



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ **AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS**

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΜΣ: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

*Διερεύνηση ενεργειακής κατανάλωσης τυπικής Ελληνικής
κατοικίας.*

*Δυνατότητες μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω
εξοικονόμησης ενέργειας και ενσωμάτωσης τεχνολογιών ΑΠΕ*



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

Αθήνα 2013

*«Διερεύνηση ενεργειακής κατανάλωσης τυπικής Ελληνικής κατοικίας.
Δυνατότητες μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω εξοικονόμησης ενέργειας και
ενσωμάτωσης τεχνολογιών ΑΠΕ.»*

Εξεταστική επιτροπή

- **Γεώργιος Παπαδάκης, Καθηγητής (επιβλέπων)**
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής
- **Γρηγόριος Λαμπρινός, Καθηγητής (μέλος)**
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής
- **Κωνσταντίνος Αρβανίτης, Αναπληρωτής Καθηγητής (μέλος)**
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής

Ευχαριστίες

Η διπλωματική αυτή εργασία μου έδωσε την δυνατότητα να διευρύνω τους ορίζοντες μου πέραν του κλάδου των Α.Π.Ε. και να γνωρίσω πως γίνεται μια μελέτη εξοικονόμησης ενέργειας με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Παπαδάκη Γεώργιο, υπεύθυνο καθηγητή για τη διπλωματική μου εργασία, για την πολύτιμη βοήθειά του κατά την συγγραφή αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Ξεχωριστά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Κυριακαράκο Γεώργιο, διδάκτωρ του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την πολύτιμη βοήθειά του στην εκμάθηση του TRNSYS στο πειραματικό κομμάτι της έρευνας, καθώς και στην καθοδήγησή του σε πολλά σημεία της εργασίας μου.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και στους φίλους μου για την ψυχική υποστήριξη που μου προσφέρανε καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής και συγγραφής της διπλωματικής μου μελέτης.

Τέλος δεν θα μπορούσα να παραλείψω το υπόλοιπο επιστημονικό προσωπικό του Γ.Π.Α για την άψογη συνεργασία και την βοήθεια τους.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται η μελέτη και η ανάλυση τριών περιπτώσεων κατοικίας στην περιοχή της Αθήνας. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, τα παθητικά ηλιακά συστήματα και οι διάφορες τεχνικές τους. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα διαχωρίζονται σε συστήματα άμεσου, έμμεσου και απομονωμένου κέρδους. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στη θερμική άνεση. Σε ένα κτίριο πρέπει να εξασφαλίζεται ένα άνετο εσωτερικό κλίμα πλήρως προσαρμοσμένο στις ανάγκες των χρηστών του. Κάθε κτίριο πρέπει να μελετάται και να κατασκευάζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να καταναλώνεται η λιγότερη κατά το δυνατόν ενέργεια με παροχή όμως της απαιτούμενης θερμικής άνεσης, κατάλληλης για τη χρήση του χώρου. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στα εναλλακτικά μοντέλα θερμικής άνεσης και την χρήση αυτών σε υφιστάμενα κτίρια. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα διάφορα δομικά υλικά, στις μηχανικές και φυσικές ιδιότητές τους καθώς και στην ολοένα ανάπτυξη των υαλοπινάκων με σκοπό την μείωση των απωλειών. Η επιλογή του σωστού υαλοπίνακα για ένα συγκεκριμένο σπίτι απαιτεί την κατανόηση ορισμένων βασικών εννοιών, όπως η ροή της ενεργειας από τα παράθυρα. Οι κυριότερες μορφές ροής της ενέργειας από τα παράθυρα είναι :

1. Οι θερμικές απώλειες με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία,
2. Ηλιακά κέρδη με μορφή ακτινοβολίας και
3. Ροή του αέρα μέσω του αερισμού και της φυσικής διεύδυσης του αέρα.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στην θερμομόνωση. Αναλύεται η λειτουργία και η σημαντικότητά της, τα διάφορα είδη θερμομόνωσης και τέλος οι ιδιότητες των διαφόρων θερμομονωτικών υλικών. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέχρι σήμερα διαθέσιμες μέθοδοι θέρμανσης και ψύξης. Μερικά από τα συστήματα θέρμανσης που περιγράφονται στην παρούσα εργασία είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, η βιομάζα κ.α. Σε επόμενα κεφάλαια αναλύονται οι ηλεκτρικές συσκευές ως προς την ενεργειακή κλάση που ανήκουν και το θεσμικό πλαίσιο για ένα ενεργειακό κτίριο. Τέλος, γίνεται η διερεύνηση των περιπτώσεων των τριών κατοικιών χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS. Με το πρόγραμμα αυτό υπολογίζεται η απαιτούμενη θερμότητα για την θέρμανση και ψύξη κατά την διάρκεια όλου του χρόνου. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Homer για τον υπολογισμό των ηλεκτρικών φορτίων για το χειμώνα και το καλοκαίρι με μία απόκλιση 15-20%. Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά υλικά κατασκευής, διαφορετικοί τρόποι θέρμανσης και ψύξης, καθώς και διαφορετικές οικιακές συσκευές με σκοπό την ανάλυση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας σε 25 και 50 χρόνια.

Η πρώτη περίπτωση αφορά την πιο ενεργοβόρα ως προς την κατανάλωση της ενέργειας. Η εξωτερική τοιχοποιία αποτελείται από σοβά και τούβλο, χρησιμοποιώντας θερμομονωτικό υλικό πετροβάμβακα, η θέρμανση πραγματοποιείται με πετρέλαιο και η ψύξη με ανεμιστήρα οροφής. Η εξωτερική τοιχοποιία για την δεύτερη περίπτωση αποτελείται από σοβά και ορθομπλόκ, που λειτουργεί και ως θερμομονωτικό υλικό, η θέρμανση πραγματοποιείται με καυστήρα πέλλετς και η ψύξη με συμβατικό κλιματιστικό. Αντίστοιχα, η εξωτερική τοιχοποιία της τρίτης περίπτωσης αποτελείται από σοβά και τούβλο, με εξηλασμένη πολυστερίνη ως θερμομονωτικό υλικό και η θέρμανση και η ψύξη γίνεται με κλιματιστικό όπου χρησιμοποιεί την λειτουργία Inverter.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται μελέτη για την αυτονόμηση της τρίτης περίπτωσης με τη χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ. Για την απαιτούμενη αυτονόμηση θεωρήθηκε ότι όλες οι ανάγκες καλύπτονται από τη χρήση των φωτοβολταϊκών με τη χρήση συσσωρευτών. Συγκρίνοντας τις τιμές προκύπτει ότι η αυτονόμηση σε βάθος 25-ετίας κοστίζει περίπου 424% περισσότερο. Άρα στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν ενδείκνυται η αυτονόμηση με τη χρήση των φωτοβολταϊκών. Θα μπορούσε να γίνει εκμετάλλευση του ρεύματος που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά με τη σύνδεση αυτών στο δίκτυο και την μεταπώληση του ρεύματος στη ΔΕΗ, με σκοπό τη μείωση/μηδενισμό του λειτουργικού κόστους. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται μελέτη η οποία δεν αποτελεί σκοπό της παρούσας εργασίας.

Abstract

This study talks about the analysis of three cases in Athens. The first chapter discusses the bioclimatic design, passive solar systems and techniques. Passive solar systems are divided into direct, indirect and isolated gain systems. The second chapter deals with the thermal comfort. In a building must ensure a comfortable indoor climate fully adapted to the needs of its users. Every building must be studied and constructed in such a way that it consumes less energy as possible but by providing the required thermal comfort, suitable for space use. This chapter, refers to alternative models of thermal comfort and the use of existing buildings. Third chapter refers to different construction materials, mechanical and physical properties and the development of increasingly glazing to reduce losses. Choosing the right pane for a particular home requires an understanding of some basic concepts, such as the flow of energy through the windows.

The fourth chapter deals insulation. Analyzed the function and significance of the various types of insulation and finally the properties of various insulating materials. In the fifth chapter, the currently available methods of heating and cooling. Some heating systems described in this paper are oil, natural gas, biomass, etc. In subsequent chapters analyze the electrical appliances for energy class belonging and institutional framework for an energy building. Finally, is investigating the cases of the three residences using the simulation program TRNSYS. With this program calculate the heat required for heating and cooling during the whole year. Then Homer program was used to calculate electrical loads for the winter and summer with a deviation of 15-20%. In any case, using different materials, different ways of heating and cooling, and different appliances to analyze the cost structure and function at 25 and 50 years.

The first case involves the most intensive in energy consumption. The exterior walls consist of brick and plaster, using rockwool insulation material, with oil as heating method and for cooling ceiling fan. The exterior walls of the second case consists of plaster and orthoblock, which also serves as thermal insulation materials, heating pellets made with burner and cooling with conventional air conditioner. Similarly, the outer walls of the third case is made of plaster and brick, with polystyrene as insulation material and the heating and cooling is an air conditioner which uses the function Inverter.

Then performed to study the dissociation of the third case with the use of photovoltaic panels. For the required autonomy all the needs are met by the use of photovoltaic using batteries. The results of this case is that the autonomy not appropriate the use of photovoltaics. Could exploit the power produced by photovoltaic connecting them to the network. In this case study is required which is not the purpose of this study.

Συντομογραφίες	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΣΚΟΠΟΣ.....	11
Κεφάλαιο 1: Βιοκλιματικός σχεδιασμός.....	12
1.1 Γενικά.....	12
1.2 Παθητικά ηλιακά συστήματα και τεχνικές.....	15
1.3 Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης.....	15
1.3.1 Συστήματα άμεσου κέρδους.....	15
1.3.2 Συστήματα έμμεσου κέρδους.....	17
1.3.3 Συστήματα απομονωμένου κέρδους.....	23
Κεφάλαιο 2: Θερμική άνεση.....	24
2.1 Γενικά.....	24
2.2 Ανάπτυξη της θερμικής άνεσης.....	24
2.3 Κριτήρια για την θερμική άνεση.....	25
2.3.1 Ταχύτητα του αέρα.....	28
2.4 Εναλλακτικά μοντέλα θερμικής άνεσης.....	29
2.4.1 Μοντέλο λειτουργικής θερμοκρασίας.....	31
2.4.2 Προσαρμοζόμενα μοντέλα.....	31
2.5 Υφιστάμενα κτήρια.....	32
2.5.1 Δημόσια κτίρια.....	34
Κεφάλαιο 3. Δομικά υλικά.....	36
3.1 Δομικοί λίθοι.....	36
3.1.1 Φυσικές ιδιότητες.....	36
3.1.2 Μηχανικές ιδιότητες.....	37
3.2 Αργιλικά ή κεραμικά δομικά στοιχεία.....	37
3.3 Οπτόπλινθοι ή τούβλα.....	38
3.3.1 Ελαφρά ή πορώδη τούβλα.....	38
3.3.2 Πυρίμαχα τούβλα ή πυρότουβλα.....	39

3.3.3 Τούβλα με θερμομονωτικό υλικό.....	39
3.3.4 Διαστάσεις τούβλων.....	40
3.3.5 Ιδιότητες τούβλων	43
3.3.3 Έλεγχος τούβλων	43
3.4 Τοιχοποιία	44
3.5 Υαλοπίνακες.....	45
3.5.1 Μετάδοση θερμότητας.....	45
3.5.2 Θερμική εκπομπή (emissivity) υαλοπινάκων.....	46
3.5.3 Συντελεστής θερμοπερατότητας U-Value.....	47
3.5.4 Θερμοκρασία υαλοστασίων	48
3.5.5 Υαλοστάσια ελέγχου ηλιακής ακτινοβολίας.....	49
3.5.6 Απορροφητικοί υαλοπίνακες	49
3.5.7 Επιστρωμένοι υαλοπίνακες (coated).....	50
Κεφάλαιο 4. Θερμομόνωση	52
4.1 Γενικά.....	52
4.2 Λειτουργία θερμομόνωσης	53
4.3 Περιπτώσεις θερμομόνωσης κτιρίου.....	57
4.3.1 Εξωτερική θερμομόνωση τοιχοποιίας - δοκών - υποστυλωμάτων.....	57
4.3.2 Εσωτερική θερμομόνωση τοιχοποιίας, δοκών-υποστυλωμάτων	58
4.3.3 Θερμομόνωση πυρήνα εξωτερικής τοιχοποιίας.....	59
4.3.4 Τοιχοποιία από θερμομονωτικά τούβλα	59
4.3.5 Θερμομόνωση Κουφωμάτων.....	59
4.4 Ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών	60
4.4.1 Φυσικές ιδιότητες.....	60
4.4.2 Περιβαλλοντικές ιδιότητες.....	62
4.4.3 Κριτήρια επιλογής θερμομονωτικών υλικών	62
4.5 Υλικά θερμομόνωσης.....	63
4.5.1 Πετροβάμβακας.....	63

4.5.2 Διογκωμένη πολυστερίνη.....	65
4.5.3 Εξηλασμένη πολυστερίνη.....	67
4.5.3 Υαλοβάμβακας.....	69
4.5.4 Αφρός πολυουρεθάνης.....	71
4.5.6 Λοιπά θερμομονωτικά υλικά	72
Κεφάλαιο 5. Θέρμανση και ψύξη	79
5.1 Γενικά.....	79
5.2 Συμβατικά συστήματα θέρμανσης – ψύξης.....	80
5.2.1 Υποσύστημα εκπομπής.....	81
5.2.2 Υποσύστημα διανομής	82
5.2.3 Υποσύστημα παραγωγής.....	82
5.3 Λέβητες - Καυστήρες	83
5.4 Συστήματα θέρμανσης.....	84
5.4.1 Πετρέλαιο.....	84
5.4.2 Φυσικό αέριο	86
5.4.3 Βιομάζα	86
5.5 Αντλίες θερμότητας	93
5.6 Συστήματα ψύξης	94
5.6.1 Συστήματα κλιματισμού.....	95
5.6.2 Εναλλακτικά συστήματα ψύξης – κλιματισμού	95
5.7 Φυσικός αερισμός κτιρίων.....	96
5.7.1 Νυχτερινός Αερισμός	96
5.8 Ανεμιστήρες Οροφής	97
Κεφάλαιο 6. Θεσμικό πλαίσιο	98
6.1 Ελάχιστες απαιτήσεις και προδιαγραφές κτηρίων	98
6.2 Κτήριο αναφοράς.....	99
6.3 Ενεργειακή μελέτη.....	100
6.4 Ενεργειακή επιθεώρηση κτηρίων	101

