.	Περιγραφή στοιχείων τοιχοποιίας.....	92
4.2.1.	Δεδομένα για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.....	94
4.2.2.	Δεδομένα για τα διαφανή δομικά στοιχεία σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.....	95
4.2.3.	Συντελεστές θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων.....	95
4.3.	Υπολογισμός παροχής αέρα διείσδυσης.....	96
4.4.	Στοιχεία Η/Μ εξοπλισμού κτιρίου.....	97
4.4.1.	Σύστημα θέρμανσης χώρων.....	97
4.4.2.	Σύστημα ψύξης χώρων.....	98
4.4.3.	Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.....	99
4.5.	Υφιστάμενο κτίριο και Κτίριο αναφοράς.....	100
4.6.	Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας δομικών στοιχείων και κτιρίου.....	102
4.6.1.	Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας αδιαφανών και διαφανών επιφανειών.....	103
4.6.1.1.	Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας δομικού στοιχείου σε επαφή με το έδαφος.....	104
4.6.1.2.	Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου.....	105
4.7.	Υπολογισμός συντελεστών σκίασης.....	106
4.8.	Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας θερμογεφυρών.....	109
4.9.	Συντελεστές θερμοπερατότητας σεναρίων.....	110
4.10.	Μελέτη σεναρίων.....	114
4.10.1.	Μόνωση δομικών στοιχείων.....	115
4.10.2.	Κόστος μονωτικών υλικών.....	116
4.10.2.1.	Κατακόρυφα δομικά στοιχεία.....	116
4.10.2.2.	Οροφή.....	118
4.10.3.	Ανάγκες κτιρίου αναφοράς.....	119
4.10.4.	Παρουσίαση αποτελεσμάτων παραμετρικής μελέτης.....	119
4.10.4.1.	1 ^η Περίπτωση: Χωρίς μόνωση οροφής.....	120
4.10.4.2.	2 ^η Περίπτωση: Μόνωση οροφής 50mm.....	123
4.10.4.3.	3 ^η Περίπτωση : Μόνωση οροφής 100mm.....	126
4.11.	Γενικά Συμπεράσματα.....	128
4.11.1.	Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου με παράμετρο το πάχος μόνωσης.....	129
4.11.2.	Περίπτωση ύπαρξης τέντας στο δυτικό άνοιγμα του σαλονιού.....	135
4.12.	Οικονομική ανάλυση των σεναρίων.....	138
4.12.1.	Επιλογή της πιο συμφέρουσας λύσης.....	144
5.	Βιβλιογραφία.....	154
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	158



Εικόνα 1.1: Προοπτικό σχέδιο κτιρίου γραφείων στο Μαρούσι. (11)	24
Εικόνα 2.1: Διογκωμένη πολυστερίνη	29
Εικόνα 2.2: Εξηλασμένη πολυστερίνη.....	30
Εικόνα 2.3: Υαλοβάμβακας	32
Εικόνα 2.4: Πετροβάμβακας	33
Εικόνα 2.5: Αφρός πολυουρεθάνης.....	34
Εικόνα 2.6: Ενδεικτικές τιμές απωλειών που αφορούν το κτιριακό κέλυφος.....	36
Εικόνα 2.7: : Απεικόνιση λειτουργίας υαλοπίνακα χαμηλής εκπομπής (Low-e)	38
Εικόνα 2.8: Υαλοπίνακες υψηλού, μετρίου και χαμηλού ηλιακού κέρδους, χαμηλής εκπομπής, με πλήρωση αργόν	39
Εικόνα 2.9: Πλαίσιο αλουμινίου με θερμοδιακοπή	41
Εικόνα 2.10: Παραδείγματα θερμοφωτογράφισης. Οι θερμές περιοχές αποδεικνύουν τη ροή θερμότητας λόγω ύπαρξης θερμογεφυρών.	42
Εικόνα 2.11: Υγρασία στη σύνδεση της τοιχοποιίας με την πλάκα ορόφου λόγω ύπαρξης θερμογέφυρας.....	43
Εικόνα 2.12: Οριζόντιες προεξοχές για σκίαση νότιας όψης κτιρίου.	44
Εικόνα 2.13: Χωροθέτηση φυτών στο οικόπεδο για την εκμετάλευση των ασθενών αερίων ρευμάτων για το δροσισμό του κτιρίου.....	46
Εικόνα 2.14: Ηλιοπροστασία από φυλλοβόλα δέντρα σε νότιες όψεις.....	47
Εικόνα 2.15: Βελτίωση του μικροκλίματος με φύτευση της οροφής και του περιβάλλοντα χώρου.	47
Εικόνα 2.16: Χειμερινό ηλιοστάσιο (α), Θερινό ηλιοστάσιο (β).....	48
Εικόνα 2.17: Διαμπερής φυσικός αερισμός (α), Κατακόρυφος φυσικός αερισμός (β), Ηλιακή καμινάδα (γ)	50
Εικόνα 2.18: Ο ανεμιστήρας οροφής συμβάλει στη βελτίωση των συνθηκών άνεσης. Για τους υπολογισμούς, η μέση επιφάνεια κάλυψης του δαπέδου από έναν ανεμιστήρα οροφής λαμβάνεται ίση με 10 m ²	51
Εικόνα 2.19: Ροή αέρα σε κατοικία με σύστημα μηχανικού αερισμού.	51
Εικόνα 2.20: Ροή αέρα σε έναν εναλλάκτη θερμότητας. Ο απαγόμενος αέρας θερμαίνει την γύρω επιφάνεια από την οποία διέρχεται ο νωπός αέρας	52
Εικόνα 3.1: Ροή θερμότητας στο μοντέλο TYPE 56. (45).....	57
Εικόνα 3.2: Νότια όψη του υπό μελέτη κτιρίου (46)	59
Εικόνα 3.3: Θερμοκρασιακό προφίλ του κτιρίου όπως προέκυψε από τις πειραματικές μετρήσεις. (46)	61
Εικόνα 3.4: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου (αποτελέσματα προσομοίωσης μονοζωνικού μοντέλου) (46)	63



Εικόνα 3.5: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου (αποτελέσματα προσομοίωσης με το μοντέλο πολυζωνικού κτιρίου) (46).....	64
Εικόνα 3.6: Θερμικά κέρδη και Θερμικές Απώλειες Κτιρίου (57).....	78
Εικόνα 3.7: Η δομή του κτιρίου-μοντέλου που εξετάζεται στο BESTEST (60).....	83
Εικόνα 4.1: Προοπτικό σχέδιο του υπό μελέτη κτιρίου.....	87
Εικόνα 4.2: Σκαρίφημα της πρόοψης και της αριστερής πλάγιας όψης σε τομή της εξωτερικής τοιχοποιίας του κτιρίου.	93
Εικόνα 4.3: Γραφική απεικόνιση της γωνίας β, που σχηματίζει πρόβολος με την κατακόρυφη επιφάνεια, για τον υπολογισμό της σκίασης που προκαλεί σε ένα κατακόρυφο αδιαφανές δομικό στοιχείο (α) και σε ένα διαφανές στοιχείο (β).	108
Εικόνα 4.4: Γραφική απεικόνιση της γωνίας β, που σχηματίζει η τέντα με την εξωτερική επιφάνεια, για τον υπολογισμό της σκίασης που προκαλεί σε ένα κατακόρυφο αδιαφανές και διαφανές δομικό στοιχείο.....	108
Εικόνα 4.5: Θερμογέφυρες που εμφανίζονται στην πρώτη περίπτωση αμόνωτης οροφής	121
Εικόνα 4.6: Θερμογέφυρα που εμφανίζεται στη νότια και στη βόρεια όψη της κατοικίας εξαιτίας του οριζόντιου προβόλου σκιάστρου.....	124
Εικόνα 4.7: Θερμογέφυρα που εμφανίζεται στη δυτική και στην ανατολική όψη της κατοικίας.	124
Πίνακας 1.1 Μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις Παθητικού Κτιρίου (7).....	16
Πίνακας 1.2: Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (8)	18
Πίνακας 1.3: Κατηγορίες κτιρίων σύμφωνα με την χρήση τους. (8)	19
Πίνακας 1.4: Η μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²) στις ελληνικές κατοικίες ανά κλιματική ζώνη (9).....	21
Πίνακας 1.5: Μέση ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας (KWh/m ² a) στα ελληνικά κτίρια (εκτός κατοικιών) ανά κλιματική ζώνη και περίοδο κατασκευής (10)	22
Πίνακας 3.1: Δίνονται τα στοιχεία διεξαγωγής του πειράματος (περίοδος, θερμοκρασία, ηλ ισχύς, ημέρες λειτουργίας) (46).....	61
Πίνακας 3.2: Μέση μετρήσιμη θερμοκρασία κάθε χώρου. (46).....	62
Πίνακας 3.3: Μέση θερμοκρασία για τις διάφορες ζώνες την 1 ^η και την 2 ^η περίοδο (46).....	63
Πίνακας 3.4: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές ανά είδος εσωτερικού κέρδους (47).....	70
Πίνακας 3.5: Κατανομή της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά τελική χρήση (47).....	71
Πίνακας 3.6: Κύριες Παράμετροι Καιρού από τα αρχεία του Ινστιτούτου Αστροφυσικής, Γεωφυσικής και Ατμοσφαιρικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου (IAG-USP) (47)	71
Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα ανάλυση ευαισθησίας της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου βάσει της διακύμανσης των καιρικών παραμέτρων (47).....	73



Πίνακας 3.8: Αποτελέσματα ανάλυση ευαισθησίας της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου για διακύμανση των τιμών των εσωτερικών φορτίων. (47)	74
Πίνακας 3.9: Σχηματική απεικόνιση της ροής των ενεργειακών υπολογισμών (57)	78
Πίνακας 4.1: Οι εξωτερικές διαστάσεις του κτιρίου και των επιμέρους χώρων.	89
Πίνακας 4.2: Τα εμβαδά και οι όγκοι του κτιρίου και των επιμέρους χώρων.	89
Πίνακας 4.3: Εσωτερικές συνθήκες κατοικίας.	92
Πίνακας 4.4: Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κτιριακού κελύφους με τα βασικά χαρακτηριστικά τους.	93
Πίνακας 4.5: Δεδομένα για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία	94
Πίνακας 4.6: Δεδομένα κουφωμάτων άμεσου κέρδους.	95
Πίνακας 4.7: Δεδομένα κουφωμάτων.	95
Πίνακας 4.8: Συντελεστές θερμοπερατότητας για κάθε δομικό στοιχείο	95
Πίνακας 4.9: Τιμές υπολογισμού διείσδυσης αέρα από τις χαραμάδες των κουφωμάτων.	97
Πίνακας 4.10: Σύστημα θέρμανσης	98
Πίνακας 4.11: Σύστημα Ψύξης	99
Πίνακας 4.12: Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης-Z.N.X	100
Πίνακας 4.13: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση (kWh/m ²)	100
Πίνακας 4.14: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα.	102
Πίνακας 4.15: Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας U _m κτιρίου για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα.	103
Πίνακας 4.16: Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι συντελεστές σκίασης των δομικών στοιχείων ..	109
Πίνακας 4.17: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας της εξωτερικής οπτοπλινθοδομής.	111
Πίνακας 4.18: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δοκαριών και υποστρωμάτων	111
Πίνακας 4.19: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με το έδαφος.	112
Πίνακας 4.20: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δώματος	112
Πίνακας 4.21: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής θύρας	113
Πίνακας 4.22: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων	113
Πίνακας 4.23: Συντελεστές θερμοπερατότητας U (σε W/m ² K) κατακόρυφων δομικών στοιχείων.	114
Πίνακας 4.24: Συντελεστές θερμοπερατότητας οροφής.	114
Πίνακας 4.25: Κόστος μονωτικών υλικών	116
Πίνακας 4.26: Κόστος υλικών θερμοπρόσοψης	116
Πίνακας 4.27: Ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ και το μήκος l της κάθε θερμογέφυρας.	120
Πίνακας 4.28: Ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου μετά από επέμβαση μόνο στα κατακόρυφα στοιχεία του κελύφους για το σενάριο χωρίς μόνωση οροφής.	122



Πίνακας 4.29: Οικονομική ανάλυση της επένδυσης και εξοικονόμηση ρύπων στο σενάριο χωρίς μόνωση οροφής	123
Πίνακας 4.30: Ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ και το μήκος l της κάθε θερμογέφυρας για μονωμένη οροφή.	123
Πίνακας 4.31: Ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου μετά από επέμβαση μόνο στα κατακόρυφα στοιχεία του κελύφους για το σενάριο 50mm μόνωση οροφής.	125
Πίνακας 4.32: Οικονομική ανάλυση της επένδυσης και εξοικονόμηση ρύπων στο σενάριο 50mm μόνωση οροφής	126
Πίνακας 4.33: Ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου μετά από επέμβαση μόνο στα κατακόρυφα στοιχεία του κελύφους για το σενάριο 100mm μόνωση οροφής.	127
Πίνακας 4.34: Οικονομική ανάλυση της επένδυσης και εξοικονόμηση ρύπων στο σενάριο 100mm μόνωση οροφής	127
Πίνακας 4.35: Ενεργειακές ανάγκες βέλτιστου σεναρίου και κτιρίου αναφοράς.....	138
Πίνακας 4.36: Ταμειακή ροή κάθε σεναρίου για την περίπτωση μόνωσης οροφής 50mm	148
Πίνακας 4.37: Ταμειακή ροή κάθε σεναρίου για την περίπτωση μόνωσης οροφής 100mm	149
Πίνακας 4.38: Αθροιστικά καθαρά έσοδα για τα σενάρια με μόνωση οροφής 50mm	151
Πίνακας 4.39: Αθροιστικά καθαρά έσοδα για τα σενάρια με μόνωση οροφής 100mm	152



Εισαγωγή

Οι διαρκώς αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις των ευρωπαϊκών χωρών καθιστούν την Ευρώπη πλήρως εξαρτημένη αναγκάζοντάς την να εισάγει πετρέλαιο και φυσικό αέριο από άλλες χώρες. Παράλληλα η συνεισφορά των ΑΠΕ δεν είναι δυνατή να καλύψει τις απαιτήσεις που δημιουργούνται. Για τους λόγους αυτούς καθίσταται αδήριτη ανάγκη η εξοικονόμηση ενέργειας στα πλαίσια της βιωσιμότητας. Το μεγαλύτερο δυναμικό μείωσης κατέχει ο κτιριακός τομέας. Ειδικότερα στην Ελλάδα το 71% των κτιρίων έχουν ανεπαρκή μόνωση και συστήματα παραγωγής ενέργειας χαμηλής αποδοτικότητας. Προς την επίλυση του προβλήματος, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας έγινε ανάλυση του ισχύοντος ευρωπαϊκού και εθνικού νομοθετικού πλαισίου. Καταγράφηκαν τα χαρακτηριστικά των βασικότερων μονωτικών υλικών και αναφέρθηκαν οι τρόποι μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας. Στη συνέχεια εξετάστηκαν τα βασικότερα υπολογιστικά εργαλεία και παρουσιάστηκε το ελληνικό λογισμικό μελέτης ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου το TEE-KENAK. Τέλος με βάση το τελευταίο, μελετήθηκε το ενεργειακό αποτύπωμα μίας υφιστάμενης ενεργοβόρου κατοικίας και η μεταβολή αυτού για κάθε επέμβαση στη μόνωση του κτιριακού κελύφους. Εξετάστηκαν 27 σενάρια, διαφορετικού πάχους μόνωσης και υπολογίστηκαν, μέσω του προγράμματος TEE-KENAK, οι ενεργειακές απαιτήσεις που έχει το κτίριο για θέρμανση και ψύξη, διατηρώντας την υφιστάμενη ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Έγινε κατάταξη του κτιρίου σε μία από τις εννέα κατηγορίες σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες του TEE για κάθε σενάριο και τέλος διεξήχθη οικονομική ανάλυση για την επιλογή της πιο συμφέρουσας επένδυσης. Τα αποτελέσματα του βέλτιστου σεναρίου χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια από την διπλωματική εργασία: «Αξιολόγηση συστημάτων παραγωγής θερμικής ενέργειας στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ.» για την σχεδίαση του πρότυπου κτιρίου με τις χαμηλότερες ενεργειακές καταναλώσεις.



Abstract

Due to the rapidly increasing energy demands, Europe has become energy-addicted in importing petroleum and natural gas from other countries. In addition, the demands cannot be limited by the contribution of the renewable energy resources. Consequently, there is a dire need of implementing methods for saving energy in terms of sustainability. Building sector is the most prospective field to reduce the energy demands. Especially in Greece, 71% of buildings are constructed with no insulation, while low efficiency thermal systems are commonly used. In order to improve buildings energy efficiency, in this study the European and national legislation is firstly analyzed. Focusing on external thermal insulation of an existing dwelling, the basic characteristics of five insulation systems are reported as well as the possible ways of reducing energy consumption. The widely used Greek energy consumption simulation software named TEE-KENAK has been implemented to calculate the footprint of an existing dwelling. The contribution of the examined thermal insulation systems is estimated. More specifically, 27 different scenarios were examined by changing the thickness of the external insulation. Heating and cooling demands of the examined dwelling were calculated for each insulation system, maintaining the same heating and cooling systems. Moreover, the building has been classified in one of the nine energy categories based on its energy consumption, An economic analysis has been performed to evaluate the effectiveness of each scenario. The energy scenarios have been used from the Diploma Thesis of M. Al Fantel titled “*ASSESSMENT OF THERMAL ENERGY PRODUCTION SYSTEMS ON THE ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS-ASSESSMENT BASED ON KENAK*” in order to build the model of the most energy efficient existing building.



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 ανεκμετάλλευτο 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 η 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 "παθητική κατοικία" 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 κτηρίων (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 την 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 τέσσερεις 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 ²	≤ 15kWh/(m ² yr)
Ή Θερμικό φορτίο	≤ 10W/m ²
Ενεργειακές απαιτήσεις ψύξης χώρων ²	≤ 15kWh/(m ² yr)
Ετήσιες ώρες υπερθέρμανσης (εσωτερική θερμοκρασία άνω των 25 °C)	≤ 10%
Αποτελέσματα τεστ αεροστεγανότητας (n50)	≤ 0.6 air changes/h
Συνολικές απαιτήσεις σε πρωτογενή ενέργεια ²	≤ 120kWh/(m ² 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. Βασιζόμενη 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 Ευρωπαϊκής Επιτροπής 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, οικότροφείο 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, κούρειο 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, δίκυκλων ή τρικύκλων, πρατήριο υγρών καυσίμων, πλυντήριο αυτοκινήτων.

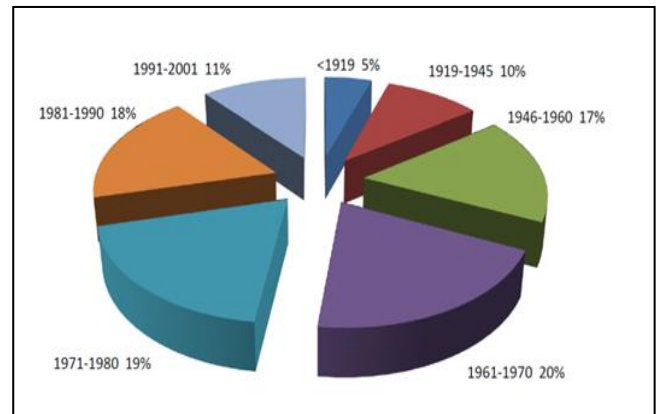
Πίνακας 1.3: Κατηγορίες κτιρίων σύμφωνα με την χρήση τους. (8)

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)



Κλιματική Ζώνη	Μονοκατοικίες 1980	Πολυκατοικίες 1980	Μονοκατοικίες 2001	Πολυκατοικίες 2001	Μονοκατοικίες 2010 (Πρόβλεψη)	Πολυκατοικίες 2010 (Πρόβλεψη)
Μέση ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας kWh/m ²						
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/m ²						
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/Εμπορικά (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
Ενοδοχεία (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 περύγια 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 / διελεύσεις 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 περιπτώσει 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 πενταώροφο 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 κτήριο ενσωματώθηκαν και αναπτύχθηκαν οι ακόλουθες τεχνολογίες:

Στο κτίριο ενσωματώθηκαν και αναπτύχθηκαν οι ακόλουθες τεχνολογίες:

- Παθητικό ενεργειακό σχεδιασμό 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),
 - προσανατολισμό,
 - διπλούς 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),
 - εξειδικευμένο φωτισμό 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.
- Αβαθή 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».
- Προκλιματισμό νωπού αέρα μέσω κεντρικών κλιματιστικών μονάδων διπλού στοιχείου.
- Φωτοβολταϊκούς 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. Μέθοδοι μείωσης κατανάλωσης ενέργειας (8)

Ο ορθός σχεδιασμός ενός κτιρίου είναι το πρώτο βήμα για την ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Ο μελετητής πρέπει να σχεδιάζει το κτίριο με στόχο τη βέλτιστη ενεργειακή λειτουργία του, αξιοποιώντας όλες τις τεχνικές θωράκισης του κτιριακού κελύφους και περιορίζοντας τις θερμικές / ψυκτικές απώλειες. Σύμφωνα με το άρθρο 8 του Κ.Εν.Α.Κ., κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

- Κατάλληλη χωροθέτηση και προσανατολισμός του κτιρίου για τη μέγιστη αξιοποίηση των τοπικών κλιματικών συνθηκών (κλιματικών δεδομένων, προσανατολισμού, ηλιασμού).
- Διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου για τη βελτίωση του μικροκλίματος.
- Κατάλληλος σχεδιασμός και χωροθέτηση των ανοιγμάτων ανά προσανατολισμό ανάλογα με τις απαιτήσεις ηλιασμού, φυσικού φωτισμού και αερισμού.
- Χωροθέτηση των λειτουργιών ανάλογα με τη χρήση και τις απαιτήσεις άνεσης (θερμικές, φυσικού αερισμού και φωτισμού).
- Ενσωμάτωση τουλάχιστον ενός εκ των παθητικών ηλιακών συστημάτων (Π.Η.Σ.), όπως: άμεσου ηλιακού κέρδους (νότιων ανοιγμάτων), τοίχου μάζας, τοίχου Trombe, ηλιακού χώρου (θερμοκηπίου) κ.ά.
- Ηλιοπροστασία του κτιρίου.
- Ένταξη τεχνικών φυσικού αερισμού.
- Εξασφάλιση οπτικής άνεσης μέσω τεχνικών και συστημάτων φυσικού φωτισμού.

Εκτός από τις ελάχιστες απαιτήσεις σχεδιασμού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- η χρήση του κτιρίου: κατοικία, γραφείο, εμπορικό κατάστημα κ.ά.,
- το προφίλ λειτουργίας: ωράριο, χρήστες, εσωτερικές συνθήκες κ.ά.,
- η διαμόρφωση των εσωτερικών χώρων (θερμικών ζωνών) του κτιρίου που έχουν διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και εσωτερικά φορτία,
- η θερμική θωράκιση του κτιριακού κελύφους, με μόνωση δομικών στοιχείων και επιλογή κατάλληλων διαφανών στοιχείων (παραθύρων, γυάλινων προσόψεων κ.ά.),
- η δυνατότητα εφαρμογής τεχνολογιών παθητικών συστημάτων δροσισμού,
- η δυνατότητα εφαρμογής φυσικού σκιασμού του κτιρίου μέσω δενδροφύτευσης.

2.1. Ιδιότητες μονωτικών υλικών (18)

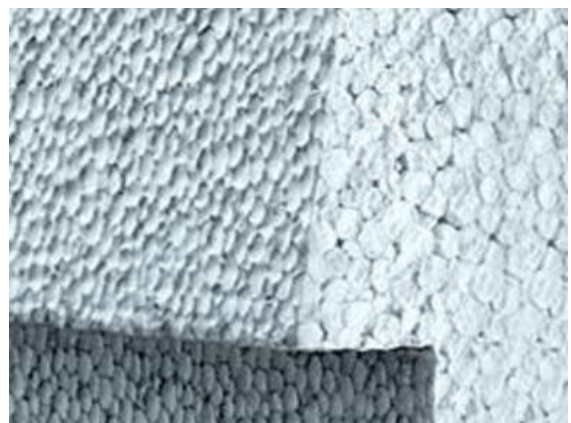
Τα τελευταία χρόνια η ανάγκη μόνωσης του κτιριακού τομέα με το λιγότερο δυνατό κόστος έχει οδηγήσει στην παραγωγή μεγάλης ποικιλίας θερμομονωτικών υλικών. Στο γεγονός αυτό συμβάλει και ο τρόπος δόμησης (σκυρόδεμα, οπτοπλινθοδομή, ξύλινη κατασκευή κλπ), το είδος της κατασκευής και η χρήση για την οποία προορίζεται κλπ. Συμβάλλοντας λοιπόν στην αρτιότερη και ορθότερη κατασκευή, ο μηχανικός είναι υποχρεωμένος να εξετάσει μία προς μία τις ιδιότητες των διαθέσιμων μονωτικών υλικών και να επιλέξει για κάθε χρήση. Οι πιο σημαντικές ιδιότητες είναι οι εξής:

- Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- Ο συντελεστής αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών
- Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης
- Η μηχανική αντοχή
- Η αντίσταση στη φωτιά
- Η ηχομονωτική προστασία
- Το ειδικό βάρος (πυκνότητα)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα σημαντικότερα μονωτικά υλικά με βάση το εύρος χρήσης στην αγορά οικοδομικών υλικών.

2.1.1. Διογκωμένη πολυστερίνη (18) (19) (20) (21)

Η διογκωμένη πολυστερίνη ή αλλιώς EPS (Expanded Polystyrene) είναι ευρέως γνωστή στη χώρα μας κυρίως για τις θερμομονωτικές της ιδιότητες και για τα πλεονεκτήματα που έχει σαν υλικό συσκευασίας. Είναι ένα ελαφρύ, άκαμπτο, αφρώδες, πλαστικό υλικό που παράγεται από διόγκωση πολυμερισμένου στυρολίου και αποτελείται σύμφωνα με το DIN 18164 από 1,5 έως 2% πολυστερίνη και 98 με 98,5% αέρα, ανάλογα με την πυκνότητα. Ο αέρας βρίσκεται εγκλωβισμένος



Εικόνα 2.1: Διογκωμένη πολυστερίνη

μέσα σε μεγάλο αριθμό κυψελίδων. Η θερμική αγωγιμότητά της κυμαίνεται από $0,030 \pm 0,038$ W/(mK) με μία μέση τιμή $\lambda_d = 0,035$ W/(mK)³ και πυκνότητα που κυμαίνεται από 12 kg/m^3 έως 35 kg/m^3 . Το γεγονός αυτό την κατατάσσει στα πιο ελαφρά υλικά της κατηγορίας των μονωτικών.

Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης της είναι μικρότερο από αυτό των ανόργανων μονωτικών υλικών ινώδους μορφής (υαλοβάμβακα και πετροβάμβακα), καθώς κυμαίνεται από -70°C ως 90°C . Η διογκωμένη πολυστερίνη ανήκει στα εύφλεκτα υλικά και παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται βρωμιούχοι αλειφατικοί κυκλικοί υδρογονάνθρακες (κυρίως Hexanbromcyclo-dodecan), σε ποσοστό 5 ως 7%, ως μέσο αύξησης της πυραντοχής κατατάσσεται στις κατηγορίες πυραντοχής B1 και B2.

Η διάρκεια ζωής του είναι απεριόριστη, αφού δεν υφίσταται γήρανση, αποδόμηση ή απώλεια διαστάσεων, όπως άλλα θερμομονωτικά υλικά. Η διεθνής εμπειρία σε έργα υποδομής, αλλά επίσης σχετικές μελέτες ελέγχου γήρανσης και εργαστηριακές δοκιμές που έγιναν στο Πανεπιστήμιο της Πάτρας και σε άλλα διεθνή ερευνητικά κέντρα, με βάση την αρχή επαλληλίας χρόνου και θερμοκρασίας, έδωσαν εργαστηριακά αποτελέσματα τα οποία αποδεικνύουν ότι οι ιδιότητες του υλικού παραμένουν αμετάβλητες μετά από 100 χρόνια συνεχούς καταπόνησης.

2.1.2. Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη (18) (20) (22) (21)

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη είναι συγγενές υλικό με την διογκωμένη πολυστερίνη, έχει όμοια σύσταση με αυτή, αλλά διαφορετική μέθοδο επεξεργασίας. Για την παραγωγή αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη η πολυστερίνη, το CO₂ ως προωθητικό αέριο σε ποσοστό από 3 ως 7%, στοιχεία αύξησης της πυραντοχής σε ποσοστό από 1 ως 6% και ως βοηθητικές ύλες το ταλκ και χρωστικές ουσίες, που δίνουν το χαρακτηριστικό για κάθε εταιρία χρώμα στο τελικό προϊόν.



Εικόνα 2.2: Εξηλασμένη πολυστερίνη

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη διαθέτει πολύ καλές θερμομονωτικές ιδιότητες με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από $0,030$

³ Οι τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας κάθε μονωτικού υλικού έχουν υπολογιστεί σε πρότυπες συνθήκες εργαστηρίου και όχι σε πραγματικές συνθήκες περιβάλλοντος.



έως 0,032 W/(mK) εφόσον περιέχει άνθρακα, ενώ στην απλή μορφή έως 0,038 W/(mK). Η τιμή του συντελεστή αυτού οφείλεται κατά κύριο λόγο στην θερμική αγωγιμότητα του μίγματος αέρα και αερίων που κατέχουν περίπου το 95% του όγκου του υλικού. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας αποτελούν τις τιμές κατά τη χρήση της εξηλασμένης πολυστερίνης. Στην πραγματικότητα κατά την παραγωγή της ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι μικρότερος αλλά σταδιακά αυξάνεται, γεγονός το οποίο οφείλεται στη διαδικασία εξισορρόπησης του R12 του αέριου μίγματος με τον εξωτερικό αέρα. Έχει υπολογιστεί μάλιστα πως το αέριο σε R12 υποδιπλασιάζεται κάθε 50 έτη, περίπου δηλαδή όσο και η διάρκεια ζωής ενός κτιρίου.

Η εξηλασμένη πολυστερίνη ως οργανικό υλικό έχει περιορισμένο θερμοκρασιακό εύρος χρήσης το οποίο κυμαίνεται από τους -60°C έως το ανώτερο στους 75°C . Ο τρόπος παραγωγής της εξηλασμένης πολυστερίνης, δηλαδή η κατεργασία της εξέλασης, αποτελεί τον κύριο υπεύθυνο για τη μεγάλη αντοχή που παρουσιάζει στον εφελκυσμό ($0,30$ ως $0,35 \text{ N/mm}^2$) και στη συμπίεση, στην αυξημένη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών (80 ως 250) και στην απορρόφηση νερού. Η μέγιστη απορροφητικότητα φθάνει το 0,1 με 0,2% του όγκου του υλικού. Η πυκνότητα της εξηλασμένης πολυστερίνης κυμαίνεται από 30 έως 40 kg/m^3 . Επιπροσθέτως, δεν χρησιμοποιείται ως ηχομονωτικό υλικό, καθώς δεν διαθέτει ικανοποιητικές ιδιότητες ηχοαπορρόφησης.

Παρά τη χρήση επιβραδυντών καύσης και τον εμπλουτισμό της εξηλασμένης πολυστερίνης με στοιχεία αύξησης της πυραντοχής σε ποσοστό από 1 έως 6% κατά τη διαδικασία παραγωγής της, παραμένει εύφλεκτο υλικό και κατατάσσεται στις B1 και B2 κατηγορίες πυραντοχής.

2.1.3. Υαλοβάμβακας (18) (20) (23) (24)

Ο υαλοβάμβακας προέρχεται από ορυκτές πρώτες ύλες, ανήκει στα ανόργανα ινώδη υλικά και τα βασικά συστατικά του είναι το διοξείδιο του πυριτίου, ο δολομίτης, ο ασβεστόλιθος, η ανθρακική σόδα και η αλουμίνα. Ο υαλοβάμβακας παρασκευάζεται σε κλίβανο μέσω μιας διαδικασίας φυγόκεντρίσης, κατά την οποία τα υλικά εξαιτίας της φυγόκεντρης δύναμης υπό τη μορφή ινών παγιδεύουν τον αέρα.

Ο υαλοβάμβακας συναντάται στις εξής εμπορικές μορφές:



- σε μορφή παπλώματος είτε σε ρολά χωρίς επένδυση είτε με επένδυση αλουμινίου (επικάλυψη φύλλου αλουμινίου, υαλοϋφάσματος ή χαρτιού Kraff από τη μία τους πλευρά) είτε με ενισχυμένο μεταλλικό πλέγμα,
- σε μορφή πλακών και
- σε μορφή ειδικά μορφοποιημένα κογχυλιών για χρήση ως μόνωση σωληνώσεων.



Ο υαλοβάμβακας αποτελεί μία καλή θερμομονωτική λύση υπό την προϋπόθεση ότι προστατεύεται από τη διείσδυση της υγρασίας. Όσο μικρότερο είναι το πάχος των ινών και όσο μεγαλύτερο το μήκος τους τόσο υψηλότερη θερμική προστασία προσφέρει αλλά και μεγαλύτερο κόστος αποκτά. Οι τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από $0,033\text{W}/(\text{mK})$ έως $0,041\text{W}/(\text{mK})$. Η προσβολή από την υγρασία έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Για αυτό το λόγο, όταν χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό στα κτίρια, κρίνεται απαραίτητη η προστασία του με φράγμα υδρατμών στη θερμή όψη. Αξίζει να σημειωθεί πως λόγω της ινώδους μορφής του, ο υαλοβάμβακας σε ελεύθερη κατάσταση δεν απορροφά υγρασία. Επειδή όμως συχνά βρίσκεται κλεισμένος στα άλλα δομικά υλικά, η υγρασία που εγκλωβίζεται στα τελευταία τον προσβάλλει και εξαπλώνεται σε όλη την έκτασή του.

Εικόνα 2.3: Υαλοβάμβακας

Όσον αφορά στις ιδιότητες πυραντοχής του υαλοβάμβακα, προσοχή απαιτείται στα υλικά που προστίθενται για την βελτίωση της συνοχής (υδρίδιο του πυριτίου), στα συνδετικά υλικά (ρητίνες φαινοφορμαλδεΰδης), καθώς και στα υδατοαποθητικά έλαια (σιλικονόνες ή ορυκτέλαια), διότι αυτά τα υλικά δύναται να υποβαθμίσουν την αντοχή του υαλοβάμβακα σε περίπτωση πυρκαγιάς. Γενικότερα, πάντως, ο υαλοβάμβακας παρουσιάζει καλή συμπεριφορά στην πυρκαγιά καθώς ανήκει στις A1, A2 και B1 κατηγορίες πυραντοχής. Διαθέτει επίσης ανθεκτικότητα στη θερμοκρασία για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών από $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η αντοχή στον εφελκυσμό ($0,005\text{ N}/\text{mm}^2$) και το όριο θραύσης ($0,005\text{-}0,015\text{ N}/\text{mm}^2$) κρίνονται ικανοποιητικές. Ωστόσο, εμφανίζει μικρή αντοχή σε συμπίεση και ως εκ τούτου δεν προσφέρεται η χρήση του για δάπεδα και δώματα με ισχυρές φορτίσεις. Η απόδοσή του ως ηχομονωτικό υλικό θεωρείται ιδιαίτερα καλή σε σύγκριση με άλλα ως προς αυτήν την ιδιότητα

υλικά. Ο υαλοβάμβακας δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά ούτε από χημικές ενώσεις με εξαίρεση το υδροχλωρικό οξύ.

2.1.4. Πετροβάμβακας (18) (20) (24) (25)

Ο πετροβάμβακας ανήκει και αυτός στα ανόργανα υλικά ινώδους μορφής, καθώς αποτελείται από μια μάζα εξαιρετικά λεπτών ινών (διάμετρος < 4 ή 5 μm) και παρασκευάζεται από μίγμα ορυκτογενών πετρωμάτων, που αφθονούν στη φύση, όπως βασάλτη, μεταβασάλτη, διαβάση, αμφιβολίτη, ασβεστόλιθο, δολομίτη και βωξίτη. Για την παραγωγή του πετροβάμβακα, το μίγμα των ορυκτογενών πετρωμάτων θερμαίνεται και λιώνει είτε μέσα σε υψικάμινο είτε σε ηλεκτρικό φούρνο.



Εικόνα 2.4: Πετροβάμβακας

Μάλιστα η τελευταία πιο σύγχρονη μέθοδος επιτυγχάνει διαστασιακή ομοιομορφία στις παραγόμενες ίνες, καθώς και μηδαμινή μόλυνση του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια και με τη βοήθεια της φυγοκέντρισης και διαφόρων συγκολλητικών ουσιών διαμορφώνεται η τελική ινώδη μορφή. Στο εμπόριο συναντάται σε πάπλωμα χωρίς επένδυση ή με επένδυση μεταλλικού πλέγματος ή σκληρών πλακών, καθώς και σε μορφή κοχυλιών.

Ο πετροβάμβακας έχει υψηλή πυκνότητα (40 – 100kg/m³ σε μορφή παπλώματος και 50 – 180kg/m³ σε μορφή πλακών) και ιδιαίτερα καλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 0,033 ως 0,041 W/(mK). Η υψηλή θερμομονωτική ικανότητά του όμως επηρεάζεται σημαντικά στην περίπτωση προσβολής του από την υγρασία, έτσι ώστε να κρίνεται αναγκαία η λήψη μέτρων προστασίας από την υγρασία είτε με την προσθήκη οργανικών ενώσεων του πυριτίου (σιλάνια) είτε με την τοποθέτηση επικάλυψης φύλλων αλουμινίου ή γύψου. Η θερμομονωτική ικανότητα του πετροβάμβακα επηρεάζεται αρνητικά επίσης και από την αυξημένη παρουσία συμπαγών σφαιριδίων τήξης, χρώματος καφέ ή μαύρου, που δημιουργούνται παράλληλα με τις επιθυμητές ίνες στη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Όσον αφορά τη διάχυση των υδρατμών ο πετροβάμβακας καθίσταται ευάλωτος σε σχέση με τα άλλα υλικά λόγω των ανοιχτών κυψελών αέρα που περιέχονται στη μάζα του. Στην τοιχοποιία, το παραπάνω δεν αποτελεί πρόβλημα, αφού ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας των υδρατμών είναι ίσος με αυτόν του αέρα (σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, $\lambda_{\text{υδρατμών}} =$



0,026W/m²K). Σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η υγρασία διαπερνά την τοιχοποιία, η θερμική αγωγιμότητα παραμένει σταθερή, αφού οι υδρατμοί δεν συμπυκνώνονται. Αντίθετα, στα στοιχεία σκυροδέματος, η υγρασία διαπερνά μόνο τον πετροβάμβακα με αποτέλεσμα να δημιουργείται συμπύκνωση υδρατμών ανάμεσα στο μονωτικό και το δομικό υλικό. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του νερού είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν του αέρα (σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, $\lambda_{\text{νερού}} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$), με αποτέλεσμα να χάνεται η θερμομονωτική του ικανότητα και να παρατηρούνται φθορές στο στοιχείο σκυροδέματος. Για το λόγω αυτό χρησιμοποιείται αντί για πετροβάμβακα εξηλασμένη πολυστερίνη καθώς παρουσιάζει εξαιρετική αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών ή εξωτερικό κάλυμμα από στεγανωτική μεμβράνη.

Ο πετροβάμβακας διαθέτει ιδιαίτερα υψηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Η ανώτερη θερμοκρασία εφαρμογής (750 °C) καθορίζει μέχρι ποια θερμοκρασία διατηρεί το μονωτικό υλικό τις ιδιότητές του. Για αυτό και ο πετροβάμβακας βρίσκει εφαρμογή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, στη μόνωση λεβήτων, σε πόρτες πυρασφαλείας, σε κατασκευές που αφορούν στην πυρασφάλεια σε πλοία, καθώς και στην περιοχή της τεχνολογίας του εξαερισμού (αγωγοί εξαερισμού).

Ο πετροβάμβακας διαθέτει πολύ καλή συμπεριφορά στην πυρκαγιά, καθώς ανήκει στις A1, A2 και B1 κατηγορίες πυραντοχής. Αντίθετα, εμφανίζει μικρή αντοχή στον εφελκυσμό (0,005 N/mm²) και χαμηλό όριο θραύσης από 0,00012 έως 0,0075 N/mm³. Όσον αφορά στις ακουστικές ιδιότητές του παρουσιάζει χαμηλό βαθμό απορρόφησης του ήχου σε σχέση με τον υαλοβάμβακα στις χαμηλές συχνότητες, αλλά στις υψηλές συχνότητες εμφανίζει πολύ καλές. Δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά ούτε και από χημικές ενώσεις.

2.1.5. Αφρός πολυουρεθάνης (18) (20) (24)

Ο αφρός πολυουρεθάνης είναι σκληροποιημένος αφρός, του οποίου οι πόροι σε ποσοστό τουλάχιστον 90% είναι κλειστοί και παρασκευάζεται με την βοήθεια καταλυτών και προωθητικών μέσων, μέσω της χημικής αντίδρασης των πολυϊσοκυανικών ενώσεων με συνδετικό μέσο πολυολένιο ή με διάσπαση των πολυϊσοκυανικών ενώσεων. Παλιότερα, ως προωθητικό μέσο, χρησιμοποιούταν το FCKW (R11),



Εικόνα 2.5: Αφρός πολυουρεθάνης



αλλά τώρα έχει αντικατασταθεί με υδρογονάνθρακες όπως το πεντάνιο, CO₂ ή ΗFCKW.

Ο αφρός πολουρεθάνης αποτελεί το θερμομονωτικό υλικό με τον μικρότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,023 \div 0,030 \text{ W/(mK)}$. Έχει αντοχή σε αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις που κυμαίνονται από 20 έως 30 N/cm², πυκνότητα από 30 έως 80 kg/m³ και συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών από 50 έως 100. Το γεγονός αυτό φανερώνει την εξαιρετικά μικρή ικανότητα απορρόφησης υγρασίας. Πρόκειται δηλαδή για ένα αδιάβροχο υλικό, λόγω της κλειστής δομής των κυψελίδων του.

Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης είναι σχετικά περιορισμένο, αν συγκριθεί με αυτό των ινωδών υλικών (υαλοβάμβακα και πετροβάμβακα) με κατώτερο όριο τους -50 °C και ανώτερο 120 °C. Ο αφρός πολουρεθάνης δεν παρέχει ικανοποιητική προστασία έναντι πυρκαγιάς αν και κατά την παραγωγή του προστίθενται μέσα αύξησης της πυραντοχής και κατατάσσεται στις B1 και B2 κατηγορίες πυραντοχής. Για την εκπλήρωση των όρων πυρασφαλείας στις εφαρμογές στα κτίρια, ο αφρός μπορεί να περιέχει και άλλα μέσα αύξησης της πυραντοχής. Σημειώνεται ότι κατά την καύση του παράγει μικρές ποσότητες τοξικών αερίων.

Ο αφρός πολουρεθάνης επηρεάζεται αν μείνει εκτεθειμένος στην ηλιακή ακτινοβολία, καθώς οι επιφανειακές κυψέλες αδυνατίζουν και το υλικό θρυμματίζεται. Διαθέτει ιδιαίτερα καλές συγκολλητικές ιδιότητες, αφού προσκολλάται στα περισσότερα οικοδομικά υλικά. Για αυτό και συχνά παρασκευάζεται επί τόπου στα έργα με εκτόξευση με ψεκάσμο. Τέλος, το υλικό δεν παρέχει προστασία ηχομόνωσης και ως εκ τούτου δεν χρησιμοποιείται ως ηχομονωτικό υλικό.

2.2. Θερμομόνωση κτιριακού κελύφους (26) (27) (28)

Το κτιριακό κέλυφος αποτελείται από κάθε δομικό στοιχείο που διαχωρίζει μία θερμική ζώνη του κτιρίου με τον εξωτερικό αέρα (π.χ. τοιχοποιίες, κατακόρυφα στοιχεία φέροντος οργανισμού, επιστεγάσεις, δάπεδο επάνω από ανοιχτό υπόστυλο χώρο κ.α.), με το έδαφος (π.χ. κατακόρυφα στοιχεία σε επαφή με το έδαφος, δάπεδο σε επαφή με το έδαφος κ.ά.) και με μη θερμαινόμενους χώρους (π.χ. τοιχοποιίες, φέροντα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, δάπεδα, οροφές σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους). Βασική προϋπόθεση για τη σωστή θερμομονωτική επάρκεια οποιουδήποτε κτιρίου είναι ο προσδιορισμός των θερμοφυσικών ιδιοτήτων τόσο των επιμέρους στρώσεων όσο και της συνολικής διατομής κάθε δομικού στοιχείου που εμπλέκεται στα ανωτέρω.

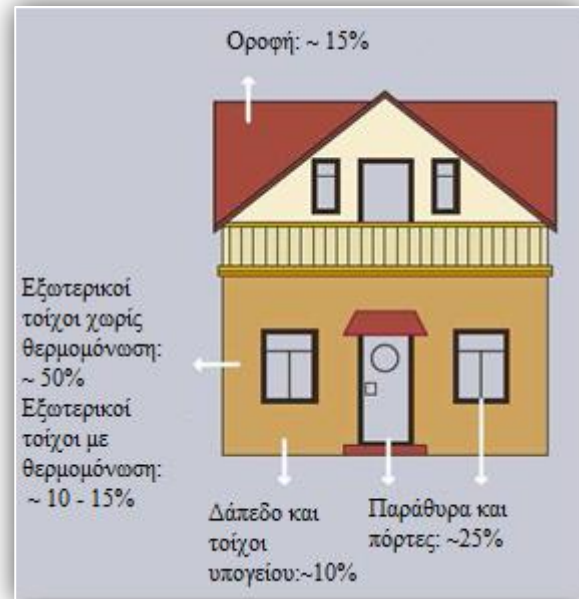
Η θερμική αντίσταση και, συνεπώς, η θερμομονωτική ικανότητα του κάθε δομικού στοιχείου εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού η οποία αυξάνεται με το πάχος του. Όπως ορίζεται στο άρθρο 8 του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων – Κ.Εν.Α.Κ, ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων U (σε $W/(m^2K)$), δεν πρέπει να υπερβαίνει τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές όπως αυτές δίνονται στον πίνακα 3.3α της πρώτης τεχνικής οδηγίας του ΤΕΕ. Ο κανονισμός αυτός βέβαια, ισχύει μόνον για τα νέα ή ριζικώς ανακαινιζόμενα κτίρια.

Στη συμβατική μέθοδος θερμομόνωσης, η τοποθέτηση θερμομονωτικών υλικών στα φέροντα δομικά στοιχεία, εμποδίζει την αγωγή θερμότητας από το κτίριο προς το εξωτερικό περιβάλλον (αντίστροφα το καλοκαίρι), επειδή περιέχουν ακίνητο αέρα παγιδευμένο είτε σε ίνες (π.χ. υαλοβάμβακας) είτε σε κλειστές κυψελίδες (π.χ. διογκωμένη πολυστερίνη). Εν γένει, συνιστάται τα θερμομονωτικά υλικά να τοποθετούνται εξωτερικά ή ενδιάμεσα στις τοιχοποιίες, οροφές και δάπεδα, έτσι ώστε να μην αδρανοποιείται η θερμική μάζα (θερμοχωρητικότητα) του κελύφους. Η τοποθέτησή τους ωστόσο, εξαρτάται από τεχνικοοικονομικούς παράγοντες, αλλά και από τη χρήση (ωράριο λειτουργίας) των χώρων.

2.2.1. Τοιχοποιίες (27)

Τα τελευταία χρόνια η ιδιαίτερη άνθιση του τομέα της ενεργειακής αξιοποίησης των κτιρίων έχει προσφέρει εμφανώς εξελιγμένα δομικά προϊόντα στο χώρο, τόσο για τις τοιχοποιίες και τα δάπεδα, όσο και για τα υαλοστάσια και τις οροφές υφιστάμενων και νέο-ανεγειρόμενων κτιρίων. Όσον αφορά τις τοιχοποιίες η ύπαρξη πληθώρας υλικών και εφαρμογών σκιαγραφεί μία πολύτροπη μέθοδος θερμομόνωσης.

- Επιχρίσματα βελτιωμένης ενεργειακής συμπεριφοράς
- Βαφές βελτιωμένης ενεργειακής συμπεριφοράς



Εικόνα 2.6: Ενδεικτικές τιμές απωλειών που αφορούν το κτιριακό κέλυφος



- Ελαφρό σκυρόδεμα με πρόσμιξη θερμομονωτικού υλικού
- Οπτόπλινθοι βελτιωμένης ενεργειακής συμπεριφοράς
- Συστήματα εξωτερικής θερμομόνωσης
- Αεριζόμενα δομικά στοιχεία
- Φράγματα ακτινοβολίας (radiant barriers)
- Προσόψεις διπλού κελύφους (double-skin facades)

2.2.2. Δάπεδο (29)

Παρόμοια με τα στοιχεία τοιχοποιίας, τα δάπεδα έχουν τους αντίστοιχους τρόπους θερμομόνωσης. Προφανώς διάκριση γίνεται με το είδος του χώρου που βρίσκεται κάτωθεν του προς μελέτη δαπέδου.

2.2.2.1. Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος

- Τοποθέτηση στεγανοποιητικής στρώσης (για την αποφυγή υγρασίας)
- Διάστρωση πλάκας σκυροδέματος καθαριότητας
- Τοποθέτηση υγρομόνωσης αποτελούμενη από δύο ή περισσότερες στρώσεις ασφαλικών μεμβρανών
- Στρώση γεωφύσματος για προστασία της στεγανοποιητικής στρώσης από τις υπερκείμενες
- Τοποθέτηση θερμομονωτικής στρώσης και επάνω σε αυτή η φέρουσα πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος.

2.2.2.2. Δάπεδο σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο

Κατά τη συνήθη πρακτική τοποθετείται θερμομονωτικό υλικό κάτω από την φέρουσα πλάκα για την εκμετάλλευση της θερμοχωρητικότητας του χώρου και σε νέα και σε υπάρχοντα κτίρια.

2.2.2.3. Για ενδιάμεσες πλάκες

Στην κατηγορία αυτή, σημαντικό ρόλο εκτός από τη θερμομόνωση παίζει και η ηχομόνωση μεταξύ των ορόφων. Δεδομένου ότι οι χώροι εκατέρωθεν είναι και οι δύο θερμαινόμενοι, οι ανάγκες για θερμομόνωση μειώνονται. Στις συνήθεις περιπτώσεις χρησιμοποιείται ελαφροσκυρόδεμα, για την κάλυψη των σωληνώσεων ύδρευσης, το οποίο περιέχει κόκκους μονωτικού υλικού. Παρ' όλα αυτά ενδείκνυται η χρήση και άλλων

στρώσεων θερμοχωμονωτικών υλικών ή και στεγανωτικών σε περιπτώσεις τοποθέτησης ξύλινων πατωμάτων ή ενδοδαπέδιας θέρμανσης αντίστοιχα.

2.2.3. Οροφές (27)

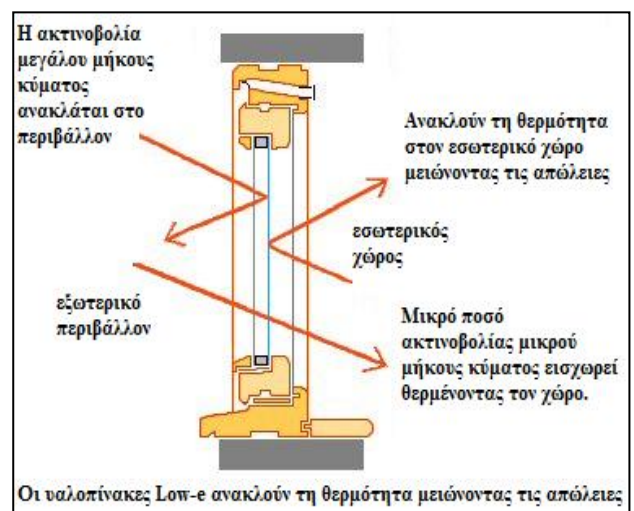
Διάφορα είδη οροφών προσφέρουν θερμική άνεση και σημαντική μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας με ταυτόχρονη εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ηλιακής ενέργειας ή και βελτίωσης του μικροκλίματος (φυτεμένο δώμα) .

- Σκεπές με κεραμίδια
- Σκεπές με πλάκες
- Οριζόντιες συμβατικές οροφές
- Μεταλλικές
- Αεριζόμενες οροφές
- Οροφές με ακτινοβολητή νερού ή αέρα
- Οροφές με σύστημα εξαμιστικής ψύξης
- Φυτεμένα δώματα (πράσινες στέγες)
- Οροφές με ενσωμάτωση ΑΠΕ (θερμικά ηλιακά συστήματα, Φωτοβολταϊκά συστήματα)

2.2.4. Κουφώματα (30) (31) (32)

Τέλος η αναμφίβολη ύπαρξη ανοιγμάτων παίζει καθοριστικό ρόλο στην αύξηση του ποσοστού των απωλειών θερμότητας. Παρ' όλα αυτά η εκτεταμένη χρήση του γυαλιού έχει προσφέρει καινοτόμες τεχνολογίες οι οποίες παρουσιάζουν σημαντική αύξηση της θερμικής αντίστασης.

- Μονοί, διπλοί, τριπλοί υαλοπίνακες
- Υαλοπίνακες με επιστρώσεις χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low-E)
- Υαλοπίνακες χρησιμοποιώντας στο διάκενό τους αέρια χαμηλότερης θερμικής αγωγιμότητας από αυτήν του ξηρού αέρα

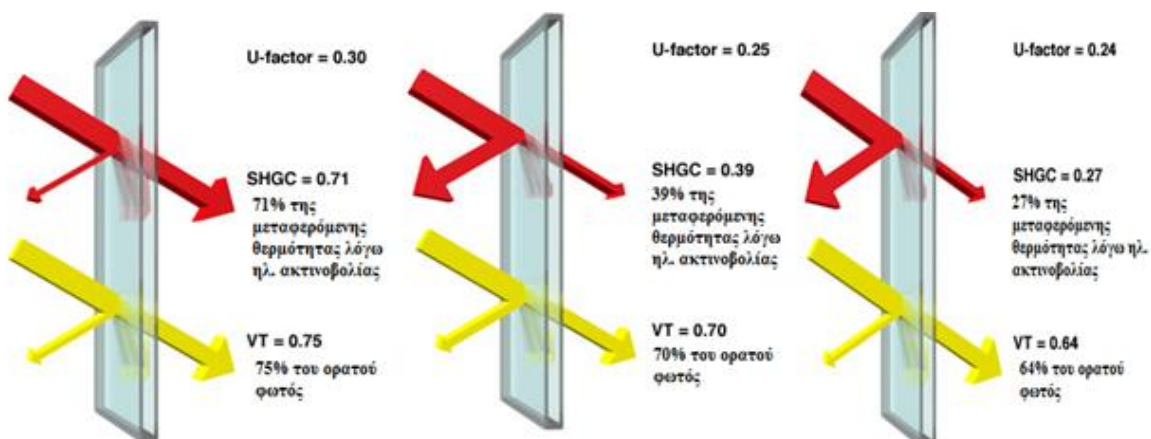


Εικόνα 2.7: : Απεικόνιση λειτουργίας υαλοπίνακα χαμηλής εκπομπής (Low-e)

(πλήρωση με αέριο αργό)

- Υαλοπίνακες με διάκενο αέρα υπό συνθήκες κενού.
- Ανακλαστικοί υαλοπίνακες
- Έγχρωμοι υαλοπίνακες
- Απορροφητικοί υαλοπίνακες
- Ηλεκτροχρωμικοί, Φωτοχρωμικοί, Θερμοχρωμικοί
- Υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων

Στις συνήθεις περιπτώσεις θερμομονωτικών υαλοπινάκων χρησιμοποιούνται οι υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low-e). Οι υαλοπίνακες αυτοί περιέχουν μία επίστρωση από μικροσκοπική μεμβράνη πολύ χαμηλής εκπομπής, οπτικά αόρατη, τοποθετημένη πάνω στην εσωτερική πλευρά διπλού/τριπλού υαλοπίνακα, με σκοπό να ελαχιστοποιήσει τον συντελεστή θερμοπερατότητας μειώνοντας τη ροή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι υαλοπινάκων ανάλογα με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής και τον προσανατολισμό του κτιρίου όπως οι υαλοπίνακες χαμηλού, μέσου και υψηλού ηλιακού κέρδους. Συγκεκριμένα για τα ψυχρά κλίματα χρησιμοποιείται υαλοπίνακας υψηλού ηλιακού κέρδους (High-solar-gains), ο οποίος εξαιτίας του υψηλού παράγοντα ηλιακού θερμικού κέρδους (SHGF), επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας λόγω ηλιακής ακτινοβολίας. Αντίθετα για θερμά κλίματα χρησιμοποιείται υαλοπίνακας χαμηλού ηλιακού κέρδους (Low-solar-gains). Επιπλέον θερμομονωτικές ιδιότητες προσφέρονται με πλήρωση με το ευγενές αέριο αργό στον κενό χώρο μεταξύ των δύο υαλοπινάκων.



Εικόνα 2.8: Υαλοπίνακες υψηλού, μετρίου και χαμηλού ηλιακού κέρδους, χαμηλής εκπομπής, με πλήρωση αργόν



Βέβαια η θερμομονωτική ικανότητα ενός κουφώματος δεν εξαρτάται μόνο από το είδος του υαλοπίνακα αλλά και από το είδος του πλαισίου. Η αναλογία υάλωσης και πλαισίου σε σύγκριση με το κούφωμα, ανέρχεται συνήθως στο 70 και 30% αντίστοιχα, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την ορθή μόνωση και του τελευταίου. Αυτό πρακτικά σημαίνει :

- i. Εξάλειψη των θερμογεφυρών του πλαισίου
- ii. Πολύ καλή στεγάνωση για την αποφυγή ανεξέλεγκτης εισροής αέρα.

Οι τύποι θερμομονωτικών πλαισίων παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με το υλικό και τη σχεδίαση. Στη χώρα μας, εξαιτίας της μεγάλης παραγωγής αλουμινίου, τα πλαίσια αλουμινίου με θερμοδιακοπή κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς.

1. Πλαίσια αλουμινίου

Παρ όλο που είναι πολύ ανθεκτικό, ελαφρύ και δεν χρειάζεται συντήρηση, το αλουμίνιο έχει μεγάλη θερμική αγωγιμότητα. Συνεπώς στα πλαίσια αλουμινίου πρέπει να δοθούν μονωτικές ιδιότητες. Για το σκοπό αυτό τοποθετείται στο εσωτερικό και σε κατάλληλη διαμόρφωση, μονωτικό υλικό το οποίο διακόπτει τη μετάδοση της εξωτερικής θερμοκρασίας στο εσωτερικό των κουφωμάτων.

2. Ξύλινα πλαίσια

Τα ξύλινα πλαίσια έχουν καλές θερμομονωτικές ιδιότητες, αλλά επηρεάζονται από τις κλιματολογικές συνθήκες σε μεγάλο βαθμό δημιουργώντας προβλήματα λόγω συστολής και διαστολής. Η υγρασία το χειμώνα εισχωρεί μέσα στις ίνες του ξύλου αυξάνοντας τον όγκο του, ενώ η αλμύρα της θάλασσας προκαλεί φθορές και ανεπανόρθωτες βλάβες. Επίσης, ένα ξύλινο πλαίσιο είναι παχύτερο και πιο βαρύ απ' ό τι τα άλλα με άμεσο επακόλουθο τα προβλήματα κατά την τοποθέτηση και η μείωση της επιφάνειας της υάλωσης και κατ' επέκταση μείωση του εισερχόμενου φυσικού φωτισμού. Έχουν τις μεγαλύτερες ανάγκες σε συντήρηση, συνεπώς η προστασία τους από ένα κάλυμμα αλουμινίου ή συνθετικού PVC καθίσταται απαραίτητη.

3. Πλαίσια από συνθετικό PVC

Τα πλαίσια αυτά κατασκευάζονται από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) με σταθεροποιητές υπεριώδους ακτινοβολίας για να αποτρέψουν την πρόωγη γήρανση του υλικού από την ηλιακή ακτινοβολία. Έχουν πολύ καλές θερμομονωτικές ιδιότητες, πολύ καλή αντίσταση στην υγρασία και δεν χρειάζονται βαφή. Ωστόσο οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να

προκαλέσουν διόγκωση και δυσμορφίες στο υλικό, ενώ στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί ακόμα και να σπάσει. Για ενίσχυση των θερμομονωτικών ιδιοτήτων του πλαισίου συνηθίζεται η τοποθέτηση μονωτικού υλικού στις εσωτερικές κοιλότητες κατά τον ίδιο τρόπο όπως στα πλαίσια αλουμινίου. Κατά συνέπεια μειώνεται ραγδαία ο συντελεστής θερμοπερατότητας U. Τα πλαίσια αυτά χρησιμοποιούνται συνήθως με υψηλών προδιαγραφών κρύσταλλα.



Εικόνα 2.9: Πλαίσιο αλουμινίου με θερμοδιακοπή

2.2.5. Εξάλειψη θερμογεφυρών (20) (33)

Οι θερμογέφυρες αποτελούν ένα από τα βασικότερα προβλήματα όσον αφορά την θερμομόνωση καθώς συμβάλουν στην συναλλαγή θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον σε ποσοστό 5 έως 30% των συνολικών απωλειών θερμότητας, με πολλές διαχρονικές επιπτώσεις:

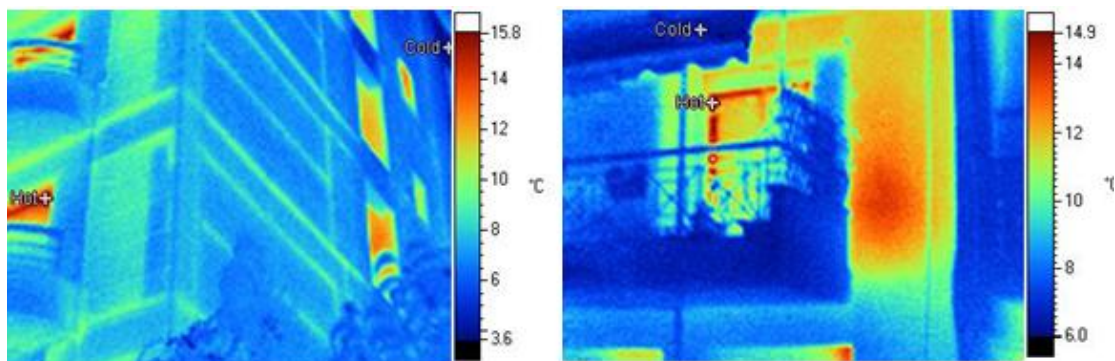
- Οικονομική επιβάρυνση: Αύξηση της εξάρτησης από καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και υπερδιαστασιολόγηση του Η/Μ εξοπλισμού
- Περιβαλλοντική επιβάρυνση: αύξηση εκπεμπόμενων ρύπων
- Μείωση αισθήματος θερμικής άνεσης και ποιότητας εσωτερικού αέρα
- Κίνδυνος εμφάνισης υγρασίας
- Πρόκληση βλαβών στα δομικά στοιχεία

Σύμφωνα με τις Τεχνικές Οδηγίες του ΤΕΕ, οι θερμογέφυρες διακρίνονται σε δύο τύπους: σε γραμμικές και σημειακές. Οι γραμμικές θερμογέφυρες, εμφανίζονται κατά μήκος μιας επιφάνειας, δηλαδή σε μια διεύθυνση, στην οποία συνενώνονται διάφορα δομικά στοιχεία ή ίδια διαφορετικού πάχους (διεπιφάνεια). Χωρίζονται σε:

- Κατακόρυφες θερμογέφυρες (εμφανίζονται στη συναρμογή των κατακόρυφων δομικών στοιχείων)
- Οριζόντιες θερμογέφυρες (εμφανίζονται στη συναρμογή οριζόντιων δομικών στοιχείων με κατακόρυφα)
- Θερμογέφυρες κουφωμάτων (εμφανίζονται στη συναρμογή των κουφωμάτων με συμπαγή δομικά στοιχεία)

Οι σημειακές θερμογέφυρες, εμφανίζονται στις ενώσεις των γραμμικών θερμογεφυρών και η επίδρασή τους στη ροή θερμότητας θεωρείται αμελητέα.

Για τον προσδιορισμό των θερμογεφυρών χρησιμοποιείται η μέθοδος της θερμοφωτογράφισης. Με τη θερμοφωτογράφιση είναι δυνατόν να επισημανθούν και να καταγραφούν οι ατέλειες, τα κατασκευαστικά λάθη και οι αβλεψίες σε μια κατασκευή, όταν αυτές σχετίζονται με τη θερμική της συμπεριφορά. Μπορούν να καταγραφούν οι παντός τύπου θερμογέφυρες και γενικώς οι θέσεις ή οι ευρύτερες περιοχές μειωμένης θερμομονωτικής προστασίας.



Εικόνα 2.10: Παραδείγματα θερμοφωτογράφισης. Οι θερμές περιοχές αποδεικνύουν τη ροή θερμότητας λόγω ύπαρξης θερμογεφυρών.

Μπορούν επίσης να επισημανθούν προβλήματα υγρασίας που δεν είναι άμεσα ορατά ή ακόμη δεν έχουν εκδηλωθεί στις εξωτερικές επιφάνειες των δομικών στοιχείων. Στο προσβεβλημένο τμήμα, ο εγκλωβισμένος αέρας στους πόρους του δομικού στοιχείου θα έχει παραχωρήσει τη θέση του στο νερό, το οποίο παρουσιάζει περίπου 24 φορές μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα από αυτήν του αέρα και άρα μεγαλύτερες ροές θερμότητας στην προσβεβλημένη περιοχή.



Εικόνα 2.11: Υγρασία στη σύνδεση της τοιχοποιίας με την πλάκα ορόφου λόγω ύπαρξης θερμογέφυρας.

Η ελαχιστοποίηση των θερμογεφυρών γίνεται στο αρχικό στάδιο μελέτης και κατασκευής του κελύφους του κτιρίου. Προβλέπεται εξ αρχής ολοκληρωμένη θερμομόνωση στη επαφή της τοιχοποιίας με τα υπόλοιπα φέροντα δομικά στοιχεία όπως:

- κολώνες, δοκάρια από οπλισμένο σκυρόδεμα,
- στους παρατσάδες των κουφωμάτων,
- στον περίδεσμο ενίσχυσης (σενάζ),
- στο στηθαίο δώματος,
- στον πρόβολο ως προέκταση της φέρουσας πλάκας.

Επίσης δεν πρέπει να παραλείψουμε την επιλογή κουφωμάτων (θερμοδιακοπτόμενα, ξύλινα ή πλαστικά) με χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, αλλά και την μόνωση των χαραμάδων των ανοιγμάτων ενός κτιρίου.

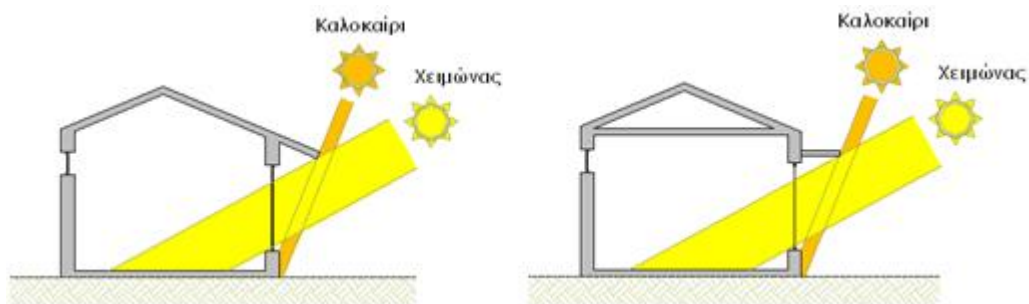
Ο Κ.Εν.Α.Κ. προβλέπει τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας θερμογεφυρών ακολουθώντας την μεθοδολογία υπολογισμού της 2^{ης} τεχνικής οδηγίας του ΤΕΕ « Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων». Για κάθε τύπο θερμογέφυρας που εμφανίζεται στο κτίριο εκτιμάται το ισοδύναμο μήκος ανά θερμική ζώνη. Ο τύπος, η επιφάνεια και το μήκος των θερμογεφυρών σημειώνεται σε σκαριφήματα των αρχιτεκτονικών σχεδίων (κατόψεις, αναπτύγματα όψεων κ.ά.). Η τιμή του Ψ λαμβάνεται από τους σχετικούς πίνακες της οδηγίας.

2.2.6. Σκίαση ανοιγμάτων (34) (35)

Μία από τις σημαντικότερες τεχνικές για τη μείωση του θερμικού κέρδους ενός κτιρίου, σύμφωνα με την βιοκλιματική αρχιτεκτονική, είναι η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων. Την θερινή περίοδο, η ανατολική και η δυτική όψη δέχονται στη διάρκεια της μέρας και για πολλές ώρες τα ίδια ποσά και την ίδια ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, που φτάνει τα 600- 800 W/m². Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί τη βασικότερη πηγή θερμότητας επομένως η σκίαση κάθε μορφής ανοίγματος του κτιρίου είναι επιβεβλημένη.

Η σωστή ηλιοπροστασία αποτελεί προϋπόθεση για την αποδοτική εφαρμογή κάθε άλλης τεχνικής για το δροσισμό ενός κτιρίου, είτε αυτός γίνεται με φυσικό είτε με τεχνητό τρόπο. Στην πρώτη περίπτωση συνεισφέρει σημαντικά στη διατήρηση των θερμοκρασιών μέσα στους χώρους σε ανεκτά επίπεδα και, συνεπώς στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης. Στη δεύτερη περίπτωση συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη του κτιρίου και στη μείωση του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής που προκύπτει, καθώς υπάρχει σημαντικά μειωμένη θερμική επιβάρυνση από την ηλιακή ακτινοβολία. Προς επιβεβαίωση των ανωτέρω μία έρευνα του Πολυτεχνείου Κρήτης του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος έδειξε ότι η χρήση σκίασης των ανοιγμάτων σε μία κατοικία συνεισφέρει κατά 36% στην αύξηση του επιπέδου δροσισμού έναντι μίας άλλης χωρίς σκίαση.

Η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων θα πρέπει να εξασφαλίζει την ελάχιστη εισερχόμενη ακτινοβολία το καλοκαίρι, συνδυάζοντας όμως τη δυνατότητα φυσικού φωτισμού, αερισμού και θέας και φυσικά, να μην εμποδίζει τον απαραίτητο ηλιασμό κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Επίσης πρέπει να ελέγχεται και ο ηλιασμός των ανοιγμάτων κατά τις ενδιάμεσες περιόδους (άνοιξη-φθινόπωρο).



Εικόνα 2.12: Οριζόντιες προεξοχές για σκίαση νότιας όψης κτιρίου.



Η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων εξαρτάται από τον προσανατολισμό τους. Εν γένει ο νότιος προσανατολισμός ενδείκνυται στα κτίρια στο Βόρειο Ημισφαίριο, καθώς συνδυάζει τον απαιτούμενο ηλιασμό το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι (που ο ήλιος βρίσκεται πιο ψηλά στον ορίζοντα) δέχεται λιγότερη ακτινοβολία, η οποία ελαχιστοποιείται με ένα απλό οριζόντιο σκιάστρο όπως παρουσιάζεται στο προηγούμενο σχήμα. Για τα ανατολικά και δυτικά παράθυρα, στα οποία οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν από χαμηλά, απαιτείται σκίαση κατακόρυφου τύπου.

Η σκίαση αποτελεί και μέσο ελέγχου του φυσικού φωτισμού και, ιδιαίτερα, της θάμβωσης, καθώς μειώνει την άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στους χώρους. Συνεπώς, κατά την επιλογή του κατάλληλου σκιάστρου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο η θερμική, όσο και η οπτική του απόδοση όλο το χρόνο.

Οι μέθοδοι σκίασης ενός κτιρίου, σύμφωνα με την 1^η τεχνική οδηγία του ΤΕΕ είναι οι ακόλουθοι:

1. οριζόντια προστεγάσματα, εξώστες, υπέρθυρα ανοίγματα
2. πλευρικές προεξοχές, τμήματα του ίδιου κτιρίου, διπλανών κτιρίων
3. τέντα
4. εξωτερικές περσίδες

Πρέπει να τονιστεί ότι τα εσωτερικά σκιάστρα όπως κουρτίνες, περσίδες και τα εξωτερικά παραθυρόφυλλα τα οποία δεν θεωρούνται σταθερά σκιάστρα, δεν λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό του συντελεστή σκίασης.

2.2.7. Μικροκλίμα (36) (37)

Η βλάστηση –δέντρα, θάμνοι, ακόμη και καλλωπιστικά φυτά- συμβάλλει στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ παράλληλα με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής μειώνει την θερμοκρασία του αέρα το καλοκαίρι. Η χρήση της βλάστησης στον εξωτερικό χώρο ρυθμίζει το μικροκλίμα του άμεσου περιβάλλοντος, μειώνοντας σημαντικά τις υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες. Η σύγχρονη αρχιτεκτονική, ανταποκρινόμενη στις ανάγκες των ανθρώπων, επιχειρεί να εισαγάγει την φύση και μέσα στα κτίρια.

Η εξάτμιση του νερού από υδάτινα στοιχεία, καθώς και η εξατμισοδιαπνοή από τα φυλλώματα των δέντρων ή/και της βλάστησης προκαλούν πτώση της θερμοκρασίας του αέρα. Ως χρόνος καλύτερης απόδοσης της εξάτμισης ορίζονται οι μεσημβρινές ώρες, γιατί τότε η υγρασία του αέρα είναι χαμηλή.

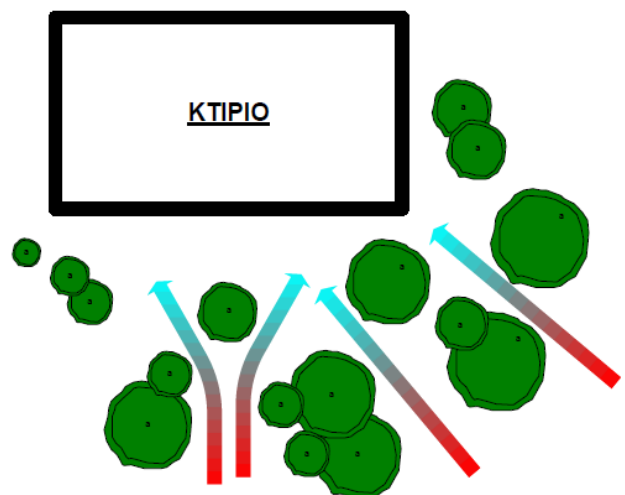
Ο σχεδιασμός της φύτευσης με δέντρα ή θάμνους ή χαμηλή βλάστηση στους υπαίθριους χώρους λειτουργεί αποτελεσματικά σε σχέση με τα κτίρια στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- ως ανεμοφράκτης για το χειμώνα, προστατεύοντας τα κτίρια,
- ως στοιχείο ελέγχου της ανεμορροής, κατευθύνοντας το δροσερό άνεμο το καλοκαίρι,
- ως στοιχείο σκιασμού από την ηλιακή ακτινοβολία των ανοικτών χώρων και των κτηρίων,
- ως πηγή δροσισμού το καλοκαίρι, παρέχοντας δροσιά μέσω της εξατμισοδιαπνοής,
- ως ρυθμιστής της θερμικής άνεσης, με τον έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας,
- ως φίλτρο του φυσικού φωτός όλο το χρόνο,
- ως φίλτρο της σκόνης και των μικροσωματιδίων.

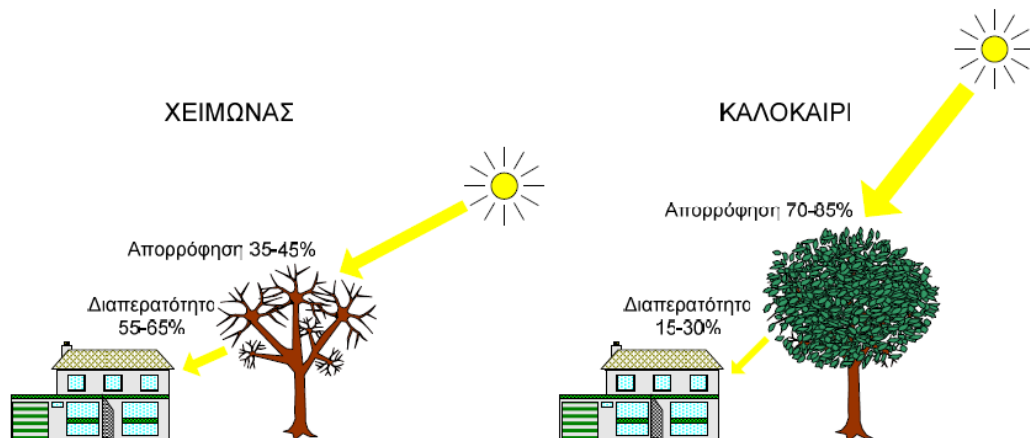
Επίσης:

- προστατεύει από τη διάβρωση,
- μειώνει το θόρυβο από τον περιβάλλοντα χώρο,
- βελτιώνει την ποιότητα του αέρα και μειώνει τη μόλυνση της ατμόσφαιρας,
- μειώνει την οπτική όχληση και δημιουργεί ιδιωτικότητα

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην επιλογή της κατάλληλης φύτευσης. Δηλαδή για την προστασία των υπαίθριων χώρων και των κτηρίων από τους ψυχρούς ανέμους το χειμώνα επιλέγονται δέντρα ή φυτά αιθιαλή. Αντίθετα, για τη διευκόλυνση του ηλιασμού των υπαίθριων χώρων το χειμώνα επιλέγονται δέντρα και φυτά φυλλοβόλα.