6.5 Μεθοδολογία υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτηρίου.....	102
6.5.1. Ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση / ψύξη	103
6.6 Ηλεκτρικές συσκευές.....	104
Κεφάλαιο 7. Εισαγωγή- Σκοπός.....	107
Κεφάλαιο 7.1 Υλικά- Μέθοδοι.....	108
7.1.1 Πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS	108
7.1.2 Στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio)	108
7.1.3 Συνδέσεις.....	109
7.1.4 Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων.	110
7.1.5 Οπτικό περιβάλλον κτιρίου	111
7.1.6 Κεντρικό παράθυρο του προγράμματος TRNBuild	115
Κεφάλαιο 8. Διερεύνηση κόστους κατασκευής και λειτουργίας κατοικιών	117
8.1 Γενική περιγραφή κατοικιών.....	117
8.2 Περίπτωση Πρώτη.....	118
8.2.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων	119
8.3 Περίπτωση Δεύτερη.....	125
8.3.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων	126
8.4 Περίπτωση Τρίτη	132
8.4.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων	134
8.4.2 Αυτονόμηση με χρήση φωτοβολταϊκών.....	140
8.4.3 Περιγραφή του υπό μελέτη συστήματος.....	141
8.5 Οικονομική ανάλυση.....	143
Κεφάλαιο 9. Συμπεράσματα	147
Βιβλιογραφία	149
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	152

Συντομογραφίες

- Π.Η.Σ. : Παθητικά Ηλιακά Συστήματα
- HVAC: heating, ventilation, and air conditioning
- NV: Natural ventilation
- IR: Infrated radiation (Υπέρυθρη ακτινοβολία)
- PP: Πλαστικοί σωλήνες από πολυπροπυλένιο
- PE: Πλαστικοί σωλήνες από πολυαιθυλένιο
- ΣΗΘ: Συμπαραγωγή θερμότητας ηλεκτρισμού
- Κ.Ε.ν.Α.Κ.: Κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτηρίων
- Μ.Ε.Α.: Μελέτη ενεργειακής απόδοσης
- Π.Ε.Α.: Πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης
- TRNSYS: Transient System Simulation program

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΣΚΟΠΟΣ

Ένα συμβατικό κτίριο αναφέρεται ως ένα κτίριο το οποίο είναι χτισμένο σύμφωνα με μία συνήθη πρακτική μιας συγκεκριμένης χώρας σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Τα κτίρια κατά τον κύκλο ζωής τους έχουν απαιτήσεις, τόσο άμεσα όσο και έμμεσα. Άμεσα κατά την κατασκευή τους, τη λειτουργία, την αποκατάσταση και τελικά την κατεδάφισή του. Έμμεσα, μέσω της παραγωγής των υλικών όπου είναι κατασκευασμένα. Από διάφορες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί και οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τις φάσεις κατασκευής, την κατεδάφιση και την σχετική μεταφορά των υλικών στα κτίρια, δείχνουν ότι η συνολική ενέργεια που απαιτείται για αυτές τις φάσεις, είτε είναι αμελητέα, είτε είναι κατά περίπου 1% της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας στο κύκλο ζωής του κτιρίου.

Πρόσφατα, η συνειδητοποίηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με τις διαδικασίες παραγωγής και διαχείρισης της ενέργειας, ταυτόχρονα με την διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, έχουν οδηγήσει τους μηχανικούς και αρχιτέκτονες στην ανάπτυξη ενεργειακά πιο αποδοτικών κτιρίων.

Ο σχεδιασμός των χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας κτιρίων έχει ως άμεσο στόχο τη μείωση του κόστους της ενέργειας. Αυτό γίνεται μέσω ενεργητικών και παθητικών μεθόδων που παρουσιάζονται πιο αναλυτικά στην παρούσα εργασία. Η παθητική μέθοδος περιλαμβάνει, για παράδειγμα, την αυξημένη μόνωση, την τοποθέτηση παραθύρων με λιγότερες απώλειες, την μείωση των απωλειών από το κτίριο και την ανάκτηση της θερμότητας. Η ενεργητική μέθοδος περιλαμβάνει, για παράδειγμα, αντλίες θερμότητας σε συνδυασμό με τον αέρα ή το έδαφος, ηλιακούς συλλέκτες, φωτοβολταϊκά πάνελ και καυστήρες βιομάζας. [1]

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η διερεύνηση, μέσω του προγράμματος προσομοίωσης TRNSYS, της ενεργειακής κατανάλωσης των συγκεκριμένων κτιρίων σε 3 διαφορετικές περιπτώσεις. Διαχωρίζονται με βάση την μόνωση της εξωτερικής τοιχοποιίας, τις μεθόδους θέρμανσης και ψύξης και τέλος των διαφόρων ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούνται. Τέλος, πραγματοποιείται μία τεχνική και οικονομική σύγκριση στην ενεργειακή τους κατανάλωση σε βάθος 25- και 50- ετίας τόσο για τη κάλυψη των θερμικών/ ψυκτικών όσο και των ηλεκτρικών αναγκών.

1.1 Γενικά

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά στο σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών, εξωτερικών και υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών 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 τη θέρμανση, ψύξη και το φωτισμό των κτιρίων.

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και των περιβαλλοντικών πηγών μέσω των Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων (Π.Η.Σ.) επιτυγχάνεται στα πλαίσια της συνολικής θερμικής λειτουργίας του κτιρίου και της σχέσης κτιρίου-περιβάλλοντος. Η δε θερμική λειτουργία ενός κτιρίου αποτελεί μία δυναμική κατάσταση, η οποία:

- Εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους (ηλιοφάνεια, θερμοκρασία εξωτερικού αέρα, τη σχετική υγρασία, τον άνεμο, τη βλάστηση, το σκιασμό από άλλα κτίρια), αλλά και τις συνθήκες χρήσης του κτιρίου (κατοικία, γραφεία, νοσοκομεία κλπ).
- Βασίζεται στην αντίστοιχη ενεργειακή συμπεριφορά των δομικών του στοιχείων και κατ'επέκταση των ενσωματωμένων παθητικών ηλιακών συστημάτων, αλλά και το ενεργειακό προφίλ που προκύπτει από την λειτουργία του κτιρίου.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός θεωρείται από πολλούς ως μια νέα θεώρηση στην αρχιτεκτονική και σχετίζεται περισσότερο με την οικολογία, παρά με την ενέργεια και την εξοικονόμηση που δύναται να επιφέρει. Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική έχει αποτελέσει τις τελευταίες δεκαετίες βασική προσέγγιση στην κατασκευή κτιρίων παγκοσμίως, ενώ στα περισσότερα κράτη πλέον αποτελεί βασικό κριτήριο σχεδιασμού μικρών και μεγάλων κτιρίων το οποίο λαμβάνεται υπόψη από όλους τους μελετητές, αρχιτέκτονες και μηχανικούς. Λόγω των χαμηλότερων απαιτήσεων ενέργειας για την θέρμανση, τον δροσισμό και τον φωτισμό των κτιρίων προκύπτουν και πολλαπλά οφέλη: ενεργειακά (εξοικονόμηση και θερμική/οπτική άνεση), οικονομικά (μείωση κόστους εγκαταστάσεων), περιβαλλοντικά (μείωση ρύπων) και κοινωνικά.

Το ενεργειακό όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποδίδεται με τους παρακάτω τρόπους:

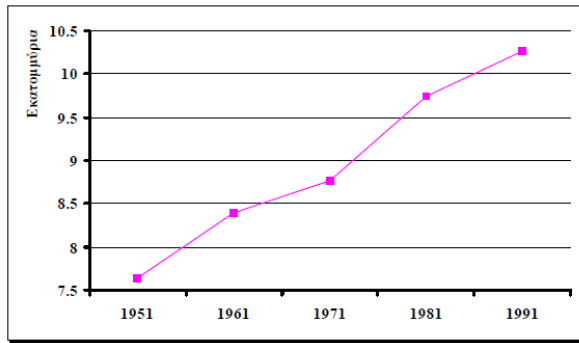
- Εξοικονόμηση ενέργειας με τη σημαντική μείωση των απωλειών λόγω της βελτιωμένης προστασίας του κελύφους και της συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων.
- Παραγωγή θερμικής ενέργειας (θερμότητας) μέσω των ηλιακών συστημάτων άμεσου ή έμμεσου κέρδους με συμβολή στις θερμικές ανάγκες των χώρων προσάρτησης και μερική κάλυψη των απαιτήσεων θέρμανσης του κτιρίου.
- Δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης και μείωση των απαιτήσεων όσον αφορά στη ρύθμιση του θερμοστάτη (σε χαμηλότερες θερμοκρασίες τον χειμώνα και υψηλότερες το καλοκαίρι).
- Διατήρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα σε επίπεδα υψηλά τον χειμώνα (και αντίστοιχα χαμηλά το καλοκαίρι), με αποτέλεσμα την μείωση του φορτίου για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων από τα επικουρικά συστήματα κατά την χρήση του κτιρίου.

Αντίθετα με τον ηλιακό σχεδιασμό, ο βαθμός στον οποίο ο βιοκλιματικός σχεδιασμός σήμερα αξιοποιεί το τοπικό κλίμα ποικίλει, γεγονός που παρέχει μία ευελιξία ως προς τους τρόπους αρχιτεκτονικής έκφρασης και δυνατοτήτων εφαρμογής μέσα από απλές τεχνικές και επεμβάσεις έως και πολύπλοκα παθητικά ηλιακά συστήματα.

Η απόδοση του βιοκλιματικού σχεδιασμού εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπου τον καθιστά ευαίσθητο σε εξωγενείς και μη τεχνικούς παράγοντες. Για τον λόγο αυτό, βασικά κριτήρια για την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού πρέπει να είναι:

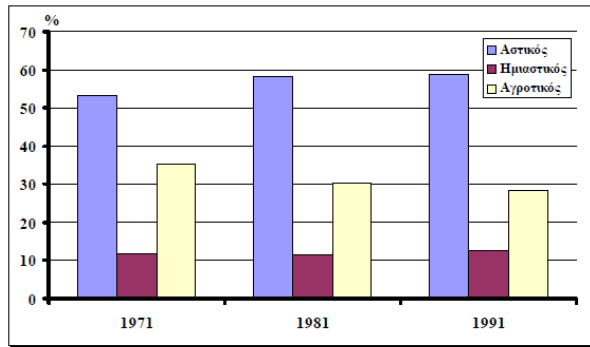
- Η απλότητα χρήσης των εφαρμογών και η αποφυγή πολύπλοκων παθητικών συστημάτων και τεχνικών.
- Η μικρή συμβολή του χρήστη του κτιρίου στη λειτουργία των συστημάτων.
- Η χρήση ευρέως εφαρμοσμένων συστημάτων.
- Η χρήση τεχνικο-οικονομικά αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών. [3]

Στην Ελλάδα τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται σταθερή αύξηση του πληθυσμού, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, σύμφωνα με απογραφές που έχουν γίνει. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η τάση για αστικοποίηση, όπου ο αγροτικός πληθυσμός μειώνεται συνεχώς. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στις αστικές περιοχές της Ελλάδας. [2]



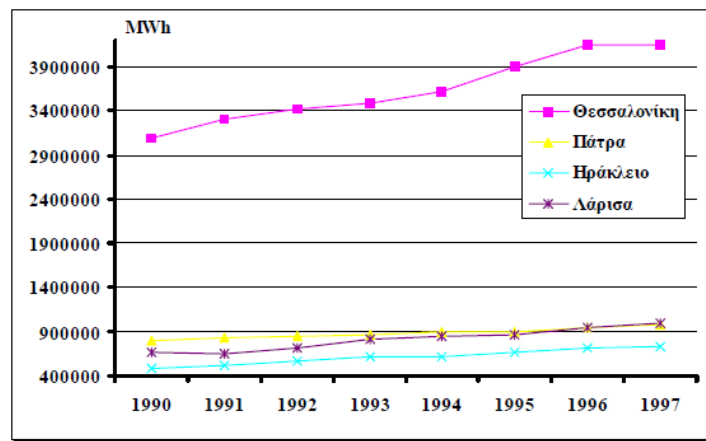
Πηγή: Εθνική Στατιστική Υπηρεσία

Εικόνα 1: Εξέλιξη του πληθυσμού στην Ελλάδα.



Πηγή: Εθνική Στατιστική Υπηρεσία

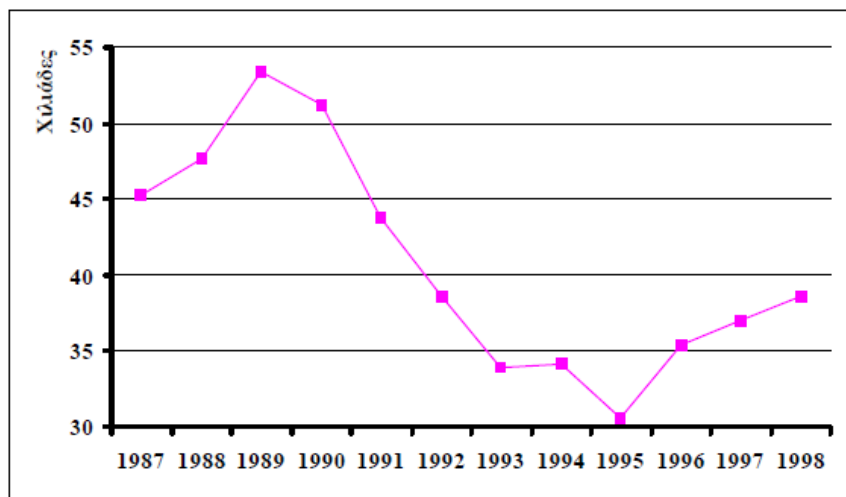
Εικόνα 2: Αστικοποίηση στην Ελλάδα.



Πηγή: Οι Νομοί της Ελλάδος

Εικόνα 3: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε αστικές περιοχές της Ελλάδας.

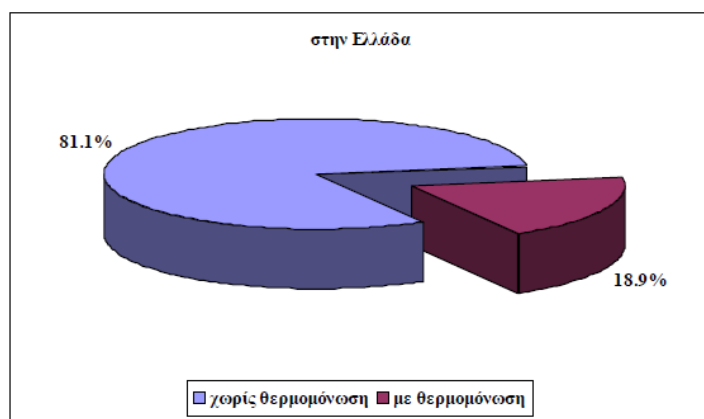
Στην Ελλάδα η αστικοποίηση των τελευταίων χρόνων, το σύστημα της αντιπαροχής, η αύξηση της αξίας της γης συνέβαλλαν στην μαζική παραγωγή του δομημένου περιβάλλοντος (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα) και η αρχιτεκτονική προσαρμόστηκε και ανταποκρίθηκε σε άλλα πρότυπα που είναι ταυτόσημα με την εμπορευματοποίηση της κατοικίας, το χαμηλό κόστος και το ταχύ χρόνο παράδοσης. Επηρεάστηκε επίσης από την τεχνολογική εξέλιξη, τις σύγχρονες τεχνικές και από τα νέα κατασκευαστικά υλικά.



Πηγή: Εθνική Στατιστική Υπηρεσία

Εικόνα 4: Κατασκευή νέων κτιρίων στην Ελλάδα.

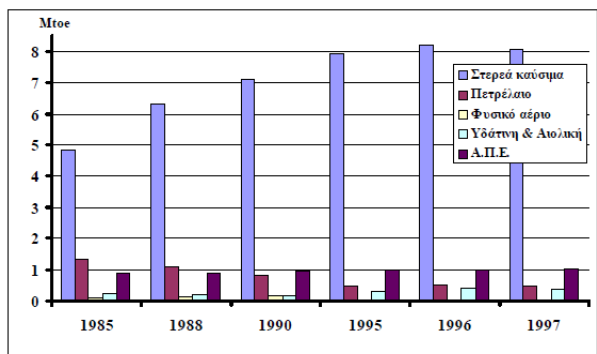
Το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων στην Ελλάδα κατασκευάστηκαν πριν την εφαρμογή του Κανονισμού Θερμομόνωσης (Εικόνα 5). Αυτό είχε και έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων.



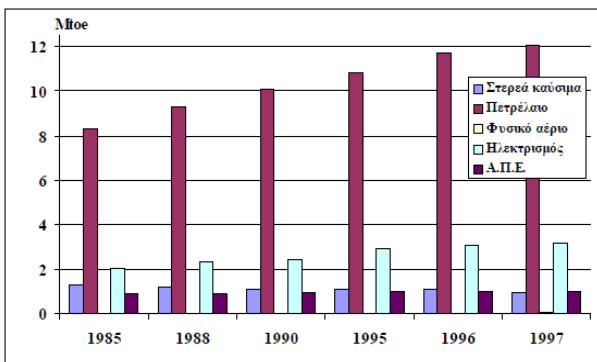
Πηγή: Εθνική Στατιστική Υπηρεσία

Εικόνα 5: Ποσοστό κτιρίων με και χωρίς θερμομόνωση.

Στην Ελλάδα η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας έφτασε το 1997 τους 9.95 Mtoe, σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης [E.U. Annual Energy Review 1999]. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 6) απεικονίζεται η κατανομή της παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα, με εμφανή τις μεγάλες ποσότητες παραγωγής στερεών καυσίμων. Έτσι, από την εικόνα, είναι φανερό ότι η εισαγωγή καυσίμων και ιδιαίτερα του πετρελαίου είναι πολύ αυξημένη, με ταυτόχρονη αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα το μεγάλο ποσοστό ενεργειακής εξάρτησης από τις άλλες χώρες.



Πηγή: E.U. Annual Energy Review 1999



Πηγή: E.U. Annual Energy Review 1999

Εικόνα 6: Πρωτογενής παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα Εικόνα 7: Τελική ζήτηση ενέργειας στην Ελλάδα.

1.2 Παθητικά ηλιακά συστήματα και τεχνικές

Με στόχο τη μείωση των αναγκών θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού, τη βελτίωση του μικροκλίματος, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία των κτιρίων και των οικιστικών συνόλων καθώς και την εξασφάλιση θερμικής και οπτικής άνεσης, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός βασίζεται στη μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και των περιβαλλοντικών πηγών. Περιλαμβάνει διαφορετικές, ανά θερμική εποχή, τεχνικές και εστιάζεται σε δύο επίπεδα σχεδιασμού: τον πολεοδομικό και τον αρχιτεκτονικό.

Τα παθητικά συστήματα θέρμανσης και δροσισμού είναι συστήματα τα οποία αξιοποιούν τις φυσικές πηγές (ήλιο, άνεμο κ.α.) για τη θέρμανση ή ψύξη του κτιρίου χωρίς την παρεμβολή μηχανικών μέσων. Η λειτουργία τους βασίζεται στην ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον και περιλαμβάνει την κατάλληλη αποθήκευση και διανομή της ενέργειας μέσα στους χώρους. Τα παθητικά συστήματα υποβοηθούνται από μηχανικό σύστημα χαμηλής κατανάλωσης (π.χ. ανεμιστήρα) και ονομάζονται υβριδικά. Στόχος της επιλογής και της διαστασιολόγησης των παθητικών συστημάτων είναι η βελτίωση της θερμικής άνεσης με ταυτόχρονη εξοικονόμηση ενέργειας για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη περίοδο του έτους.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα προσαρτώνται σε όψεις του κτιρίου με νότιο προσανατολισμό, με δυνατότητα απόκλισης μέχρι 30° ανατολικά ή δυτικά του καθαρού νότου. [3]

1.3 Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και την διανέμουν στο χώρο. Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού. Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα απαιτούν νότιο προσανατολισμό, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα. Επιπλέον, πρέπει να συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει την θερμότητα στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και συχνά με δυνατότητα αερισμού. [3]

1.3.1 Συστήματα άμεσου κέρδους

Τα συστήματα άμεσου κέρδους είναι τα πιο απλά συστήματα που αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία για την θέρμανση του κτιρίου μέσω των νότια προσανατολισμένων ανοιγμάτων.

Η αποτελεσματικότητα ενός τέτοιου συστήματος επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- Το προσανατολισμό του κτιρίου.
- Τη θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων.

Το μέγεθος των ανοιγμάτων νότιου προσανατολισμού για 38° βόρειο γεωγραφικό πλάτος ώστε τα ηλιακά κέρδη να συνεισφέρουν στη θέρμανση του κτιρίου δίνεται ενδεικτικά από το παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Η επιφάνεια ενός κατάλληλα σχεδιασμένου τοίχου.

Μέση εξωτερική θερμοκρασία το χειμώνα (°C)	Εμβαδόν ανοίγματος για επιφάνεια εσωτερικού χώρου 1m ² (m ²)
-1	0.20-0.30
4.5	0.13-0.21

Τέλος, σημαντικό ρόλο για τη σωστή εφαρμογή του συστήματος παίζει η επιλογή των τύπων των υαλοπινάκων και η επιλογή των δομικών στοιχείων (τοίχοι, δάπεδο, οροφή). Αυτά πρέπει να κατασκευάζονται από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας για την αποθήκευση του ηλιακού θερμικού κέρδους.

Για να υπάρχουν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα θα πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη θερμομόνωση αλλά και η προσθήκη διπλών υαλοπινάκων, ώστε να αξιοποιείται η απαιτούμενη θερμική προστασία, και η απαιτούμενη θερμική μάζα, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει θερμότητα στο χώρο κατά τέτοιο τρόπο που να είναι σταθερή η θερμοκρασία στο κτίριο όλο το εικοσιτετράωρο. Η θερμική μάζα εμφανίζεται υπό μορφή μόνωσης των εξωτερικών τοίχων ή με ένα πάτωμα συμπαγές με υποδαπέδια μόνωση. Με αυτό τον τρόπο η ενέργεια που εκπέμπει ο ήλιος κατευθείαν στη θερμική μάζα, αποθηκεύεται και επιτυγχάνονται διακυμάνσεις στη θερμοκρασία των κατώτερων στρωμάτων του αέρα. Η θερμότητα αποθηκεύεται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και επανεκπέμπεται κατά τη διάρκεια της νύχτας. Κατά τη θερινή περίοδο, τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει να λειτουργούν παράλληλα με την εφαρμογή τεχνικών ηλιοπροστασίας και αερισμού.

Οι απαιτήσεις ενός τέτοιου συστήματος είναι η ύπαρξη μιας μεγάλης νότιας επιφάνειας με τζάμι, θερμική μάζα, η οποία μπορεί να είναι στην οροφή, στο δάπεδο ή στους τοίχους. Η έκταση και η χωρητικότητά τους πρέπει να είναι τέτοια που να εκτίθεται στο ηλιακό φως και να μπορεί να το αποθηκεύει. Σε αυτή την περίπτωση, ιδανική κατασκευαστική παρέμβαση είναι η τοποθέτηση διπλού τζαμιού σε κατακόρυφη επιφάνεια με νότιο προσανατολισμό κατά προτίμηση, ώστε να αποθηκεύει τη μέγιστη δυνατή ηλιακή ακτινοβολία, αλλά παράλληλα περιορίζοντας τα ηλιακά κέρδη το καλοκαίρι, γι' αυτό και στο τζάμι συνίσταται η τοποθέτηση κινητής μόνωσης. Είναι αρκετά τα παραδείγματα, με κτίρια που ενώ διαθέτουν νότιο προσανατολισμό είτε δεν αξιοποιούν στο έπακρο τα ηλιακά οφέλη, καθώς υπάρχει έλλειψη ιδανικής θερμικής αποθήκευσης, είτε έχουν υπερβολικά ηλιακά οφέλη το καλοκαίρι λόγω ελλειψών συστημάτων σκίασης, δημιουργώντας την ανάγκη για επιπλέον ψύξη. Ένα άλλο στοιχείο που επιδρά σημαντικά στη λειτουργικότητα και μεγαλύτερη κατά το δυνατό απόδοση ενός συστήματος άμεσου κέρδους, είναι και η επιλογή και ο έλεγχος του συστήματος θέρμανσης.

Εκτός από τις απαιτήσεις υπάρχουν και οι παραλλαγές καθώς και οι έλεγχοι, τα οποία παρέχουν εναλλακτικές λύσεις για τα σύστημα άμεσου κέρδους. Η πιο διαδεδομένη είναι αυτή που αφορά στη θέση της θερμικής μάζας, η οποία εξαρτάται από τους νόμους ροής της θερμότητας με ακτινοβολία και μεταφορά. Από αυτούς προκύπτουν διάφορες μορφές σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς μονωμένους τοίχους, στην οροφή, στο δάπεδο ή σε ελεύθερη μάζα μέσα στο χώρο. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της θερμότητας είναι συνήθως τούβλα, κεραμικά, σκυρόδεμα, νερό ή άλλα υγρά, τα οποία χρησιμοποιούνται είτε μόνα τους είτε σε συνδυασμό.

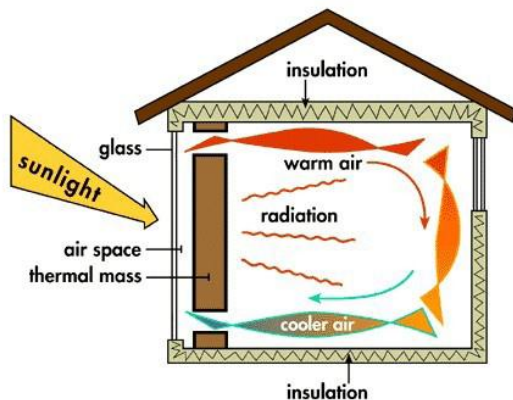
Στην περίπτωση της υπερθέρμανσης, απαιτούνται συστήματα σκίασης για τα τζάμια νότιου προσανατολισμού. Για τα νότια κατακόρυφα τζάμια, τα προστεγάσματα είναι αποτελεσματικά καθώς κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η θέση του ήλιου είναι ψηλά. Επίσης οι οπές αερισμού συμβάλλουν στη διατήρηση της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων και στο δροσισμό τους. Τέλος, η κινητή μόνωση βοηθά στην αποφυγή της υπερθέρμανσης. Όσον αφορά στην απώλεια θερμότητας, θα πρέπει τα υαλοστάσια να μονώνονται επαρκώς με κουρτίνες, πατζούρια, κινητά πλαίσια, αλλά και να υπάρχει μόνωση με χαμηλή τιμή εσωτερικής ενέργειας (U) στην επιφάνεια που καλύπτεται με τζάμι. Μέσω αυτών των δράσεων, επιτυγχάνεται η θερμική άνεση αποφεύγοντας τις συνθήκες υπερθέρμανσης ή απώλειας θερμότητας την χρονική περίοδο που είναι αναγκαίες.