Εικόνα 2.13: Χωροθέτηση φυτών στο οικόπεδο για την εκμετάλλευση των ασθενών αερίων ρευμάτων για το δροσισμό του κτιρίου.



Εικόνα 2.14: Ηλιοπροστασία από φυλλοβόλα δέντρα σε νότιες όψεις

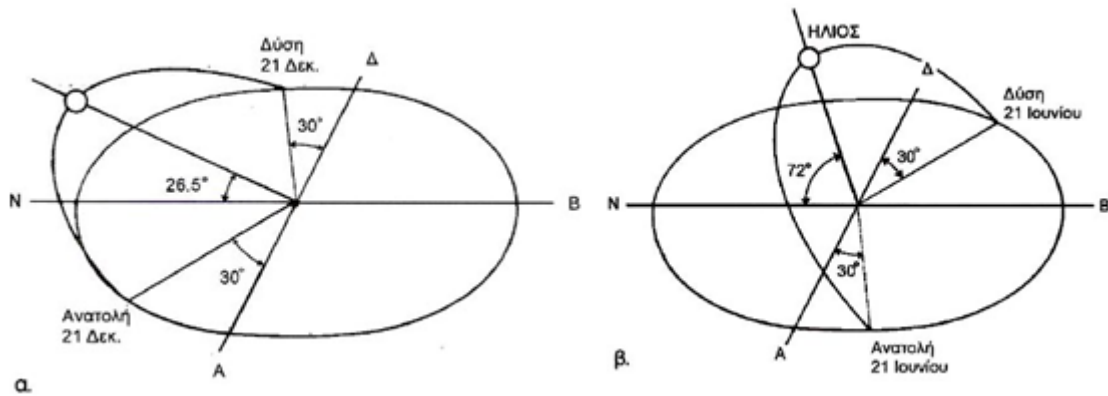
Η περισσότερο επιβαρυνόμενη περιοχή του κτιρίου είναι η επικάλυψή του -το δώμα-, γιατί σε όλη τη διάρκεια της ημέρας, πέραν των υψηλών θερμοκρασιών, δέχεται την έντονη ακτινοβολία του ήλιου. Οι πράσινες στέγες συμβάλλουν αποτελεσματικά στη βελτίωση του μικροκλίματος, γιατί απορροφούν μεγάλη ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, επομένως μειώνουν τη θερμοκρασία του αέρα στο άμεσο περιβάλλον, παράγουν οξυγόνο και φιλτράρουν τη σκόνη.



Εικόνα 2.15: Βελτίωση του μικροκλίματος με φύτευση της οροφής και του περιβάλλοντα χώρου.

2.2.8. Προσανατολισμός (26) (35)

Ο σωστός προσανατολισμός των κτιρίων αποτελεί προϋπόθεση για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανσή τους. Το χειμώνα ο ήλιος ανατέλλει και δύει νοτιότερα της Ανατολής και της Δύσης. Διαγράφει μικρή τροχιά και κινείται χαμηλά, κοντά στον ορίζοντα και προς την πλευρά του Νότου. Αντίθετα το καλοκαίρι ο ήλιος ανατέλλει και δύει βορειότερα της Ανατολής και της Δύσης. Διαγράφει μεγάλη τροχιά και κινείται πάλι προς την πλευρά του Νότου, αλλά ψηλά στο στερέωμα.



Εικόνα 2.16: Χειμερινό ηλιοστάσιο (α), Θερινό ηλιοστάσιο (β)

Για τα κτίρια του βόρειου ημισφαιρίου, ο νότιος προσανατολισμός είναι ο πιο ικανοποιητικός λόγω της διαθέσιμης ποσότητας φυσικού φωτός που προσφέρει ιδιαίτερα την χειμερινή περίοδο, ενώ αποφεύγονται και οι σημαντικές απώλειες θερμότητας του βόρειου προσανατολισμού. Η νότια όψη των κτιρίων δέχεται την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία σε μεγαλύτερο ποσοστό, με σταθερότερο ρυθμό και με καλύτερη κατανομή τόσο στις εποχές του έτους, όσο και στη διάρκεια της ημέρας. Ωστόσο, κυρίως στις Μεσογειακές χώρες, τη θερινή περίοδο παρατηρείται όξυνση του φαινομένου της θάμβωσης εξαιτίας της υψηλής λαμπρότητας και τη συνεχή μεταβολή της στάθμης του φωτισμού. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να συνδυαστεί με κατάλληλη σκίαση όπως προαναφέρθηκε στην αντίστοιχη παράγραφο.

Σε αντίθεση με το νότιο, ο βορινός προσανατολισμός δεν παρουσιάζει προβλήματα θάμβωσης. Αν και η ποσότητα του φωτισμού μπορεί να είναι χαμηλή κατά τη χειμερινή περίοδο, η ποιότητα είναι σταθερή, επειδή δεν υπάρχει πρόσπτωση άμεσης ακτινοβολίας. Επίσης το βορινό φως, εμφανίζει την καλύτερη κατανομή του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο βορινός προσανατολισμός ενδείκνυται για τις παρακάτω χρήσεις:

- βιβλιοθήκες,
- χώρους εργασίας,
- εκθεσιακούς χώρους και μουσεία (δεν υπάρχει κίνδυνος καταστροφής των εκθεμάτων από την υπερϊώδη ακτινοβολία)

Παρ' όλα αυτά η σημαντική απώλεια θερμότητας λόγω των ψυχρών χειμερινών αέριων μαζών που προσβάλλουν τη βόρεια όψη του κτιρίου, μειώνουν την αποτελεσματικότητά του. Συνεπώς συνηθίζεται η χρήση μικρών βόρειων ανοιγμάτων με καλή μόνωση για μείωση απωλειών.



Τέλος ο ανατολικός και ο δυτικός προσανατολισμός αποφεύγονται διότι δεν λαμβάνουν θερμικά κέρδη, ενώ το καλοκαίρι - κυρίως τα δυτικά ανοίγματα- δέχονται μεγάλα ποσά ακτινοβολίας κατά το μεσημέρι. Επομένως, τα δυτικά και ανατολικά ανοίγματα πρέπει να περιορίζονται και να συνοδεύονται από κατάλληλη σκίαση, όταν δεν μπορούν να αποφευχθούν εξαιτίας αναγκών σε φως και θέα.

2.3. Ανανέωση αέρα (26) (38) (39) (40) (41)

Η υγεία και οι συνθήκες άνεσης στο εσωτερικό ενός χώρου είναι οι βασικότεροι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό του. Το σύστημα ανανέωσης αέρα είναι ένα σύστημα το οποίο κυκλοφορεί φρέσκο αέρα μέσα σε ένα κλειστό χώρο ενώ αποβάλλει τον μολυσμένο, κακής ποιότητας υπάρχον αέρα. Χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών συμπεριλαμβανομένου των κτιρίων και του τριτογενή τομέα. Κύριος στόχος αυτών των συστημάτων είναι να απαλλάξει το χώρο από σκόνη, παθογόνους μικροοργανισμούς, οσμές και διοξείδιο του άνθρακα παρέχοντας την κατάλληλη ποσότητα φρέσκου αέρα διατηρώντας τις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

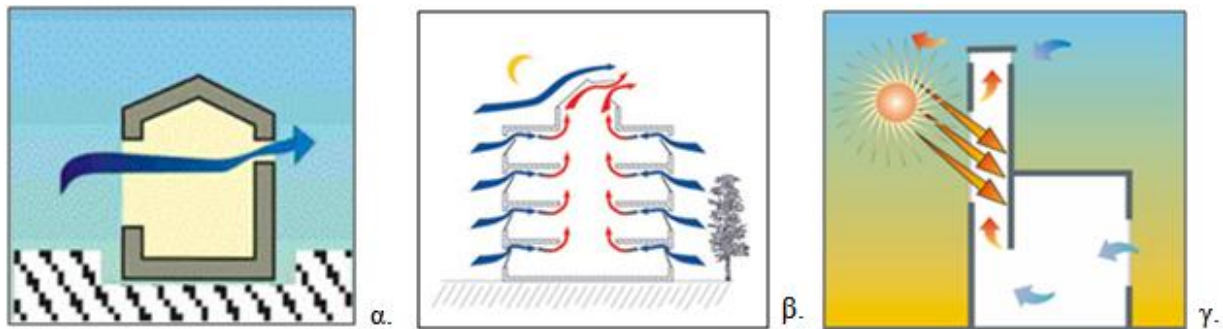
Ο αερισμός λειτουργεί ικανοποιητικά μόνο όταν ο μολυσμένος αέρας αποβάλλεται εντελώς από την κουζίνα, τα μπάνια και οποιοδήποτε άλλο δωμάτιο με σημαντικά επίπεδα μόλυνσης. Ο φρέσκος αέρας θα πρέπει να εισέρχεται στο καθιστικό, στα υπνοδωμάτια και στους χώρους εργασίας αντικαθιστώντας τον απαγόμενο αέρα. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο να προσφέρει τόση ποσότητα όση χρειάζεται για άνεση στους χώρους. Το σημαντικότερο πρόβλημα ωστόσο, είναι η διατήρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας αφού η αναγκαστική επικοινωνία με το εξωτερικό περιβάλλον έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή θερμικών ή ψυκτικών φορτίων σε έναν θερμομονωμένο χώρο. Υπάρχουν τρεις τρόποι αερισμού ενός χώρου:

1. Φυσικός αερισμός
 - 1.1. Διαμπερής φυσικός αερισμός (ημερήσιος ή νυκτερινός)
 - 1.2. Καμινάδα ή πύργος αερισμού (φυσικός ελκυσμός)
 - 1.3. Ηλιακή καμινάδα
2. Υβριδικός αερισμός
 - 2.1. Χρήση ανεμιστήρων
3. Μηχανικός αερισμός

2.3.1. Φυσικός αερισμός

Ο φυσικός αερισμός είναι η βασικότερη και απλούστερη μέθοδος αερισμού ενός κτιρίου. Εν γένει, ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνεται μπορεί να είναι:

- Διαμπερής, διαμέσου παραθύρων και άλλων ανοιγμάτων
- Κατακόρυφος (φαινόμενο φυσικού ελκυσμού, μέσω κατακόρυφων ανοιγμάτων, καμινάδων ή πύργων αερισμού)
- Κατακόρυφος ενισχυμένος από ηλιακή καμινάδα



Εικόνα 2.17: Διαμπερής φυσικός αερισμός (α), Κατακόρυφος φυσικός αερισμός (β), Ηλιακή καμινάδα (γ)

Στη συνέχεια παρατίθεται σχηματική απεικόνιση κάθε ενός από τους παραπάνω τρόπους φυσικού αερισμού. Ο αερισμός μπορεί να εξοικονομήσει μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ από μετρήσεις σε Ελληνικά κτίρια, έχει προκύψει μείωση της τάξης του 75 με 100% του ψυκτικού φορτίου λόγω αερισμού (εφόσον τηρούνται οι κανόνες ηλιοπροστασίας) αντικαθιστώντας μία κλιματιστική μονάδα. Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί η ανεξέλεγκτη ροή αέρα σε συνθήκες περιβάλλοντος, γεγονός που δημιουργεί προβλήματα σε περιπτώσεις μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού χώρου.

2.3.2. Υβριδικός αερισμός

Με τη χρήση ανεμιστήρων δημιουργείται η απαραίτητη υπερπίεση για την εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα μέσα στο χώρο. Ο τρόπος αυτός αερισμού ονομάζεται **υβριδικός**, διότι ενισχύει το φαινόμενο του φυσικού αερισμού, με παράλληλη κατανάλωση ελάχιστης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Προκαλώντας την κυκλοφορία του εσωτερικού αέρα με ταχύτητα 0,5 - 0,8 m/s, συνεισφέρει στο δροσισμό αφού παραλαμβάνει τα θερμικά φορτία του ανθρωπίνου σώματος βελτιώνοντας τις συνθήκες θερμικής άνεσης σε κλιματιζόμενους και μη

κλιματιζόμενους χώρους. Επιπροσθέτως, επιτρέπουν τη ρύθμιση του θερμοστάτη της κλιματιστικής μονάδας κατά 2-3°C υψηλότερα εξοικονομώντας ενέργεια.



Εικόνα 2.18: Ο ανεμιστήρας οροφής συμβάλει στη βελτίωση των συνθηκών άνεσης. Για τους υπολογισμούς, η μέση επιφάνεια κάλυψης του δαπέδου από έναν ανεμιστήρα οροφής λαμβάνεται ίση με 10 m².

Μηχανικός αερισμός

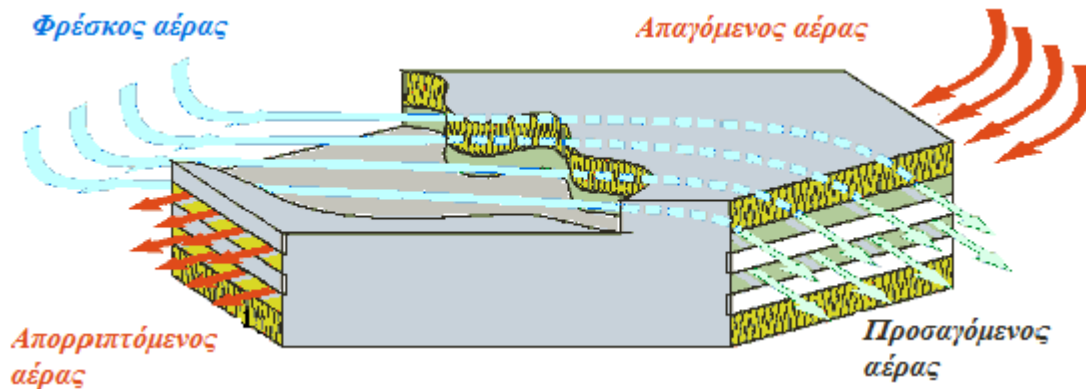
Πιο συνηθισμένος (ιδιαίτερα στον τριτογενή τομέα) ο **μηχανικός αερισμός**, είναι απαραίτητος για την κατασκευή ενός παθητικού κτιρίου σύμφωνα με το Passive House Institute. Περιλαμβάνει δύο αγωγούς στους οποίους ρέει το ρευστό, έναν προσαγωγής και έναν απαγωγής του αέρα και μία κεντρική μονάδα όπου περιλαμβάνεται ο εναλλάκτης με την πτερωτή. Για την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση/ψύξη, ο απαγόμενος αέρας, καθώς περνά μέσα από τον εναλλάκτη κινούμενος σε αντίρροπη, συναλλάσσει θερμότητα με τον αέρα προσαγωγής. Η απόδοση του εναλλάκτη είναι αρκετά υψηλή (75 έως 95%)⁴ πλησιάζοντας τη μέγιστη τιμή του όσο αυξάνεται ο χρόνος που συντελείται η θερμορροή, γεγονός που επιζητείται αφού



Εικόνα 2.19: Ροή αέρα σε κατοικία με σύστημα μηχανικού αερισμού.

⁴ Οι τιμές αυτές δίνονται από το Ινστιτούτο Παθητικών Κτιρίων που εδρεύει στη Γερμανία η οποία έχει κάνει σημαντικά βήματα προς την ενεργειακή εξοικονόμηση στα κτίρια. Στην τεχνική οδηγία του TEE αναφέρεται ότι ο βαθμός απόδοσης του εναλλάκτη δεν ξεπερνά το 70%.

επιδιώκουμε την κατασκευή παθητικού κτιρίου. Με τον μηχανικό αερισμό επιτυγχάνεται και η ακριβής ρύθμιση της παροχής του αέρα. Απώτερος στόχος είναι όχι μόνο η απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας να είναι υψηλή αλλά επίσης και η κατανάλωση ενέργειας του ανεμιστήρα να είναι χαμηλή, οι συνθήκες λειτουργίας να μη διαφέρουν από τις προδιαγεγραμμένες της μηχανής και τέλος να έχει αθόρυβη λειτουργία.



Εικόνα 2.20: Ροή αέρα σε έναν εναλλάκτη θερμότητας. Ο απαγόμενος αέρας θερμαίνει την γύρω επιφάνεια από την οποία διέρχεται ο νωπός αέρας.

Στον πίνακα 2.3 της 1^{ης} τεχνικής οδηγίας του TEE δίνονται οι τιμές του απαιτούμενου νωπού αέρα ανά χρήση κτιρίου. Είναι λοιπόν σαφές ότι η επίτευξη των τιμών αυτών δεν ρυθμίζεται με άνοιγμα και κλείσιμο των παραθύρων αλλά μόνο με ένα μηχανικό σύστημα αερισμού ρυθμισμένο στην στις τυποποιημένες τιμές παροχής ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου.

2.3.3. Συνέπιες του αερισμού στη θέρμανση και ψύξη

Όπως προαναφέρθηκε στην αρχή της ενότητας, το σημαντικότερο πρόβλημα που προκαλεί η εισαγωγή αέρα σε έναν χώρο, είναι το θερμικό ή ψυκτικό φορτίο που μεταφέρει στο εσωτερικό του. Για του λόγου το αληθές, θεωρούμε ένα κτίριο κατοικίας με κάλυψη 100 m², εσωτερικής θερμοκρασίας $t_i=26^{\circ}\text{C}$ ⁵ και εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος $t_a=30^{\circ}\text{C}$ το οποίο έχει ανάγκες σε νωπό αέρα της τάξης των 0,75m³/h/m² (σύμφωνα με τις προδιαγραφές για μονοκατοικία από πιν 2.3 1^{ης} TOTEE)⁶. Το θερμικό κέρδος εξαιτίας της εισαγωγής αέρα δίνεται κατά τα γνωστά από τον τύπο:

⁵ Θεωρώντας ότι βρισκόμαστε σε θερινή περίοδο η θερμοκρασία προέκυψε από τον πίνακα 2.2 της 1^{ης} TOTEEE. Επίσης ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα, δηλαδή η θερμοκρασία του προσαγόμενου αέρα ρυθμίζεται ίση με τη επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου.

⁶ Θεωρήθηκε ότι στον θερμαινόμενο χώρο εισάγεται 100 % νωπός αέρας σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15241.



$$\dot{Q}_{\text{vent}} = \dot{V} \cdot A \cdot c_p \cdot \rho \cdot (t_a - t_i)$$

όπου c_p η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα = 1kJ/kg·K

\dot{V} η παροχή όγκου προκύπτει ίση με 75m³/h ή 0,0208m³/sec

και ρ η πυκνότητα του αέρα = 1,2kg /m³

Έτσι λοιπόν για τις θερμοκρασιακές συνθήκες που αναφέρθηκαν το θερμικό κέρδος ανηγμένο ανά μονάδα επιφάνειας κτιρίου προκύπτει ίσο με

$$\dot{q}_{\text{vent}} = 100\text{W}/\text{m}^2$$

Αντιθέτως αν χρησιμοποιηθεί μηχανικός αερισμός με εναλλάκτη θερμότητας η θερμοκρασία εισόδου στο χώρο θα πλησιάσει την επιθυμητή θερμοκρασία ανάλογα με τον βαθμό απόδοσης του εναλλάκτη. Συνεπώς, για βαθμό απόδοσης εναλλάκτη $\eta_{\text{εναλ}} = 0,75$ ο εισαγόμενος αέρας θα έχει θερμοκρασία t_s :

$$\eta_{\text{εναλ}} \cdot (t_i - t_a) = t_s - t_a \rightarrow t_s = \eta_{\text{εναλ}} \cdot (t_i - t_a) + t_a = 0,75 \cdot (26 - 30) + 30 \rightarrow t_s = 27^\circ\text{C}$$

και από τη σχέση υπολογισμού του θερμικού κέρδους, θα προκύψει:

$$\dot{q}_{\text{vent}} = \dot{V} \cdot c_p \cdot \rho \cdot (t_s - t_i) = 25\text{W}/\text{m}^2$$

Παρατηρείται λοιπόν μία σημαντική μείωση του θερμικού κέρδους λόγω της ύπαρξης εναλλάκτη. Το γεγονός αυτό επηρεάζει και τα αντίστοιχα ψυκτικά φορτία κατά τους χειμερινούς μήνες. Συνεπώς καθίσταται σαφές η αναγκαιότητα επανάκτησης της θερμότητας κατά τον μηχανικό αερισμό ιδιαίτερα όσων αφορά την κατασκευή ενός παθητικού κτιρίου. Ωστόσο δεν πρέπει να παραλείψουμε την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που πραγματοποιείται για τη λειτουργία του ανεμιστήρα προσαγωγής και απαγωγής του αέρα η οποία κυμαίνεται περίπου στα 0,5-2,5 kW/m³/s. Επιλέγοντας την δυσμενέστερη τιμή των 2,5 kW/m³/s και για παροχή όγκου αέρα ίση με 0,0208 m³/s η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στα 52W.

2.3.4. Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες (KKM)

Οι κεντρικές κλιματιστικές μονάδες είναι συστήματα τα οποία εκτός από τη μερική ή ολική κάλυψη των απαιτούμενων επιπέδων αερισμού (κατά αντιστοιχία με τον μηχανικό αερισμό), χρησιμοποιούνται και για την κάλυψη μερικών ή ολικών θερμικών/ψυκτικών φορτίων του κτιρίου ή της θερμικής ζώνης. Σε περίπτωση που στο κλιματιζόμενο χώρο δεν υπάρχουν άλλες τερματικές μονάδες για τη θέρμανση/ψύξη των χώρων, τότε η Κ.Κ.Μ.



καλύπτει όλα τα απαιτούμενα θερμικά ή και ψυκτικά φορτία (συστήματα με 100% αέρα) λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες θερμότητας διαμέσου του κελύφους. Οι κεντρικές κλιματιστικές μονάδες διαχείρισης αέρα μπορεί να διαθέτουν επίσης, τοπικό ή κεντρικό σύστημα ύγρανσης του προσαγόμενου αέρα (σε λειτουργία θέρμανσης).



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 προγράμματος 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 System Simulation 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. (42)

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
- Συμπαραγωγή, Κυψέλες καυσίμου
- Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση

Το TRNSYS αποτελείται από τα ακόλουθα προγράμματα:

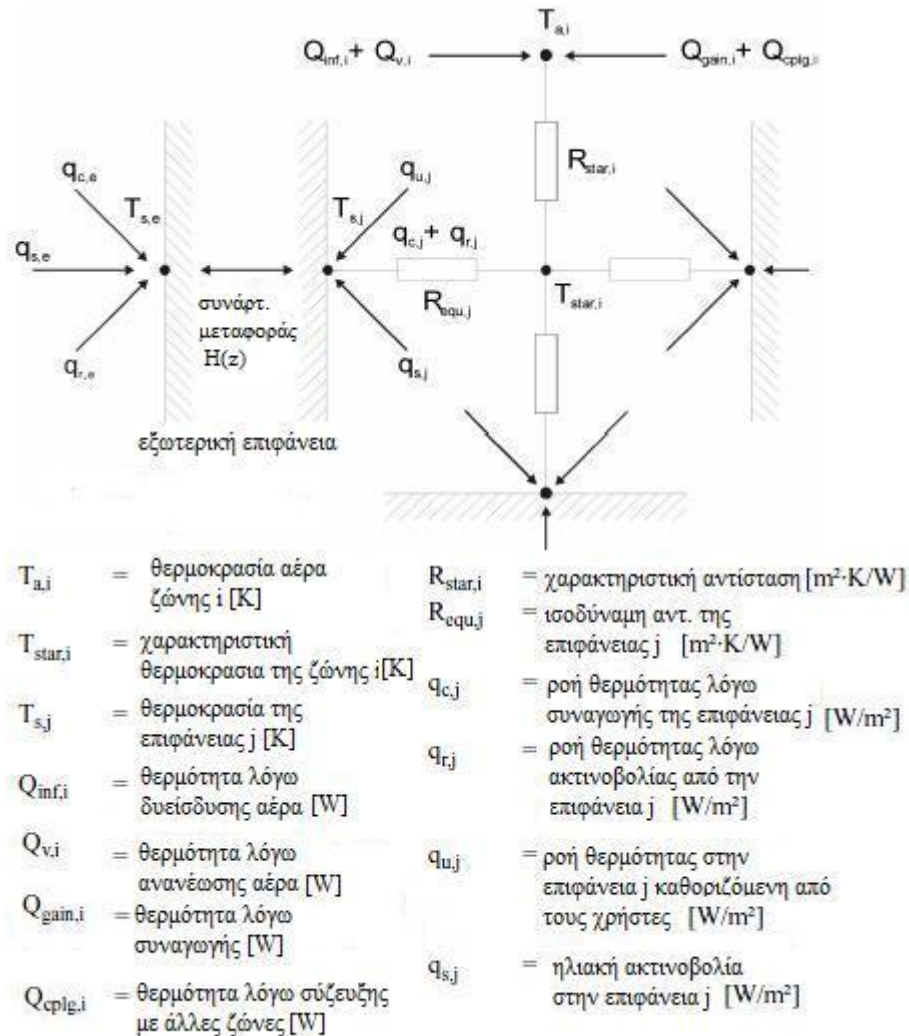
1. “Simulation Studio”, στο οποίο γίνεται ο σχεδιασμός των προγραμμάτων προσομοίωσης,
2. το “TRNBuild” στο οποίο ρυθμίζονται οι παράμετροι του πολυζωνικού κτιρίου
3. το “TRNEdit” το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση παραμετρικών εκτελέσεων, ενώ εκτός αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία 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). (43) (44) (45)

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. (45)

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 τις επιλέγει 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 ζητουμένων. 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 ενδελεχή εξέταση κάθε ζώνης και την συμβολή αυτής στο συνολικό κτίριο. (44)

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 (45) 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. (46)



Εικόνα 3.2: Νότια όψη του υπό μελέτη κτιρίου (46)

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 test⁷ 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

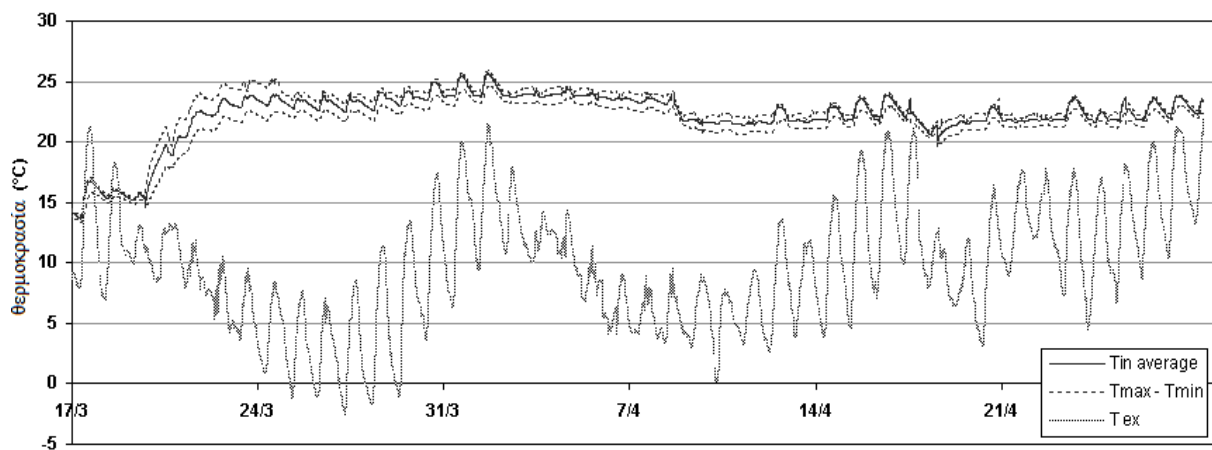
⁷ Το co-heating test αποτελεί μία μέθοδο μέτρησης των απωλειών θερμότητας σε W/K που εμφανίζονται σε ένα μη κατοικήσιμο κτίριο. Περιλαμβάνει την θέρμανση του εσωτερικού χώρου με τη χρήση ηλεκτρικής αντίστασης με σκοπό την αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας για κάποια χρονική περίοδο (1 έως 3 εβδομάδες). 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. (60)



Πίνακας 3.1: Δίνονται τα στοιχεία διεξαγωγής του πειράματος (περίοδος, θερμοκρασία, ηλ ισχύς, ημέρες λειτουργίας) (46)

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.



Εικόνα 3.3: Θερμοκρασιακό προφίλ του κτιρίου όπως προέκυψε από τις πειραματικές μετρήσεις. (46)

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 ημιυπαίθριος 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

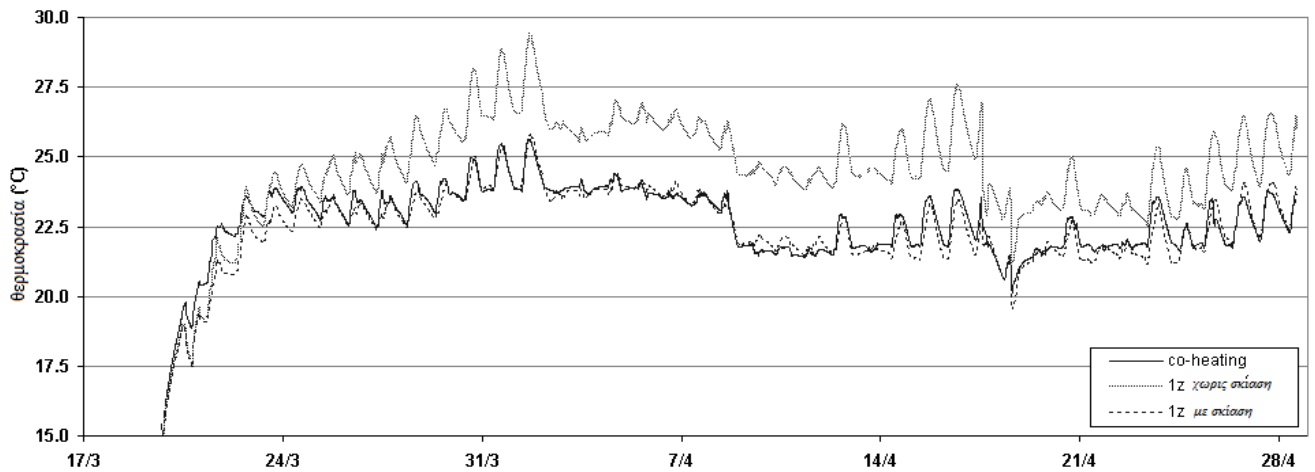
Πίνακας 3.2: Μέση μετρήσιμη θερμοκρασία κάθε χώρου. (46)

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 τέσσερεις, 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.

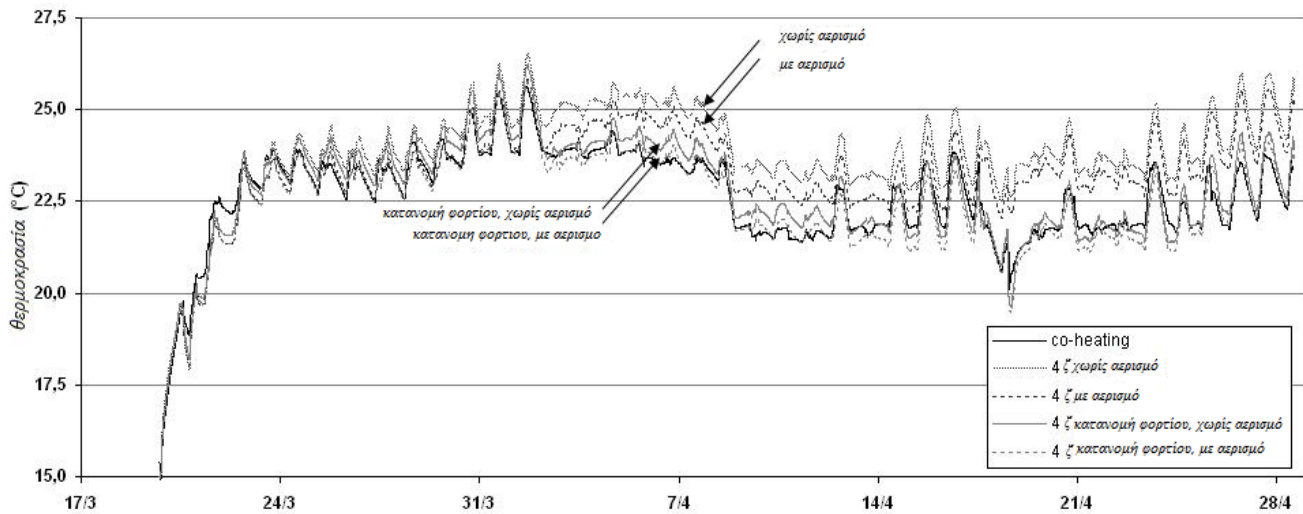


Εικόνα 3.4: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου (αποτελέσματα προσομοίωσης μονοζωνικού μοντέλου)

(46)

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
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 (46)



Εικόνα 3.5: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου (αποτελέσματα προσομοίωσης με το μοντέλο πολυζωνικού κτιρίου) (46)

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 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. (46)

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, IBLAST⁸, Ground Heat Transfer⁹ 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,
- 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. (47)

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. (48) (49) (50)

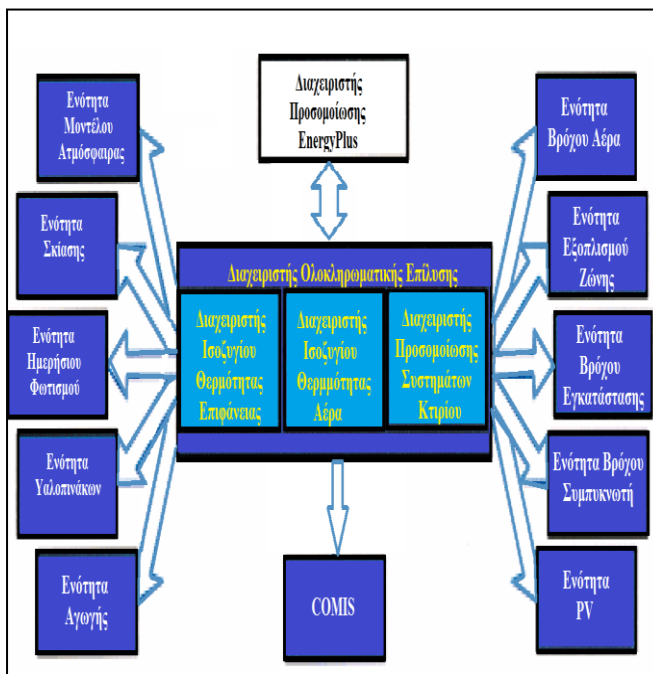
3.2.2. Μοντελοποίηση του κτιρίου

3.2.2.1. Δομή Προγράμματος Προσομοίωσης

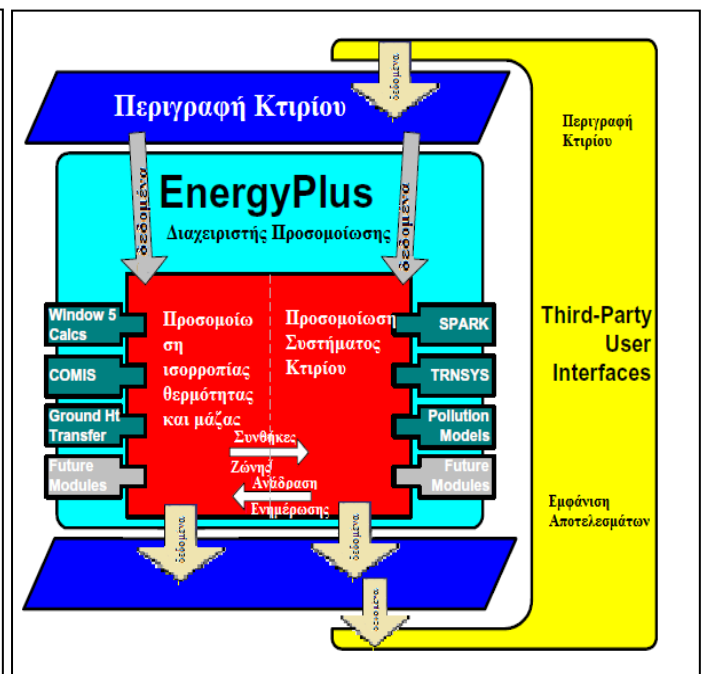
⁸ Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει τον υπολογισμό των συναρτήσεων μεταφοράς με αγωγή (conduction transfer function, CTF), επιτρέποντας τη θεμελιώδη, στρωματική επίλυση της μεταφερόμενης μάζας διαμέσου των επιφανειών και του ισοζυγίου μάζας για την ζώνη αέρα, με τρόπο παρόμοιο με το ισοζύγιο θερμότητας.

⁹ Είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο πεπερασμένων διαφορών για τη μοντελοποίηση της μεταφοράς θερμότητας διαμέσου των δομικών στοιχείων που είναι σε επαφή με το έδαφος.