Από τη χρήση και εφαρμογή των συστημάτων άμεσου ηλιακού κέρδους, προκύπτουν κάποια πλεονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα αυτά, συνοψίζονται στο κόστος κατασκευής καθώς το σύστημα είναι μία από τις φθηνότερες μεθόδους ηλιακής θέρμανσης στους χώρους, διότι τα τζάμια που χρησιμοποιούνται αποτελούν

φθηνό δομικό υλικό και οικολογικό. Επίσης, είναι απλό στην κατασκευή και στη χρήση, καθώς μπορεί να αναπτυχθεί απλά με την αναδιάταξη των παραθύρων. Τα υαλοστάσια που χρησιμοποιούνται, δεν συμβάλλουν μόνο στην απορρόφηση θερμότητας και διάθεσή της στο χώρο, αλλά και στην είσοδο φυσικού φωτός για μεγάλο διάστημα της ημέρας παρέχοντας επίσης οπτική άνεση. [5]

1.3.2 Συστήματα έμμεσου κέρδους

Στα συστήματα έμμεσου κέρδους ανήκουν τα συστήματα που αξιοποιούν έμμεσα τα ηλιακά οφέλη για την θέρμανση του κτιρίου. Αυτά τα συστήματα απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο κέλυφος και ύστερα επιτρέπουν στη θερμότητα να διεισδύσει στους χώρους διαβίωσης. Ο θερμικός τοίχος (τοίχος μάζας, Trombe ή τοίχος νερού) το δώμα θερμικής αποθήκευσης και ο τοίχος μεταξύ του θερμοκηπίου και του χώρου διαβίωσης, είναι οι κύριες εφαρμογές των μηχανισμών έμμεσου κέρδους.



Τα συστήματα έμμεσου κέρδους, συνδυάζουν τις διαδικασίες συλλογής, συσσώρευσης και διανομής της θερμότητας, σε ένα μέρος του περιβλήματος του κτιρίου που περικλείει τους χώρους του σπιτιού.

Τα συστήματα έμμεσου κέρδους ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

- Στους ηλιακούς τοίχους, οι οποίοι αποτελούνται από τοιχοποιίες σε συνδυασμό με υαλοστάσιο, το οποίο τοποθετείται εξωτερικά κι έχει απόσταση 5-15cm. Η τοιχοποιία που χρησιμοποιείται χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, στους τοίχους θερμικής αποθήκευσης και στα θερμοσιφωνικά πάνελα. Οι τοίχοι θερμικής μάζας έχουν μεγάλη θερμική μάζα ενώ τα θερμοσιφωνικά πάνελα είναι θερμομονωμένα. Ο ηλιακός τοίχος συλλέγει την ενέργεια, η οποία με τη μορφή θερμότητας, μεταφέρεται στο εσωτερικό του κτιρίου, μέσω της μάζας του τοίχου ή μέσω θυρίδων. Το υαλοστάσιο, είναι σταθερό ή ανοιγόμενο και διαθέτει μονά ή διπλά τζάμια. Οι τοίχοι Trombe-Michel, αποτελούν μια ειδική κατηγορία τοιχοποιίας θερμικής αποθήκευσης και συνδυάζουν τις δύο λειτουργίες θερμικής απόδοσης.
- Στα θερμοκήπια, τα οποία είναι κλειστοί χώροι που είτε προσαρτώνται, είτε ενσωματώνονται στα νότια τμήματα του κτιριακού περιβλήματος και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Σε αυτή την περίπτωση, η ηλιακή ακτινοβολία, καθώς εισέρχεται από τα νότια υαλοστάσια του ηλιακού χώρου, μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, και ένα μέρος της διαχέεται στο χώρο άμεσα, ενώ το υπόλοιπο αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία του χώρου και αποδίδεται με καθυστέρηση. Η θερμότητα διαχέεται από το θερμοκήπιο στους εσωτερικούς χώρους του σπιτιού μέσω θυρίδων ή ανοιγμάτων του διαχωριστικού δομικού στοιχείου.
- Στα ηλιακά αίθρια, τα οποία αποτελούν αιθριακούς χώρους της κατοικίας, οι οποίοι επικαλύπτονται από υαλοστάσια και λειτουργούν όπως και τα θερμοκήπια. [5]

Η διαφορά που υπάρχει μεταξύ ενός τοίχου Trombe και ενός τοίχου μάζας είναι ότι ο τοίχος Trombe διαθέτει οπές αερισμού στο πάνω και στο κάτω μέρος του, επιτρέποντας την κυκλοφορία του αέρα στους εσωτερικούς χώρους.

Τα πλεονεκτήματα αυτών των τοίχων είναι ότι ο χρόνος απόκλισης μεταξύ της απορρόφησης της ηλιακής ενέργειας και διανομής της θερμότητας στο εσωτερικό της κατοικίας αποτελεί πλεονέκτημα για τη νυχτερινή θέρμανση. Δεν προκαλούνται προβλήματα θάμβωσης, εξασφαλίζεται η ιδιωτικότητα και αποφεύγεται η φθορά των υφασμάτων από την υπερϊώδη ακτινοβολία, ενώ οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στο χώρο διαβίωσης είναι χαμηλότερες από αυτές που έχουν τα συστήματα άμεσου κέρδους.

Τα μειονεκτήματα είναι το κόστος του ελέγχου που χρειάζεται να γίνει, αλλά και των δύο νότιων τοίχων όπου ο ένας θα είναι με τζάμι και ο άλλος με θερμική μάζα, κάτι που μειώνει και το διαθέσιμο χώρο. Ο σχεδιασμός ενός τοίχου Trombe πρέπει να είναι τέτοιος που να διευκολύνει τον καθαρισμό των τζαμιών, καθώς ο ενδιάμεσος χώρος μεταξύ τζαμιού και θερμικής μάζας συγκεντρώνει υγρασία η οποία προκαλεί προβλήματα. Εκτός από τις ανάγκες σε επαρκή θερμική μάζα, η χρήση των τοίχων αυτών θα πρέπει να μην εμποδίζει την ικανοποίηση των αναγκών σε θέα και φυσικό φωτισμό. Ένα ακόμη μειονέκτημα που παρουσιάζεται, είναι η έλλειψη άνεσης κατά τη

διάρκεια της ημέρας, η οποία προκαλείται από τον υπερθερμασμένο αέρα του τοίχου ή της ανεξέλεγκτης ακτινοβολίας από τις εσωτερικές επιφάνειες, όπου αυτή η κατάσταση μπορεί να περιοριστεί με επαρκή αερισμό. [5]

1.3.2.1 Τοίχος θερμικής αποθήκευσης

Είναι ένας συνδυασμός τοίχου νότιου προσανατολισμού και μιας εξωτερικής διάφανης επιφάνειας (συνήθως γυαλί) στην εξωτερική πλευρά του τοίχου σε απόσταση συνήθως 10cm. Η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου πρέπει να είναι σκουρόχρωμη ώστε να μεγιστοποιεί την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο τοίχος κατασκευάζεται από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας για να διασφαλίζει χρονική υστέρηση τουλάχιστον 6h ώστε η εσωτερική του επιφάνεια να έχει τη μέγιστη θερμοκρασία στην αρχή της νύχτας.

Ο τοίχος μάζας όπως και ο τοίχος Trombe, χρειάζονται ένα συλλέκτη ο οποίος διαθέτει γυάλινη μεγάλη επιφάνεια που έχει νότια όψη, ενώ η θερμική μάζα συγκεντρώνεται στο πίσω μέρος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως θερμική μάζα είναι η πέτρα, το σκυρόδεμα, τα σύνθετα υλικά από τσιμεντόλιθους ή τούβλα. Το σύστημα αυτό λειτουργεί με την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας από τον τοίχο μάζας και θερμαίνει την επιφάνειά του. Η θερμότητα μέσω της προοδευτικής αύξησης της θερμοκρασίας, μεταδίδεται και διαχέεται στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου μέσω συναγωγής. Το πάχος και ο τύπος του υλικού που χρησιμοποιείται προκαλεί χρονική απόκλιση, η οποία είναι 18 λεπτά για 10mm σκυρόδεμα. Σε περίπτωση που το πάχος του τοίχου ξεπερνά τα 100 χιλιοστά η συναγωγή της θερμότητας στο εσωτερικό της κατοικίας δεν αυξάνεται ιδιαίτερα. Μεταξύ της θερμικής μάζας και του τζαμιού παρεμβάλλεται αέρας του οποίου η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει τους 60°C τις μέρες που δεν υπάρχουν σύννεφα. Η χρήση των ανοιγμάτων, στην κορυφή και τη βάση του τοίχου είναι σημαντική καθώς ο θερμός αέρας ανεβαίνει και εισέρχεται στο εσωτερικό της κατοικίας, ενώ παράλληλα ο ψυχρός αέρας κατέρχεται προς τα ανοίγματα της βάσης της μάζας συσσώρευσης.

Η λειτουργική απόδοση των συστημάτων τοίχου μάζας, επηρεάζεται από τα μέσα μόνωσης, διανομής και αποθήκευσης. Γι' αυτό είναι απαραίτητοι οι έλεγχοι λειτουργίας του. Με τον έλεγχο, επιτυγχάνεται η μείωση των απωλειών θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας ή τις μέρες που υπάρχει συννεφιά, με την εφαρμογή εξωτερικών μονωμένων πατζουριών, τη χρήση βαφών με υψηλό δείκτη απορροφητικότητας και μικρό δείκτη εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας, με τη βελτίωση του συντελεστή μόνωσης του υαλοστασίου, η οποία επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας διπλά τζάμια ή τζάμια που αντανακλούν τη θερμότητα ή χρησιμοποιώντας διαφανή μόνωση. Όλα αυτά μεγιστοποιούν την απόδοση κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Για το καλοκαίρι, οι έλεγχοι που θα πραγματοποιηθούν θα πρέπει να στοχεύουν στην αποφυγή της υπερθέρμανσης, όπου αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση προστεγασμάτων, με τη χρήση εξωτερικών οπών αερισμού, αλλά και με το κλείσιμο της εξωτερικής μόνωσης. [5]

1.3.2.2 Τοίχος Trombe Michel

Το σύστημα με τοίχο Trombe πήρε το όνομά του από τον Felix Trombe, ο οποίος εκτόνησε σε συνεργασία με τον Jacques Michel, μια πρωτοποριακή εργασία. Είναι ένας τοίχος θερμικής αποθήκευσης που σε όλο το επάνω και κάτω μέρος του μήκους του υπάρχουν θυρίδες για να διευκολύνουν την κίνηση του αέρα. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού και πραγματοποιείται κίνηση του αέρα λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας ο θερμός αέρας κινείται προς τα πάνω και εισέρχεται στο χώρο από την πάνω θυρίδα, ενώ ο ψυχρότερος αέρας από τον εσωτερικό χώρο περνάει από τη κάτω θυρίδα και αντικαθιστά το κενό που δημιουργήθηκε μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα.



Εικόνα 1: Λειτουργία τοίχου Trombe Michel το χειμώνα.

Το καλοκαίρι βασική προϋπόθεση καλής λειτουργίας είναι ο τοίχος να σκιάζεται με σταθερό ή κινούμενο σκίαστρο και ο φεγγίτης στο πάνω μέρος του υαλοστασίου να ανοίγει για να εξασφαλιστεί η απομάκρυνση του θερμού αέρα.

Σημείο-κλειδί στην καλύτερη απόδοση αυτών των συστημάτων είναι η φυσική κυκλοφορία του αέρα. Βασίζεται στο γεγονός ότι ο θερμότερος αέρας είναι ελαφρύτερος και αποκτά ανοδική κίνηση. Όταν φθάνει σε μια ψυχρότερη περιοχή αποβάλλει τη θερμότητα του και ψύχεται. Τότε γίνεται βαρύτερος, κινείται προς τα κάτω και επιστρέφει στον ηλιακό τοίχο για να θερμανθεί και να επαναλάβει τον κύκλο του. Σημαντική επίδραση στην αποτελεσματική λειτουργία των τοίχων Trombe έχουν τα ανοίγματα στο κάτω και στο άνω μέρος. Τις ημέρες του χειμώνα η ακτινοβολία ζεσταίνει τον κρύο αέρα που εξέρχεται από τον χώρο μέσα από το χαμηλό άνοιγμα. Τότε ο αέρας λόγω θέρμανσης ανεβαίνει ψηλά ανάμεσα στο γυαλί και τον τοίχο και οδηγείται εκ νέου μέσα στο χώρο μεταφέροντας έτσι θερμότητα.

Ένας τυπικός τοίχος Trombe αποτελείται από ένα παχύ πέτρινο, με τούβλα ή σκυρόδεμα τοίχο πάχους 20 - 40 cm βαμμένο με σκούρο χρώμα που απορροφά την ηλιακή θερμότητα. Ο τοίχος αυτός καλύπτεται από απλό ή διπλό τζάμι. Η απόσταση του τζαμιού από τον τοίχο κυμαίνεται από 20 - 150 mm. Με αυτό τον τρόπο διαμορφώνεται ένα μικρό διάκενο με αέρα. Η θερμότητα από το ηλιακό φως απορροφάται από την σκουρόχρωμη επιφάνεια και διαβιβάζεται αργά προς το εσωτερικό από τον τοίχο. Τις κρύες νύχτες του χειμώνα αποδίδεται η θερμότητα που έχει αποθηκευτεί στον τοίχο ενώ εμποδίζεται η κυκλοφορία του αέρα οπότε και η απαγωγή θερμότητας με την κάλυψη των ανοιγμάτων. Το καλοκαίρι που υπάρχουν αυξημένες ανάγκες για ψύξη του εκάστοτε χώρου χρειάζεται ο ζεστός αέρας να οδηγηθεί εκτός του χώρου. Για αυτό το λόγο μένει ανοιχτό ένα άνοιγμα κάτω στο μη εκτεθειμένο από ακτινοβολία τοίχο ενώ παράλληλα κλείνει το πάνω άνοιγμα στον τοίχο Trombe και ανοίγει ένα άλλο στο γυαλί. Έτσι ο φρέσκος δροσερός αέρας μπαίνει μέσα στο χώρο παίρνει την θερμότητα από τον χώρο και οδηγείται μέσω του κάτω ανοίγματος στο διάκενο μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα. Εκεί ζεσταίνεται και οδηγείται μέσω του πάνω ανοίγματος του υαλοπίνακα προς τα έξω.