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 ατμόσφαιρας¹⁰). 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



Σχήμα 3.1: Η δομή του EnergyPlus (48)

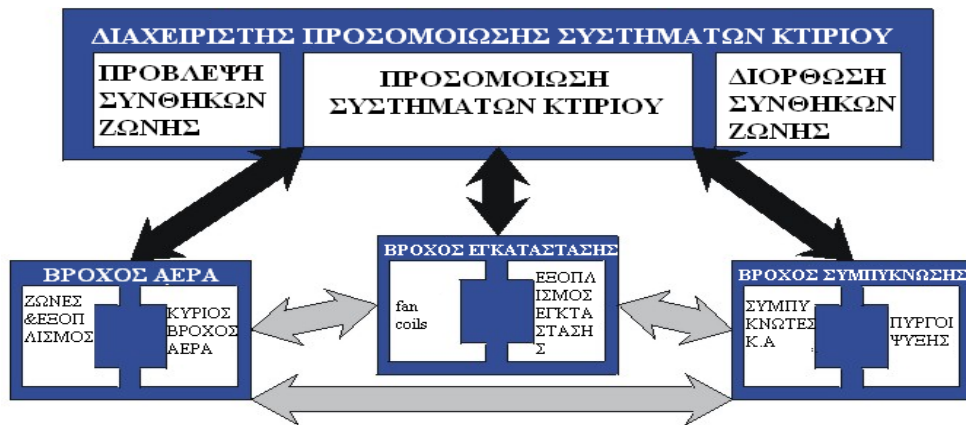


Σχήμα 3.2: Ο Διαχειριστής Ολοκληρωτικής επίλυσης (48)

Οι τρεις κύριες ενότητες του προγράμματος, σύμφωνα με το

- ⇒ Ο Διαχειριστής Προσομοίωσης.
- ⇒ Ο Προσομοιωτής Ισορροπίας Θερμότητας και Μάζας, στον οποίο περιλαμβάνονται:
 - i. ο Προσομοιωτής Ισορροπίας Θερμότητας Αέρα
 - ii. ο Προσομοιωτής Ισορροπίας Θερμότητας Επιφάνειας.
- ⇒ Ο Διαχειριστής Προσομοίωσης Συστημάτων Κτιρίων (Σχήμα 3.3)

¹⁰ βασίζεται στο εμπειρικό μοντέλο του Perez (1991), για τη μη ισοτροπική κατανομή της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και τον υπολογισμό της προσπίπτουσας διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα διεργασιών από τον Διαχειριστή Προσομοίωσης Συστημάτων Κτιρίου

Ο Διαχειριστή Προσομοίωσης Συστημάτων Κτιρίου υπολογίζει τις αποκρίσεις των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, των διαφόρων μοντέλων HVAC, καθώς και των εγκαταστάσεων και των ηλεκτρικών συστημάτων. Η προσομοίωση των συστημάτων γίνεται με χρήση βρόχων, οι οποίοι μιμούνται το δίκτυο των σωλήνων και των καναλιών, που συναντώνται σε ένα πραγματικό κτίριο. Η επικοινωνία του εξοπλισμού, σε καθένα βρόχο, επιτυγχάνεται μέσω αναγνωριστικών κόμβων, οι οποίοι αποθηκεύουν τις μεταβλητές 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



ψύξη). 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). (50)

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 αναμειξέων 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 ζώνη, 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 EMPD (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. (47)

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, 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 (47)



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

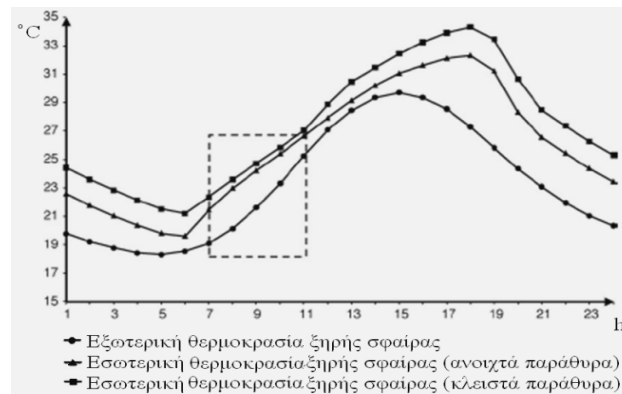
Πίνακας 3.5: Κατανομή της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά τελική χρήση (47)

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:

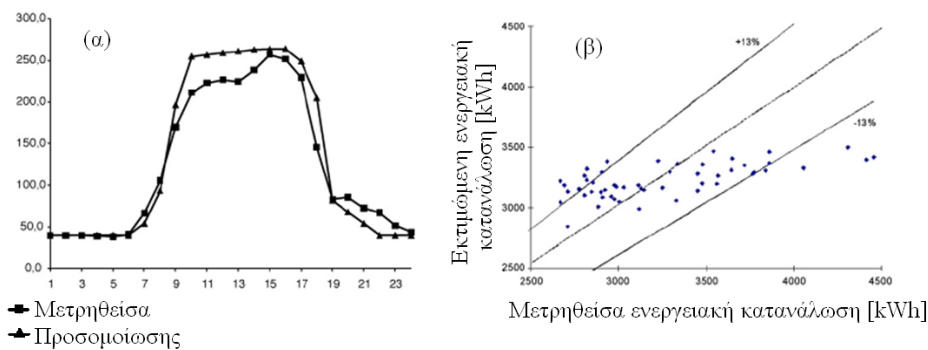
Παράμετρος	Μέγιστή	Μέση	Ελάχιστη
Θερμοκρασία ξηρής σφαίρας (°C)	33,2	27,0	18,4
Θερμοκρασία υγρής σφαίρας (°C)	24,6	22,0	18,0
Ολική ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²)	1328,9	971,6	244,8
Ταχύτητα ανέμου (m/s)	4,1	2,4	1,5
Διεύθυνση ανέμου (°)	330	150	10

Πίνακας 3.6: Κύριες Παράμετροι Καιρού από τα αρχεία του Ινστιτούτου Αστροφυσικής, Γεωφυσικής και Ατμοσφαιρικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου (IAG-USP) (47)

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: Εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία ξηρής σφαίρας για δύο συνθήκες ανοιχτών και κλειστών παραθύρων (47)



Διάγραμμα 3.2: Σύγκριση των μετρήσεων με τα αποτελέσματα του EnergyPlus για το προφίλ ημερήσιας ενεργειακής ζήτησης (α) και κατανάλωσης (β) (47)

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 κατανάλωση¹¹.

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	$\pm 1,0$ °C	$\pm 1,2$
Ημερήσιο Εύρος	$\pm 1,4$ °C ¹²	$\pm 1,2$
Σχετική Υγρασία	$\pm 5\%$	$\pm 0,8$
Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία	$\pm 20\text{W}/\text{m}^2$	$\pm 1,2$

Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα ανάλυση ευαισθησίας της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου βάσει της διακύμανσης των καιρικών παραμέτρων (47)

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

¹¹ 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

¹² Παρατήρηση: η αβεβαιότητα του ημερήσιου εύρους έχει υπολογισθεί βάσει την αβεβαιότητα $\pm 1,0$ °C της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας.



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. (47)

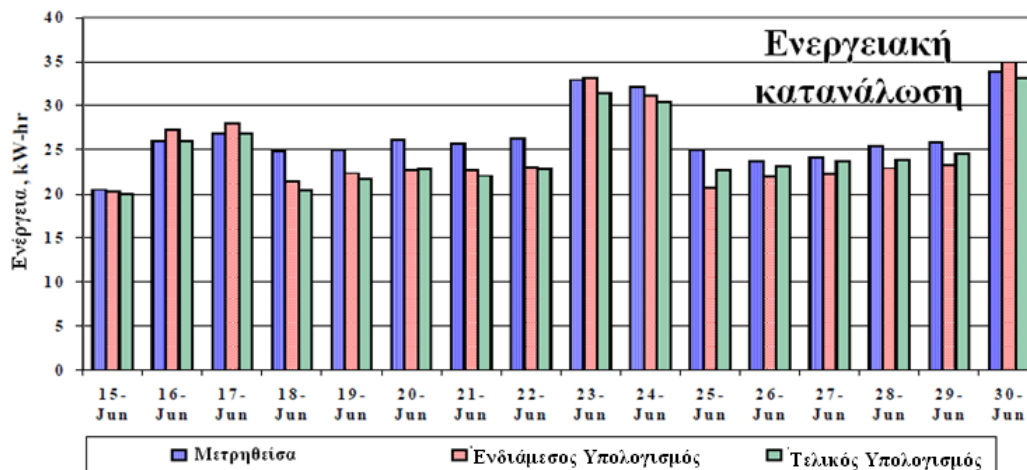
Τέλος, εκτιμήθηκε η επίδραση παραδοχής που εισήχθη στην αρχή της μελέτης κι αφορούσε την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς COP, για τον οποίο υποτέθηκε ένας μέσος συντελεστής συμπεριφοράς COP για όλα τα κλιματιστικά. Επομένως για τα κλιματιστικά τύπου window, για τα οποία η τιμή COP κυμαίνεται συνήθως 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 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 τους ερευνητές του Πανεπιστημίου της πολιτείας Αριζόνας, η οποία είχε ως στόχο να επικυρωθεί η ικανότητα του EnergyPlus να προσομοιώνει τα συστήματα χαμηλών θερμοκρασιών. (51) Στην μελέτη αυτή εξετάσθηκε 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 λειτουργίας¹³ και της καταναλισκόμενης ενέργειας, οι οποίες οφείλονταν στα λανθασμένα χαρακτηριστικά του «μοντέλου αναφοράς» και όχι σε σφάλμα του κώδικα του προγράμματος.

¹³ Ορίζεται ως ο μέσος όρος της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του αέρα δωματίου



Διάγραμμα 3.3: Ενεργειακή Κατανάλωση κτιρίου (47)

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 (52), 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. (53), (54), (55), (56)

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). (57), (58), (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

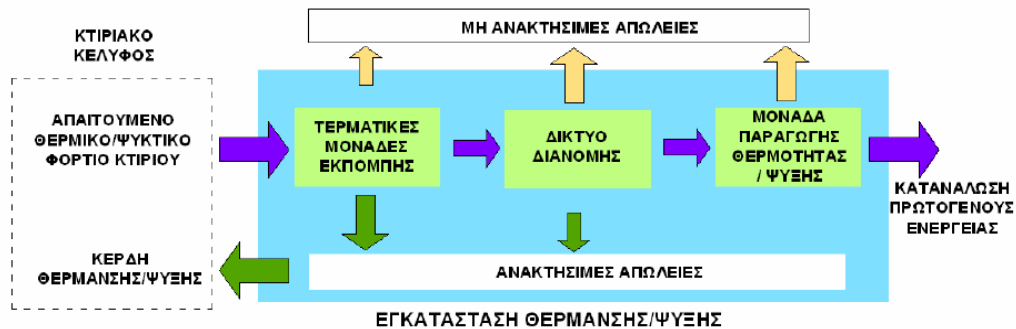
Το ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ Ενεργειακή Επιθεώρηση Κτιρίων, έκδοση 1.0, χρησιμοποιείται για την εκπόνηση υπολογισμών της ενεργειακής απόδοσης κτιρίου σύμφωνα με τις απαιτήσεις και προδιαγραφές του νόμου 3661/2008 (ΦΕΚ Α' 89), του Κανονισμού Ενεργειακή Απόδοσης Κτιρίων - ΚΕΝΑΚ (Φ.Ε.Κ. 407/9.4.2010) και της σχετικής Τεχνικής 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

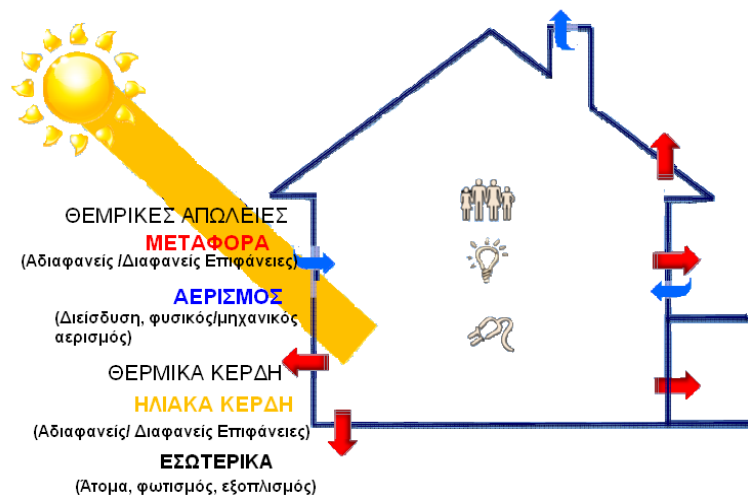


Πίνακας 3.9: Σχηματική απεικόνιση της ροής των ενεργειακών υπολογισμών (57)

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 3.6: Θερμικά κέρδη και Θερμικές Απώλειες Κτιρίου (57)

Στην ενεργειακή μελέτη κτιρίου σύμφωνα με το ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω παραδοχές:

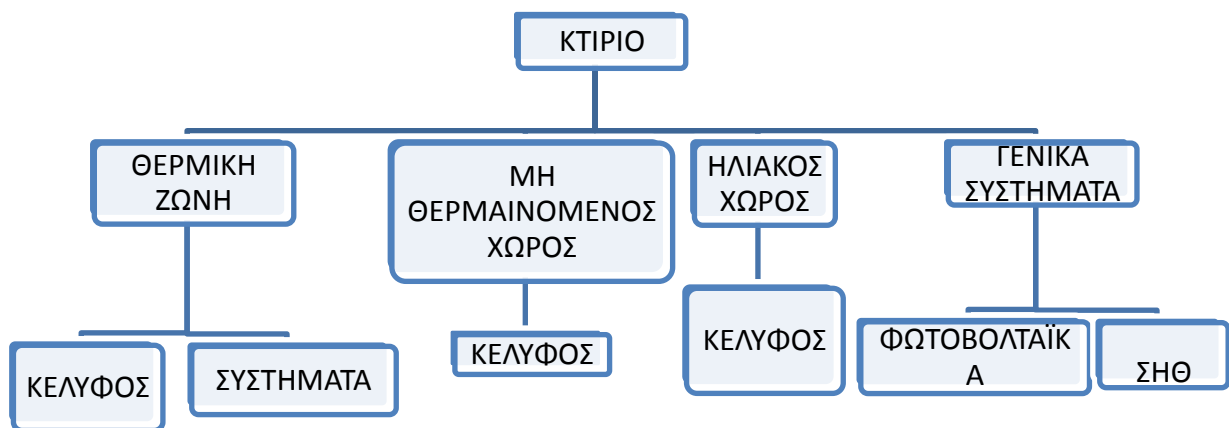
1. Δεν υπάρχει θερμική σύζευξη μεταξύ των ζωνών
2. Οι μη θερμαινόμενοι και οι ηλιακοί χώροι θεωρούνται τμήματα του κελύφους μεταξύ των ζωνών και του εξωτερικού περιβάλλοντος
3. Η ροή θερμότητας γίνεται μονοδιάστατα σύμφωνα με τον τύπο $Q=A \cdot U \cdot \Delta\theta$



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

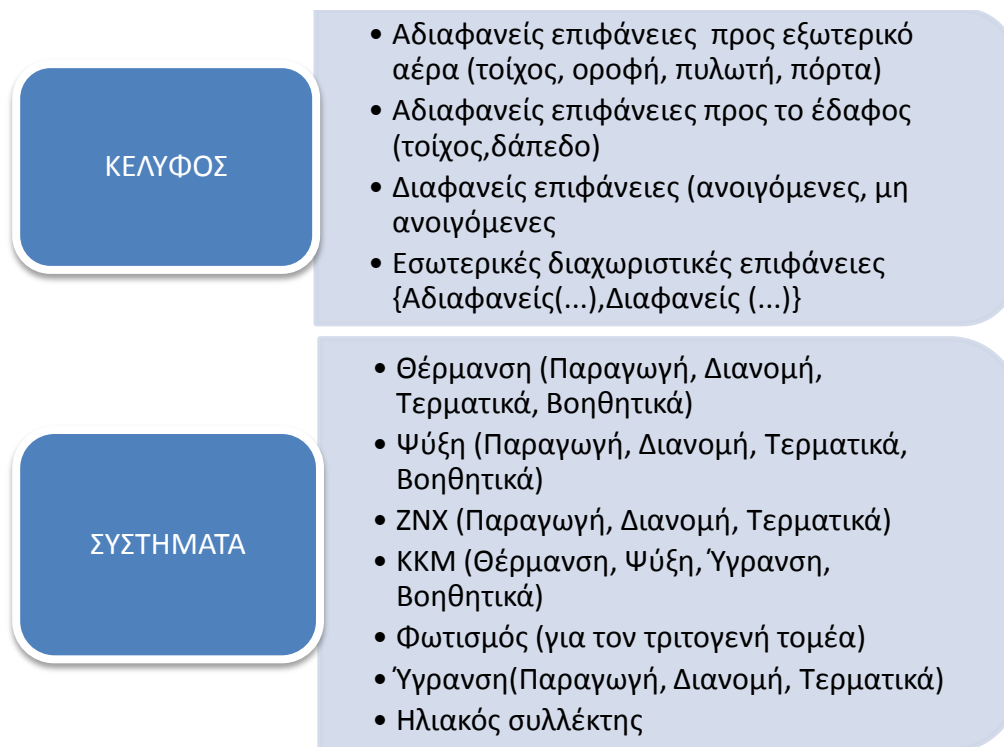
Σύμφωνα με το άρθρο 5 του ΚΕΝΑΚ, για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων εφαρμόζεται η μέθοδος ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος του Ευρωπαϊκού Προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 13790, και των υπολοίπων σχετικών προτύπων. Επίσης, στους υπολογισμούς που διεξάγονται 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, (57)

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



Διάγραμμα 3.5: Ανάλυση Κελύφους και Συστημάτων, (57)

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, με 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).

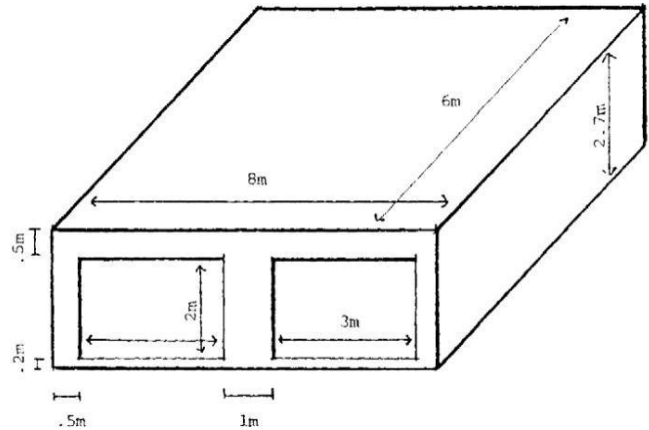
3.3.4. Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του KENAK μέσω του EPA-NR

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 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).

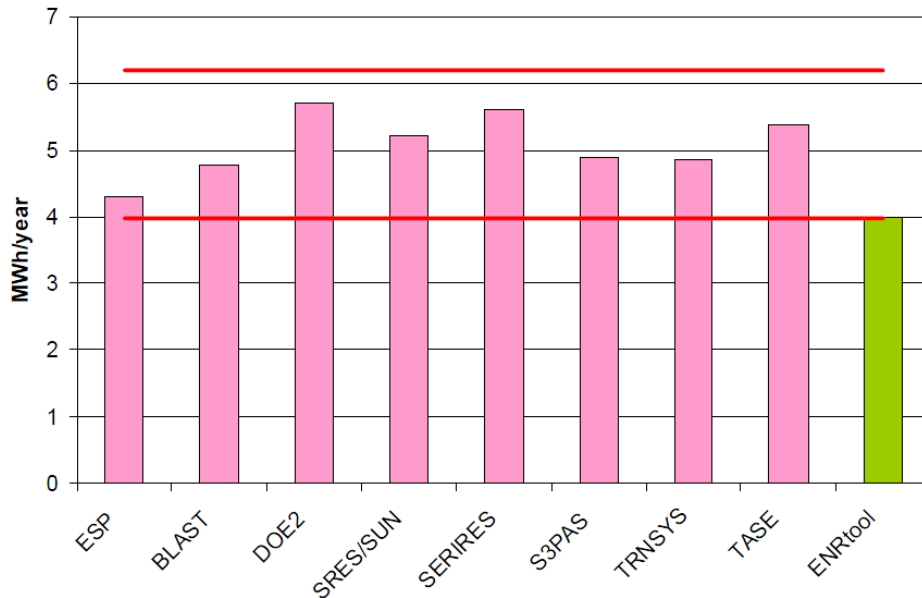
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μέθοδο αυτή είναι διαθέσιμα στην βιβλιογραφία (59). Στη συνέχεια παραθέτονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα που αφορούν την ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση και ψύξη, όπως αυτά υπολογίσθηκαν από το λογισμικό ENRtool, για τις δύο βασικές περιπτώσεις 600 και 900. Σημειώνεται 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



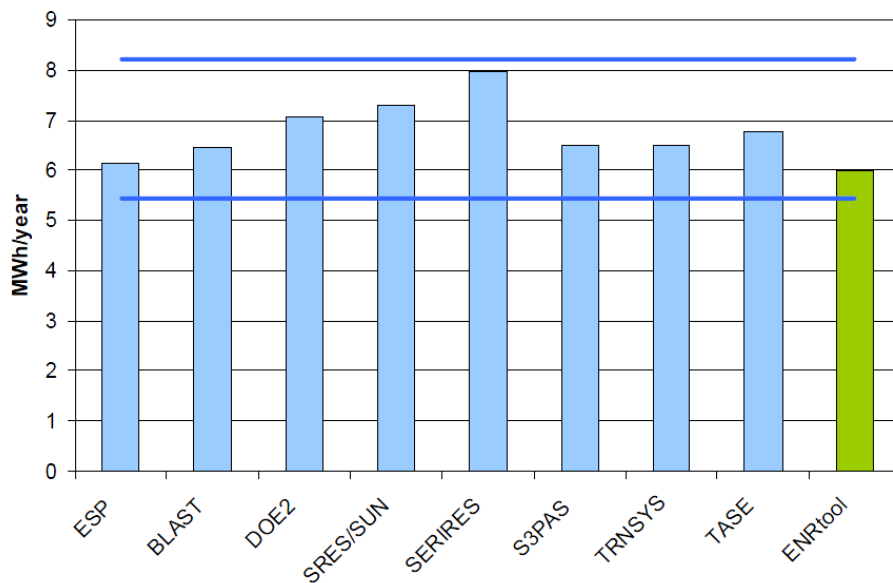
Εικόνα 3.7: Η δομή του κτιρίου-μοντέλου που εξετάζεται στο BESTEST (59)



στα διαγράμματα. Συνεπώς υπάρχει 95% πιθανότητα η πραγματική τιμή να βρίσκεται στο διάστημα αυτό.

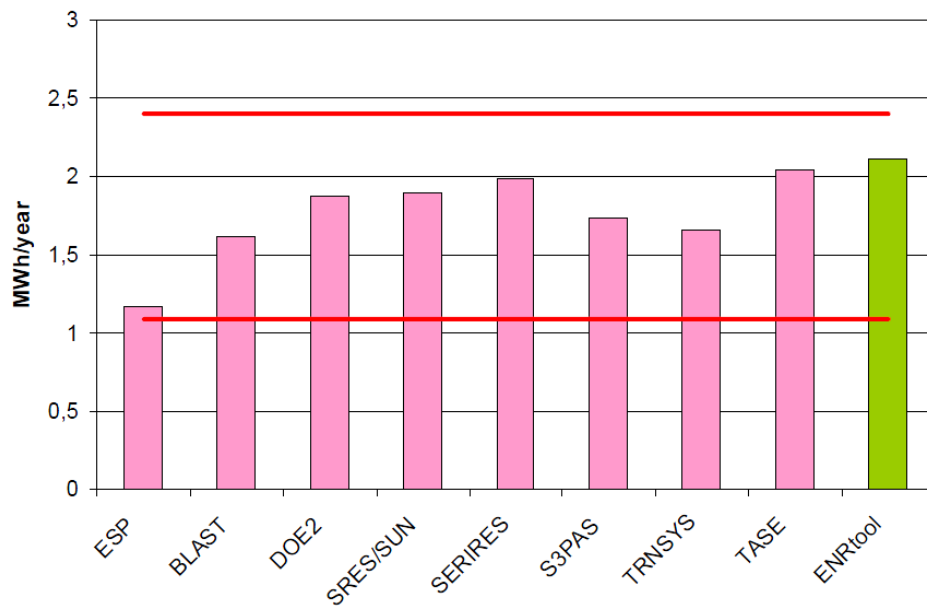


Διάγραμμα 3.6: Ετήσια Ενεργειακή Ζήτηση για θέρμανση- Περίπτωση 600 (59)

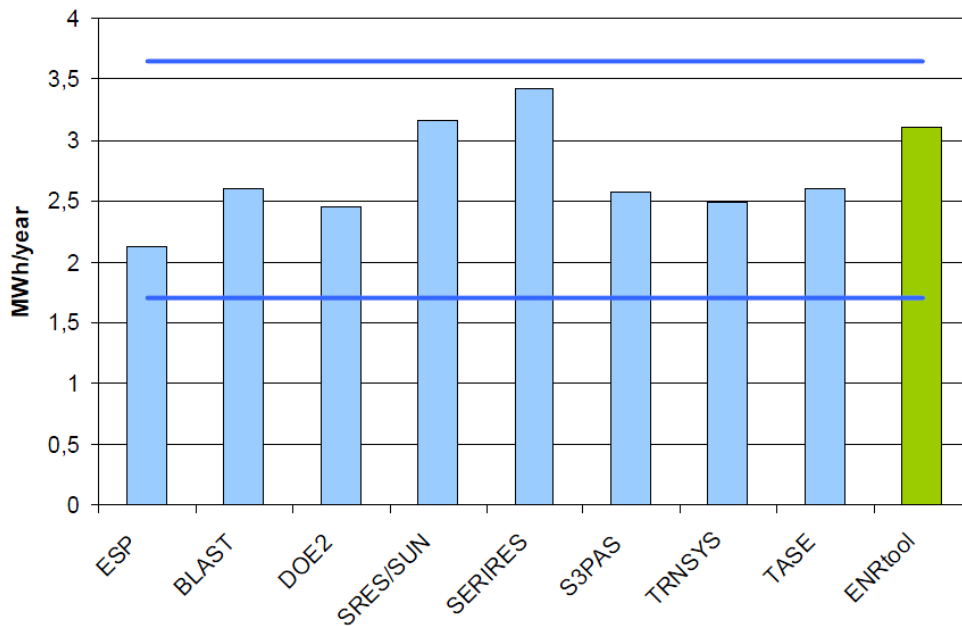


Διάγραμμα 3.7: Ετήσια Ενεργειακή Ζήτηση για ψύξη- Περίπτωση 600 (59)

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 (59)



Διάγραμμα 3.9: Ετήσια Ενεργειακή Ζήτηση για ψύξη- Περίπτωση 900 (59)

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

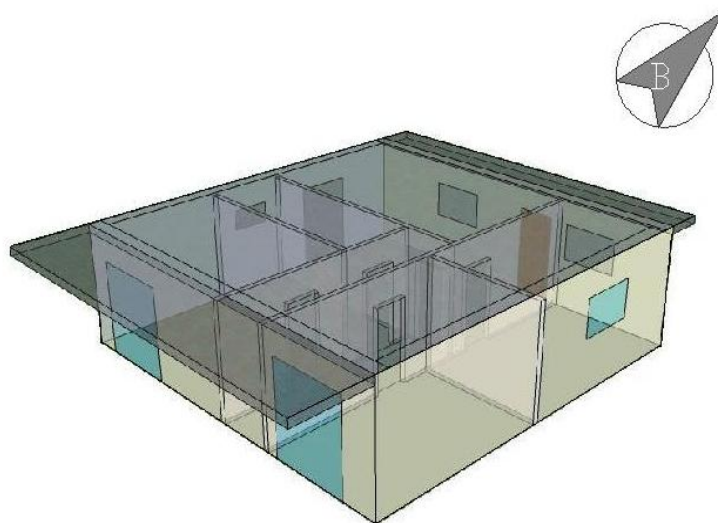
Στο κεφάλαιο αυτό θα διεξαχθεί μια περιγραφή του εξεταζόμενου κτιρίου, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η διεξαγωγή της ενεργειακής του μελέτης. Σημειώνεται ότι η εκπόνηση μελέτης ενεργειακής απόδοσης είναι υποχρεωτική βάσει του νόμου 3661/2008 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων 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		Υψος m
	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 ΤΟΤΕΕ 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)) ¹⁴	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

¹⁴ 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 ανάγκη για ΖΝΧ είναι 50 lt/άτομο/ημέρα



Μέσος συντελεστής λειτουργίας συσκευών	0,75
--	------

Πίνακας 4.3: Εσωτερικές συνθήκες κατοικίας.

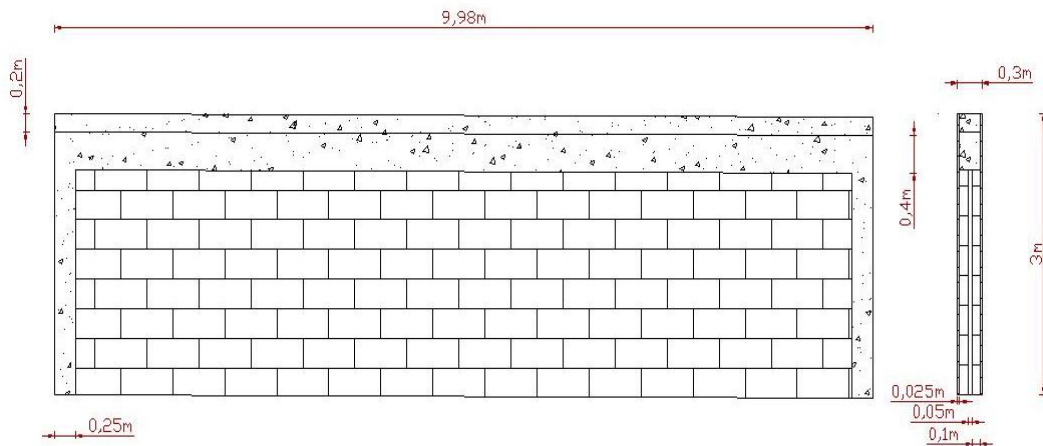
4.1.5. Θερμικές ζώνες κτιρίου

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 παραλληλεπίπεδου 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 πρόωσης 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^{15}	α^{16}	ϵ^{17}
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 ¹⁸	7,19	0,25	270	0,4	0,8
Οροφή	129,54 ¹⁹	0,20	-	0,65	0,8

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

Πίνακας 4.5: Δεδομένα για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία

¹⁵ αζιμούθιο της επιφάνειας 0=βόρεια, 90=ανατολική, 180=νότια, 270=δυτική

¹⁶ απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας της επιφάνειας (οι επιφάνειες θεωρήθηκαν όλες ανοιχτόχρωμες)

¹⁷ συντελεστής εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας της επιφάνειας (σύνηθες δομικό υλικό)

¹⁸ 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.

¹⁹ 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 $99,6 \text{ m}^2$.



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.

Κούφωμα	γ (deg)	β^{20} (deg)	Εμβαδόν (m^2)	²¹ 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 4.6: 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 4.7: Δεδομένα κουφωμάτων.

4.2.3. Συντελεστές θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων

Οι συντελεστές θερμοπερατότητας ανά δομικό στοιχείο, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

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

Πίνακας 4.8: Συντελεστές θερμοπερατότητας για κάθε δομικό στοιχείο

²⁰ Η κλίση του δομικού στοιχείου μετρούμενη μεταξύ της καθέτου της επιφάνειας και της κατακόρυφου (ζενιθ).

²¹ 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%



4.3. Υπολογισμός παροχής αέρα διείσδυσης

Ο αερισμός λόγω αεροστεγανότητας του κτιρίου ή θερμικής ζώνης (διείσδυσης του αέρα), πραγματοποιείται μέσω των χαραμάδων 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.

Το κτίριο δεν διαθέτει θυρίδες εξαερισμού ούτε καμινάδες συνεπώς διείσδυση αέρα γίνεται μόνο μέσω των χαραμάδων 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 χαραμάδων του ανοίγματος (πόρτα, παράθυρο κ.ά.),

a [$m^3/(h \cdot m)$] ο συντελεστής αεροδιαπερατότητας από χαραμάδες του ανοίγματος,

ανάλογα με την ποιότητα του κουφώματος, που λαμβάνει τιμές από τον πίνακα 3.23 της 1^{ης} ΤΟΤΕΕ,

R [-] ο συντελεστής διείσδυτικότητας, 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 χαραμάδων 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 χαραμάδων (δηλαδή λόγω διείσδυση του αέρα) ανά τετραγωνικό μέτρο ανοίγματος ($m^3/h/m^2$) όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Διείσδυση λόγω ύπαρξης χαραμάδων					
ΔΩΜΑΤΙΟ	ΜΗΚΟΣ ΧΑΡΑΜΑΔΩΝ	a	R	H	V_{inf}
ΥΠΗΝ 1	8,58	1,2	0,7	1,87	13,47746
ΥΠΗΝ 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 4.9: Τιμές υπολογισμού διείσδυσης αέρα από τις χαραμάδες 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.

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 πραγματικών στοιχείων, τα χαρακτηριστικά του υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης κατ' εκτίμηση παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

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	ΙΟΥΝ	0



ΙΟΥΛ	0	ΑΥΓ	0	ΣΕΠΤ	0	ΟΚΤ	1	ΝΟΕ	1	ΔΕΚ	1
Δίκτυο διανομής θερμότητας											
Θερμική ισχύς που μεταφέρει το δίκτυο διανομής (kW)						21,452 (=28,375 x 75,6%)					
Χώρος διέλευσης						Εσωτερικοί χώροι					
Θερμοκρασία προσαγωγής θερμού μέσου στο δίκτυο διανομής (°C)						90					
Θερμοκρασία επιστροφής θερμού μέσου στο δίκτυο διανομής (°C)						70					
Βαθμός θερμικής απόδοσης δικτύου διανομής (%)						89 (=100%-11% απώλειες)					
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 4.10: 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 ΤΟΤΕΕ 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	10,56



(kW)											
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	ΜΙΑ	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 (Σύμφωνα με τις οδηγίες του προγράμματος στην περίπτωση που δεν υπάρχει δίκτυο διανομής, η τιμή ισχύος που εισάγεται πρέπει να είναι το μηδέν)					
Χώρος διέλευσης						Εσωτερικοί χώροι					
Βαθμός θερμικής απόδοσης δικτύου διανομής (%)						100%					
Τερματικές μονάδες											
Είδος τερματικών μονάδων θέρμανσης χώρων						Τοπικές αντλίες θερμότητας					
Θερμική απόδοση τερματικών μονάδων						93,0%					
Βοηθητική ενέργεια											
Τύπος βοηθητικών συστημάτων			Αριθμός συστημάτων			Ισχύς βοηθητικών συστημάτων (kW)					
-			-			-					

Πίνακας 4.11: Σύστημα Ψύξης

4.4.3. Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης

Η εξεταζόμενη κατοικία διαθέτει για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, έναν τοπικό ηλεκτρικό θερμοαντήρα (θερμοσίφωνα), που είναι τοποθετημένος εντός της κατοικίας.

Τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού θερμοαντήρα, 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 θερμοαντήρες					
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 Ζ.Ν.Χ (kW)	0 (Σύμφωνα με τις οδηγίες του προγράμματος στην περίπτωση που δεν υπάρχει δίκτυο διανομής, η τιμή ισχύος που εισάγεται πρέπει να είναι το μηδέν)	
Χώρος διέλευσης	Εσωτερικοί χώροι	
Βαθμός θερμικής απόδοσης δικτύου διανομής (%)	100%	
Μονάδα αποθήκευσης θερμότητας		
Είδος αποθήκευσης ζεστού νερού χρήση	Ηλεκτρικός θερμαντήρας	
Θερμική απόδοση μονάδας αποθήκευσης ζ.ν.χ	98,0% (=100%-2,0% πλευρικές απώλειες)	
Βοηθητική ενέργεια		
Τύπος βοηθητικών συστημάτων	Αριθμός συστημάτων	Ισχύς βοηθητικών συστημάτων (kW)
-	-	-

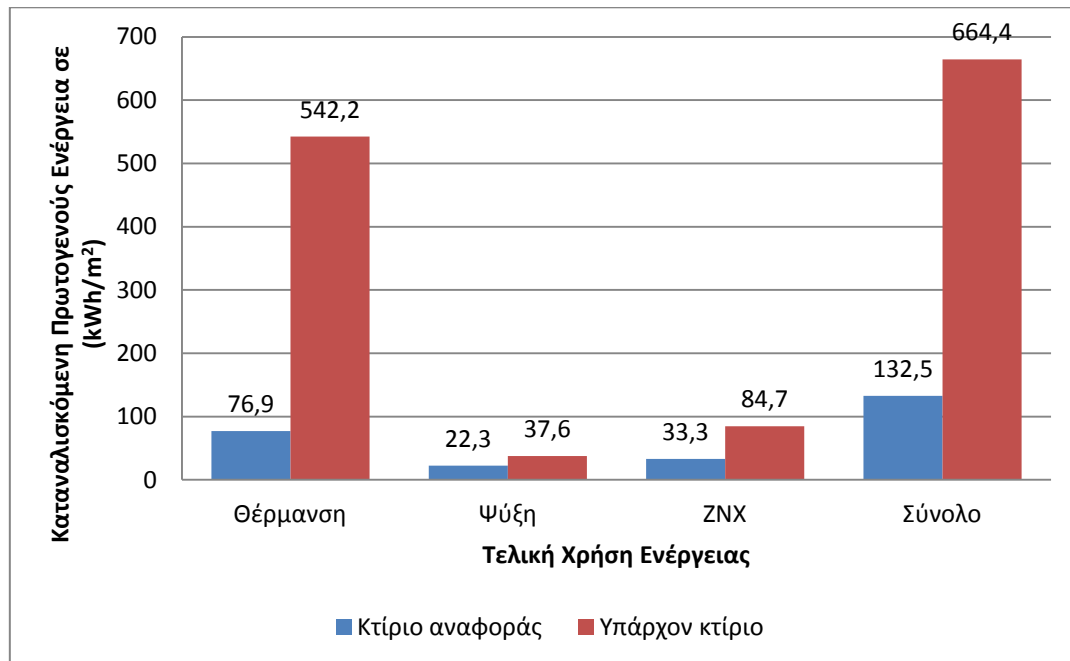
Πίνακας 4.12: Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης-Ζ.Ν.Χ

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 όπως αναγράφονται στους πίνακες 4.14 και 4.15. 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 4.13: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση (kWh/m²)



Διάγραμμα 4.1: Σύγκριση υφιστάμενου κτιρίου με το 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).

Τα αποτελέσματα του προγράμματος επιβεβαιώνουν ότι, η κύρια επέμβαση για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης θα είναι εκείνη που αφορά το σύστημα θέρμανσης της κατοικίας, καθώς είναι εκείνη που συμμετέχει με το μεγαλύτερο ποσοστό στη συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια. Ωστόσο, παρατηρώντας ότι τόσο η κατανάλωση του συστήματος ψύξης, όσο και του συστήματος ζεστού νερού χρήσης, υπερβαίνουν τις καταναλώσεις του κτιρίου αναφοράς, θα συμπεριληφθούν επιπλέον επεμβάσεις στα συστήματα αυτά, ώστε να επιτευχθεί η συνολική ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου.



4.6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας δομικών στοιχείων και κτιρίου

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. όλα τα δομικά στοιχεία ενός νέου ή ριζικά ανακαινιζόμενου κτιρίου οφείλουν να πληρούν τους περιορισμούς θερμομόνωσης

Δομικό στοιχείο	Σύμβολο	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² K)]			
		Κλιματική ζώνη			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές).	U _D	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.	U _W	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή)	U _{DL}	0,50	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους.	U _G	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχοι σε επαφή με το έδαφος ή με μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{WE}	1,50	1,00	0,80	0,70
Ανοίγματα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες κ.α.)	U _F	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτιρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες.	U _{GF}	2,20	2,00	1,80	1,80

Πίνακας 4.14: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα.

Ταυτόχρονα η τιμή του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του εξεταζόμενου κτιρίου δεν πρέπει να ξεπερνά τα όρια του πίνακα:

F/V (m ⁻¹)	Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής (U _m) σε [W/(m ² K)]			
	Ζώνη A	Ζώνη B	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
≤0,2	1,26	1,14	1,05	0,96
0,3	1,20	1,09	1,00	0,92



0,4	1,15	1,03	0,95	0,87
0,5	1,09	0,98	0,90	0,83
0,6	1,03	0,93	0,86	0,78
0,7	0,98	0,88	0,81	0,73
0,8	0,92	0,83	0,76	0,69
0,9	0,86	0,78	0,71	0,64
≥1,0	0,81	0,73	0,66	0,60

Πίνακας 4.15: Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας U_m κτιρίου για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα.

Ο έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας πραγματοποιείται σε δύο στάδια:

1. Υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας U όλων των δομικών στοιχείων και ελέγχεται η συμμόρφωσή του στα όρια των απαιτήσεων του πίνακα 4.14
2. Υπολογίζεται ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου U_m και ελέγχεται η συμμόρφωσή του στα όρια των απαιτήσεων του πίνακα 4.15.

4.6.1. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας αδιαφανών και διαφανών επιφανειών

Με βάση την ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 η γενική σχέση υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας U αδιαφανών δομικών στοιχείων είναι:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_\delta + R_a} \quad \text{Εξίσωση 4.1}$$

όπου, d_j το πάχος της ομογενούς και ισότροπης στρώσης δομικού υλικού j
 λ_j ο συντελεστής θερμ. αγωγιμότητας του ομογενούς και ισότροπου υλικού j

R_i και R_a οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης εκατέρωθεν του δομικού στοιχείου και
 R_δ η θερμική αντίσταση του κλειστού διακένου αέρα.

Αντίστοιχα ο συντελεστής θερμοπερατότητας διαφανούς δομικού στοιχείου U_w υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \Psi_g}{A_w} \quad \text{Εξίσωση 4.2}$$

όπου, U_w ο συντελεστής θερμοπερατότητας ολόκληρου του κουφώματος,



U_f ο συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου του κουφώματος,

U_g ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος (μονού, διπλού ή περισσότερων φύλλων),

A_f η επιφάνεια του υαλοπίνακα,

l_g το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος (περίμετρος του υαλοπίνακα),

Ψ_g ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος,

A_w το εμβαδόν επιφάνειας του κουφώματος

Στην περίπτωση μας ο συντελεστής θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων δίνεται από τον κατασκευαστή και είναι ίσος με $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει τόσο για τα διαφανή όσο και για τα αδιαφανή στοιχεία να ισχύει:

$$U \leq U_{\delta, \sigma \max}$$

όπου U ο συντελεστής θερμοπερατότητας όπως υπολογίστηκε από τις σχέσεις 4.1 και 4.2 και $U_{\delta, \sigma \max}$ ο μέγιστος συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου.

4.6.1.1. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας δομικού στοιχείου σε επαφή με το έδαφος

Η ροή θερμότητας από ένα δομικό στοιχείο που έρχεται σε επαφή με το έδαφος είναι ένα σύνθετο τρισδιάστατο φαινόμενο που εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, βασικότερες των οποίων είναι:

- η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους,
- το πάχος του στρώματος εδάφους που το διαχωρίζει από τον εξωτερικό αέρα,
- η γεωμετρία του κτηρίου,
- η ίδια η θερμική αντίσταση του δομικού στοιχείου.

Για νέα κτίρια, με την παραδοχή της μονοδιάστατης ροής θερμότητας, γίνεται χρήση του ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας U' , ο οποίος για οριζόντιο δομικό στοιχείο υπολογίζεται συναρτήσει:

- του ονομαστικού συντελεστή θερμοπερατότητας U του δομικού στοιχείου,
- του βάθους έδρασης z του δομικού στοιχείου και
- της χαρακτηριστικής διάστασης της πλάκας (B')

Ως χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας B' σε m ορίζεται το διπλάσιο του λόγου του καθαρού εμβαδού της πλάκας A σε m^2 προς την εκτεθειμένη περίμετρό της Π σε m.



$$B = \frac{2 \cdot A}{\Pi}$$

όπου η εκτεθειμένη περίμετρος ισούται με την περίμετρο της πλάκας αφού το προς μελέτη κτίριο είναι πανταχόθεν ελεύθερο. Οι τιμές του ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας προκύπτουν από τον πίνακα 9^α της 2^{ης} ΤΟΤΕΕ. Για την σύσταση του πίνακα έγιναν οι εξής παραδοχές:

1. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους θεωρήθηκε ίσος με 2,0W/(m.K)
2. Το πάχος των κατακόρυφων δομικών στοιχείων που εδράζονται επί της πλάκας έχουν συνολικό πάχος 30cm.
3. Το συνολικό ισοδύναμο πάχος των κατακόρυφων δομικών στοιχείων είναι μικρότερο από το συνολικό ισοδύναμο πάχος της πλάκας.

Επίσης οι τιμές του πίνακα ισχύουν για χρήση εσωτερικών διαστάσεων. Ωστόσο επειδή για όλους τους υπόλοιπους υπολογισμούς έχει γίνει χρήση εξωτερικών διαστάσεων θα χρησιμοποιούνται για λόγους απλοποίησης οι αυτές τιμές συνεισφέροντας ένα μικρό σφάλμα.

Για τα παλαιά κτίρια (προ ισχύος ΚΘΚ) χρησιμοποιείται η εξίσωση 4.1 εφόσον επαρκούν τα θερμοτεχνικά χαρακτηριστικά που έχει στη διάθεσή του ο επιθεωρητής ή διαφορετικά γίνεται χρήση του πίνακα 3.4β-(*Τυπικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας για υφιστάμενα οριζόντια αδιαφανή δομικά στοιχεία που συναντώνται σε κτήρια η οικοδομική άδεια των οποίων εκδόθηκε πριν από την εφαρμογή του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτηρίων (1979)*) της 1^{ης} ΤΟΤΕΕ.

Ο ονομαστικός συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου σε επαφή με το έδαφος υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο με αυτόν που υπολογίζεται για δομικά στοιχεία σε επαφή με εξωτερικό αέρα, λαμβάνοντας όμως μηδενική θερμική αντίσταση αέρα στην εξωτερική παρειά τους $R_a=0$.

4.6.1.2. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Εφόσον κάθε δομικό στοιχείο καλύπτει τις απαιτήσεις του Πίνακας 4.14, απαιτείται και το κτίριο στο σύνολό του να παρουσιάζει ένα ελάχιστο βαθμό θερμικής προστασίας. Ο υπολογισμός του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτιρίου δίνεται από τη σχέση:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j U_j b + \sum_{i=1}^n l_i \Psi_i b}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad \text{Εξίσωση 4.3}$$



- όπου, A_j το εμβαδόν του δομικού στοιχείου j
 U_j ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου j
 Ψ_i ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας της θερμογέφυρας i
 l_i το μήκος της θερμογέφυρας i και
 b ο μειωτικός συντελεστής.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει:

$$U_m \leq U_{m \max}$$

όπου $U_{m \max}$ είναι ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου και δίνεται από τον Πίνακα 4.15 .

Σε περίπτωση που $U_m > U_{m \max}$, ο μελετητής είναι υποχρεωμένος να ακολουθήσει μία εκ των τριών παρακάτω επιλογών ή συνδυασμό τους και να αρχίσει εκ νέου τον υπολογισμό:

1. να βελτιώσει την θερμική προστασία των αδιαφανών δομικών (παράμετρος η οποία εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία),
2. να βελτιώσει την θερμική προστασία των διαφανών δομικών στοιχείων,
3. να μειώσει την δημιουργία θερμογεφυρών στο κτηριακό κέλυφος, τροποποιώντας τον σχεδιασμό των δομικών στοιχείων στα οποία οφείλονται αυτές.

Για τον υπολογισμό των θερμογεφυρών, σύμφωνα με την TOTEE 20701-2/2010 ο μελετητής έχει δύο επιλογές:

1. Να επακολουθήσει την απλουστευμένη μέθοδο με χρήση του πίνακα 15 της ανωτέρω οδηγίας
2. να κάνει αναλυτικά του υπολογισμούς με χρήση των πινάκων 16α έως 16λ της ανωτέρω οδηγίας.

Ο μειωτικός συντελεστής b προσαρμόζει τις υπολογισθείσες θερμικές απώλειες από κάθε επιφάνεια του κελύφους του κτιρίου στις πραγματικές θερμοκρασιακές συνθήκες. Για επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το έδαφος και για επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα ο μειωτικός συντελεστής b παίρνει την τιμή 1,00.

4.7. Υπολογισμός συντελεστών σκίασης

Η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας λαμβάνεται υπόψη στους ενεργειακούς υπολογισμούς του προς μελέτη κτιρίου με τη χρήση ανεξάρτητων μεταξύ του συντελεστών σκίασης. Οι



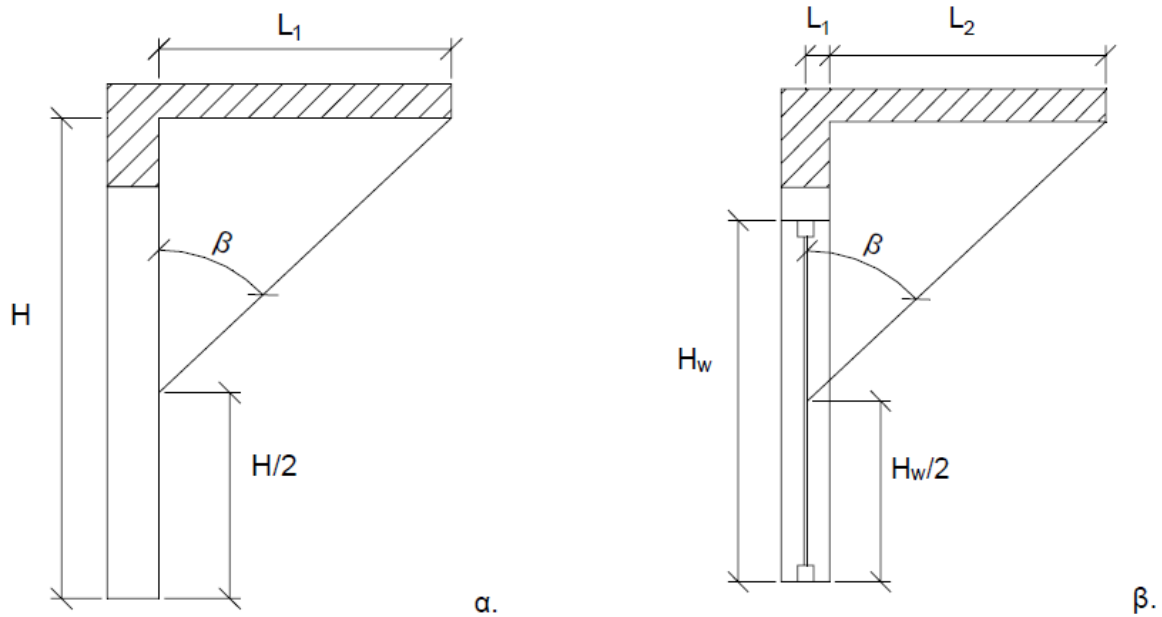
συντελεστές σκίασης, καθορίζονται ανάλογα το είδος των σκιάστρων (οριζόντια, πλευρικά εξωτερικά εμπόδια και σκίαστρα) και την γεωμετρία τους. Έτσι λοιπόν έχουμε:

1. *συντελεστές σκίασης οριζόντια* F_{hor} : προσδιορίζουν τη σκίαση που προκύπτει στις επιφάνειες του κτηρίου από την ύπαρξη φυσικών εμποδίων (π.χ. λόφων) ή τεχνητών (π.χ. υψηλών κτηρίων)
2. *συντελεστές σκίασης από προβόλους* F_{ov} : προσδιορίζουν τη σκίαση των επιφανειών του κτηρίου λόγω ύπαρξης οριζόντιων προεξοχών (εξωστών, προστεγασμάτων, υπέρθυρων ανοιγμάτων).
3. *συντελεστές σκίασης από πλευρικές προεξοχές* F_{fin} : προσδιορίζουν τη σκίαση των επιφανειών του κτηρίου λόγω ύπαρξης κατακόρυφων προεξοχών (πλευρικών προεξοχών, τμημάτων του ιδίου του κτηρίου, διπλανών κτηρίων).
4. *συντελεστές σκίασης λόγω εξωτερικών περσίδων* F_{sh} : προσδιορίζουν τη σκίαση των επιφανειών από εξωτερικές οριζόντιες, κινητές ή σταθερές περσίδες.

Οι τιμές των ανωτέρω συντελεστών δίνονται σε πίνακες στην 1^η ΤΟΤΕΕ. Για οποιοδήποτε άλλο εξειδικευμένο τύπο σκίασης ο μελετητής θα πρέπει να εφαρμόζει αναλυτικό υπολογισμό του συντελεστή σκίασης.

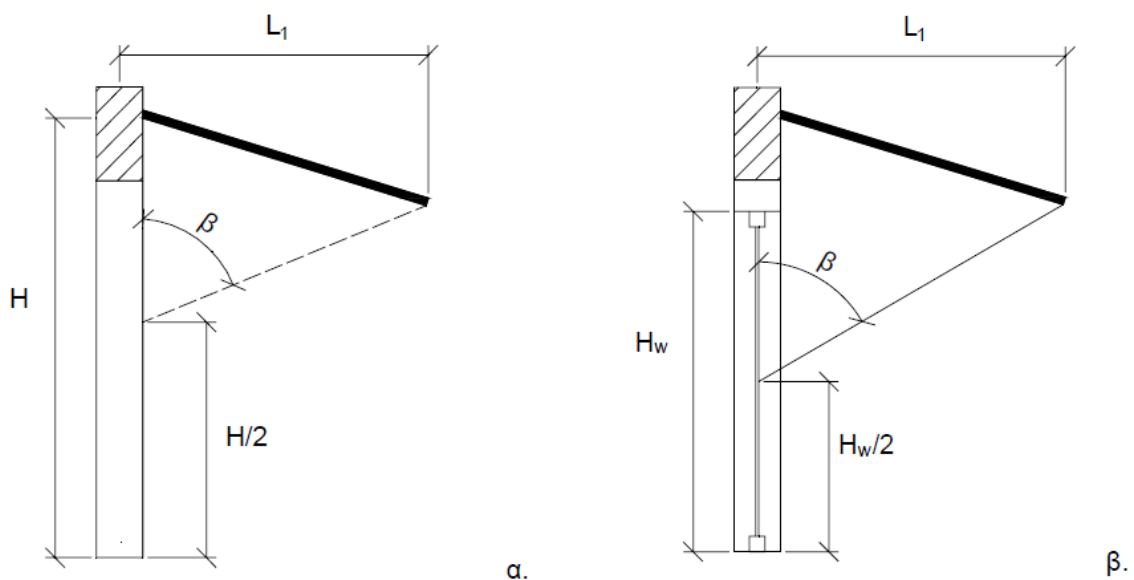
Επειδή ανάλογα με την εποχή οι συντελεστές σκίασης αλλάζουν, καθορίζονται για κάθε εξωτερική επιφάνεια με ορισμένο προσανατολισμό, οι αντίστοιχοι μέσοι συντελεστές σκίασης, ένας για τη χειμερινή περίοδο και ένας για τη θερινή περίοδο, ανάλογα με το είδος σκιάστρου. Σε περίπτωση που μία επιφάνεια δεν σκιάζεται από έναν από τους παραπάνω τρόπους τότε λαμβάνεται συντελεστής σκίασης ίσος με 1.

Όπως αναφέρθηκε και στην περιγραφή της υφιστάμενης κατοικίας, το κτίριο περιέχει δύο σταθερά σκίαστρα τύπου προβόλου στη βόρεια και στη νότια όψη. Ο υπολογισμός των συντελεστών γίνεται αφού πρώτα προσδιοριστεί η γωνία β όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα για αδιαφανή και διαφανή δομικά στοιχεία.



Εικόνα 4.3: Γραφική απεικόνιση της γωνίας β , που σχηματίζει πρόβολος με την κατακόρυφη επιφάνεια, για τον υπολογισμό της σκίασης που προκαλεί σε ένα κατακόρυφο αδιαφανές δομικό στοιχείο (α) και σε ένα διαφανές στοιχείο (β).

Ο ίδιος τρόπος υπολογισμού ακολουθείται και για το συντελεστή σκίασης από τέντες. Ωστόσο θεωρείται ότι οι τέντες σκιάζουν μόνο τους θερινούς μήνες και όχι του χειμερινούς. Συνεπώς για τους χειμερινούς μήνες ο συντελεστής σκίασης λόγω τέντας είναι 1.



Εικόνα 4.4: Γραφική απεικόνιση της γωνίας β , που σχηματίζει η τέντα με την εξωτερική επιφάνεια, για τον υπολογισμό της σκίασης που προκαλεί σε ένα κατακόρυφο αδιαφανές και διαφανές δομικό στοιχείο.



Αφού υπολογιστεί η γωνία β , επιλέγεται βάσει αυτής ο συντελεστής σκίασης (με παράμετρο τον προσανατολισμό και την χρονική περίοδο) από τον πίνακα 3.19 της 1^η ΤΟΤΕΕ.

Για τα σκίαστρα της νότιας και της βόρειας όψης του κτιρίου, η γωνία β που αφορά τα αδιαφανή και τα διαφανή δομικά στοιχεία υπολογίζεται από την τριγωνομετρία γνωρίζοντας τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής. Προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας:

Όψη	Δομικό στοιχείο	H	L	β^{22}	$F_{ov_c}^{23}$	$F_{ov_h}^{24}$
Νότια	Αδιαφανές	2,80	2,00	55	0,57	0,42
	Διαφανές	2,26	2,00	50	0,63	0,46
Βόρεια	Αδιαφανές	2,80	1,00	35,5	0,74	0,77
	Διαφανές	0,92	1,00	44	0,66	0,70

Πίνακας 4.16: Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι συντελεστές σκίασης των δομικών στοιχείων

4.8. Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας θερμογέφυρών

Για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών κατά μήκος μίας θερμογέφυρας απαιτείται:

- ο κάθε τύπος θερμογέφυρας, που εκφράζεται με έναν συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας ψ , μετρούμενο σε $W/(m.K)$ και
- το συνολικό μήκος του κάθε τύπου θερμογέφυρας l , που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτιρίου μετρούμενο σε m .

Οι θερμικές απώλειες κατά μήκος μιας θερμογέφυρας ορίζονται από το γινόμενο:

$$\psi \cdot l \quad [W/K]$$

Οι θερμογέφυρες απαντώνται στις εξής κατηγορίες:

- στη συναρμογή των κατακόρυφων δομικών στοιχείων (**κατακόρυφες θερμογέφυρες**)
- στη συναρμογή των οριζόντιων δομικών στοιχείων με τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία (**οριζόντιες θερμογέφυρες**)

²² Εδώ η γωνία β αφορά τη γωνία που σχηματίζει το πρόβολο σκίαστρου σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν

²³ Συντελεστής σκίασης από οριζόντιο πρόβολο κατά την περίοδο θέρμανσης

²⁴ Συντελεστής σκίασης από οριζόντιο πρόβολο κατά την περίοδο ψύξης



- στη συναρμογή των κουφωμάτων με τα συμπαγή δομικά στοιχεία (θερμογέφυρες κουφωμάτων)

Για κάθε μία από τους παραπάνω συνήθεις τύπους θερμογεφυρών και τις υποπεριπτώσεις που αυτές διακρίνονται έχουν συνταχθεί οι πίνακες 16α έως 16λ της 2^{ης} ΤΟΤΕΕ που παρουσιάζουν την τιμή του συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας της θερμογέφυρας ανά περίπτωση. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο μελετητής μπορεί εναλλακτικά να κάνει χρήση και του πίνακα 15 για τη διευκόλυνση των υπολογισμών των γραμμικών θερμογεφυρών. Ωστόσο οι συνολικές ροές θερμότητας που θα προκύπτουν θα είναι αυξημένες σε σχέση με τον αναλυτικό του υπολογισμό κάνοντας χρήση των πινάκων 16α έως 16λ.

Στην υφιστάμενη κατοικία η οποία εντάσσεται στην 1^η κατηγορία και δεν διαθέτει μόνωση οι θερμογέφυρες παραλείπονται. Το ίδιο ισχύει και για δομικά στοιχεία του κτιρίου που δεν διαθέτουν καθόλου μόνωση (π.χ. η οροφή του κτιρίου όπως θα δούμε στη μελέτη σεναρίων). Η εκλογή του εκάστοτε τύπου θερμογέφυρας έγινε σύμφωνα με τους πίνακες 16α έως 16λ και αποτελούν τα “ασθενή” σημεία του κτιριακού περιβλήματος. Εντοπίζονται στις θέσεις στις οποίες η βασική γεωμετρία του δομικού στοιχείου παύει να είναι γραμμική (γεωμετρικές), στις θέσεις όπου υπάρχει ασυνέχεια του μονωτικού υλικού (κατασκευαστικές) και σε συνδυασμό αυτών. Οι τύποι των θερμογεφυρών και τα σημεία εμφάνισής τους θα αναφερθούν στη μελέτη των σεναρίων.

4.9. Συντελεστές θερμοπερατότητας σεναρίων

Εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε παραπάνω για κάθε δομικό στοιχείο της υφιστάμενης κατοικίας, προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες:

1	ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Εξωτερική τοιχοποιία					
Υπολογισμός αντίστασης θερμοδιαφυγής R _l						
a/a	Στρώσεις δομικού υλικού	Πυκνότητα ρ kg/m ³	Πάχος στρ. d m	Συντ. αγωγ. λ W/(mK)	θερμικ	Θερμ αντιστ d/λ (m ² K)/W
1	Ασβεστοσιμεντοκονίαμα	1900	0,025		1,00	0,025
2	Οπτοπλινθοδομή	1500	0,10		0,51	0,19607843
3	Κενό		0,05			0,18
4	Οπτοπλινθοδομή	1500	0,10		0,51	0,19607843
5	Ασβεστοσιμεντοκονίαμα	1900	0,025		1,00	0,025
		Σd =	0,3		R _l =	0,62215686
Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας U						



Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	Ri	(m ² K)/W	0,13
Αντίσταση θερμοδιαφυγής	Rl	(m ² K)/W	0,62215686
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	Ra	(m ² K)/W	0,04
Αντίσταση θερμοπερατότητας	Roλ	(m ² K)/W	0,79215686
Συντελεστής θερμοπερατότητας	U	W/(m ² K)	1,26237624
Μέγιστος επιτρ συντ θερμοπερατότητας	U _{max}	W/(m ² K)	0,45

Πίνακας 4.17: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας της εξωτερικής οπτοπλινθοδομής.

2	ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Εξωτερική δοκός/υποστύλωμα				
Υπολογισμός αντίστασης θερμοδιαφυγής Rl					
α/α	Στρώσεις δομικού υλικού	Πυκνότητα	Πάχος	Συντ. θερμικ αγωγ. λ	Θερμ αντιστ d/λ
		ρ kg/m ³	στρ. d m		
1	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1900	0,025	1,00	0,025
2	Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	0,25	2,5	0,1
3	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1900	0,025	1,00	0,025
		Σd =	0,3	Rl =	0,15
Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας U					
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)		Ri	(m ² K)/W	0,13	
Αντίσταση θερμοδιαφυγής		Rl	(m ² K)/W	0,15	
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)		Ra	(m ² K)/W	0,04	
Αντίσταση θερμοπερατότητας		Roλ	(m ² K)/W	0,32	
Συντελεστής θερμοπερατότητας		U	W/(m ² K)	3,125	
Μέγιστος επιτρ συντ θερμοπερατότητας		U _{max}	W/(m ² K)	0,45	

Πίνακας 4.18: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δοκαριών και υποστυλωμάτων

3	ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος				
Υπολογισμός αντίστασης θερμοδιαφυγής Rl					
α/α	Στρώσεις δομικού υλικού	Πυκνότητα	Πάχος	Συντ. θερμικ αγωγ. λ	Θερμ αντιστ d/λ
		ρ kg/m ³	στρ. d m		
1	Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	0,20	2,50	0,08
2	Σκυρόδεμα ρύσεως	2000	0,05	1,35	0,03703704
3	Κεραμικά πλακίδια	2000	0,01	1,84	0,00543478
		Σd =	0,26	Rl =	0,12247182
Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας U					
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)		Ri	(m ² K)/W	0,17	
Αντίσταση θερμοδιαφυγής		Rl	(m ² K)/W	0,12247182	
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)		Ra	(m ² K)/W	0	
Αντίσταση θερμοπερατότητας		Roλ	(m ² K)/W	0,29247182	
Συντελεστής θερμοπερατότητας		U	W/(m ² K)	3,41913283	



Μέγιστος επιτρ συντ θερμοπερατότητας	U _{max}	W/(m ² K)	0,75
--------------------------------------	------------------	----------------------	------

Πίνακας 4.19: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με το έδαφος

Επειδή το κτίριο θεωρείται κατασκευασμένο πριν τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ) δηλαδή πριν το 1979, ο συντελεστής θερμοπερατότητας που θα χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς θα προκύψει είτε από τον πίνακα 3.4β της 1^{ης} ΤΟΤΕΕ- (*Τυπικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας για υφιστάμενα οριζόντια αδιαφανή δομικά στοιχεία που συναντώνται σε κτήρια η οικοδομική άδεια των οποίων εκδόθηκε πριν από την εφαρμογή του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτηρίων (1979)*) είτε από υπολογισμούς, μέσω της Εξίσωσης 1.1 (σύμφωνα με τη μεθοδολογία) εάν επαρκούν τα δεδομένα. Συνεπώς ως τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας για το λογισμικό χρησιμοποιήθηκε ο ονομαστικός συντελεστής θερμοπερατότητας και όχι ο ισοδύναμος.

4 ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Βατό δώμα						
Υπολογισμός αντίστασης θερμοδιαφυγής R _λ						
a/a	Στρώσεις δομικού υλικού	Πυκνότητα ρ	Πάχος στρ. d	Συντ. θερμικ αγωγ. λ	Θερμ αντιστ d/λ	
		kg/m ³	m	W/(mK)	(m ² K)/W	
1	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1900	0,025		1,00	0,025
2	Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	0,2		2,50	0,08
3	Σκυρόδεμα ρύσεως	2000	0,05		1,35	0,03703704
4	Ασφαλτόπανο	1100	0,004		0,23	0,0173913
		Σd =	0,279		R _λ =	0,15942834
Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας U						
	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	R _i		(m ² K)/W		0,1
	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R _λ		(m ² K)/W		0,15942834
	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R _a		(m ² K)/W		0,04
	Αντίσταση θερμοπερατότητας	R _{ολ}		(m ² K)/W		0,29942834
	Συντελεστής θερμοπερατότητας	U		W/(m ² K)		3,33969722
	Μέγιστος επιτρ συντ θερμοπερατότητας	U _{max}		W/(m ² K)		0,4

Πίνακας 4.20: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δώματος



5 ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Εξωτερική πόρτα ²⁵					
Υπολογισμός αντίστασης θερμοδιαφυγής R _λ					
α/α	Στρώσεις δομικού υλικού	Πυκνότητα	Πάχος	Συντ. θερμικ αγωγ. λ	Θερμ αντιστ d/λ
		ρ	στρ. d		
		kg/m ³	m	W/(mK)	(m ² K)/W
1	Πόρτα ασφαλείας με ικανοποιητικό επίπεδο μόνωσης	-	-	-	0,375
		Σd =	-	R _λ =	0,375
Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας U					
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)			R _i	(m ² K)/W	0,13
Αντίσταση θερμοδιαφυγής			R _λ	(m ² K)/W	0,375
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)			R _a	(m ² K)/W	0,04
Αντίσταση θερμοπερατότητας			R _{ολ}	(m ² K)/W	0,545
Συντελεστής θερμοπερατότητας			U	W/(m ² K)	1,83486239
Μέγιστος επιτρ συντ θερμοπερατότητας			U _{max}	W/(m ² K)	2,8

Πίνακας 4.21: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής θύρας

6 ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Διαφανή δομικά στοιχεία			
Συντελεστής θερμοπερατότητας	U	W/(m ² K)	1,7
Μέγιστος επιτρ συντ θερμοπερατότητας	U _{max}	W/(m ² K)	2,8

Πίνακας 4.22: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογισμού ακολουθούν επιγραμματικά και οι υπόλοιποι συντελεστές θερμοπερατότητας (αδιαφανών δομικών στοιχείων και βατού δώματος) που υπολογίστηκαν για τις ανάγκες του προγράμματος.

Τοιχοποιία		
	Δοκάρια/Υποστρώματα	Οπτοπλινθοδομή
30mm	0,81	0,59
50mm	0,54	0,43
60mm	0,46	0,38
80mm	0,36	0,31

²⁵ Σύμφωνα με τις διευκρινίσεις του Τεχνικού Επιμελητηρίου σχετικά με τον ΚΕΝΑΚ, η εξωτερική θύρα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα θεωρείται αδιαφανές στοιχείο.



100mm	0,29	0,26
120mm	0,25	0,22
140mm	0,21	0,19
160mm	0,19	0,17

Πίνακας 4.23: Συντελεστές θερμοπερατότητας U (σε W/m^2K) κατακόρυφων δομικών στοιχείων.

Οροφή	50mm	0,54
	100mm	0,29

Πίνακας 4.24: Συντελεστές θερμοπερατότητας οροφής.

4.10. Μελέτη σεναρίων

Στο σημείο αυτό θα γίνει μία παραμετρική μελέτη των σεναρίων μόνωσης που έχει στη διάθεσή του να επιλέξει ο επενδυτής –ιδιοκτήτης της υφιστάμενης κατοικίας. Βασική παράμετρος ορίζεται το πάχος της μόνωσης τόσο των εξωτερικών κατακόρυφων δομικών στοιχείων όσο και της οροφής. Λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι η ενεργειακή μελέτη αφορά υφιστάμενη κατοικία με όλα τα χαρακτηριστικά της (ανυπαρξία μόνωσης, γεωμετρία, προσανατολισμός, κλιματολογικές συνθήκες κλπ) και τοποθετείται μόνωση εξωτερικά των δομικών στοιχείων για την εκμετάλλευση της θερμοχωρητικότητας. Εξετάζεται τόσο η ενεργειακή όσο και η οικονομική σκοπιά του θέματος, εξάγοντας σαφή συμπεράσματα για την επιλογή της πιο συμφέρουσας λύσης. Τα πάχη μόνωσης και οι αντίστοιχες τιμές τους είναι απολύτως ρεαλιστικές προερχόμενες από γνωστές εταιρείες του είδους (KNAUF, ΑΝΔΡΕΟΥ).

Επιπροσθέτως παρατηρώντας τη ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου διαπιστώνεται αύξηση των αναγκών σε ψύξη καθώς αυξάνεται το πάχος μόνωσης της οροφής. Με σκοπό την ερμηνεία του φαινομένου αυτού, εξετάζεται η παθητική μείωση των αναγκών σε ψύξη καλύπτοντας με κινητό σκίαστρο (τέντα) το δυτικό άνοιγμα του σαλονιού. Το σενάριο αυτό αφορά μόνο τα τρία μεγαλύτερα πάχη μόνωσης των κατακόρυφων δομικών στοιχείων και για τις περιπτώσεις μονωμένης οροφής. Απώτερος στόχος είναι να βελτιωθεί όσο γίνεται περισσότερο η ενεργειακή κατάσταση του κτιρίου δηλαδή να μειωθούν οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση και ψύξη.



4.10.1. Μόνωση δομικών στοιχείων

Για τη παραμετρική μελέτη εξετάστηκαν οχτώ διαφορετικά πάχη εξωτερικής μόνωσης, της εταιρείας **KNAUF Γυψοποιία ΑΒΕΕ**, στο περιμετρικό κέλυφος του κτιρίου δηλαδή στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία. Το προϊόν που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται **THERMOPROSOPSIS ORGANIC** και περιέχει το μονωτικό υλικό EPS 80 γραφιτούχο (διογκωμένη πολυστερίνη) σε διάφορα πάχη. Η τοποθέτησή του γίνεται επάνω από τους παλιούς σοβάδες στις εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου σε καθαρό και στεγνό υπόβαθρο, χωρίς υπολείμματα λαδιού, σχετικά επίπεδο και χωρίς σαθρά τμήματα. Στην τοποθέτηση των μονωτικών πλακών χρησιμοποιήθηκαν και άλλα υλικά. Η σειρά τοποθέτησης από μέσα προς τα έξω έχει ως εξής:

- Υλικό επικόλλησης *THERMOPROSOPSIS multi*
- Μονωτικές πλάκες ESP 80 διαφόρου πάχους
- Βύσματα αγκίστρωσης NTK U 110mm
- Βασικό επίχρισμα *THERMOPROSOPSIS multi*
- Πλέγμα ενίσχυσης THERMOPROSOPSIS
- Αστάρι με χαλαζιακή άμμο Quarzgrund
- Τελικό επίχρισμα addi S 1,5mm έγχρωμο

Εκτός από τις μονωτικές πλάκες τα υπόλοιπα υλικά έχουν αμελητέα συμπεριφορά στην θερμική αντίσταση του τοίχου και για το λόγω αυτό δεχόμαστε ως συντελεστή θερμοπερατότητας της θερμοπρόσοψης, το συντελεστή θερμοπερατότητας του μονωτικού υλικού. Τα τυποποιημένα πάχη μονωτικού υλικού EPS 80 γραφιτούχο είναι τα 30mm, 50mm, 60mm, 80mm, 100mm, 120mm, 140mm, 160mm. Οι διαστάσεις των πλακών είναι 1000 x 600mm και έχουν συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,032$ W/mK

Κατά αντιστοιχία με τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία εξετάστηκαν τρία διαφορετικά πάχη μόνωσης στην οροφή του κτιρίου για κάθε πάχος μόνωσης κατακόρυφων δομικών στοιχείων: χωρίς μόνωση, μόνωση 50mm και μόνωση 100mm της εταιρείας **ΑΝΔΡΕΟΥ ΑΕ**. Η εργασία κατασκευής της μόνωσης έχει ως εξής:

- Τοποθέτηση μονωτικού υλικού NEOPOR EPS 80 πάχους 50/100mm (ανάλογα την περίπτωση)
- Δύο στρώσεις THERBOBETO ROOF & THERM



- Τοποθέτηση μονής θερμοπλαστικής μεμβράνης POLYFLEX LIGHT 5mm -20°C οπλισμένη με πολυεστερικό ύφασμα και ίνες υάλου και χρώμα όχρα γήινο.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας της κατασκευής είναι $\lambda=0,032$ W/mK

4.10.2. Κόστος μονωτικών υλικών

4.10.2.1. Κατακόρυφα δομικά στοιχεία

Μετά από συνεχή επικοινωνία με την εταιρεία KNAUF αποσπάστηκαν σημαντικές πληροφορίες για τη μέθοδο κατασκευής της θερμοπρόσοψης αλλά και το αναλυτικό κόστος των υλικών και της εργασίας. Χάριν απλούστευσης οι τιμές των προϊόντων και των υπηρεσιών θα δίνονται ανά εγκατεστημένο τετραγωνικό. Το κόστος των μονωτικών υλικών (διογκωμένη πολυστερίνη) φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πάχος EPS 80	30mm	50mm	60mm	80mm	100mm	120mm	140mm	160mm
Κόστος (€ /m ²)	3,15	5,25	6,35	8,40	9,70	11,65	13,55	15,50

Πίνακας 4.25: Κόστος μονωτικών υλικών

Για την εγκατάσταση της μόνωσης χρησιμοποιούνται και άλλα συγκολλητικά υλικά και επιχρίσματα. Η κατανάλωση και το κόστος ανηγμένα ανά τετραγωνικό εγκατεστημένο έχουν ως εξής:

Μικτό Σύστημα (ORGANIC)	Τιμοκατάλογος	Κατανάλωση/m ²	Κόστος/ m ²
Υλικό επικόλλησης THERMOPROSOPSIS multi (kg)	0,52	5	2,60
EPS 80 διαφόρου πάχους (m ²)	–	1	–
Βύσματα NTK U 110mm (τμχ)	0,28	5	1,40
Βασικό επίχρισμα THERMOPROSOPSIS multi (kg)	0,52	7	3,64
Πλέγμα THERMOPROSOPSIS (m ²)	1,06	1,1	1,17
Αστάρι Quarzgrund (kg)	4,80	0,2	0,96
Τελικό επίχρισμα addi S 1,5mm έγχρωμο (kg)	2,78	2,4	6,67
Ζώνη υψηλής στεγάνωσης			1,00

Πίνακας 4.26: Κόστος υλικών θερμοπρόσοψης

Ως ζώνη υψηλής στεγάνωσης χαρακτηρίζεται η περιοχή περιμετρικά του κτιρίου η οποία πρέπει να προστατευτεί από ανιούσες υγρασίες. Καταλαμβάνει την περιοχή άνω του



περιβάλλοντος χώρου (μπαλκόνια, πεζοδρόμια) και στην περίπτωση φυτεμένου χώρου πρέπει να συνεχίζει μέσα στο φυσικό έδαφος. Για τη ζώνη υψηλής στεγάνωσης χρησιμοποιούνται θερμομονωτικές πλάκες EPS 200. Σύμφωνα με την εταιρεία η περιοχή αυτή καλύπτει το 7% της συνολικής μονωμένης επιφάνειας έτσι το συνολικό ποσό ανά τετραγωνικό δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό. Από τα στοιχεία που συλλέχτηκαν το συνολικό κόστος επιβαρύνεται κατά 1,00 €. Στις ανωτέρω τιμές δεν περιλαμβάνεται ο ΦΠΑ.

Εκτός από το κόστος των υλικών λαμβάνεται υπόψη και το κόστος της εργασίας για την τοποθέτηση της μόνωσης. Έστω ότι ένα συνεργείο 4 ατόμων αποτελούμενο από 2 τεχνίτες και 2 βοηθούς τοποθετεί 15 m² θερμοπρόσοψης κατά μέσο όρο την ημέρα. Το ημερομίσθιο ενός τεχνίτη ανέρχεται στα 70€, ενώ ενός βοηθού στα 50€. Συνεπώς το κόστος εργασίας διαμορφώνεται ως εξής:

	Τιμή /m ²
Κόστος τοποθέτησης ανά ημέρα	16,00€
Όφελος εργολάβου (18%)	2,88€
ΦΠΑ (23%)	4,34€
Σύνολο με ΦΠΑ	23,22€

Απαραίτητες συμπληρωματικές εργασίες αποτελούν η επισκευή των κατεστραμμένων παλαιών σοβάδων, το ξήλωμα και επανατοποθέτηση στοιχείων όψης όπως υδρορροές, ποδιές στηθαίων και παραθύρων, κλιματιστικών και φωτιστικών. Οι παραπάνω εργασίες κοστολογούνται περίπου στο 10% του κόστους τοποθέτησης.