Με τη χρήση μιας επιλεκτικής επιφάνειας σε έναν τοίχο Trombe βελτιώνεται η απόδοσή του με τον περιορισμό της υπέρυθρης ενέργειας που ακτινοβολείται μέσα από το τζάμι. Η επιλεκτική επιφάνεια αποτελείται συνήθως από ένα μεταλλικό φύλλο που επικολλάται στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου ή από ειδικές βαφές. Απορροφά όλη σχεδόν την ακτινοβολία από το ορατό μέρος του ηλιακού φάσματος και εκπέμπει πολύ μικρό μέρος στην κλίμακα της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η υψηλή απορροφητικότητα των επιφανειών των τοίχων μετατρέπει το φως σε θερμότητα ενώ η χαμηλή ανακλαστικότητα προφυλάσσει την ακτινοβολία της θερμότητας προς το τζάμι.

Σε έναν τοίχο Trombe πάχους 40 cm χωρίς ανοίγματα, η θερμότητα θα κάνει 8 - 10 ώρες για να αρχίσει να φτάνει στο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτό σημαίνει ότι ο χώρος θα παρέχει θερμική άνεση στη διάρκεια της ημέρας ενώ θα θερμαίνει επί αρκετές ώρες μετά τη δύση του ηλίου. Χώροι που θερμαίνονται από τοίχο Trombe δίνουν συχνά το αίσθημα μεγαλύτερης θερμικής άνεσης από αυτό που παρέχεται από ένα αερόθερμο επειδή ο τοίχος διατηρεί σχετικά υψηλή θερμοκρασία έστω και αν στο χώρο επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες αέρα.

Οι αρχιτέκτονες χρησιμοποιούν τους τοίχους Trombe σε συνδυασμό με παράθυρα, προστεγάσματα και άλλα κτιριακά στοιχεία προκειμένου να καθιστούν ομαλή και εξισορροπημένη τη θερμική απόδοση. Με σωστά τοποθετημένα παράθυρα επιτρέπεται η είσοδος της θερμότητας και το φως στο κτίριο νωρίς το πρωί, ενώ αποφεύγεται η περίσσεια θερμικού κέρδους νωρίς το απόγευμα. Την ίδια ώρα ο τοίχος Trombe απορροφά και

αποθηκεύει θερμότητα για απογευματινή χρήση. Ένας αποτελεσματικός τοίχος Trombe έχει μια θερμική καθυστέρηση που απελευθερώνει τη θερμότητα αρκετές ώρες για να ισορροπήσει αργότερα τις μειωμένες εξωτερικές θερμοκρασίες. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί η δυνατότητα εφαρμογής νυκτερινής μόνωσης στους τοίχους Trombe με ρολά ώστε να μη χάνεται θερμότητα προς το εξωτερικό περιβάλλον κατά τη νύχτα. Αν η θερμοχωρητικότητα του τοίχου Trombe είναι αρκετά μεγάλη θα συνεχίζει να ακτινοβολεί θερμότητα όλη τη νύχτα. [6]

Οι βασικές αρχές λειτουργίας του τοίχου Trombe είναι:

1. Χρήση κατακόρυφων τοίχων προσανατολισμένων προς τον Νότο που λειτουργούν ως συλλέκτες ηλιακής ενέργειας.
2. Χρήση της αρχής του θερμοκηπίου για την παγίδευση της ηλιακής ενέργειας.
3. Φυσική κυκλοφορία θερμού αέρα που θερμαίνεται με την παγίδευση της ηλιακής ενέργειας.
4. Αποθήκευση θερμότητας με την χρησιμοποίηση της υψηλής θερμοχωρητικότητας του σκυροδέματος ή του νερού.

Χρήσιμες παρατηρήσεις στην πράξη:

- Αν και τα ανοίγματα χρειάζονται το πολύ να έχουν επιφάνεια 0.0689 m^2 για κάθε m^2 τοίχου μπορεί να χρειάζονται κόστος και πολυπλοκότητα κατασκευής. Για αυτό είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται μόνο όταν χρειάζεται πραγματικά θερμότητα τις πρωινές ώρες.
- Τα βασικά υλικά ενός τοίχου trombe είναι το τσιμεντο, τα τουβλα, η πέτρα, οι ασβεστόλιθοι ή αλλά δομικά υλικά. Οι τοίχοι στις περισσότερες εφαρμογές έχουν πάχος περίπου 30- 35 cm. Συναντιούνται και τοίχοι με πάχος μέχρι και 45 cm που αποδίδουν και το μεγαλύτερο πόσο θερμότητας. Μεγαλύτερη αύξηση του πάχους δεν προτείνεται για αποθήκευση περαιτέρω πρόσθετης ενέργειας.
- Το νερό είναι σίγουρα πιο αποτελεσματικό από το τσιμέντο και τα αλλά στερεά υλικά γιατί απορροφά γρηγορότερα θερμότητα εξαιτίας των φαινομένων συναγωγής που αναπτύσσονται στα μόρια του. Προκαλείται ταχεία μείξη και γρήγορη μεταφορά θερμότητας προς τον χώρο ενώ σε αντίθεση με τα κοινά στερεά υλικά όσο αυξάνεται η ποσότητα νερού, αυξάνεται η αποθηκευμένη θερμότητα.
- Η απώλεια θερμότητας από τους τοίχους μάζας ακόμα και μετά από ακολουθία συνεφιασμένων ημερών δεν είναι μεγαλύτερη από τους συμβατικούς τοίχους. Οι θερμοκρασίες που προκαλούνται είναι γενικά πιο σταθερές σε σχέση με αυτές που προκαλούνται από συμβατικούς τοίχους. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες τείνουν να είναι πιο ανεκτικές και λιγότερο ξηρές (σε σχέση με τον αέρα). Η εσωτερική επιφάνεια ενός τοίχου πάχους 30 cm φτάνει την μέγιστη τιμή τις πρώτες απογευματινές-νυκτερινές ώρες και από εκεί συνεχίζει με την απόδοση θερμότητας. Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 18 - 29°C εξαρτώμενες από την διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Η εσωτερική επιφάνεια ενός τοίχου πάχους 61cm φτάνει σε μέγιστη τιμή μετά από 8 ώρες. [6]

Πίνακας 2: Η επιφάνεια ενός κατάλληλα σχεδιασμένου τοίχου Trombe- Michel.

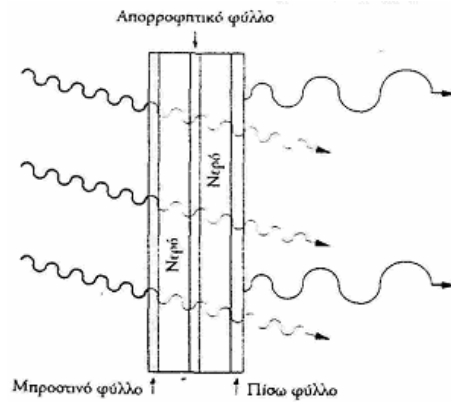
Μέση εξωτερική θερμοκρασία το χειμώνα (°C)	Εμβαδόν τοίχου Trombe για επιφάνεια εσωτερικού χώρου 1 m^2 (m^2)
-1	0.43-0.78
4.5	0.28-0.46

Πίνακας 3: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός τοίχου θερμικής αποθήκευσης.

Πάχος τοίχου (cm)	Διακύμανση επιφανειακής εσωτερικής θερμοκρασίας (°C)	Χρονική υστέρηση (h)
20	22.2	6.8
30	11.1	9.3
35	8.3	10.6
40	5.5	11.9
45	4.1	13.2
50	2.7	14.5
60	1.1	17.1

1.3.2.3 Τοίχος νερού

Ο τοίχος νερού εμφανίζει αρκετά κοινά σημεία με ένα τοίχο Trombe, η κύρια διαφορά είναι ότι στους τοίχους νερού αντί για τοίχο μάζας υπάρχει νερό. Η εφαρμογή του είναι αποτελεσματικότερη από αυτή του τοίχου Trombe, καθώς το νερό έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα όγκου από το τούβλο και τα ρεύματα μεταφοράς στο νερό το κάνουν να λειτουργεί ως μια ισόθερμη αποθήκη θερμότητας. Αποτελούν εξαιρετική επιλογή για μικρής μάζας κατασκευές.



Εικόνα 2: Σχηματικό διάγραμμα της μεταφοράς της ηλιακής ενέργειας του συστήματος.

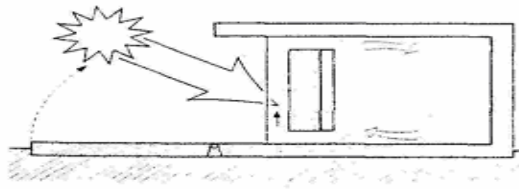
Οι απαιτήσεις ενός τέτοιου συστήματος είναι η μεγάλη επιφάνεια τζαμιού στη νότια όψη, στον εξωτερικό χώρο αποθήκευσης του νερού. Οι τρόποι αποθήκευσης του νερού ποικίλουν, καθώς ο τύπος του δοχείου που χρησιμοποιείται επηρεάζει την ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας καθώς και την ταχύτητα με την οποία διανέμεται αυτή. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι δοχεία από γυαλί ή μέταλλο σε σχήμα σωλήνα, δοχεία ή βαρέλια καθώς και τοίχοι από σκυρόδεμα πλήρεις νερού. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένος, όπως και το σχήμα το οποίο διαθέτει καθορίζουν τη λειτουργικότητα και το κόστος κατασκευής του.

Το νερό έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει άμεσα τη θερμότητα, λόγω της ισόθερμικής του φύσης, κάτι που διαφοροποιεί το σύστημα αυτό σε σχέση με τον τοίχο Trombe, στον οποίο υπάρχει χρονική απόκλιση. Οι έλεγχοι που απαιτεί το σύστημα, απαιτούνται στη διανομή της θερμότητας, στην περίπτωση που η μελέτη έγινε σε κλίμα που απαιτείται χαμηλότερη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για περαιτέρω μόνωση μεταξύ του χώρου αποθήκευσης και των εσωτερικών χώρων.

Ο τοίχος νερού παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Δεν προκαλεί προβλήματα θάμβωσης λόγω της υπερϊώδους ακτινοβολίας, και παράλληλα εξασφαλίζεται η ιδιωτικότητα των ενοίκων. Ο χώρος αποθήκευσης, έχει την ιδιότητα να παραμένει θερμός και να παρέχει θερμότητα έως αργά το βράδυ. Οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας όπως και στην περίπτωση του τοίχου Trombe, είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές των συστημάτων άμεσου κέρδους. Λόγω της ισόθερμικής φύσης του χώρου αποθήκευσης, χάνεται λιγότερη ενέργεια τις νυχτερινές ώρες, στην ατμόσφαιρα, διότι προκαλείται μειωμένη θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια. [4]

1.3.2.4 Απομονωμένος τοίχος συσσώρευσης

Όπως και ο τοίχος νερού, ο απομονωμένος τοίχος συσσώρευσης, μοιάζει με τον τοίχο Trombe, η κύρια διαφορά είναι ότι ο απομονωμένος τοίχος συσσώρευσης, προς αποφυγή της μετάδοσης ενέργειας με συναγωγή και ακτινοβολία, είναι μονωμένος από την πλευρά του εσωτερικού χώρου. Επομένως, η μετάδοση θερμότητας επιτυγχάνεται με μεταφορά και πιθανώς με την παρέμβαση ανεμιστήρα. Εναλλακτικά, αυτή η μορφή τοίχου, θα μπορούσε να διαθέτει επές εξαερισμού προς τον εξωτερικό αέρα στη βάση του συλλέκτη και προς το χώρο που θερμαίνεται στην κορυφή, δημιουργώντας ένα ανοιχτό σιφωνικό βρόγχο, ο οποίος παρέχει στους εσωτερικούς χώρους της κατοικίας προθερμασμένο νωπό αέρα. Για να αποφευχθεί η είσοδος σκόνης ή εντόμων, κρίνεται απαραίτητη η χρήση φίλτρων. [4]



Εικόνα 3: Απομονωμένος τοίχος συσσώρευσης.

1.3.2.5 Θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο ή σέρα ή ηλιακός χώρος είναι ένας κλειστός χώρος με μεγάλο ποσοστό γυάλινης επιφάνειας και νότιο προσανατολισμό προσαρτημένο σε τμήμα του κτιρίου. Το σύστημα λειτουργεί καλύτερα αν μεταξύ του θερμοκηπίου και του κτιρίου υπάρχει τοίχος θερμικής αποθήκευσης κατασκευασμένος από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας. [5]

Το θερμοκήπιο είναι ένας κλειστός χώρος με υαλοστάσιο στη νότια πλευρά του κτιρίου. Ο ηλιακός χώρος, διαχωρίζεται από το κυρίως κτίριο με τοίχο θερμικής συσσώρευσης, που αποτελείται από μάζα μεγάλης θερμοχωρητικότητας ή μπορεί να υπάρχει κάποιο άλλο μέσο αποθήκευσης μέσα σε αυτό. Η επιλογή εξαρτάται από το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή αλλά και από τον τρόπο που το θερμοκήπιο χρησιμοποιείται. Η χρησιμότητα αυτού του συστήματος συμβάλλει στη διατήρηση της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου αλλά και των εσωτερικών χώρων της κατοικίας. Τα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται για να προθερμαίνουν τον αέρα που απαιτείται για τον αερισμό των κατοικιών και δεν απαιτείται τοποθέτηση βοηθητικής θέρμανσης.

Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας από το θερμοκήπιο μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

1. Ως χώρος άμεσου κέρδους που δε θερμαίνεται. Σε αυτή την περίπτωση, η θερμική μάζα που χρησιμοποιείται είναι τοποθετημένη στον τοίχο ή στο πάτωμα, μπορεί να είναι χτιστός όγκος με νερό και κινητή μόνωση.
2. Ως συλλέκτης. Σε αυτή την περίπτωση τονίζεται η χρήση και κατασκευή ελαφριών επιφανειών καθώς και στην εξαγωγή της θερμότητας από τον ηλιακό χώρο που είναι αποθηκευμένη προς το κτίριο, υπογείως ή μέσω αυτού.