	Τιμή /m ²
Κόστος απαραίτητων συμπληρωματικών εργασιών	1,60€
Όφελος εργολάβου (18%)	0,29€
ΦΠΑ (23%)	0,43€
Σύνολο με ΦΠΑ	2,32€



Η τιμή ενός ενσήμου για την τοποθέτηση κάθε τετραγωνικού μέτρου συστήματος για τον τεχνίτη και τον βοηθό ανέρχεται στα 55€ περίπου. Αν την υπολογίσουμε ανά εγκατεστημένο τετραγωνικό μόνωσης, η συνολική τιμή είναι:

$$55\text{€} \cdot 4 \text{ άτομα} / 15(\text{m}^2/\text{ημέρα}) = 14,67\text{€/m}^2$$

Αντίστοιχα για τις συμπληρωματικές εργασίες η τιμή των ενσήμων υπολογίζεται στο 10% της ανωτέρω.

$$55\text{€} \cdot 4 \text{ άτομα} / 15(\text{m}^2/\text{ημέρα}) \cdot 10\% = 1,47\text{€/m}^2$$

Τέλος για την ολοκλήρωση της κοστολόγησης εργασίας πρέπει να προστεθεί η άδεια του μηχανικού, το κόστος κατάληψης του πεζοδρομίου και το κόστος της σκαλωσιάς.

	Τιμή/m ²
Κόστος σκαλωσιάς με ΦΠΑ	4,00€
Κόστος άδειας μηχανικού/κατάληψης πεζοδρομίου	7,00€

4.10.2.2. Οροφή

Η εταιρεία ΑΝΔΡΕΟΥ ΑΕ κοστολογεί την τοποθέτηση μόνωσης στην οροφή (εργασία και υλικά) συνολικά και δίνει:

	Τιμή/m ²
Τοποθέτηση θερμομονωτικού υλικού EPS 80 50mm , δύο στρώσεις THERBORETO ROOF και THERM και τοποθέτηση μονής θερμοπλαστικής μεμβράνης POLYFLEX LIGHT 5mm -20°C οπλισμένη με πολυεστερικό ύφασμα και ίνες υάλου και χρώμα ώχρα γήινο.	34,00 €
ΦΠΑ 23%	7,82 €
ΣΥΝΟΛΟ μόνωσης οροφής EPS 80 50mm	41,82 €

	Τιμή /m ²
Τοποθέτηση θερμομονωτικού υλικού EPS 80 100mm , δύο στρώσεις THERBORETO ROOF και THERM και τοποθέτηση μονής θερμοπλαστικής μεμβράνης POLYFLEX LIGHT 5mm -20°C οπλισμένη με πολυεστερικό ύφασμα και ίνες υάλου και χρώμα	39,00



ώχρα γήινο.	
ΦΠΑ 23%	8,97 €
ΣΥΝΟΛΟ μόνωσης οροφής EPS 80 50mm	47,97 €

4.10.3. Ανάγκες κτιρίου αναφοράς

Το ίδιο το πρόγραμμα κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων των διαφόρων σεναρίων εξάγει και τα αντίστοιχα αποτελέσματα που αφορούν το κτίριο αναφοράς. Το κτίριο αναφοράς, όπως έχει προαναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές όπως αναγράφονται στους πίνακες 4.14 και 4.15. 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. Οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης που ακολουθούν μετρώνται σε πρωτογενή ενέργεια ανά τελική χρήση (kWh/m^2). Οι τιμές που προκύπτουν είναι οι εξής:

	Εν. ανάγκες για θέρμανση (kWh/m^2)	Εν. ανάγκες για ψύξη (kWh/m^2)	Εν. ανάγκες για ΖΝΧ(kWh/m^2)	Σύνολο (kWh/m^2)	Λειτουργικό κόστος (€)
Κτίριο αναφοράς	76,9	22,3	33,3	132,5	1099,90

4.10.4. Παρουσίαση αποτελεσμάτων παραμετρικής μελέτης

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό του ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ για τα σενάρια μόνωσης. Οι νέες τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων για κάθε πάχος μόνωσης προέκυψαν σύμφωνα με την μεθοδολογία έχοντας προσθέσει τη θερμική αντίσταση της μόνωσης. Παράλληλα, εφόσον μελετάται το μονωμένο πλέον κτίριο ως προς την ενεργειακή του συμπεριφορά, υπεισέρχονται μέσα στους υπολογισμούς και οι συντελεστές γραμμικής θερμοπερατότητας θερμογεφυρών Ψ (W/m.K).

Για την ενεργειακή μελέτη της κατοικίας οι ενεργειακές ανάγκες που υπολογίζονται αφορούν την ισοδύναμη καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια που απαιτείται για την θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου. Η αναγωγή σε πρωτογενή ενέργεια είναι αναγκαία καθώς κάθε επιμέρους σύστημα καταναλώνει διαφορετική μορφή καυσίμου για την λειτουργία του.



Επίσης η καταναλισκόμενη ενέργεια περιλαμβάνει και την ενέργεια των βοηθητικών μονάδων για την παραγωγή θέρμανσης και ψύξης. Με βάση την καταναλισκόμενη ενέργεια γίνεται η κατάταξη του κτιρίου σε μία από τις εννέα κατηγορίες.

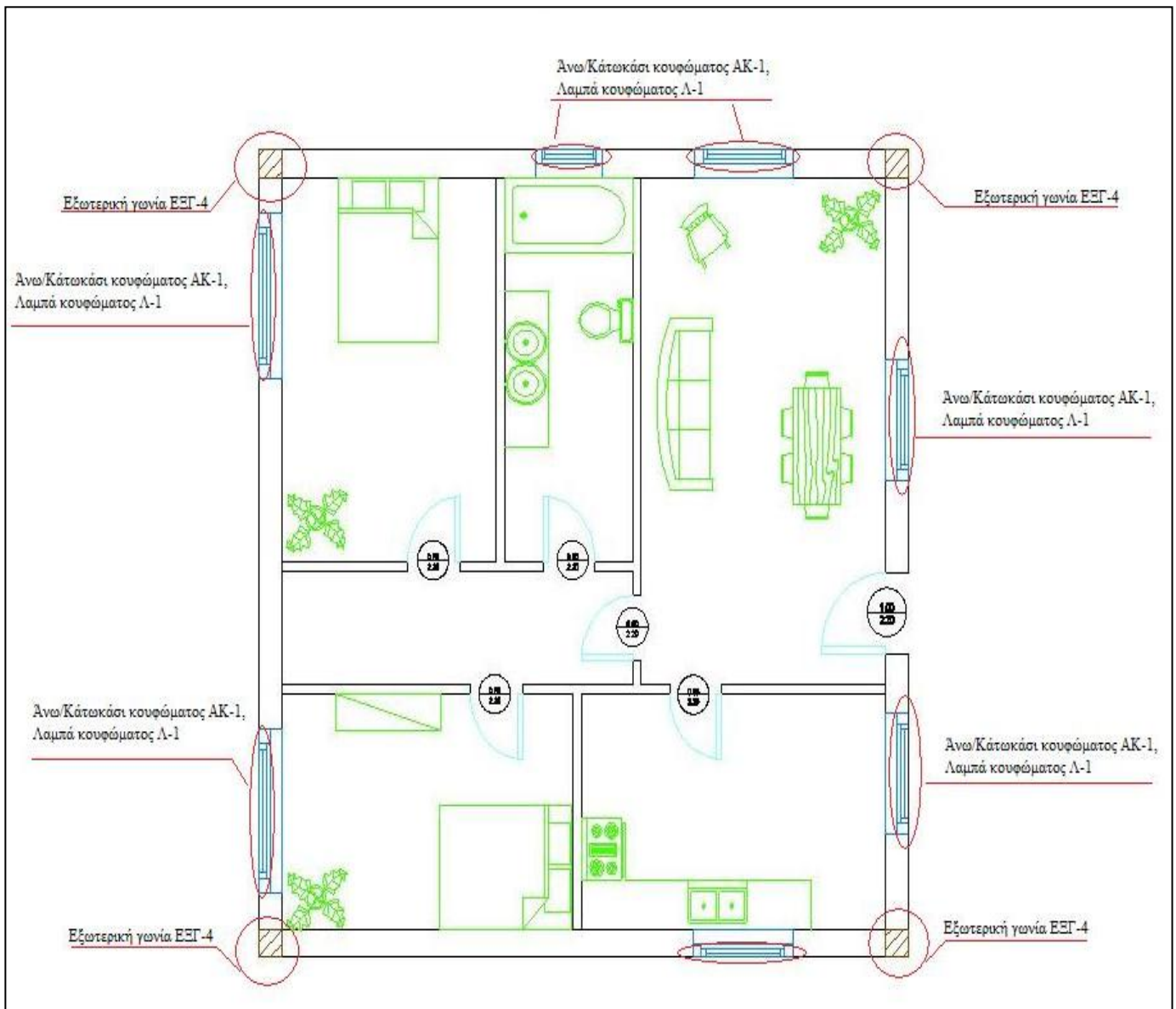
Με την εφαρμογή των σεναρίων μόνωσης μειώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου. Συνεπώς θα μεταβληθεί και ο βαθμός απόδοσης του συστήματος θέρμανσης και ψύξης. Παρ' αυτά στην παρούσα μελέτη θα θεωρηθεί σταθερός δεδομένου ότι μας ενδιαφέρει η επίδραση της μόνωσης στην εξοικονόμηση ενέργειας και όχι η λειτουργία των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων.

4.10.4.1. 1^η Περίπτωση: Χωρίς μόνωση οροφής

Στο σενάριο αυτό μονώνονται μόνον τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία του κτιρίου και παραμένει αμόνωτη η οροφή. Με την εισαγωγή θερμομόνωσης η συμμετοχή των θερμογεφυρών στο αποτέλεσμα αυξάνεται και γι αυτό υπεισέρχονται στους υπολογισμούς. Στην 2^η ΤΟΤΕΕ δίνονται πίνακες με τους συνηθέστερους τύπους θερμογεφυρών που συναντώνται. Από τους πίνακες αυτούς έχουμε τους ακόλουθους τύπους θερμογεφυρών και τους αντίστοιχους συντελεστές Ψ.

Είδος	Συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ [W/mK]	Μήκος l (m)	Ψ·l
Εξωτερικής γωνίας (ΕΞΓ-4)	-0,15	9,6	-1,44
Ενώσεων δομικών στοιχείων (ΕΔΣ-1)	0,00	37,92	0
Περίδεσμου ενίσχυσης (ΠΡ-1)	0,00	33,31	0
Σε λαμπά κουφώματος (Λ-1)	0,05	20,08	1,004
Ανω/Κατωκάσι κουφώματος (ΑΚ-1)	0,05	19,2	0,96
Σύνολο			0,524

Πίνακας 4.27: Ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ και το μήκος l της κάθε θερμογέφυρας.



Εικόνα 4.5: Θερμογέφυρες που εμφανίζονται στην πρώτη περίπτωση αμόνυτης οροφής

Κατά τον ίδιο τρόπο με την υφιστάμενη κατάσταση υπολογίζεται ο νέος συντελεστής θερμοπερατότητας U κάθε δομικού στοιχείου που μονώνεται. Οι τιμές αυτές τοποθετούνται στον πίνακα του προγράμματος TEE KENAK διατηρώντας σταθερές όλες τις υπόλοιπες (εμβαδόν επιφάνειας, συντελεστή εκπομπής, απορροφητικότητα, προσανατολισμό, συντελεστές σκίασης, κλπ). Παράλληλα παραμένει ανέπαφη η οροφή καθώς και το δάπεδο. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προγράμματος όσον αφορά τις ενεργειακές ανάγκες, την κατηγορία κατάταξής του μετά από τις επεμβάσεις αλλά και την οικονομοτεχνική ανάλυση της επένδυσης. Ο τρόπος υπολογισμού των οικονομικών στοιχείων μαζί με όλες τις εξισώσεις παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ι.



Πάχος θερμοπρόσοψης	Ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης(kWh/m ²)	Ενεργειακές ανάγκες ψύξης(kWh/m ²)	Σύνολο ενεργειακών αναγκών (kWh/m ²) ²⁶	Κατηγορία κτιρίου
Χωρίς μόνωση (υπάρχον κτίριο)	542,2	37,6	664,4	H
30mm	451,7	33,7	570,1	H
50mm	436,8	33,0	554,5	H
60mm	432,2	32,8	549,7	H
80mm	426,1	32,5	543,3	H
100mm	421,7	32,3	538,7	H
120mm	418,6	32,1	535,4	H
140mm	416,0	32,0	532,7	H
160mm	414,4	31,9	531,0	H

Πίνακας 4.28: Ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου μετά από επέμβαση μόνο στα κατακόρυφα στοιχεία του κελύφους για το σενάριο χωρίς μόνωση οροφής.

Πάχος θερμοπρόσοψης	Λειτουργικό κόστος (€)	Κόστος επένδυσης (€)	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)	Μείωση εκπομπών CO ₂ (kg/m ²)	Περίοδος αποπληρωμής (έτη)
Χωρίς μόνωση (υπάρχον κτίριο)	5736,50	-	-	-	-
30mm	4836,30	7507,80	94,3	22,5	8,3
50mm	4687,70	7756,90	109,9	26,2	7,4
60mm	4642,00	7886,80	114,7	27,4	7,2
80mm	4580,50	8129,10	121,1	28,9	7
100mm	4536,80	8283,00	125,7	30,0	6,9
120mm	4505,10	8513,90	129,0	30,8	6,9
140mm	4479,30	8738,00	131,7	31,4	7

²⁶ Στο σύνολο των ενεργειακών αναγκών έχουν προστεθεί και οι ενεργειακές ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης οι οποίες ανέρχονται σε 84,7 kWh/m². Προφανώς οι ανάγκες αυτές αφορούν όλα τα σενάρια.



160mm	4463,40	8968,80	133,4	31,8	7
-------	---------	---------	-------	------	---

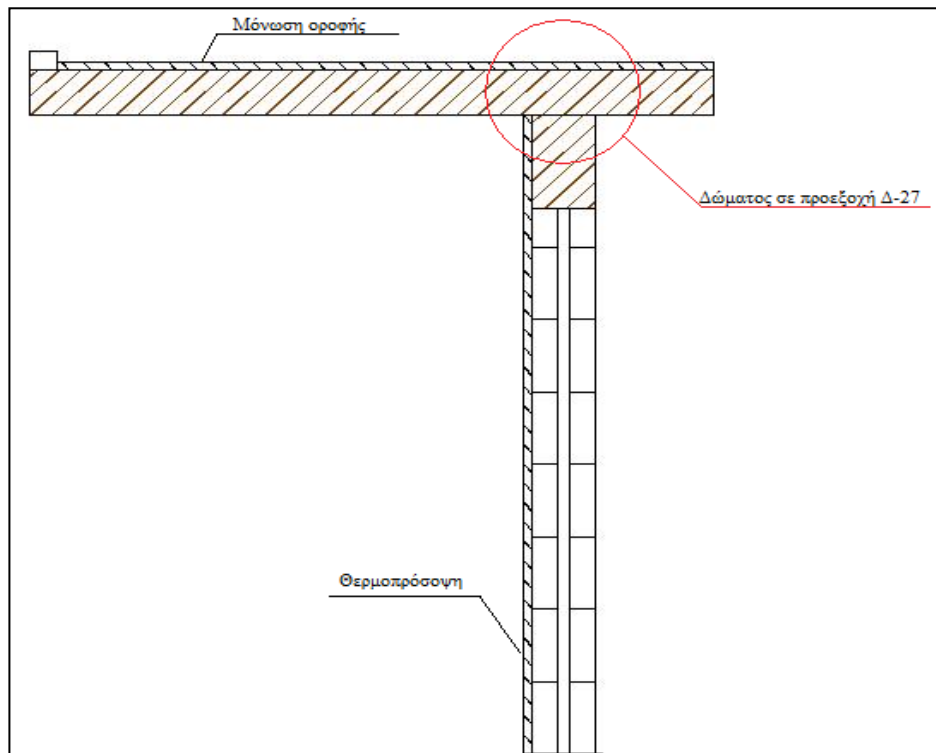
Πίνακας 4.29: Οικονομική ανάλυση της επένδυσης και εξοικονόμηση ρύπων στο σενάριο χωρίς μόνωση οροφής.

4.10.4.2.2^η Περίπτωση: Μόνωση οροφής 50mm

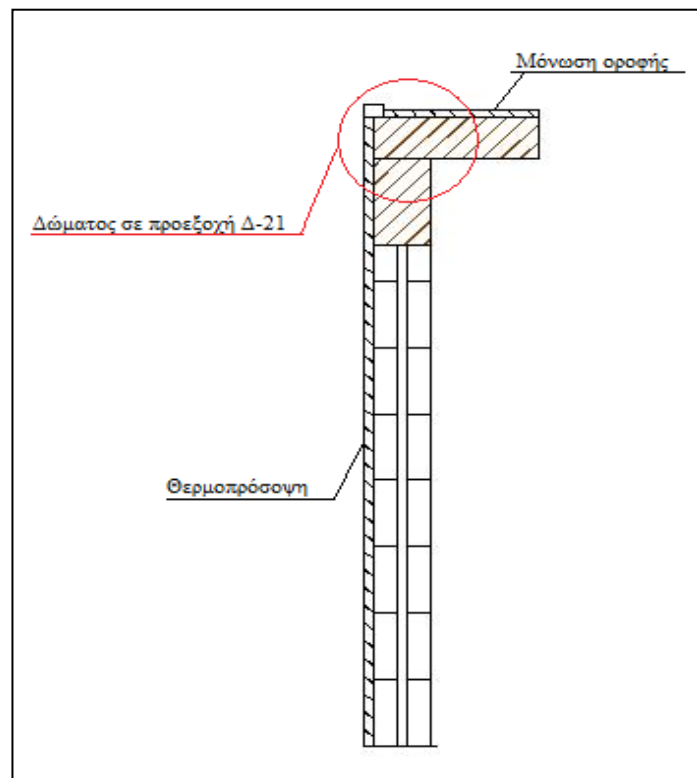
Στο σενάριο αυτό, εκτός από τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία, μονώνουμε και την οροφή με 50 mm θερμομονωτικού υλικού EPS 80. Στο πρόγραμμα συμπληρώνονται οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου που μονώνεται (οριζόντιου και κατακόρυφου) χωρίς να αλλάξουν τα υπόλοιπα μεγέθη. Εφόσον μονώνεται η οροφή εμφανίζονται επιπλέον σημεία θερμογέφυρας στο κέλυφος. Στο ίδιο σενάριο θα εξεταστεί και η περίπτωση να υπάρχει ήδη τέντα ως κινητό σκίαστρο στο δυτικό άνοιγμα του σαλονιού.

Είδος	Συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ [W/mK]	Μήκος l (m)	$\Psi \cdot l$
Εξωτερικής γωνίας (ΕΞΓ-4)	-0,15	9,6	-1,44
Ενώσεων δομικών στοιχείων (ΕΔΣ-1)	0,00	37,92	0
Δώματος σε προεξοχή (Δ-27)	0,87	19,96	17,3652
Δώματος σε προεξοχή (Δ-21)	0,25	19,96	4,99
Περίδεσμοι ενίσχυσης (ΠΡ-1)	0,00	33,31	0
Σε λαμπά κουφώματος (Λ-1)	0,05	20,08	1,004
Άνω/Κατωκάσι κουφώματος (ΑΚ-1)	0,05	19,2	0,96
Σύνολο			22,8792

Πίνακας 4.30: Ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ και το μήκος l της κάθε θερμογέφυρας για μονωμένη οροφή.



Εικόνα 4.6: Θερμογέφυρα που εμφανίζεται στη νότια και στη βόρεια όψη της κατοικίας εξαιτίας του οριζόντιου προβόλου σκιάστρου.



Εικόνα 4.7: Θερμογέφυρα που εμφανίζεται στη δυτική και στην ανατολική όψη της κατοικίας.



Πρέπει να σημειωθεί ότι το πρώτο από τα σενάρια μόνωσης κατακόρυφων δομικών στοιχείων αφορά την διατήρηση αυτών στην προτέρα κατάσταση, δηλαδή χωρίς εξωτερική θερμομόνωση. Για το λόγο αυτό δεν υπεισέρχονται οι θερμογέφυρες στον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών αφού δεν συμβαδίζει με καμία από τις περιπτώσεις των πινάκων 16α έως 16λ όπως ορίζει η 2^η ΤΟΤΕΕ περί υπολογισμού θερμογεφυρών.

Πάχος θερμοπρόσοψης	Ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης(kWh/m ²)	Ενεργειακές ανάγκες ψύξης(kWh/m ²)	Σύνολο ενεργειακών αναγκών (kWh/m ²)	Κατηγορία κτιρίου
Χωρίς μόνωση	194,6	43,3	322,6	Z
30mm	131,3	39,5	255,4	E
50mm	117,3	38,9	240,8	Δ
60mm	113,0	38,7	236,4	Δ
80mm	107,3	38,4	230,4	Δ
100mm	103,2	38,2	226,2	Δ
120mm	100,3	38,1	223,1	Δ
140mm	97,9	38	220,6	Δ
160mm	96,5	37,9	219,1	Δ
Με τέντα στο δυτικό άνοιγμα του σαλονιού				
Χωρίς μόνωση	194,6	37,6	316,9	Z
120mm	100,3	32,3	217,3	Δ
140mm	97,9	32,2	214,9	Δ
160mm	96,5	32,1	213,3	Δ

Πίνακας 4.31: Ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου μετά από επέμβαση μόνο στα κατακόρυφα στοιχεία του κελύφους για το σενάριο 50mm μόνωση οροφής.

Πάχος θερμοπρόσοψης	Λειτουργικό κόστος (€)	Κόστος επένδυσης (€)	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)	Μείωση εκπομπών CO ₂ (kg/m ²)	Περίοδος αποπληρωμής (έτη)
Χωρίς μόνωση	2356,10	5417,40	341,8	79,4	1,6



30mm	1716,90	12925,20	409,0	95,6	3,2
50mm	1576,60	13174,30	423,6	99,1	3,2
60mm	1533,80	13304,10	428,0	100,2	3,2
80mm	1476,30	13546,50	434,0	101,6	3,2
100mm	1435,70	13700,40	438,3	102,6	3,2
120mm	1406,30	13931,20	441,3	103,4	3,2
140mm	1382,40	14155,30	443,8	104,0	3,3
160mm	1367,80	14386,10	445,3	104,4	3,3
Με τέντα στο δυτικό άνοιγμα του σαλονιού					
Χωρίς μόνωση	2314,47	5417,40	342,2	79,5	1,6
120mm	1369,73	13931,20	441,7	103,5	3,2
140mm	1346,68	14155,30	444,2	104,1	3,3
160mm	1331,59	14386,10	445,7	104,5	3,3

Πίνακας 4.32: Οικονομική ανάλυση της επένδυσης και εξοικονόμηση ρύπων στο σενάριο 50mm μόνωση οροφής.

4.10.4.3.3^η Περίπτωση : Μόνωση οροφής 100mm

Κατ' αντιστοιχία με την προηγούμενη περίπτωση, μονώνουμε την οροφή με 100mm θερμομονωτικού υλικού EPS 80. Οι συντελεστές θερμοπερατότητας των κατακόρυφων δομικών στοιχείων, καθώς και τα είδη των θερμογεφυρών είναι τα ίδια με το σενάριο μόνωσης οροφής 50mm.

Πάχος θερμοπρόσοψης	Ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης(kWh/m ²)	Ενεργειακές ανάγκες ψύξης(kWh/m ²)	Σύνολο ενεργειακών αναγκών (kWh/m ²)	Κατηγορία κτιρίου
Χωρίς μόνωση	166,1	43,9	294,7	Ε
30mm	103,8	40,2	228,6	Δ
50mm	90,2	39,5	214,4	Δ
60mm	86,1	39,3	210,1	Δ
80mm	80,6	39,1	204,3	Δ
100mm	76,7	38,9	200,3	Δ
120mm	73,9	38,8	197,4	Δ



140mm	71,7	38,7	195	Δ
160mm	70,3	38,6	193,6	Δ
Με τέντα στο δυτικό άνοιγμα του σαλονιού				
Χωρίς μόνωση	166,1	38,2	289	Ε
120mm	73,9	33	191,6	Δ
140mm	71,7	32,9	189,2	Δ
160mm	70,3	32,8	187,8	Δ

Πίνακας 4.33: Ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου μετά από επέμβαση μόνο στα κατακόρυφα στοιχεία του κελύφους για το σενάριο 100mm μόνωση οροφής.

Πάχος θερμοπρόσοψης	Λειτουργικό κόστος (€)	Κόστος επένδυσης (€)	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)	Μείωση εκπομπών CO ₂ (kg/m ²)	Περίοδος αποπληρωμής (έτη)
Χωρίς μόνωση	2078,20	6214,00	369,7	85,9	1,7
30mm	1448,40	13721,80	435,8	101,9	3,2
50mm	1312,00	13971,00	450	105,3	3,2
60mm	1270,50	14100,80	454,3	106,3	3,2
80mm	1215,20	14343,20	460,1	107,7	3,2
100mm	1176,20	14497,10	464,1	108,7	3,2
120mm	1148,00	14727,90	467,0	109,4	3,2
140mm	1125,20	14952,00	469,4	110,0	3,3
160mm	1111,20	15182,80	470,9	110,4	3,3
Με τέντα στο δυτικό άνοιγμα του σαλονιού					
Χωρίς μόνωση	2106,50	6214,00	354,1	82,3	1,7
120mm	1101,70	14727,90	473,4	109,6	3,2
140mm	1097,36	14952,00	475,2	110,2	3,2
160mm	1089,24	15182,80	477,1	110,5	3,3

Πίνακας 4.34: Οικονομική ανάλυση της επένδυσης και εξοικονόμηση ρύπων στο σενάριο 100mm μόνωση οροφής.



Παρατηρήσεις:

1. Πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ επιδιώκεται η μόνωση όλου του κτιριακού κελύφους, σκοπίμως παραλείπεται η μόνωση του δαπέδου. Η πρακτική αυτή συνηθίζεται σε υφιστάμενα κτίρια διότι η μόνωση του δαπέδου αυξάνει σημαντικά το συνολικό κόστος. Παράλληλα η θερμοκρασιακές διαφορές του εδάφους στη χώρα μας δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές και η επίδρασή του στο σύνολο των θερμικών απωλειών είναι χαμηλότερη σε σχέση με τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία.

2. Η τέντα η οποία εξετάζεται στα ανωτέρω σενάρια και αφορά το δυτικό άνοιγμα του σαλονιού θεωρήθηκε ότι σκιάζει πλήρως την όψη του ανοίγματος. Συνεπώς σύμφωνα με τον πίνακα 3.19 της 1^{ης} ΤΟΤΕΕ και με γωνία β όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.4 ίση με 90° ο συντελεστής σκίασης F_{ov} για περίοδο θέρμανσης και ψύξης είναι αντίστοιχα 0,17 και 0,18.

4.11. Γενικά Συμπεράσματα

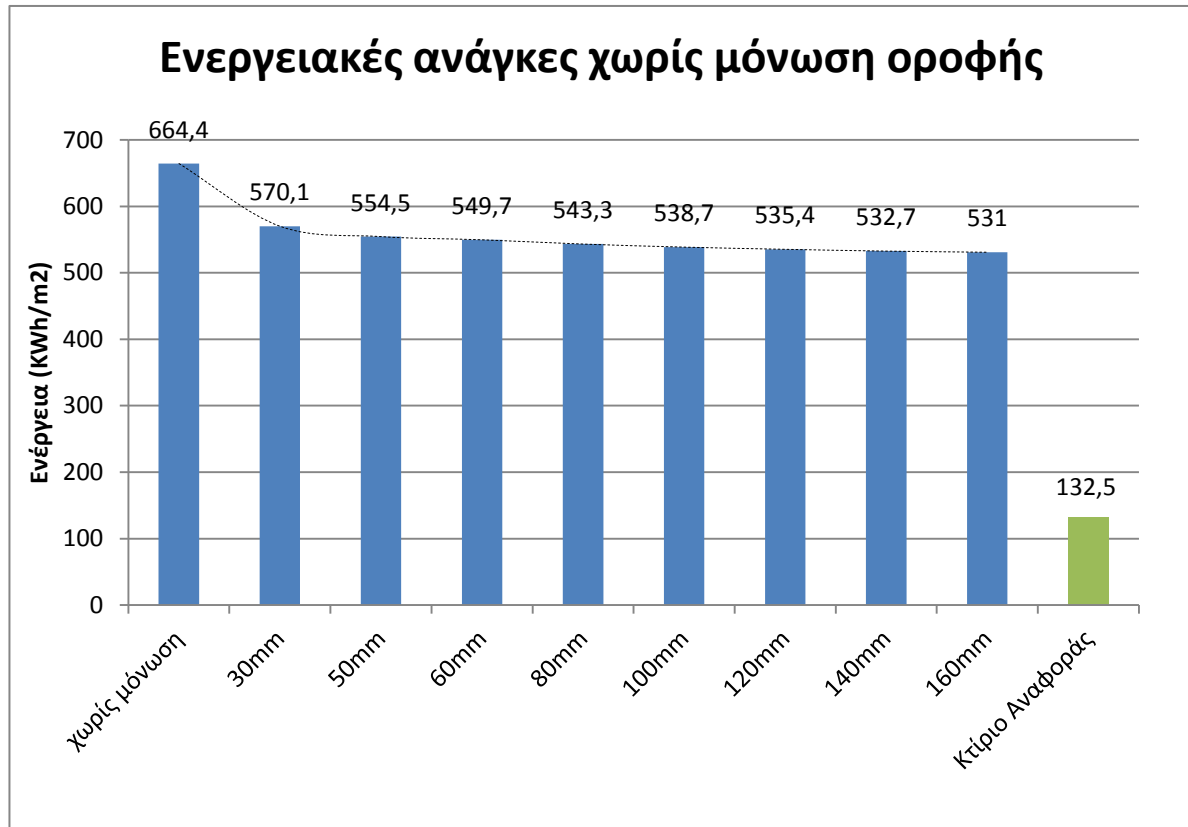
Στα ανωτέρω εδάφια επεξηγήθηκαν τα σενάρια μελέτης μόνωσης της εξωτερικής επιφάνειας του κελύφους κτιρίου κατοικίας. Τα σενάρια εκτελέστηκαν σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Τεχνικού Επιμελητήριου Ελλάδος και τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, μέσω του προγράμματος ΤΕΕ-KENAK, με σκοπό την μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου και τελικά την εκλογή, με βάσει οικονομοτεχνικούς όρους, της βέλτιστης επιλογής. Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν όλα τα χρήσιμα συμπεράσματα που μπορεί να εξαγάγει ο Ενεργειακός Μηχανολόγος Μηχανικός σύμφωνα με τα εργαλεία που του δίνονται.

Προτού προχωρήσουμε στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πρέπει να σημειωθεί η προφανής διαφορά μεταξύ των υπολογιστικών τιμών του προγράμματος και των πραγματικών συνθηκών εντός της οικείας. Η εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης, βασίζεται σε θεωρητικές σχέσεις κάτω από συγκεκριμένες παραδοχές και εκτιμήσεις, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο ανθρώπινος παράγοντας στην πραγματική του διάσταση, ο οποίος διαφοροποιεί στην πράξη την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου ανάλογα με τις δραστηριότητές του. Για κάθε κτίριο ανάλογα με την τελική του χρήση, λαμβάνονται υπόψη συγκεκριμένες παράμετροι που έχουν να κάνουν με τον ανθρώπινο παράγοντα και κυρίως με τα εσωτερικά κέρδη στα οποία συμμετέχει, καθώς επίσης και με τη σωστή χρήση των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων του κτιρίου, όταν η λειτουργία τους δεν είναι αυτοματοποιημένη. Βέβαια ακόμα και τότε είναι αδύνατον να προβλεφθούν ακριβώς οι πραγματικές συνθήκες εντός του κτιρίου.

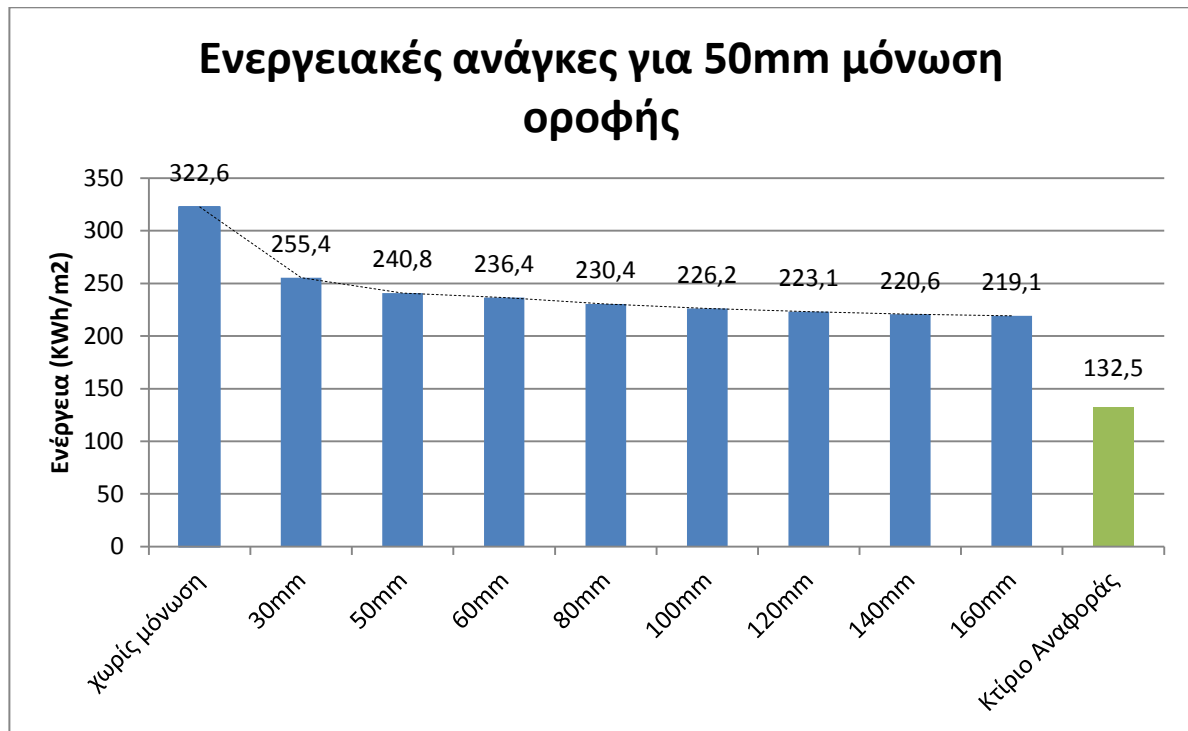


4.11.1. Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου με παράμετρο το πάχος μόνωσης.

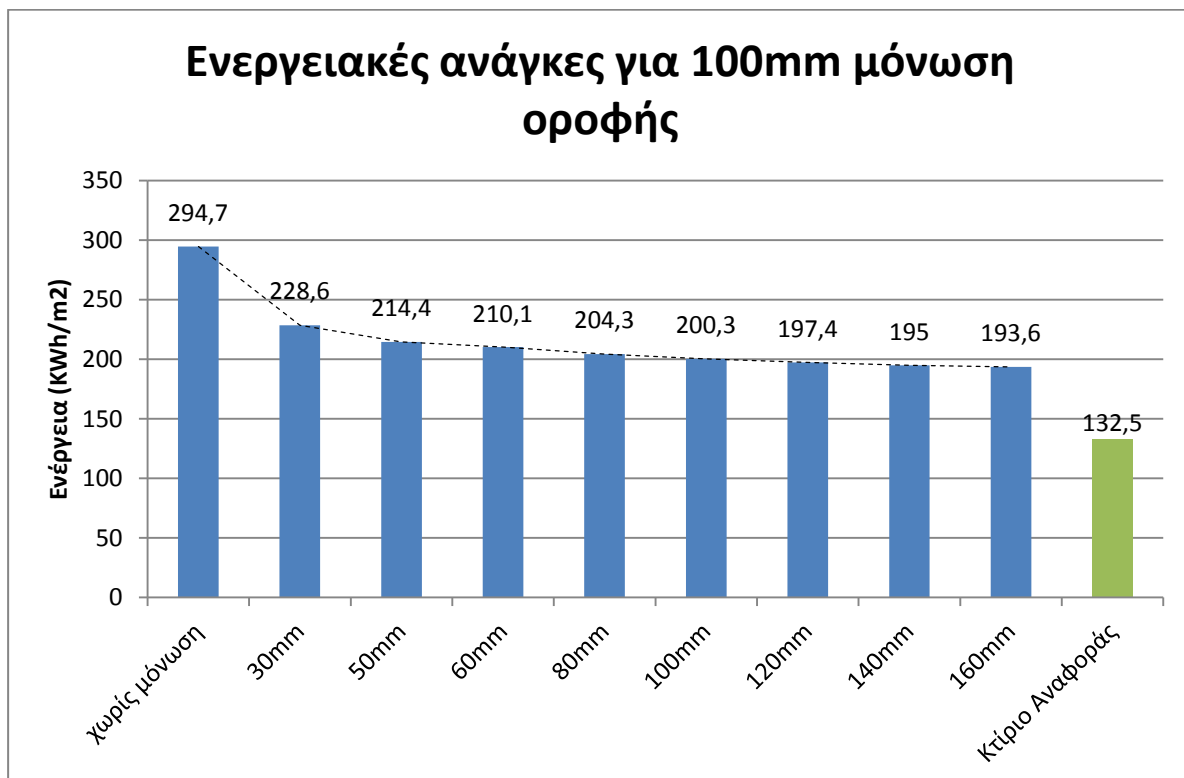
Για την μελέτη των ενεργειακών αναγκών έχουν σχεδιαστεί τα ακόλουθα διαγράμματα για κάθε σενάριο.



Διάγραμμα 4.2: Ενεργειακές ανάγκες για το σενάριο χωρίς μόνωση οροφής και για τα διάφορα πάχη μόνωσης κατακόρυφων δομικών στοιχείων.



Διάγραμμα 4.3: Ενεργειακές ανάγκες για το σενάριο 50mm μόνωση οροφής και για τα διάφορα πάχη μόνωσης κατακόρυφων δομικών στοιχείων.