Τα θερμοκήπια ως προς τον τρόπο που ενσωματώνονται στο κυρίως κτίριο ποικίλουν. Αποτελούν απλές προσθήκες στο νότιο τοίχο, έχοντας μερική ή πλήρη κάλυψη αυτού και μπορεί να καλύπτουν μέρος του όλου πλάτους του σπιτιού καλύπτοντας ένα, δύο ή περισσότερους ορόφους. Οι θερμοκρασίες που επικρατούν στους ηλιακούς χώρους ποικίλουν, κρίνοντάς τους ακατάλληλους προς κατοίκηση ή ανάπτυξη φυτών. Για να μπορέσει να αντισταθμιστεί αυτό, χρειάζεται να γίνει κάποιου τύπου ηλιακός έλεγχος. Γενικά, η κατοίκηση ηλιακών χώρων θεωρείται ακατάλληλη για το κλίμα της Ελλάδας. Η μέθοδος η οποία θα επιλεγεί για τη διανομή ενέργειας που συλλέγει το θερμοκήπιο, εξαρτάται από κάποιες παραμέτρους όπως, το κλίμα, τη χρήση του θερμοκηπίου ως συλλέκτη ή ως χώρο άμεσου κέρδους καθώς και από τον τρόπο που αυτό είναι συνδεδεμένο με το κυρίως κτίριο. Αν το θερμοκήπιο χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης, τότε είναι αναγκαία η χρήση ανεμιστήρων. Επίσης θα πρέπει να ληφθούν μέτρα προς αποφυγή της υπερθέρμανσης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όπως η ανάγκη για σκίαση, η οποία περιορίζεται με την εφαρμογή κατακόρυφων και όχι κεκλιμένων υαλοστάσιων, η εφαρμογή θυρίδων αερισμού, η χρήση κινητής μόνωσης η οποία αποτρέπει τις θερμικές απώλειες κατά τη διάρκεια της νύχτας αλλά και κατά τις νεφελώδεις ημέρες. Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα του θερμοκηπίου από οικονομικής άποψης, για τα δεδομένα της Ελλάδας θα πρέπει να συνδυαστεί με ενσωμάτωση μόνωσης αλλά και σκίασης. Στην περίπτωση που το θερμοκήπιο χρησιμοποιείται για φυτά απαιτείται η παροχή βοηθητικής θέρμανσης προς αποφυγή παγετού. Ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις κατοικίες που διαθέτουν ηλιακούς χώρους είναι ο έλεγχος της υγρασίας. Η απόδοση του θερμοκηπίου βελτιώνεται αν προβλεφτούν θυρίδες στο πάνω και κάτω μέρος του τοίχου για τη κίνηση του αέρα. Το μέγεθός του εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και οι ενδεικτικές διαστάσεις δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4: Ενδεικτικές διαστάσεις θερμοκηπίου.

Μέση εξωτερική θερμοκρασία το χειμώνα (°C)	Εμβαδόν υαλοστασίου για επιφάνεια εσωτερικού χώρου 1m ² σε συνδυασμό με τοίχο θερμοκτικής αποθήκευσης (m ²)
-1	0.65-1.15
4.5	0.40-0.70

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την κατασκευή και χρήση των θερμοκηπίων είναι ότι μπορούν να συνδυαστούν εύκολα με άλλα παθητικά συστήματα, δεν εξυπηρετούν μόνο ενεργειακούς σκοπούς, δηλαδή συμβάλλουν στην επέκταση του κατοικήσιμου χώρου ή στη δημιουργία ενός θερμοκηπίου για φυτά, μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν σε υφιστάμενα κτίρια, και τέλος το πιο σημαντικό είναι ότι συμβάλλουν στη σημαντική βελτίωση του μικροκλίματος της κατοικίας, διότι αν καλύπτει πλήρως το ύψος και το πλάτος του κτιρίου μειώνει τις θερμικές απώλειες του περιβλήματος και εξισορροπεί σε μεγάλο βαθμό τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα από την εφαρμογή του, το κόστος του είναι αρκετά υψηλό σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας, θα πρέπει όμως να συμπεριληφθεί και η ατμόσφαιρα και η οπτική άνεση, τις οποίες δημιουργεί. Η δυνατότητα χρήσης του θερμοκηπίου ως κατοικήσιμος χώρος είναι περιορισμένη και διαρκεί κάποιους μήνες του χρόνου. Άλλο μειονέκτημα είναι οι μεγάλες διακυμάνσεις που παρατηρούνται στη θερμοκρασία, η υπερθέρμανση κατά το καλοκαίρι, στις νότιες χώρες κυρίως, η γυάλινη στέγη που διαθέτει είναι αρκετά ψυχρή τη νύχτα με αποτέλεσμα να συμπυκνώνονται οι υδρατμοί στο εσωτερικό και σε συνδυασμό με την καλλιέργεια των φυτών αμβλύνουν την κατάσταση, στερώντας την άνεση από τους κατοίκους. Τέλος, η θερμική ενέργεια που παρέχει είναι υπό μορφή θερμού αέρα η οποία δύσκολα αποθηκεύεται. [4]

1.3.3 Συστήματα απομονωμένου κέρδους

Στα συστήματα απομονωμένου κέρδους η επιφάνεια ηλιοσυλλογής δεν βρίσκεται σε επαφή με τον χώρο θέρμανσης. Μεταξύ αυτής της επιφάνειας και το χώρο διαβίωσης υπάρχει ένας μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας, όπως για παράδειγμα ένας ανεμιστήρας. Στα παθητικά ηλιακά συστήματα η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με μη μηχανικά μέσα και βασίζεται κυρίως στην αγωγή, μεταγωγή και ακτινοβολία της θερμότητας. Παράδειγμα απομονωμένου κέρδους είναι το θερμοσιφωνικό πανέλο. [5]

Εκτός των παθητικών ηλιακών συστημάτων, υπάρχουν διάφορα συστήματα που εφαρμόζονται για φυσικό δροσισμό, τα οποία λειτουργούν θετικά και το χειμώνα, ενισχύοντας τη θερμομονωτική ικανότητα του κτιριακού κελύφους, όπως:

- Φράγμα ακτινοβολίας
- Αεριζόμενο κελύφος
- Φυτεμένο δώμα.

Στα συστήματα απομονωμένου κέρδους, η συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας πραγματοποιείται σε χώρους απομακρυσμένους από το χώρο κατοικίας, η οποία γίνεται με τη μεταφορά ενέργειας από το συλλέκτη στους εσωτερικούς χώρους του σπιτιού ή στο σύστημα συσσώρευσης και έπειτα στο εσωτερικό της κατοικίας με μεταφορά ή ακτινοβολία. Μια από τις πιο διαδεδομένες μορφές μεταφοράς ενέργειας από το συλλέκτη είναι ο θερμοσιφωνικός βρόγχος. Στο θερμοσιφωνικό βρόγχο, ο αέρας θερμαίνεται στο συλλέκτη, γίνεται πιο ελαφρύς κι έτσι ανέρχεται, μεταθέτοντας τον ψυχρότερο αέρα στα κατώτερα επίπεδα. Ο θερμότερος αέρας, μεταφέρει την ενέργειά του στο εσωτερικό της κατοικίας ή στο απομακρυσμένο σύστημα συσσώρευσης, κατέρχεται στο κάτω μέρος του συλλέκτη κι αυτή η κυκλική διαδικασία συνεχίζει όσο χρόνο ο συλλέκτης είναι αρκετά θερμός. Η θερμοσιφωνική αρχή χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ενέργειας στο χώρο της κατοικίας μέσω απομονωμένων τοίχων μάζας αλλά και μέσω ενδοδαπέδιων στρωμάτων. Οι ανεμιστήρες μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη διάχυση του θερμού αέρα αλλά και για περαιτέρω ενίσχυση του θερμοσιφωνικού βρόγχου. Ενώ κατά τη διάρκεια κατασκευής μιας νέας κατοικίας προτιμάται η ενσωμάτωση παθητικών ηλιακών συστημάτων, τα απομονωμένα συστήματα χρησιμοποιούνται κατά την ανακαίνιση μιας κατοικίας.

2.1 Γενικά

Η βέλτιστη εκμετάλλευση της ενέργειας αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα όταν είναι επιθυμητή η εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης. Σε ένα κτίριο πρέπει να εξασφαλίζεται ένα άνετο εσωτερικό κλίμα πλήρως προσαρμοσμένο στις ανάγκες των χρηστών του. Είναι σημαντικό αυτό να γίνεται με την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Για το λόγο αυτό, κάθε κτίριο πρέπει να μελετάται και να κατασκευάζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να καταναλώνεται η λιγότερη κατά το δυνατόν ενέργεια με παροχή όμως της απαιτούμενης θερμικής άνεσης, κατάλληλης για τη χρήση του χώρου. Οι ένοικοι επιθυμούν σε πρώτη φάση να εξασφαλίζουν την άνεσή τους και σε δεύτερη φάση, να διαχειρίζονται όσο είναι δυνατό καλύτερα την ενέργεια. Σ' ένα κτίριο πρέπει να παρέχονται στους ενοίκους οι δυνατότητες ώστε να μπορούν να επηρεάσουν το κλίμα του εσωτερικού χώρου. Το κτίριο πρέπει να είναι μελετημένο κατά τρόπο τέτοιο, ώστε οι δραστηριότητες αυτές να ταιριάζουν με την καλή διαχείριση της ενέργειας. Η θερμική άνεση στο χώρο είναι ουσιαστικά αυτή που έχει τη μεγαλύτερη σημασία μιας και σχετίζεται με την κατανάλωση ενέργειας. Είναι μια προσωπική αίσθηση που εξαρτάται από τις θερμικές ανταλλαγές μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος.

Προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας, είναι απαραίτητο να περιοριστεί η θερμική άνεση. Σε μια κατοικία που δε θερμαίνεται καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια από μια άλλη η οποία θερμαίνεται. Είναι όμως δυνατό, στις σημερινές κατοικίες να αυξηθεί η άνεση με μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Ένα καλό σύστημα ρύθμισης και ελέγχου της θερμοκρασίας, που συμπληρώνεται από μια καλή υδραυλική εξισορρόπηση του συστήματος κυκλοφορίας του ρευστού μετάδοσης της θερμότητας, εξασφαλίζει σε όλους τους χώρους ομοιόμορφη θερμοκρασία. Έτσι, δεν είναι ανάγκη να θερμαίνονται υπερβολικά ορισμένοι χώροι, προκειμένου να θερμανθούν άλλοι χώροι που είναι ψυχροί, με αποτέλεσμα τη σπατάλη ενέργειας. Τα ρεύματα αέρα περιορίζουν την άνεση επηρεάζοντας δυσμενώς και το θερμικό ισοζύγιο. Ένα κτίριο με καλή στεγανότητα ως προς τις ανεξέλεγκτες διεισδύσεις αέρα, μπορεί να εμποδίσει ουσιαστικά τα ρεύματα αέρα χωρίς να γίνονται σφάλματα και υπερβολές. Η καλή μόνωση αυξάνει τη θερμοκρασία των παρειών των χώρων, των δαπέδων, των οροφών και των παραθύρων. Η άνεση εξασφαλίζεται έτσι πιο εύκολα και η κατανάλωση θερμότητας μειώνεται.

Για την εξασφάλιση καλής θερμικής άνεσης σε μια κατοικία είναι απαραίτητο να μπορεί ο ένοικος να προσαρμόζει το εσωτερικό κλίμα στις απαιτήσεις του. Αν το κτίριο είναι σωστά μελετημένο τόσο ως προς τις θερμικές εγκαταστάσεις του, όσο και ως προς τις κατασκευαστικές του λεπτομέρειες, οι δυνατότητες προσαρμογής του για την εξασφάλιση θερμικής άνεσης στους ενοίκους έχουν ως αποτέλεσμα την εξασφάλιση ικανοποιητικού θερμικού ισοζυγίου. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να εξασφαλίζεται ικανοποιητική θερμική άνεση ακόμη και με μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Το σύστημα κτιριακής διαχείρισης της ενέργειας μπορεί να πραγματοποιήσει τις συνθήκες αυτές, χρησιμοποιώντας αισθητήρες στον εσωτερικό και εξωτερικό χώρο του κτιρίου. Με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή και κατάλληλου λογισμικού προγράμματος, είναι δυνατόν να εξοικονομηθεί θερμική και ηλεκτρική ενέργεια, προσφέροντας τις απαιτούμενες συνθήκες διαβίωσης στο χώρο του κτιρίου. Το κόστος εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος δεν είναι πολύ μεγάλο και αποσβένεται γρήγορα, λόγω του σημαντικού ποσοστού ενέργειας που μπορεί να εξοικονομηθεί. [14]

2.2 Ανάπτυξη της θερμικής άνεσης

Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, το ASHRAE άρχισε να χρηματοδοτεί μια σειρά μελετών στον τομέα της θερμικής άνεσης για κτίρια γραφείων σε τέσσερις διαφορετικές κλιματικές ζώνες. Ήταν ειδικά σχεδιασμένα ώστε να ακολουθούν ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο όπου ήταν και το πρώτο που αναπτύχθηκε (ASHRAE RP-462). Το 1995, (ASHRAE RP-884) ξεκίνησε η συλλογή ανεπεξέργαστων δεδομένων πεδίου από διάφορα έργα σε όλο τον κόσμο όπου ακολουθούσαν αυτό το τυποποιημένο (ή παρόμοιο) πρωτόκολλο.