Διάγραμμα 4.4: Ενεργειακές ανάγκες για το σενάριο 100mm μόνωση οροφής και για τα διάφορα πάχη μόνωσης κατακόρυφων δομικών στοιχείων.



Στο πρώτο διάγραμμα εμφανίζεται το ιδιαίτερος ενεργοβόρο υπάρχον κτίριο με ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης της τάξης των 664,4KWh/m² πρωτογενούς ενέργειας. Η κατάταξη του κτιρίου δεν βελτιώνεται καθόλου με την τοποθέτηση ακόμα και του μεγίστου πάχους θερμοπρόσοψης που κυκλοφορεί στην αγορά από την υπόψη εταιρεία (υπενθυμίζεται ότι η κατάταξη του κτιρίου είναι Η στο σενάριο των 160mm πάχος θερμοπρόσοψης κατακόρυφων δομικών στοιχείων και χωρίς μόνωση οροφής).

Όπως αναμενόταν, η αύξηση του πάχους της μόνωσης συνεπάγεται την ταυτόχρονη μείωση των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Ωστόσο αν εξετάσουμε την κλίση της καμπύλης για κάθε περίπτωση μόνωσης οροφής θα δούμε ότι δεν είναι σταθερή με τη μεγαλύτερη τιμή να εμφανίζεται στην τοποθέτηση του πρώτου, ελαχίστου πάχους θερμοπρόσοψης (κατά 30mm). Από εκεί και έπειτα η αύξηση του πάχους δεν οδηγεί σε αντίστοιχη μείωση των ενεργειακών αναγκών αλλά “συγκλίνει” περίπου σε μία τιμή. Η τιμή αυτή αφορά τις πάγιες ανάγκες για θέρμανση/ψύξη όπως διαμορφώνονται από τα εσωτερικά κέρδη θερμότητας (ένοικοι, μηχανές), την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία από τις διαφανείς επιφάνειες, τη διείσδυση του αέρα περιβάλλοντος και τέλος την αναπόφευκτη συναλλαγή θερμότητας από τις θερμογέφυρες και τα μονωμένα δομικά στοιχεία.

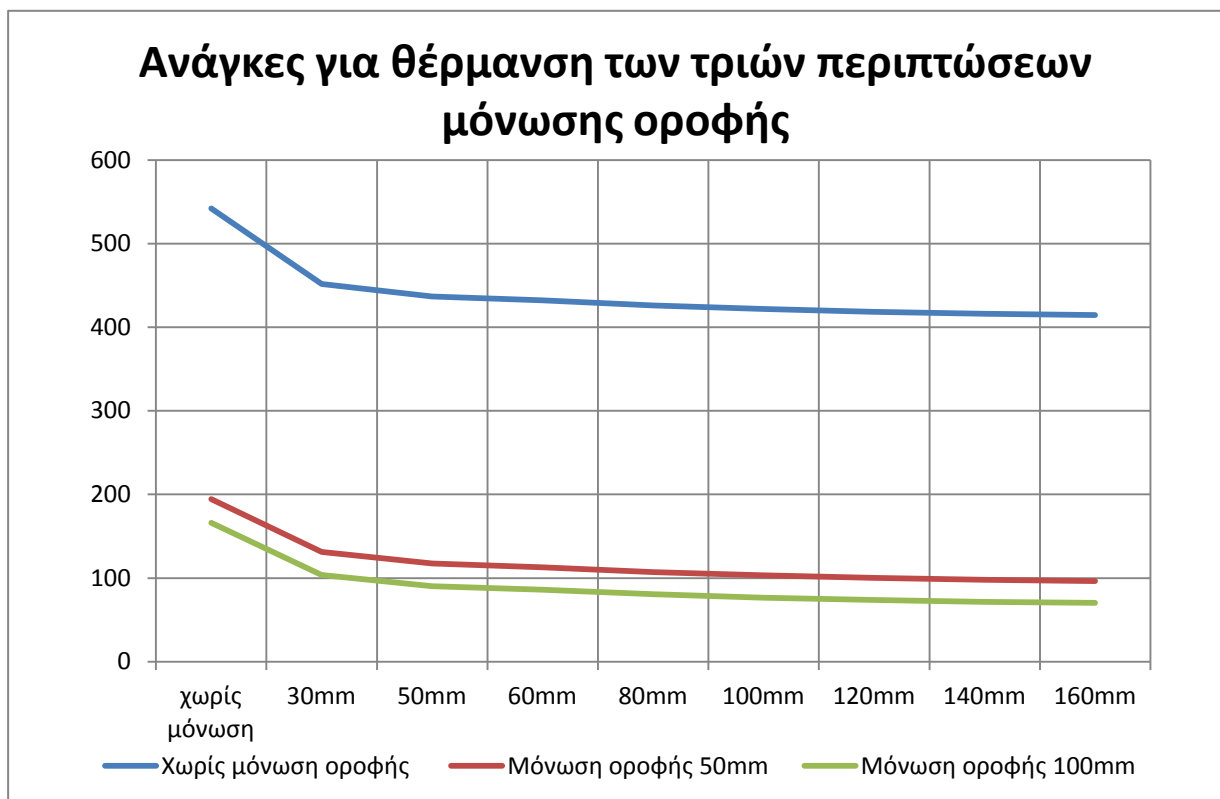
Παράλληλα και οι ίδιες οι καμπύλες δεν ταυτίζονται μεταξύ τους όπως θα περίμενε κανείς. Αρκεί να παρατηρήσουμε τη μείωση των ενεργειακών αναγκών στην τοποθέτηση της ελάχιστης μόνωσης σε κάθε περίπτωση. Για παράδειγμα στην πρώτη περίπτωση χωρίς μόνωση οροφής οι ενεργειακές ανάγκες μειώνονται κατά 94,3 KWh/m² σε σύγκριση με τις υπόλοιπες περιπτώσεις μόνωσης οροφής (50mm και 100mm) οι οποίες μειώνονται κατά 67,2 KWh/m² η πρώτη και κατά 66,1 KWh/m² η δεύτερη. Η ελάττωση αυτή οφείλεται στη μονωμένη οροφή και την εξοικονόμηση ενέργειας που αυτή προσφέρει. Η μείωση λοιπόν των αναγκών ενέργειας δεν ακολουθεί κατά ανάλογο τρόπο την αύξηση του πάχους της μόνωσης.

Συγκρίνοντας επίσης τα διαγράμματα μεταξύ τους, παρατηρούμε ότι η μόνωση της οροφής είναι αυτή που αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα μείωσης των ενεργειακών αναγκών. Το σενάριο μονωμένης οροφής και αμόνωτα κατακόρυφα δομικά στοιχεία έχει καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά απ’ ότι η τοποθέτηση της παχύτερης μόνωσης κατακόρυφων επιφανειών και αμόνωτης πλάκας οροφής. Η πλάκα εξαιτίας του υλικού κατασκευής (οπλισμένο σκυρόδεμα) έχει πολύ υψηλό συντελεστή θερμοπερατότητας $U=3,34$ W/(m²K), σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία και πολύ μεγάλη επιφάνεια. Συνεπώς οι απώλειες θερμότητας είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Σημειώνεται ότι για μόνωση οροφής 50mm

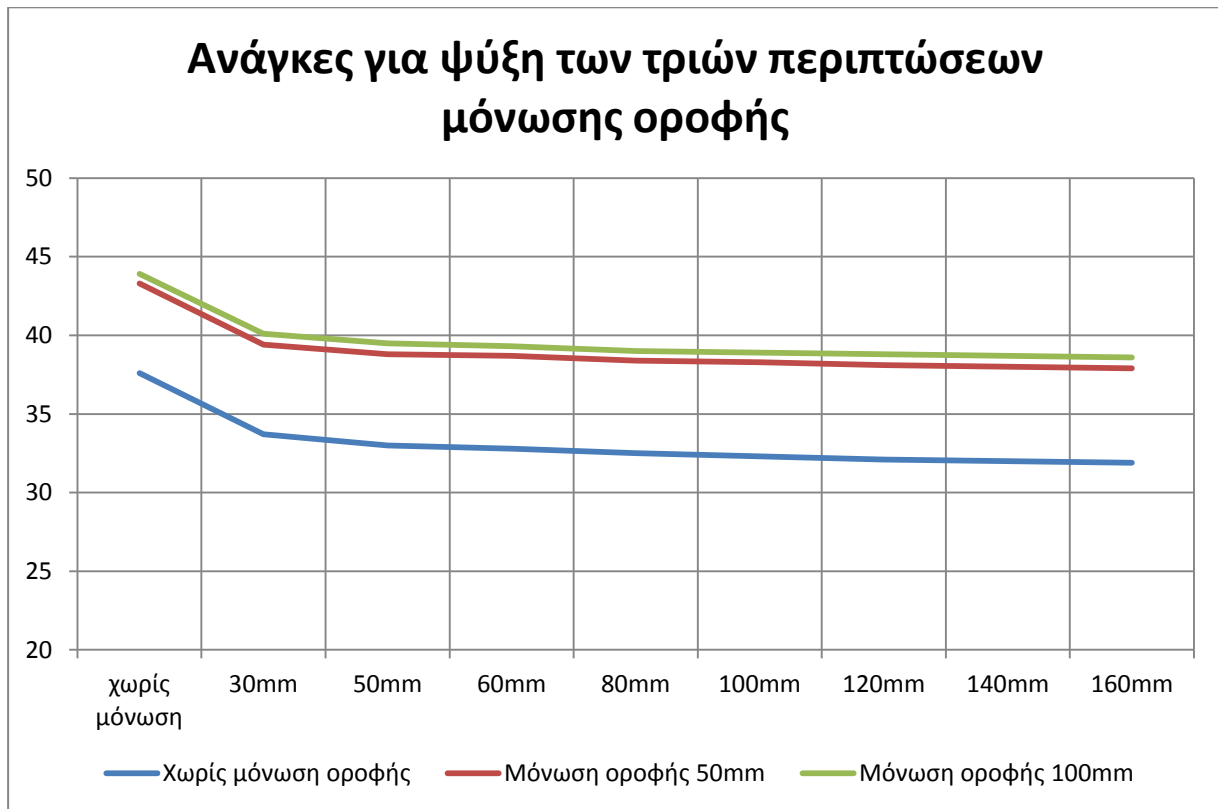


ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι $U=0,53 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ενώ των 100mm είναι $U=0,29 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Τέλος τονίζουμε ότι η πραγματική ενεργειακή κατανάλωση διαφέρει από την θεωρητικά υπολογισμένη καθώς έχει ληφθεί σταθερός βαθμός απόδοσης λέβητα και αντλιών θερμότητας. Στην πραγματικότητα η μείωση ή αύξηση των αναγκών σημαίνει μείωση ή αύξηση του φορτίου λειτουργίας των συστημάτων. Τα τελευταία παύουν πλέον να λειτουργούν στο ονομαστικό τους φορτίο άρα θα αλλάξει και ο βαθμός απόδοσής τους.



Διάγραμμα 4.5: Ετήσιες ανάγκες για θέρμανση των τριών περιπτώσεων μόνωσης οροφής.



Διάγραμμα 4.6: Ετήσιες ανάγκες για ψύξη των τριών περιπτώσεων μόνωσης οροφής.

Καθώς μονώνεται το κτιριακό κέλυφος, η συναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον ελαχιστοποιείται χωρίς φυσικά να μηδενίζεται, αφού πάντα θα υπάρχει ένα ποσό θερμότητας που θα εισέρχεται ή θα εξέρχεται του κελύφους. Μονώνοντας λοιπόν τα δομικά στοιχεία παρατηρείται μείωση των αναγκών για θέρμανση που αφορά του χειμερινούς μήνες. Μάλιστα η μείωση αυτή είναι μεγαλύτερη εφόσον μονώνεται η οροφή όπως προαναφέρθηκε, γεγονός που φαίνεται και από το Διάγραμμα 4.5. Η ιδιαιτερότητα του φαινομένου έγκειται στις ανάγκες για ψύξη.

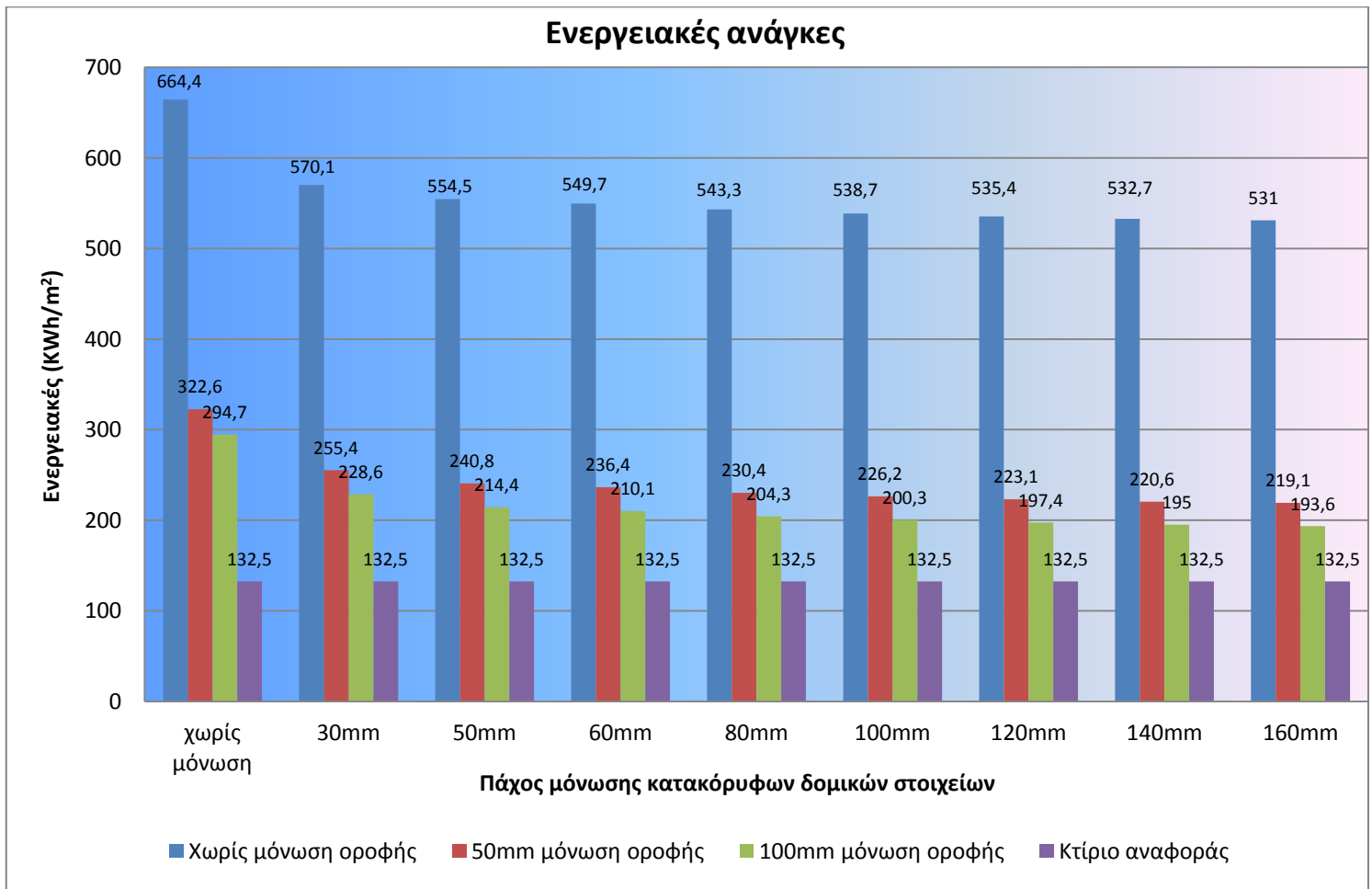
Στο Διάγραμμα 4.6 παρατηρείται ότι για την πρώτη περίπτωση αμόνωτης οροφής έχουμε ανάγκες για ψύξη οι οποίες αντί μειώνονται με την αύξηση της μόνωσης οροφής, αυξάνονται. Το φαινόμενο αυτό είναι απολύτως λογικό αν λάβουμε υπόψη την θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων. Η θερμότητα που συναλλάσσεται τους θερινούς μήνες, αποθηκεύεται στο κέλυφος και αποδίδεται κατά τη διάρκεια της μέρας αυξάνοντας την εσωτερική θερμοκρασία (η επιθυμητή θερμοκρασία θερινής περιόδου σύμφωνα με το ΤΕΕ είναι 26°C). Αντιθέτως τη νύχτα όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος πέφτει, η μόνωση δεν επιτρέπει την φυσική ροή θερμότητας προς το ψυχρότερο περιβάλλον από την εξωτερική επιφάνεια όπως συμβαίνει στο



αμόνωτο κτίριο. Το δομικό στοιχείο συναλλάσσει θερμότητα μόνο με την μία επιφάνεια (την εσωτερική στην περίπτωση της εξωτερικής μόνωσης). Με άλλα λόγια, το κτίριο έχει μετατραπεί σε ένα πολύ καλά μονωμένο κουτί το οποίο αποθηκεύει θερμότητα.

Η οικονομικότερη ενεργειακά επίλυση του προβλήματος αυτού αφορά την “αναπνοή” του κτιρίου μέσα από το φυσικό αερισμό. Εφόσον οι ένοικοι ανοίγουν τα κουφώματα τις νυχτερινές ώρες ο ψυχρός αέρας εισέρχεται στο κτίριο και απορροφά θερμότητα από τα δομικά στοιχεία από την εκτεθειμένη (αμόνωτη) εσωτερική πλευρά. Η διαδικασία αυτή υποβοηθάται και μέσω του λεγόμενου υβριδικού αερισμού με ανεμιστήρες, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2. Βεβαίως, είναι αναγκαίο να εστιάσουμε και στη ίδια τη λειτουργία του υπολογιστικού προγράμματος καθώς ορίζει ότι ένα κτίριο έχει ανάγκη για ψύξη μόλις η θερμοκρασία του ξεπεράσει την επιθυμητή (στην περίπτωσή μας η θερμοκρασία των 26°C). Στην πραγματικότητα κάτι τέτοιο δεν ισχύει αφού ακόμα και στους 27°C η συνθήκες εντός της οικείας δεν απαιτούν τη λειτουργία ψυκτικών μηχανών.

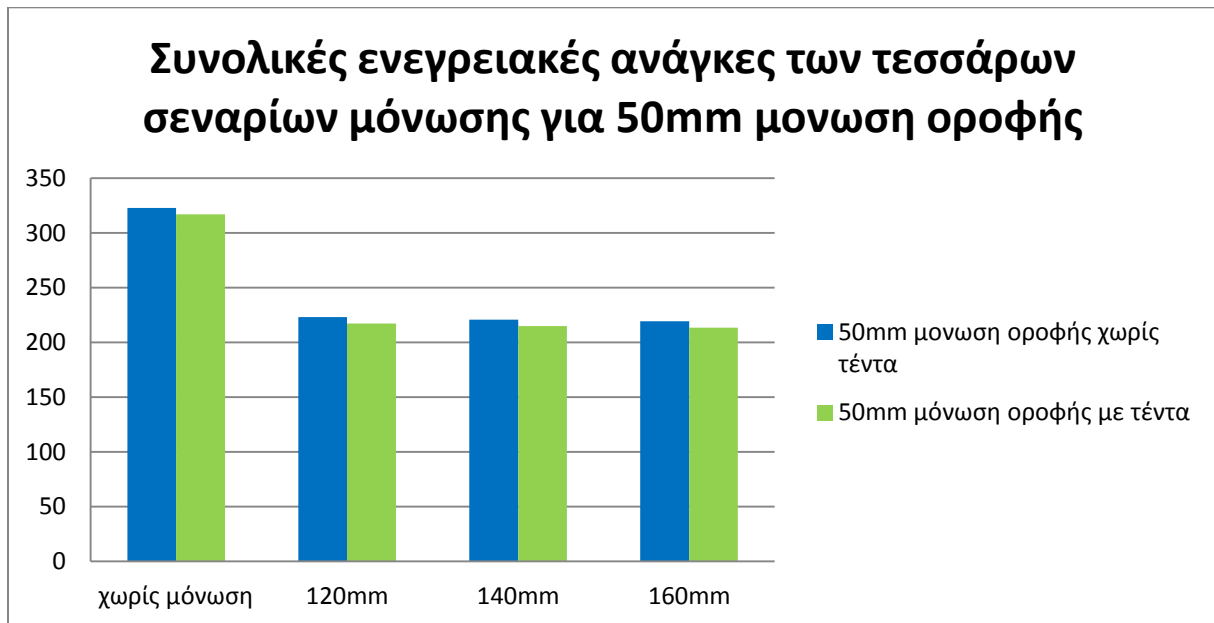
Οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες φαίνονται συγκεντρωτικά στο διάγραμμα που ακολουθεί.



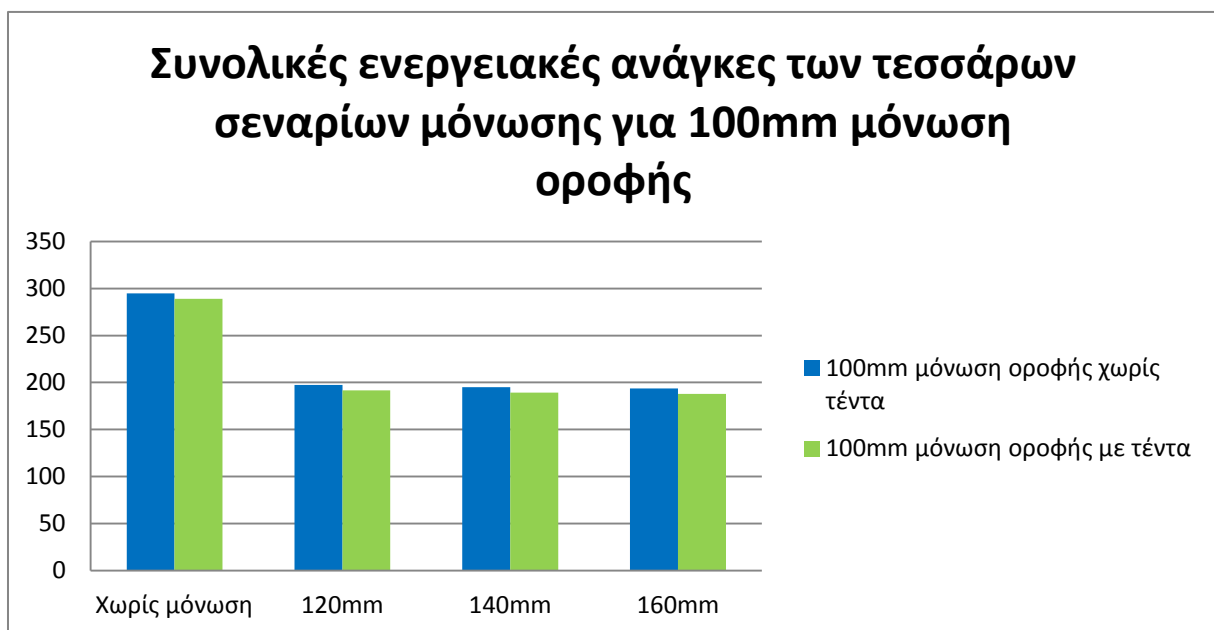
Διάγραμμα 4.7: Συνολικές ενεργειακές ανάγκες κατοικίας για όλα τα σενάρια μόνωσης.

4.11.2. Περίπτωση ύπαρξης τέντας στο δυτικό άνοιγμα του σαλονιού

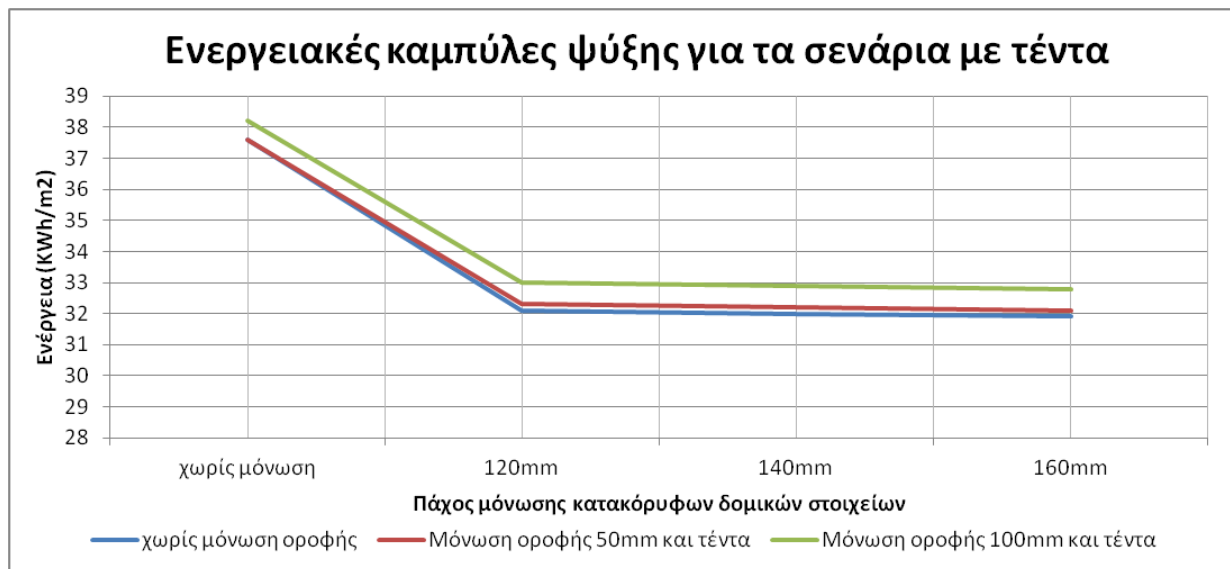
Για την βελτίωση των εσωτερικών συνθηκών χωρίς τη χρήση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού εξετάστηκε η περίπτωση ύπαρξης τέντας στο δυτικό άνοιγμα του σαλονιού. Επιλέχτηκε η τέντα να σκιάζει πλήρως το κούφωμα σχηματίζοντας γωνία $\beta=90^\circ$ με τον υαλοπίνακα και συντελεστή σκίασης το βέλτιστο δυνατό, ίσο με $F_{ov_c}=0,18$ ο οποίος αφορά την θερινή περίοδο. Για την χειμερινή περίοδο θεωρήθηκε ότι η τέντα είναι μαζεμένη, άρα ο συντελεστής σκίασης είναι 1. Εξετάστηκαν μόνο τα βέλτιστα σενάρια μόνωσης δηλαδή πάχη μόνωσης οροφής 50mm και 100mm και πάχη μόνωσης κατακόρυφων δομικών στοιχείων 120mm, 140mm και 160mm συγκρινόμενα με τα σενάρια χωρίς μόνωση τοίχων.



Διάγραμμα 4.8: Συνολικές ενεργειακές ανάγκες για τα σενάρια μόνωσης 0, 120mm, 140mm, και 160mm με μόνωση οροφής 50mm.



Διάγραμμα 4.9: Συνολικές ενεργειακές ανάγκες για τα σενάρια μόνωσης 0, 120mm, 140mm, και 160mm με μόνωση οροφής 100mm



Διάγραμμα 4.10: Ενεργειακή καμπύλη ψύξης για τα σενάρια χωρίς μόνωση οροφής και με μόνωση οροφής (50mm και 100mm) και τέντα.

Από τα διαγράμματα 4.8 και 4.9 παρατηρείται μικρή πτώση των συνολικών ενεργειακών αναγκών της τάξης των 6KWh/m^2 περίπου μεταξύ των σεναρίων με τέντα και χωρίς τέντα. Η πτώση αυτή οφείλεται στη μείωση των αναγκών σε ψύξη όπως φαίνεται και από τους πίνακες 4.31 και 4.33. Ωστόσο με την τέντα προσεγγίζονται ικανοποιητικά οι ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.10. Εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- εφόσον θεωρήθηκε ότι η τέντα δεν σκιάζει το άνοιγμα κατά τους χειμερινούς μήνες, οι ανάγκες σε θέρμανση παραμένουν σταθερές και ίσες με την περίπτωση μη ύπαρξης τέντας.
- επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των ψυκτικών αναγκών των πλήρως μονωμένων κτιρίων με την κάλυψη των ανοιγμάτων από σκίαστρα (σταθερά ή κινητά). Στην προκειμένη περίπτωση με την κάλυψη ενός ανοίγματος (δυτικού), οι ψυκτικές ανάγκες μειώθηκαν κατά 15% προσεγγίζοντας τις ψυκτικές ανάγκες του αμόνωτου κτιρίου. Κατ' αυτό τον τρόπο αποδεικνύεται και η μεγάλη συνεισφορά της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμικό κέρδος ενός κτιρίου.

Ωστόσο και η λειτουργία της τέντας επαφίεται στην κρίση του ενοίκου. Επομένως ο ανθρώπινος παράγοντας έχει και εδώ μεγάλη σημασία καθώς μπορεί πολύ εύκολα να αντιστρέψει τα αποτελέσματα.



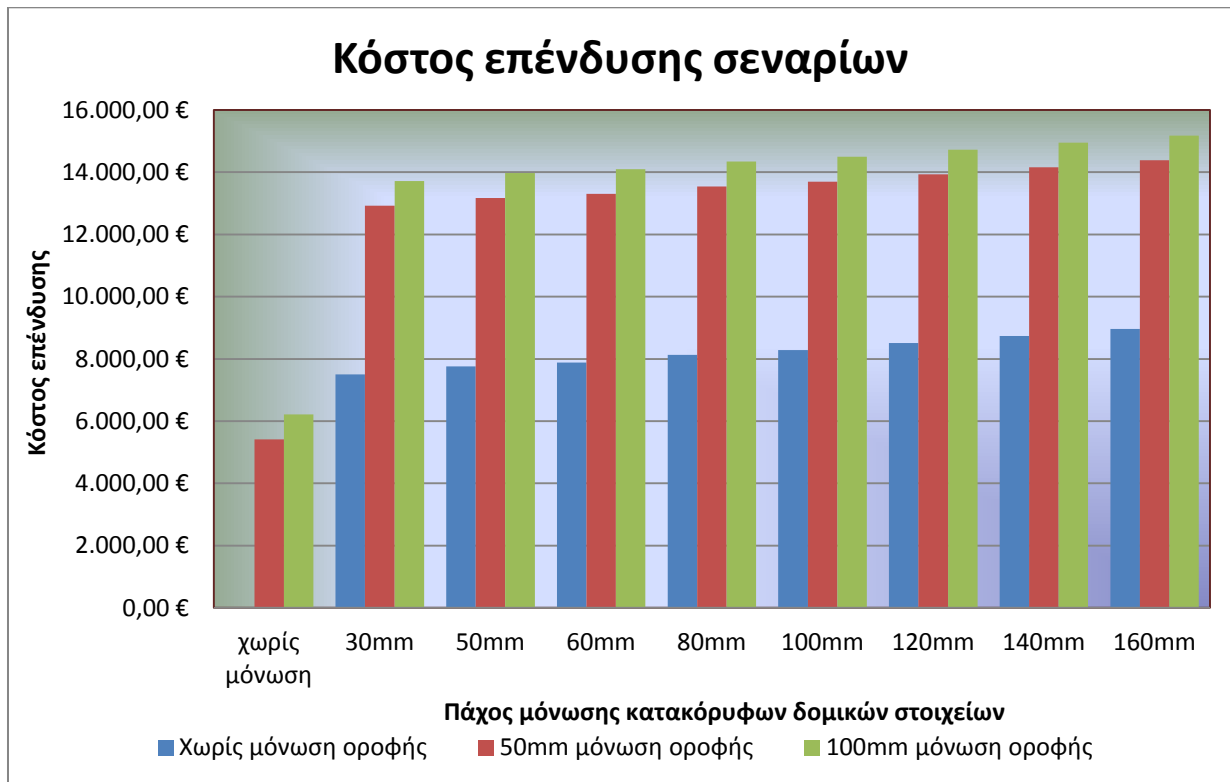
Με την τοποθέτηση της καλύτερης μόνωσης και τη σκίαση των περισσότερων ανοιγμάτων (κυρίως αυτών με μεγάλη επιφάνεια), δεν προέκυψε κτίριο που να φτάσει τις ανάγκες του κτιρίου αναφοράς. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις αυξημένες ανάγκες σε ψύξη αλλά και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης από συμβατικό ενεργοβόρο ηλεκτρικό θερμοσίφωνα. Εφόσον τοποθετηθούν και ηλεκτρομηχανικά συστήματα ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης υψηλής απόδοσης, θα βελτιωθεί περαιτέρω η κατάταξη του κτιρίου ξεπερνώντας ακόμα και το κτίριο αναφορά (αυτό που επιζητείται άλλωστε). Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά το βέλτιστο (ενεργειακά) σενάριο των 160mm πάχος μόνωσης τοίχων 100mm πάχος μόνωσης οροφής και τέντα στο δυτικό άνοιγμα σαλονιού και το κτίριο αναφοράς.

	Ανάγκες θέρμανσης (KWh/m ²)	Ανάγκες ψύξης (KWh/m ²)	Ανάγκες ΖΝΧ (KWh/m ²)	Συνολικές ενεργειακές ανάγκες (KWh/m ²)	Κατηγορία κτιρίου
Βέλτιστο σενάριο	70,3	32,8	84,7	187,8	Δ
Κτίριο αναφοράς	76,9	22,3	33,3	132,4	-

Πίνακας 4.35: Ενεργειακές ανάγκες βέλτιστου σεναρίου και κτιρίου αναφοράς

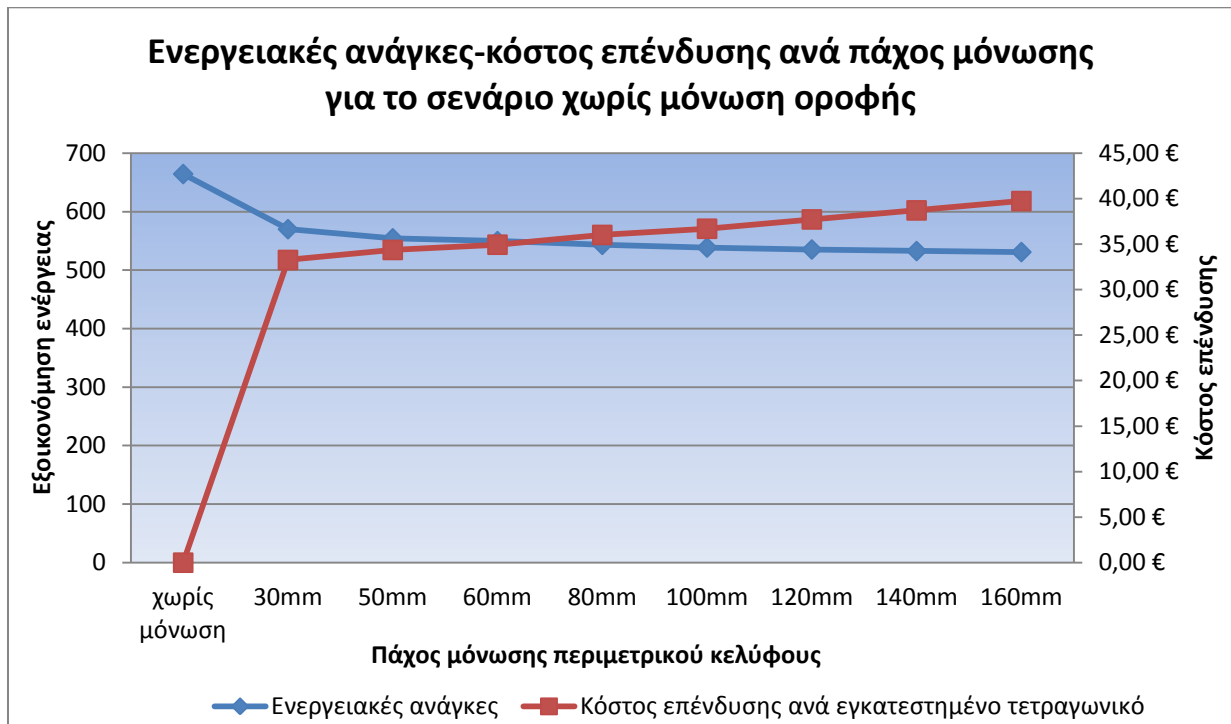
4.12. Οικονομική ανάλυση των σεναρίων

Σύμφωνα με τις τιμές της αγοράς που αφορούν τη θερμομόνωση του κελύφους προκύπτουν τα κόστη της επένδυσης για κάθε σενάριο.