Η βάση δεδομένων RP- 884 περιέχει περίπου 21.000 σετ δεδομένων από 160 διαφορετικά κτίρια γραφείων που βρίσκονται σε τέσσερις ηπείρους και καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα κλιματικών ζωνών. Ο τοποθεσίες που έχουν επιλεγεί για τη βάση δεδομένων περιλαμβάνουν τις εξής περιοχές: Μπανγκόκ, Ινδονησία, Σιγκαπούρη, Αθήνα, Μίσιγκαν, διάφορες θέσεις στην Καλιφόρνια, την Αγγλία και την Ουαλία, πόλεις στην Αυστραλία (Ντάργουιν, Τάουνσβιλ, Μπρίσμπα, Σύδνεϋ, Μελβούρνη) και πόλεις στο Πακιστάν (Καράτσι, Κατάρ, Μουλτάν). Τα δεδομένα περιλαμβάνουν ένα πλήρες φάσμα θερμικών απαιτήσεων μετά από σχετικό ερωτηματολόγιο, τα είδη ένδυσης και

τις μεταβολικές δραστηριότητες και με μέτρηση του εσωτερικού κλίματος υπολογίζονται μια ποικιλία θερμικών δεικτών με εξωτερικές μετεωρολογικές παρατηρήσεις.

Τα κτίρια στη βάση δεδομένων χωρίστηκαν σε εκείνους που είχαν ελεγχόμενη κεντρική θέρμανση, αερισμού και κλιματισμού με συστήματα HVAC και σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια (NV). Η κύρια διάκριση μεταξύ των τύπων των κτιρίων ήταν ότι τα φυσικά αεριζόμενα κτίρια δεν είχαν κανένα μηχανικό κλιματισμό και ο φυσικός εξαερισμός γινόταν με παράθυρα που ήταν άμεσα ελεγχόμενα από τους ενοίκους, σε αντίθεση με τα κτίρια με συστήματα HVAC όπου οι ένοικοι είχαν μικρό ή καθόλου έλεγχο. Δεδομένου ότι τα περισσότεροι φυσικά αεριζόμενα κτίρια μελετήθηκαν την περίοδο του καλοκαιριού, στις περισσότερες περιπτώσεις ο τύπος του συστήματος θέρμανσης ήταν ανύπαρκτος. Οι λίγες περιπτώσεις όπου είχαν μελετηθεί το χειμώνα μπορεί να είχαν ένα σύστημα θέρμανσης σε λειτουργία αλλά ήταν τύπου τέτοιου που επέτρεπαν τον έλεγχο από τους ενοίκους. Όλες οι στατιστικές αναλύσεις έγιναν ξεχωριστά για τα κτίρια με συστήματα HVAC και NV, χρησιμοποιώντας κάθε κτίριο ως αρχική μονάδα ανάλυσης. [13]

Το μοντέλο PMV βασίζεται στη θερμορύθμιση και στη θερμική ισορροπία. Σύμφωνα με τη θερμική ισορροπία, το ανθρώπινο σώμα χρησιμοποιεί φυσιολογικές διαδικασίες, προκειμένου να διατηρηθεί μια ισορροπία μεταξύ της θερμότητας που παράγεται από τον μεταβολισμό και τη θερμότητα που χάνεται από το σώμα. Το 1967 ο Fanger διερεύνησε τις φυσιολογικές διαδικασίες του σώματος, όταν είναι κοντά στο μηδέν για να καθορίσει την πραγματική εξίσωση για την θερμική άνεση. Οι έρευνες άρχισαν με τη διαπίστωση ότι οι μόνες φυσιολογικές διεργασίες που επηρεάζουν την θερμική ισορροπία ήταν το ποσοστό του ιδρώτα και η μέση θερμοκρασία του δέρματος, ως λειτουργία του επιπέδου δραστηριότητας. Μετά από αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τη μελέτη του McNall et al. (1967) για τη γραμμική σχέση μεταξύ των επιπέδων δραστηριότητας και το ποσοστό του ιδρώτα και δημιούργησε μια γραμμική σχέση μεταξύ του επιπέδου δραστηριότητας με τη μέση θερμοκρασία του δέρματος. Αυτές οι γραμμικές σχέσεις αντικαταστάθηκαν στις εξισώσεις του θερμικού ισοζυγίου για τη δημιουργία της εξίσωσης της θερμικής άνεσης, όπου περιγράφει όλους τους συνδυασμούς των έξι μεταβλητών εισόδου PMV που οδηγούν σε μια ουδέτερη θερμική αίσθηση. [14]

2.3 Κριτήρια για την θερμική άνεση

Οι περιβαλλοντικές παράμετροι που συνθέτουν το θερμικό περιβάλλον είναι: η θερμοκρασία (του αέρα, η ακτινοβολία, της επιφάνειας), η υγρασία, η ταχύτητα του αέρα και διάφορες προσωπικές παραμέτρους (ρούχα μαζί με το επίπεδο δραστηριότητας). Το επίπεδο της θερμικής άνεσης μπορεί να επηρεαστεί από ό,τι είναι τεχνικά εφικτό, την οικονομία, τη χρήση ενέργειας, την περιβαλλοντική ρύπανση και τις επιδόσεις.

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 5) παρουσιάζει τα συνιστώμενα επίπεδα αποδοχής για τη λειτουργική θερμοκρασία και τη ταχύτητα του αέρα. Για το σχεδιασμό των συστημάτων θέρμανσης και τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τη θέρμανση η χαμηλότερη τιμή στην περιοχή και για την ψύξη η ανώτερη τιμή.

Το παράδειγμα που δίνεται στον Πίνακα 5 είναι για άτομα με καθιστική ζωή, με είδη ένδυσης (0.5 CLO) σε ένα τυπικό καλοκαίρι και το χειμώνα (0.9 CLO). Αυτό αντιστοιχεί σε γραφεία, αίθουσες διδασκαλίας, σπίτια κλπ. Τα κριτήρια αυτά βασίζονται σε τρεις κατηγορίες που παρατίθενται στον Πίνακα 6 για τις τοπικές παραμέτρους δυσφορίας. [15]

Πίνακας 5: Πρότυπο ASHRAE

	Λειτουργική θερμοκρασία	Αποδεκτό εύρος
Χειμώνας	22°C	20-23°C
Καλοκαίρι	24.5°C	23-26°C

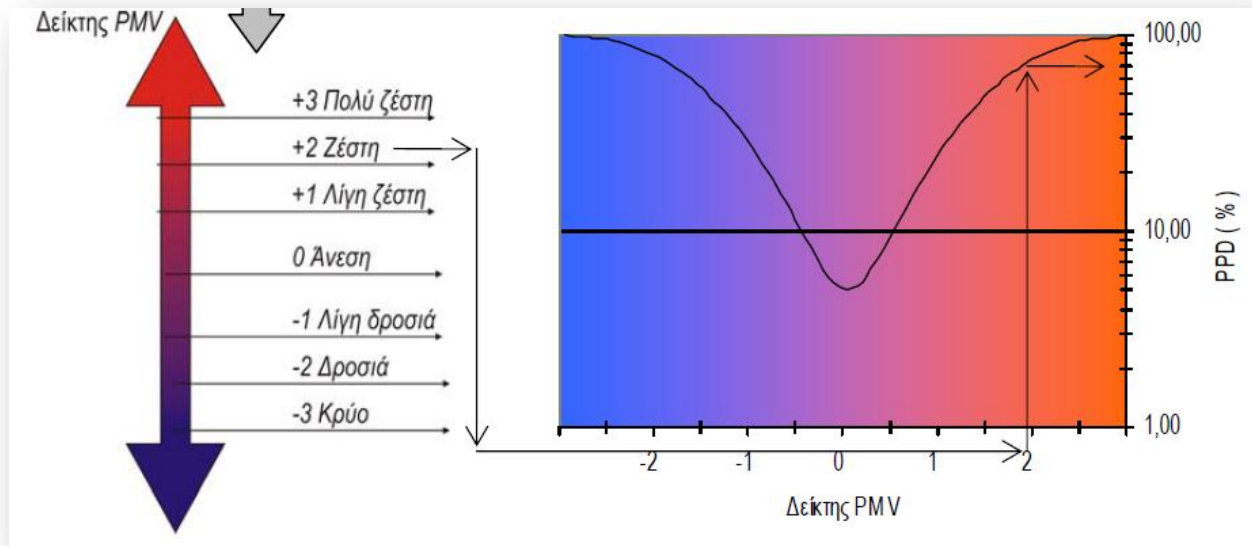
Πίνακας 6: Προβλεπόμενο ποσοστό δυσανεσθημένων ανθρώπων (PPD), με βάση την προβλεπόμενη θερμική άνεση (PMV).

Άνεση	PPD	Εύρος του PMV
A	<6	-0.2<PMV<0.2
B	<10	-0.5<PMV<0.5
C	<15	-0.7<PMV<0.7

Οι συνθήκες για τη θερμική άνεση θεωρούνται όταν η σχετική υγρασία είναι περίπου 50%, η μέση σχετική ταχύτητα του αέρα μικρότερη από 0.15 m/s και η μέση ακτινοβόλος θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία του αέρα με μεταβολικό ρυθμό 1.2. Η τυπική ένδυση ορίζεται ως 0.9 CLO το χειμώνα και 0.5 clo το καλοκαίρι. Ο κύριος στόχος της θέρμανσης, του εξαερισμού και του κλιματισμού είναι να παρέχει άνεση στους κατοίκους με την αφαίρεση ή την προσθήκη θερμότητας και υγρασίας από το χώρο. Ομοίως, ο κύριος στόχος της μελέτης των συνθηκών θερμικής άνεσης είναι γενικά να καθορίζει τις προϋποθέσεις για την επίτευξη της ανθρώπινης εσωτερικής θερμικής ουδετερότητας με την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Για να γίνει αυτό, προκύπτει η ανάγκη μελέτης της αντίδρασης του ανθρώπινου σώματος, σε ορισμένους περιβαλλοντικούς όρους. Θεωρείται ένα άνετο περιβάλλον όπου δεν υπάρχει καμία θερμική διαταραχή, δηλαδή το άτομο δεν αισθάνεται πάρα πολύ κρύο ή ζέστη. Για να ορισθούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης θα πρέπει να δοθούν κάποιες χαρακτηριστικές παράμετροι του περιβάλλοντος και των κατοίκων. [14]

Οι πιο σημαντικές παράμετροι για την σχεδιασμό των εγκαταστάσεων συστημάτων κλιματισμού είναι:

- Κλίμακα PMV: είναι ένα υπολογιστικό μοντέλο για την αξιολόγηση γενικών συνθηκών άνεσης. Η κλίμακα PMV αποτελείται από επτά σημεία που κυμαίνονται από -3 (κρύο) σε +3 (ζεστό), όπου το 0 αντιπροσωπεύει την ουδέτερη θερμική αίσθηση.
- Κλίμακα PPD: όταν ο δείκτης PMV είναι 0, υπάρχουν κάποιες μεμονωμένες περιπτώσεις δυσανεσκειας ανάλογα με το επίπεδο της θερμοκρασίας, ακόμα και αν όλοι είναι ντυμένοι με τον ίδιο τρόπο και το επίπεδο δραστηριότητας είναι το ίδιο. Αυτό οφείλεται σε ορισμένες διαφορές προσέγγισης όσον αφορά την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης από το ένα άτομο στο άλλο. Για την πρόβλεψη του αριθμού των ατόμων που είναι δυσανεσθημένοι με ένα δεδομένο θερμικό περιβάλλον, χρησιμοποιείται ένας δείκτης που ονομάζεται PPD. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 8) φαίνεται η εξέλιξη των δύο δεικτών.
- Εκτιμώμενος μεταβολικός ρυθμός (EMP): είναι η ποσότητα ενέργειας που εκπέμπεται από ένα άτομο ως συνάρτηση του επιπέδου της μυϊκής δραστηριότητας.
- Εκτιμώμενη μόνωση από το ύφασμα (CLO): συνήθως, η μονάδα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της μόνωσης από την ένδυση των κατοίκων είναι η χρήση του: $m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$ ($1 \text{ CLO} = 155 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$). Η κλίμακα είναι τέτοια ώστε ένα γυμνό πρόσωπο να έχει τιμή 0.0 CLO και ένα τυπικό ένδυμα να έχει τιμή 1.0 CLO.
- Παράμετροι που περιγράφουν το θερμικό περιβάλλον: για την εξίσωση της θερμικής άνεσης θα πρέπει να συνδυαστεί η θερμοκρασία κατά την θερμική άνεση του δέρματος και η θερμική εξίσωση του ισοζυγίου για το σώμα. Η εξίσωση αυτή περιγράφει τη μέση τιμή της σχέσης μεταξύ των φυσικών παραμέτρων και της θερμικής αίσθησης που βιώνει ένα ουδέτερο άτομο. [14]



Εικόνα 8: Εξέλιξη του PPD με βάση το PMV [38]

Το ανθρώπινο σώμα δεν αισθάνεται τη θερμοκρασία αλλά αισθάνεται τις απώλειες που επέρχονται από το περιβάλλον. Ως εκ τούτου, οι παράμετροι που πρέπει να μετρηθούν είναι αυτοί που επηρεάζουν την απώλεια θερμότητας όπως: η θερμοκρασία του αέρα (t_a), η μέση ακτινοβόλος θερμοκρασία (t_r), η ταχύτητα του αέρα (v) και η απόλυτη υγρασία του αέρα (w). Επειδή ο προσδιορισμός της μέσης ακτινοβόλου θερμοκρασίας (t_r) είναι δύσκολος, συνήθως χρησιμοποιείται μια άλλη παράμετρος που μπορεί να την αντικαταστήσει, όπως είναι η θερμοκρασία λειτουργίας, η οποία ενσωματώνει την επίδραση της $t_a + t_r$. Η θερμοκρασία λειτουργίας είναι η θερμοκρασία που απαιτείται να έχουν οι τοίχοι και ο αέρας. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία υπολογίζεται από τον ορισμό της απώλειας θερμότητας που διαφεύγει από το σώμα, ανά μονάδα χρόνου και επιφάνεια, όπως φαίνεται στην εξίσωση:

$$t_o = \frac{(h_r \bar{t}_r + h_c t_a)}{(h_r + h_c)}$$

Η παραπάνω σχέση μπορεί να προσεγγιστεί με ικανοποιητική ακρίβεια από την παρακάτω εξίσωση:

$$t_o = \frac{(\bar{t}_r + t_a)}{2}$$

Αυτό σημαίνει ότι η ακτινοβόλος θερμοκρασία μπορεί να υπολογιστεί από τη μέση θερμοκρασία των τοίχων από τον σταθμικό μέσο όρο των θερμοκρασιών κάθε τοίχου, μέσω της παρακάτω εξίσωσης. Το S αντιπροσωπεύει τις επιφάνειες και το t τις θερμοκρασίες.