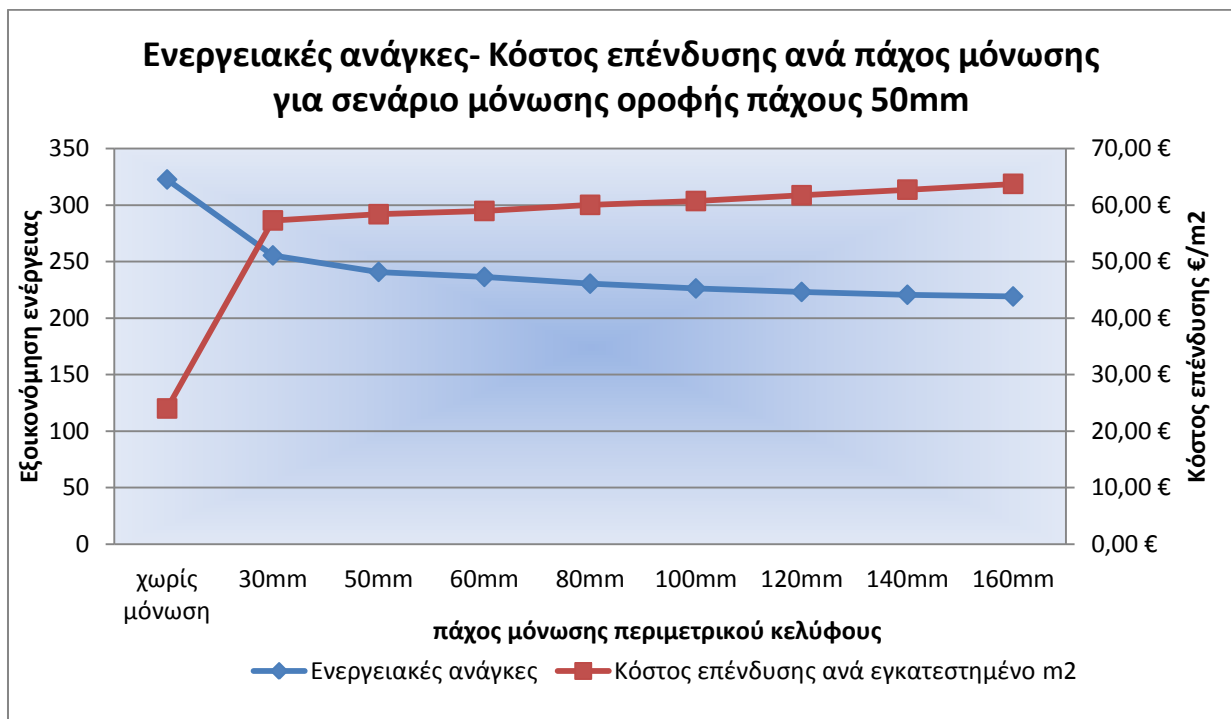


Διάγραμμα 4.11: Κόστος επένδυσης κάθε σεναρίου

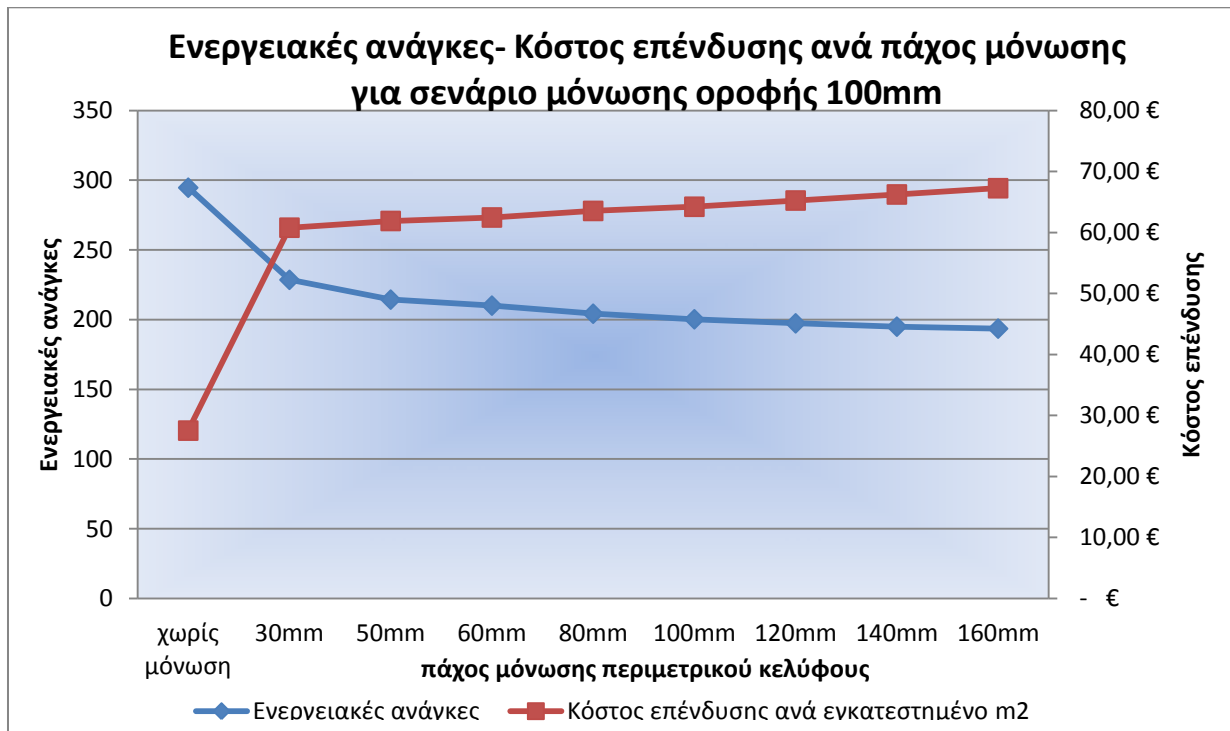
Το κόστος επένδυσης για κάθε σενάριο αυξάνεται με την αύξηση του πάχους της μόνωσης του κελύφους. Συγκριτικά, το κόστος μόνωσης της οροφής κατέχει μεγάλο ποσοστό του συνολικού ποσού της επένδυσης το οποίο ισοδυναμεί με τη διαφορά μεταξύ της περίπτωσης χωρίς μόνωση οροφής και των περιπτώσεων με μόνωση οροφής. Ο λόγος είναι η μεγάλη επιφάνεια της οροφής μαζί με τα σταθερά σκίαστρα στη νότια και βόρεια όψη της κατοικίας συνολικού εμβαδού $129,5\text{m}^2$. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η διακύμανση των ενεργειακών αναγκών και του κόστους κάθε επένδυσης:



Διάγραμμα 4.12: Ενεργειακές ανάγκες και κόστος επένδυσης για την περίπτωση χωρίς μόνωσης οροφής.



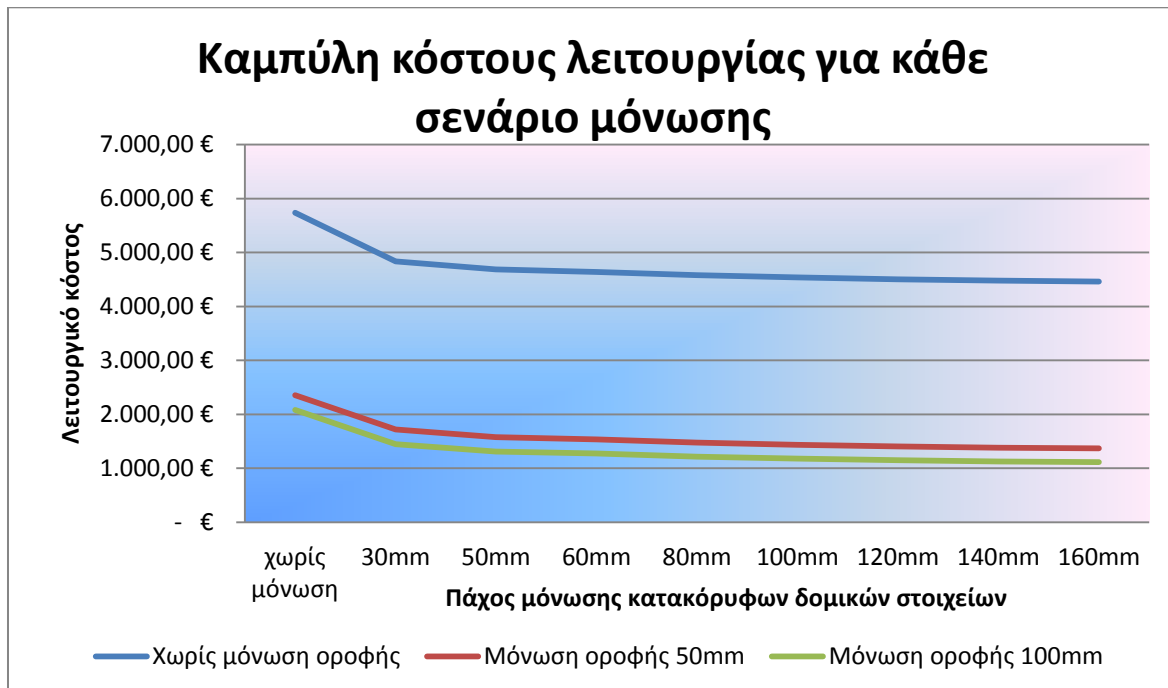
Διάγραμμα 4.13: Ενεργειακές ανάγκες και κόστος επένδυσης για την περίπτωση μόνωσης οροφής 50mm.



Διάγραμμα 4.14: Ενεργειακές ανάγκες και κόστος επένδυσης για την περίπτωση μόνωσης οροφής 100mm.

Η μείωση των ενεργειακών αναγκών συνεπάγεται τη μείωση του λειτουργικού κόστους για κάθε σενάριο. Μάλιστα η μείωση αυτή γίνεται ιδιαίτερα μεγάλη για το βέλτιστο σενάριο²⁷ των 160mm μόνωση κατακόρυφων δομικών στοιχείων και 100mm μόνωση οροφής. Για αυτό το σενάριο το λειτουργικό κόστος ανέρχεται στα 1.111,20€ ετησίως έναντι 5.736,50€ που έχει το υπάρχον αμόνωτο κτίριο. Παρ' όλα αυτά δεν φτάνει τις ανάγκες του κτιρίου αναφοράς το οποίο έχει λειτουργικό κόστος 1.099,90€ ετησίως.

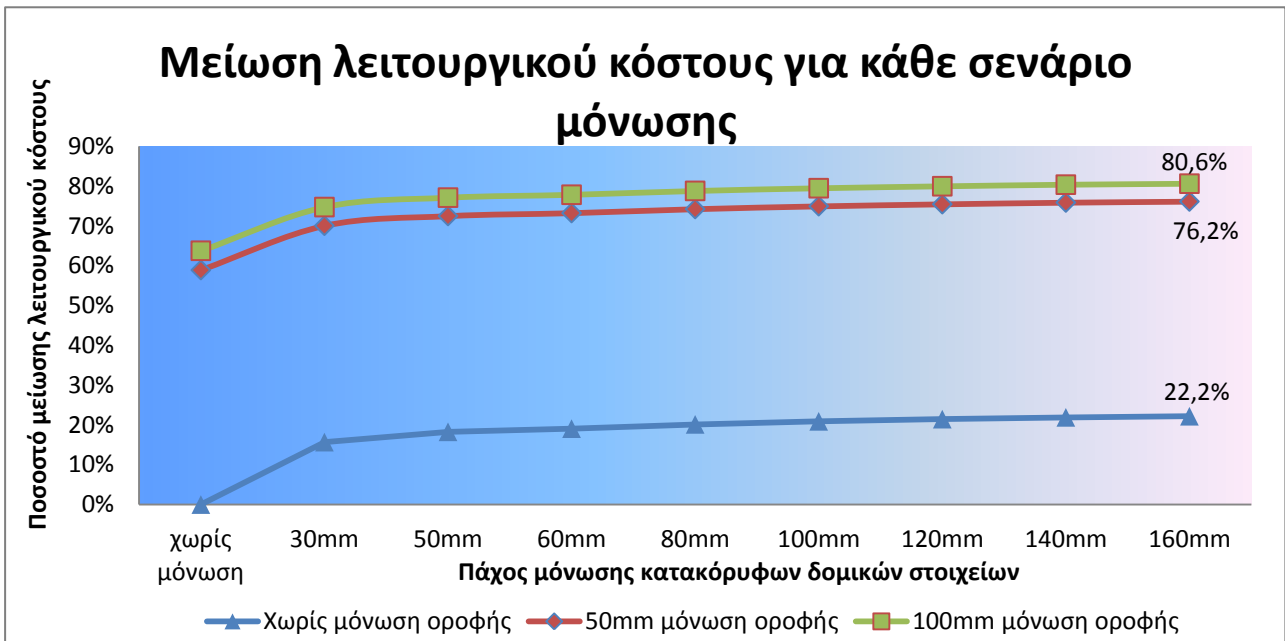
²⁷ Δεν εξετάζονται τα σενάρια με τέντα στο δυτικό άνοιγμα του σαλονιού. Τα σενάρια αυτά μελετήθηκαν μόνο για τις ενεργειακές ανάγκες που παρουσιάζουν.



Διάγραμμα 4.15: Καμπύλη λειτουργικού κόστους για κάθε σενάριο μόνωσης κτιριακού κελύφους.

Στο Διάγραμμα 4.15 παρουσιάζεται η κύμανση του λειτουργικού κόστους ανά σενάριο μόνωσης. Παρατηρούμε την ανάλογη μορφή που έχουν οι καμπύλες με αυτές των ενεργειακών αναγκών. Η μεγαλύτερη μείωση των αναγκών, όπως και του λειτουργικού κόστους είναι στην πρώτη τοποθέτηση της μόνωσης.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται καλύτερα η μείωση του λειτουργικού κόστους ως ποσοστό του αρχικού λειτουργικού κόστους του υπάρχοντος κτιρίου.

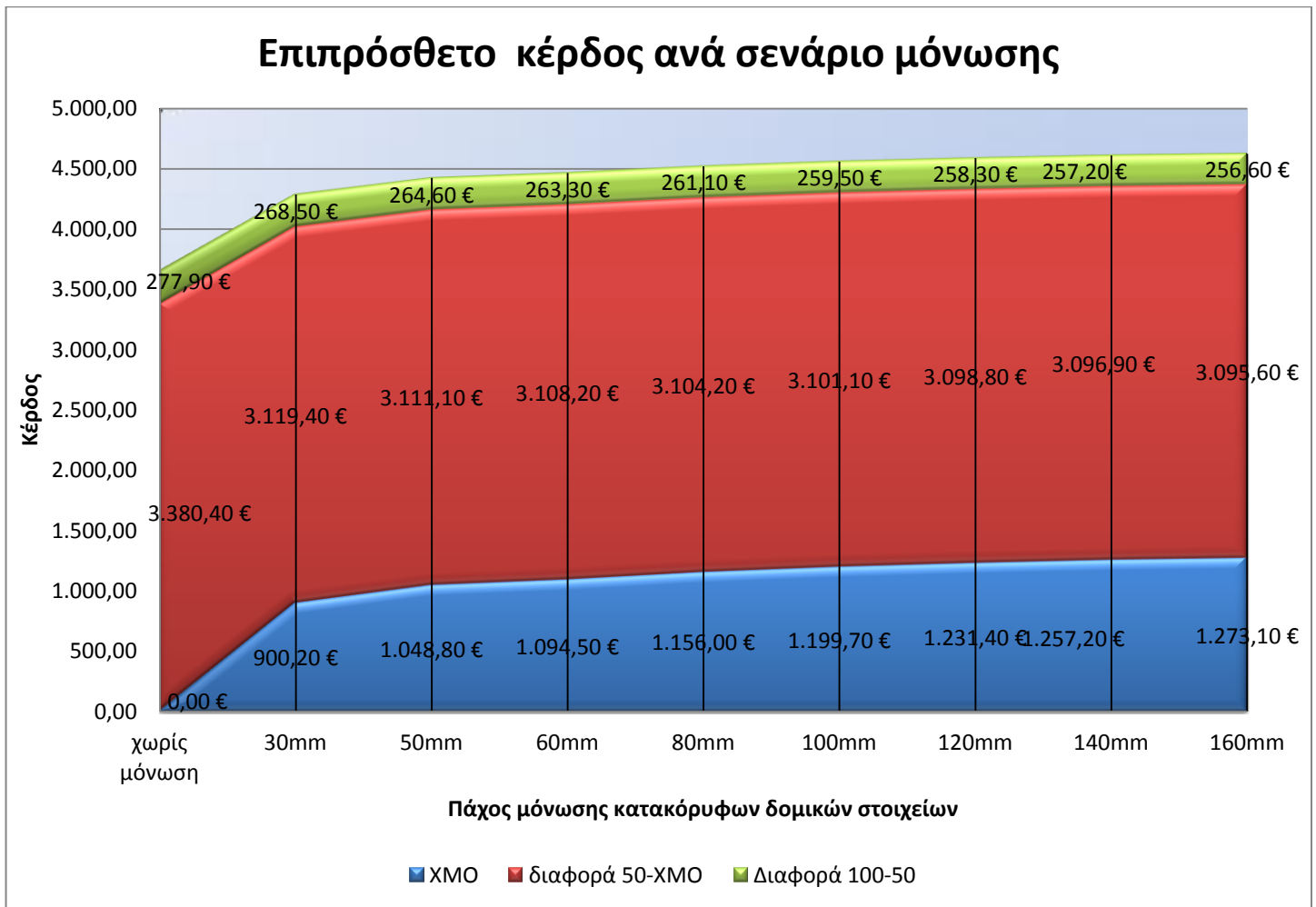


Διάγραμμα 4.16: Ποσοστιαία μείωση του λειτουργικού κόστους του υπάρχοντος κτιρίου

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ο υποψήφιος επενδυτής που θα τοποθετήσει την εν λόγω θερμομόνωση EPS 80 στο κέλυφος μίας υφιστάμενης, πλήρως αμόνωτης κατοικίας, μπορεί να εξοικονομήσει μέχρι και πάνω από το 80% του ποσού που θα ξόδευε για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών σε ετήσια βάση.

Με άλλα λόγια, θα έχει επιπρόσθετο κέρδος²⁸ για κάθε επενδυτικό σενάριο που φαίνεται στο Διάγραμμα 4.17 .

²⁸ Ως κέρδος ορίζεται η διαφορά του αρχικού λειτουργικού κόστους με το νέο λειτουργικό κόστος για την κάλυψη των αναγκών της κατοικίας σε θέρμανση, ψύξης και ζεστό νερό χρήσης.



Διάγραμμα 4.17: Επιπρόσθετο κέρδος ανά σενάριο μόνωσης.

Το ανωτέρω διάγραμμα παρουσιάζει το επιπρόσθετο κέρδος που θα αποκομίσει ο επενδυτής αν αυξήσει το πάχος μόνωσης της οροφής και της τοιχοποιίας. Αποδεικνύεται ότι η τοποθέτηση μόνωσης οροφής έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στη μείωση του λειτουργικού κόστους καθώς με μόνωση 50mm το κέρδος αυξάνεται πάνω από 2000€. Μάλιστα για την περίπτωση χωρίς μόνωση κατακόρυφων δομικών στοιχείων, το ετήσιο κέρδος θα είναι πολύ υψηλό και βέβαια θα αποσβένεται και γρηγορότερα η επένδυση. Όσον αφορά το πάχος μόνωσης της τοιχοποιίας, παρατηρείται ότι στις ακραίες περιπτώσεις κάθε αύξηση του πάχους επιδρά ελάχιστα στο λειτουργικό κόστος το οποίο παραμένει σχεδόν το ίδιο.

4.12.1. Επιλογή της πιο συμφέρουσας λύσης

Για την επιλογή της πιο συμφέρουσας επένδυσης για τη μόνωση του κτιρίου πρέπει να συνυπολογιστεί το κόστος του εναλλακτικού τρόπου θέρμανσης και ψύξης ανάλογα με τις

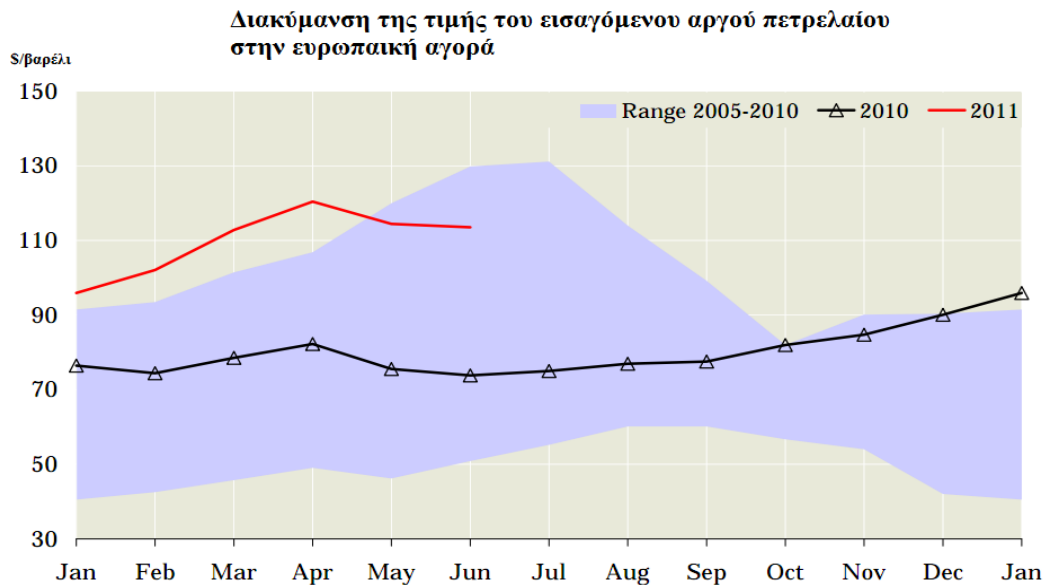


πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, βιομάζα, ηλεκτρικό ρεύμα κλπ). Στην υφιστάμενη κατάσταση έχουμε:

- Για θέρμανση του κτιρίου: λέβητα πετρελαίου
- Για ψύξη του κτιρίου: κλιματιστικές συσκευές
- Για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης: ηλεκτρικός θερμοσίφοντας

Συνεπώς το λειτουργικό κόστος του υφιστάμενου κτιρίου θα προκύψει μεταξύ άλλων και από την εκάστοτε τιμή του ρεύματος και του πετρελαίου θέρμανσης.

Η σωστή πρόβλεψη των χρηματορροών απαιτεί την σωστή επιλογή της τιμής των καυσίμων που χρησιμοποιούνται σε βάθος ετών, όσο ο χρόνος ζωής της επένδυσης. Το λογισμικό ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ περιέχει στη βάση δεδομένων του τις τιμές ηλεκτρικού ρεύματος και πετρελαίου θέρμανσης, χωρίς ωστόσο να είναι προσβάσιμες από τον μηχανικό και κατ' επέκταση να μπορεί να τις επεξεργαστεί ο ίδιος. Επίσης, κυρίως τα τελευταία χρόνια η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης συνεχώς αυξάνεται. Από στοιχεία του Υπουργείου Ανάπτυξης, προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα που αφορά τη διακύμανση της τιμής του αργού πετρελαίου. Η τιμή αυτή επιβαρύνεται και με τη σχετική φορολόγηση. Είναι προφανές λοιπόν ότι το κόστος λειτουργίας ενός συμβατικού λέβητα πετρελαίου για τη θέρμανση ενός οποιουδήποτε κτιρίου θα αυξάνεται σε ετήσια βάση ακολουθώντας την εκάστοτε τιμή του πετρελαίου.



Διάγραμμα 4.18: Διακύμανση της τιμής του αργού πετρελαίου τα τελευταία έξι χρόνια.

Όπως διαπιστώνεται και στο Παράρτημα I, ο τρόπος υπολογισμού των οικονομικών στοιχείων είναι ο πλέον απλός χωρίς να λαμβάνει υπόψη του την χρονική αξία του χρήματος. Πρέπει να σημειώσουμε ότι για την σωστή ιεράρχηση των επενδυτικών προτάσεων οι συνηθείς τρόποι που ακολουθούνται είναι οι εξής:

1. Η μέθοδο 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. Τη μέθοδο 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.

Για την εκλογή της πιο συμφέρουσας επένδυσης δεν θα χρησιμοποιηθούν οι ανωτέρω τρόποι υπολογισμού αλλά θα ακολουθηθεί η μεθοδολογία του προγράμματος TEE-KENAK.

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



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

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

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

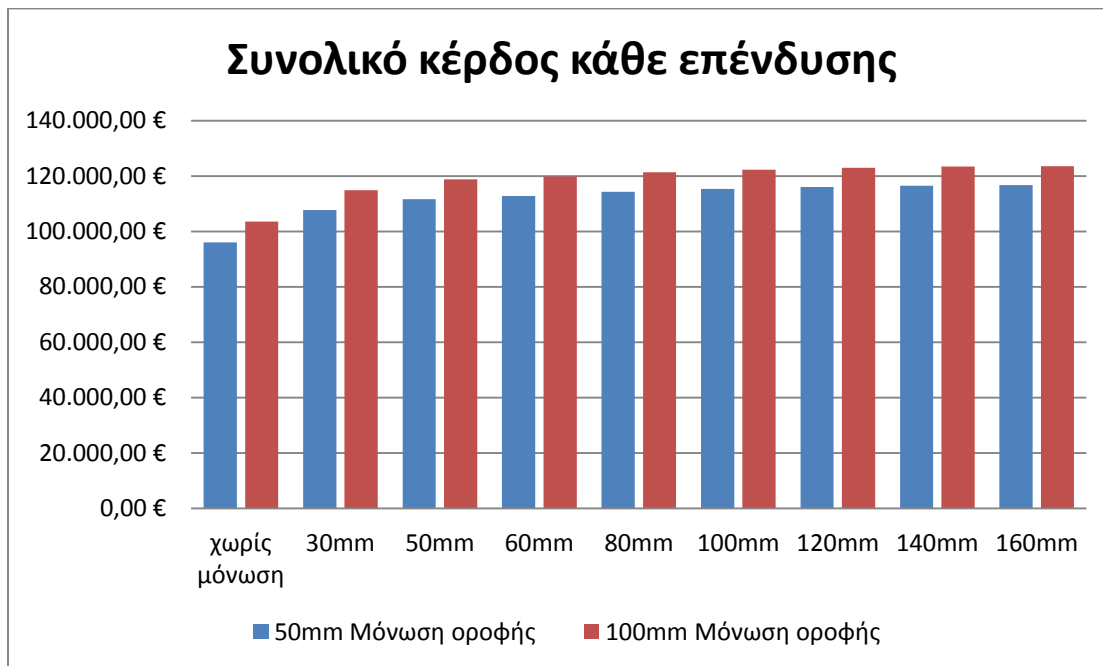
Η διάρκεια ζωής κάθε μόνωσης θεωρείται περίπου 30 χρόνια.²⁹

Χωρίς να λαμβάνεται η αξία του χρήματος, υπολογίζεται το συνολικό κέρδος που αποκομίζει ο επενδυτής μετά το πέρας της τριακονταετίας.

$$\text{Συνολικό κέρδος}_i = (30 - \text{Χρόνος απόσβεσης}_i) \cdot \text{Ετήσιο κέρδος}_i$$

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

²⁹ Ο χρόνος των 30 ετών αφορά μόνον τους υπολογισμούς. Η διογκωμένη πολυστερίνη έχει διαπιστωθεί ότι διατηρεί τις ιδιότητες της ακόμη και μετά από 100 χρόνια. Στη χώρα μας όπου οι κλιματολογικές συνθήκες είναι πιο ήπιες, η διάρκεια ζωής της μόνωσης διαρκεί και πάνω από 30 χρόνια.



Διάγραμμα 4.19: Συνολικό κέρδος κάθε επένδυσης μετά το πέρας 30ετίας.

Από το Διάγραμμα 4.19 προκύπτει ότι πιο συμφέρουσα επένδυση είναι αυτή με το μεγαλύτερο πάχος μόνωσης κελύφους δηλαδή 100mm μόνωση οροφής και 160mm μόνωση κατακόρυφων δομικών στοιχείων. Παρατηρείται επίσης συνεχής αύξηση του κέρδους γεγονός που δικαιολογείται αφού μειώνονται οι απώλειες ενέργειας, ενώ σταθεροποιείται λίγο πάνω από την τιμή των 123.000€ για την περίπτωση 100mm και 116.000€ για την περίπτωση των 50mm μόνωση οροφής, ακολουθώντας τη συμπεριφορά της καμπύλης των ενεργειακών αναγκών.

Ωστόσο αν εξετάσουμε τη συμπεριφορά κάθε επένδυσης σε βάθος χρόνου λιγότερο από 30 έτη τα αποτελέσματα διαφέρουν. Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται τα αθροιστικά καθαρά έσοδα κάθε σεναρίου:



Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι για τα πρώτα οχτώ έτη η πιο συμφέρουσα επένδυση, δηλαδή εκείνη με τα περισσότερα αθροιστικά καθαρά κέρδη, είναι αυτή των 100mm μόνωση οροφής και χωρίς μόνωση κατακόρυφων δομικών στοιχείων με συνολικό κέρδος στο ένατο έτος ίσο με 26.710,70€ και κατηγορία κτηρίου, με βάση την κατανάλωση ενέργειας, Ε . Εν συνέχεια για τα έτη 10-16 πιο συμφέρουσα επένδυση είναι εκείνη με 100mm μόνωση οροφής και 140mm μόνωση κατακόρυφων δομικών στοιχείων με συνολικό κέρδος το δέκατο έκτο έτος 58.828,80 € και κατηγορία κτηρίου Δ , ενώ για τα υπόλοιπα έτη που συμπληρώνουν την τριακονταετία πιο συμφέρουσα είναι η βέλτιστη επιλογή των 100mm μόνωση οροφής και 160mm μόνωση κατακόρυφων επιφανειών και κατηγορία κτιρίου Δ. Η περίπτωση μόνωσης οροφής 50mm και χωρίς μόνωση τοιχοποιίας συμφέρει μόνο το δεύτερο έτος με πολύ μικρό περιθώριο κέρδους έναντι την περίπτωσης 100mm.



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/perivallontiki/teacher5_2.html.
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. —. *Οδηγία: Σχέδιο δράσης για την ενεργειακή απόδοση: Αξιοποίηση του δυναμικού.* 2006. 545 Τελικό .
5. —. *Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και 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. —. 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 κατευθύνσεις.* 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.* [Ηλεκτρονικό] 29 11 2007. [Παραπομπή: 16 04 2011.] http://www.ydravlikos.gr/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=369:-----l-r--sol-energy-hellas&catid=24&Itemid=30.



15. **Μ., Σταθακόπουλος.** Κτίριο από το μέλλον. *ECOTEC*. [Ηλεκτρονικό] 17 12 2007. [Παραπομπή: 16 04 2011.] <http://www.ecotec.gr/article.php?ID=183>.
16. **OdysOnline.** Το πρώτο ενεργειακά αυτόνομο κτίριο στην Ελλάδα. [Ηλεκτρονικό] 28 10 2007. [Παραπομπή: 16 04 2011.] <http://odysonline.gr/>.
17. **Μανωλάς Χ.** Τα Νέα. *Σπίτι χωρίς ΔΕΗ - πετρέλαιο*. [Ηλεκτρονικό] 02 10 2007. [Παραπομπή: 16 04 2011.] <http://www.tanea.gr/default.asp?pid=2&ct=1&artid=38185>.
18. **Παπαδόπουλος Α. Αν καθηγητής.** *Προδιαγραφές ιδιοτήτων θερμομονωτικών υλικών*. Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη : Υπουργείο Ανάπτυξης, 2004.
19. **Πατενιώτης Π.** *Το EPS σήμερα στην βιομηχανία των κατασκευών*. Αθήνα : 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, 2008.
20. **Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.** *Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων*. Αθήνα : Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Ιούλιος 2010.
21. **ΕΡΓΑΤΕΞ ΑΕ.** ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗ-ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ. [Ηλεκτρονικό] http://www.ergatex.gr/bibliography/exilasmenh_diogkvmenh_polysterinh.pdf.
22. **Καραμάνος Α.Κ., Γιαμά Ε., Χαδιαράκου Σ., Παπαδόπουλος Α.Μ.** *Συγκριτική αξιολόγηση πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης*. Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, ΑΠΘ. Αθήνα : Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, 2005.
23. **Ν Γιαννακόπουλος Α.Ε.** ΥΑΛΟΒΑΜΒΑΚΑΣ. [Ηλεκτρονικό] <http://www.ngiannakopoulos.gr/pdf/ialobambakas.pdf>.
24. **L.Y. HESS.** *Insulation Guide For Buildings and Industrial Processes*. New Jersey USA : NOYES DATA CORPORATION, 1979.
25. **Παπαδόπουλος Α. Αν καθηγητής.** *Αναλυτική περιγραφή ιδιοτήτων προϊόντων πετροβάμβακα*. Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη : Υπουργείο Ανάπτυξης, 2004.
26. **Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.** *Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης*. Αθήνα : Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Ιούλιος 2010.
27. **Ανδρουτσόπουλος, Αντρέας.** *ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ*. Τμήμα Κτιρίων, Διεύθυνση Ενεργειακής Αποδοτικότητας. Αθήνα : ΚΑΠΕ, 2010.
28. **ΚΑΠΕ.** ΘΕΡΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΕΛΥΦΟΥΣ. [Ηλεκτρονικό] http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_thermomonomosi.htm.
29. **Γ.Κ. ΡΙΖΑΚΟΣ Α.Β.Ε.Τ.Ε.** ΘΕΡΜΟΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΔΑΠΕΔΟΥ. [Ηλεκτρονικό] <http://www.rizakos.gr/gr/endiameses.asp>.



30. **US DEPARTMENT OF ENERGY.** TYPES OF WINDOW FRAMES. [Ηλεκτρονικό]
http://www.energysavers.gov/your_home/windows_doors_skylights/index.cfm/mytopic=13380.
31. Low-e Coatings. [Ηλεκτρονικό] <http://www.efficientwindows.org/lowe.cfm>.
32. **ΚΑΠΕ.** **ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ.** [Ηλεκτρονικό]
http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos_yalopinakes.htm.
33. **ΑΝΑΣΤΑΣΕΛΟΣ, ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Δρ Μηχανολόγος Μηχανικός.** **ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΕΣ.** s.l. : Σύλλογος Μηχανολόγων-Ηλεκτρολόγων Βορείου Ελλάδος.
34. **ΚΑΠΕ.** **ΣΚΙΑΣΗ** **ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ.** [Ηλεκτρονικό]
http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_hlioprostasia.htm.
35. **Αργυράκη, Μαρία.** *Βιοκλιματικός σχεδιασμός, ηλιακά παθητικά συστήματα και άλλες τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα.* Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ. Αθήνα : ΕΜΠ, 2008. Διπλωματική εργασία.
36. **Σκουτάρης, Μιχάλης.** *Προσομοίωση θερμικής συμπεριφοράς κτιρίου με φυτεμένη οροφή κατά τη θερινή περίοδο.* Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ. Αθήνα : ΕΜΠ, Ιούλιος 2009. Διπλωματική εργασία.
37. **Ελλάδος, Τεχνικό Επιμελητήριο.** *Ενεργειακή ταυτότητα κτιρίων - Ενεργειακές επιθεωρήσεις.* Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας. Θεσσαλονίκη : Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, 2009.
38. **ΚΑΠΕ.** **Φυσικός** **Αερισμός.** [Ηλεκτρονικό]
http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_fysikos_aerismos.htm.
39. Ορισμός Συστήματος Αερισμού. [Ηλεκτρονικό] <http://www.wisegeek.com/what-is-a-ventilation-system.htm>.
40. **PASSIVE HOUSE INSTITUTE.** Αερισμός Παθητικών Κτιρίων II. [Ηλεκτρονικό]
http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/passive_house_ventilation.html.
41. —. Αερισμός Παθητικών Κτιρίων I. [Ηλεκτρονικό]
http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/ventilation_06.html.
42. **Thermal Energy System Specialists.** TRNSYS 17 manual: Getting started. 2010.
43. **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.
44. **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.
45. **Van der Veken, Jeroen, και συν.** *Comparison of Steady-State and Dynamic Building Energy Simulation Programs.* s.l. : ASHRAE, 2004.
46. **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.



47. **Neto, Alberto Hernandez και Fiorelli, Flavio Augusto Sanzovo.** *Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption.*
48. **Crawley, Drury B., και συν.** *EnergyPlus: Energy Simulation.* [Journal Online] s.l. : ASHRAE, 2000. vol. 42 no.4.
49. **Crawley, Drury B., και συν.** *EnergyPlus:New Capabilities in a whole-building.* [Seventh International IBPSA Conference] Rio de Janeiro, Brazil : Simulation Building, 2001.
50. **Trcka, Marija, Wetter, Michael και Hensen, Jan.** *Comparison of co-simulation approaches for building and HVAC/R system simulation.* s.l. : Bilduing Simulation, 2007.
51. **Chantrasrisalai, Chanvit, και συν.** *Experimental Validation of the EnergyPlus Low-Temperature Radiant Simulation.* 2000.
52. **ASHRAE.** *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs.* Atlanta : ANSI/ASHRAE, 2004.
53. **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.
54. **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.
55. **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.
56. **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.
57. **Δρούτσα, Καλλιόπη.** *Λογισμικό TEE-KENAK Επιθεώρηση & Πιστοποίηση Κτιρίων, Ενεργειακή Μελέτη, Επιθεώρηση λέβητα/ εγκατάστασης θέρμανσης/ εγκατάστασης κλιματισμού.* Αθήνα : Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας, 2010.
58. **Αραβαντινός, Δημήτριος.** ASHRAE. *Ελληνικό Παράρτημα.* [Ηλεκτρονικό] 16 Φεβρουάριος 2011. <http://www.ashrae.gr/seminaria.html>.
59. **Wittchen, Kim B.** *ENRtool –BesTest Results.* Danish Building Research Institute. Denmark : EPA-NR, 2007. σ. 22.
60. **Wingfield, Jez, και συν.** *Whole House Heat Loss Test Method (Coheating).* Leeds : Leeds Metropolitan University, 2010.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Τα αποτελέσματα για την περίοδο αποπληρωμής και τα υπόλοιπα στοιχεία της οικονομοτεχνικής ανάλυσης υπολογίζονται αποκλειστικά από το πρόγραμμα ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ. Συγκεκριμένα υπολογίζονται:

- Λειτουργικό κόστος(€): Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του κτιρίου ανάλογα με τις πηγές ενέργειας που έχουν εισαχθεί.
- Αρχικό κόστος επένδυσης (€): Το συνολικό κόστος του συγκεκριμένου σεναρίου.
- Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²): Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας του συγκεκριμένου σεναρίου σε σύγκριση με το υπάρχον κτίριο.

Από τον πίνακα της ενεργειακής κατάταξης αφαιρούμε από το σύνολο κατανάλωσης ενέργειας του υπάρχον κτιρίου το αντίστοιχο σύνολο του σεναρίου.

$$\text{Σύνολο}_{\text{υπάρχον κτίριο}} - \text{Σύνολο}_{\text{Σενάριο 1}} = \text{Εξοικονόμηση πρωτογενούς εν.}$$

- Ποσοστό εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας (%): Το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας του συγκεκριμένου σεναρίου σε σύγκριση με το υπάρχον κτίριο.

$$\text{Ποσοστό εξοικονόμησης} = \frac{\text{Εξοικονόμηση πρωτογενούς εν}}{\text{Σύνολο}_{\text{υπάρχον κτίριο}}}$$

- Τιμή εξοικονομούμενης ενέργειας (€/kWh): Εμφανίζεται ο λόγος του αρχικού κόστους επένδυσης προς την ετήσια εξοικονομούμενη πρωτογενή ενέργεια.

$$\text{Τιμή εξοικονομούμενης ενέργειας} = \frac{\text{Αρχικό κόστος επένδυσης}}{\text{Εξοικονόμηση ενέργειας} \cdot \text{εμβαδόν κτιρίου}}$$

- Ετήσια μείωση εκπομπών CO₂ (kg/m²): Εμφανίζεται η ετήσια μείωση εκπομπών CO₂ του συγκεκριμένου σεναρίου σε σύγκριση με το υπάρχον κτίριο.

$$\text{Ετήσια μείωση} = \text{Εκπομπές}_{\text{υπάρχον κτίριο}} - \text{Εκπομπές}_{\text{Σενάριο 1}}$$



- Περίοδος αποπληρωμής (έτη): Εμφανίζεται η απλή περίοδος αποπληρωμής για το συγκεκριμένο σενάριο.

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

Ο τρόπος υπολογισμού των ανωτέρω μεγεθών δεν έχει κοινοποιηθεί. Οι εξισώσεις προέκυψαν από ίδια έρευνα στο διαδίκτυο και έχουν επαληθευτεί στην πράξη. Προκειμένου να υπάρχουν αποτελέσματα θα πρέπει απαραίτητα να έχουν δοθεί σενάρια και επιπροσθέτως να έχει προσδιοριστεί το κόστος ανά μονάδα των προτεινόμενων επεμβάσεων.