$$t_{mp} = \sum_{i=1}^{i=n} S_i \frac{t_{pi}}{S_T}$$

Τέλος, μπορεί να καθοριστεί μια ζώνη άνεσης για δεδομένες τιμές υγρασίας, ταχύτητας του αέρα, του ποσοστού μεταβολισμού και της μόνωσης που παράγεται από το είδος ένδυσης, όσον αφορά τη θερμοκρασία λειτουργίας. Η περιοχή αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 9, όπου η ταχύτητα του αέρα δεν υπερβαίνει τα 0.20 m/s. Το πρότυπο ASHRAE δίνει δύο ζώνες με 0.5 και 1.0 CLO των ενδυμάτων όπου αντιστοιχούν όταν το εξωτερικό περιβάλλον

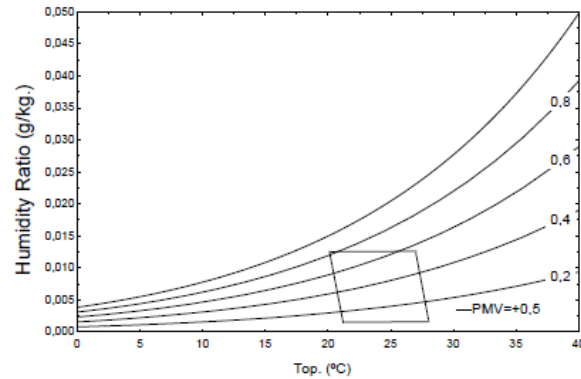
είναι ζεστό και δροσερό, αντίστοιχα. Οι παρακάτω εξισώσεις καθορίζουν τη γενεσιουργό θερμοκρασία που επιτρέπεται για κάθε περίπτωση. [14]

$$T_{op\ min, I_{cl}} = \frac{[(I_{cl} - 0.5clo)T_{min, 1.0clo} + (1.0clo - I_{cl})T_{min, 0.5clo}]}{0.5clo}$$

$$T_{op\ max, I_{cl}} = \frac{[(I_{cl} - 0.5clo)T_{max, 1.0clo} + (1.0clo - I_{cl})T_{max, 0.5clo}]}{0.5clo}$$

Όπου:

- $T_{max, I_{cl}}$ είναι το ανώτερο όριο θερμοκρασίας για I_{clo} ενδυμάτων.
- $T_{min, I_{cl}}$ είναι το χαμηλότερο λειτουργικό όριο θερμοκρασίας για I_{clo} ενδυμάτων
- I_{cl} είναι η θερμική μόνωση των εν λόγω ειδών ένδυσης (CLO).



Εικόνα 9: Ζώνη άνεσης [14]

2.3.1 Ταχύτητα του αέρα

Η ταχύτητα του αέρα σε ένα χώρο μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη άνεση κάτω από συνθήκες ζέστης. Το μοντέλο, το οποίο περιλαμβάνεται τόσο στο πρότυπο ASHRAE όσο και στο πρότυπο ISO EN 7730, παρατίθεται παρακάτω:

$$DR = ((34 - t_a) * (v - 0.05)^{0.62}) * (0.37 * v * T_u + 3.14)$$

όπου:

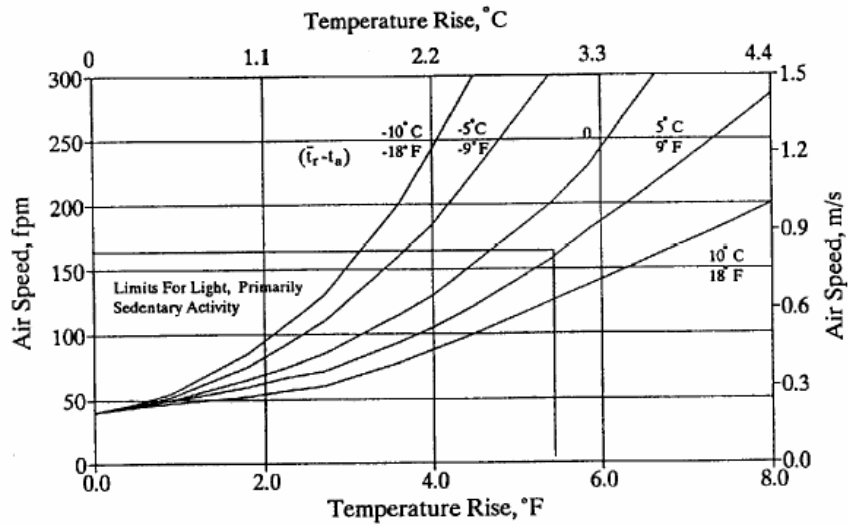
DR: είναι το ποσοστό των ατόμων που είναι δυσαρεστημένοι

t_a : είναι η τοπική θερμοκρασία του αέρα σε °C

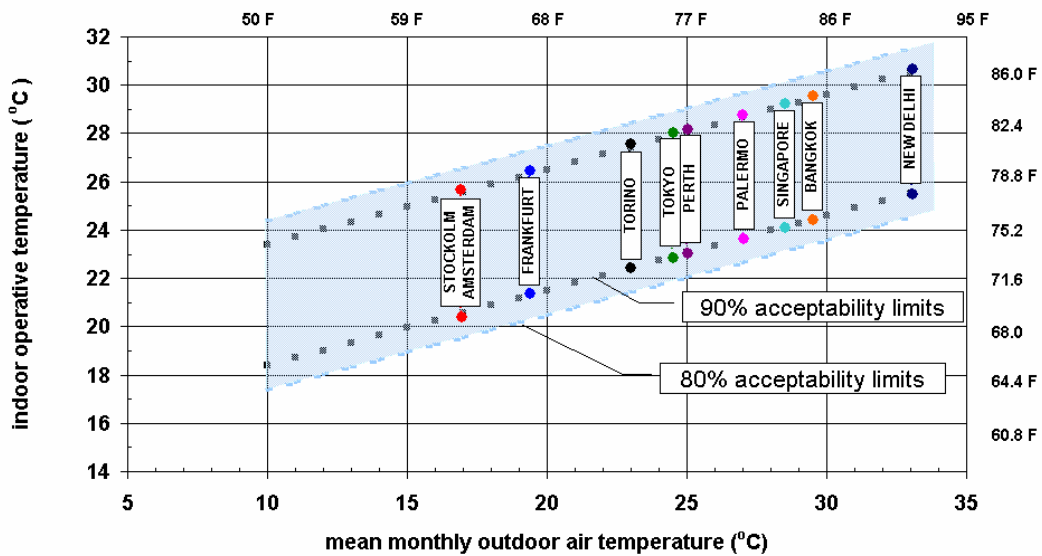
v: είναι η μέση ταχύτητα του αέρα σε m/s

T_u : είναι το ποσοστό της τύρβης.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η ταχύτητα του αέρα που απαιτείται για να αντισταθμιστεί με την αύξηση της θερμοκρασίας καθώς και το αποδεκτό λειτουργικό εύρος των θερμοκρασιών για φυσικά κλιματιζόμενους χώρους, αντίστοιχα. Διάφορες μελέτες δείχνουν ότι σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια (χωρίς μηχανική ψύξη) οι άνθρωποι φαίνεται να προσαρμόζονται και να μπορούν να δεχθούν υψηλότερες εσωτερικές θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις προβλέψεις από το μοντέλο PMV. Κατά την αναθεώρηση του προτύπου ISO 7730 και του ASHRAE, οι άνθρωποι θα εξακολουθούν να έχουν το ίδιο επίπεδο απόδοσης στις υψηλές θερμοκρασίες. Για τις περισσότερες ευρωπαϊκές πόλεις το ανώτατο όριο είναι 26-27 °C, η οποία είναι παρόμοια με τα συνιστώμενα όρια με βάση το δείκτη PMV-PPD. Για θερμότερα περιβάλλοντα όμως, θα είναι αποδεκτό, σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, να έχουν εσωτερική θερμοκρασία μερικών βαθμών υψηλότερη. [15]



Εικόνα 4: Ταχύτητα του αέρα που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας (πρότυπο ASHRAE 55-1992rev).



Εικόνα 5: Αποδεκτό λειτουργικό εύρος θερμοκρασιών για φυσικά κλιματιζόμενους χώρους, σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 55rev-2003. Το εύρος εμφανίζεται για διαφορετικές κλιματικές ζώνες.

2.4 Εναλλακτικά μοντέλα θερμικής άνεσης

Για τον καθορισμό των συντελεστών θερμικής άνεσης ενός περιβάλλοντος μπορεί να βρεθούν μέθοδοι που βασίζονται στη μελέτη του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπινου σώματος καθώς και από εμπειρικές εξισώσεις. Η τελευταία μέθοδος χρησιμοποιεί εξισώσεις που καθορίζουν τα ίδια ποσοστά άνεσης με μεγαλύτερη απλότητα από την πρώτη.

Η θερμική ισορροπία ακολουθεί το πρότυπο ISO 7730 για τη μελέτη των συνθηκών θερμικής άνεσης, ανεξάρτητα από την κλιματική περιοχή. Οι εμπειρικές εξισώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί σε ειδικές κλιματικές περιοχές. Η θερμική ισορροπία αρχίζει με δύο απαραίτητες προϋποθέσεις για την διατήρηση της θερμικής άνεσης:

1. Πρέπει να ληφθεί μια ουδέτερη περίπτωση σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία του δέρματος και του σώματος.
2. Σε ένα πλήρες ενεργειακό ισοζύγιο σώματος, η ποσότητα της θερμότητας που παράγεται μέσω του μεταβολισμού, πρέπει να είναι ίση με εκείνη που έχασε από την ατμόσφαιρα (σταθερή κατάσταση).

Η εφαρμογή των παραπάνω προϋποθέσεων έχει σαν αποτέλεσμα την παρακάτω εξίσωση:

$$M - W = q_{sk} + q_{res} + S$$

$$M - W = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + (S_{sk} + S_{cr})$$

Όπου:

M: το ποσοστό της θερμότητας μεταβολισμού (W/m²)

W: το ποσοστό του μηχανικού έργου (W/m²)

q_{sk}: το συνολικό ποσοστό απώλειας θερμότητας από το δέρμα (W/m²)

q_{res}: το συνολικό ποσοστό απώλειας θερμότητας μέσω της αναπνοής (W/m²)

C_{res}: το ποσοστό συναγωγής από την απώλεια θερμότητας κατά την αναπνοή (W/m²)

E_{res}: ο ρυθμός απώλειας θερμότητας λόγω εξάτμισης της αναπνοής (W/m²)

S_{sk}: το ποσοστό αποθήκευσης της θερμότητας δέρμα (W/m²)

S_{cr}: η αποθήκευση της θερμότητας στο χώρο (W/m²)

Το ποσοστό αποθήκευσης της θερμότητας στο σώμα, θεωρείται ως δύο παράμετροι (δέρμα και χώρος) και ορίζεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$S_{cr} = \frac{(1 - a_{sk})mc_{p,b}}{A_D} * \frac{dt_{cr}}{d\theta}$$

$$S_{sk} = \frac{a_{sk}mc_{p,b}}{A_D} * \frac{dt_{sk}}{d\theta}$$

Όπου:

- α_{sk}: το κλάσμα της μάζας του σώματος συγκεντρωμένη στο δέρμα
- m: η μάζα του σώματος (kg)
- c_{p,b}: η ειδική θερμότητα του σώματος (kJ/kgK)
- A_D: η επιφάνεια (m²)
- T_{cr}: η θερμοκρασία του χώρου (°C)
- T_{sk}: η θερμοκρασία του δέρματος (°C)
- θ: ο χρόνος (s)

Η εξίσωση μπορεί να μετατραπεί με τον καθορισμό της θερμικής ισορροπίας για ένα άτομο. Με βάση αυτές τις παραμέτρους μπορούν να καθοριστούν οι δείκτες που χρησιμοποιούνται γενικά για τον καθορισμό ενός θερμικού περιβάλλοντος, όπως φαίνεται στις παρακάτω εξισώσεις, οι οποίες υπολογίζουν το ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων.

$$PMV = (0.303 * e^{-0.036M} + 0.028) * L$$

$$PPD = 100 - 95 * e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)}$$

- όπου L είναι το θερμικό φορτίο του σώματος, το οποίο ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής θερμότητας που παράγεται και της απώλειας θερμότητας σε ένα πραγματικό περιβάλλον.

Η θερμότητα εξάτμισης (E_{sk}) εξαρτάται από την ποσότητα της υγρασίας που υπάρχει στο δέρμα και τη διαφορά μεταξύ της πίεσης των υδρατμών στο δέρμα και στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$E_{sk} = \frac{w(p_{sk} - p_a)}{R_e + 1/(f_{cl}h_e)}$$

Όπου:

- w : είναι η επιδερμίδα
- p_{sk} : είναι η πίεση των υδρατμών στο δέρμα (kPa)
- R_e : είναι η θερμική αντίσταση εξάτμισης λόγω μεταφοράς από τα ρούχα ($m^2 \text{ kPa}/W$)
- $1/f_{cl}h_e$: Ο συντελεστής εξάτμισης λόγω μεταφοράς θερμότητας ($W/m^2 \text{ kPa}$)

Από την ανταλλαγή θερμότητας με συναγωγή και εξάτμιση λόγω της αναπνοής προέκυψαν οι παρακάτω εξισώσεις αντίστοιχα, καθώς και η εξίσωση που υπολογίζει την απώλεια θερμότητας από το δέρμα. [14]

$$C_{res} = 0.0014M(34 - t)$$

$$E_{res} = 1.72 * 10^{-5}M(5867 - P_v)$$

$$C + R = \frac{t_{sk} - t_o}{R_{cl} + 1/(f_{cl}h)}$$

2.4.1 Μοντέλο λειτουργικής θερμοκρασίας

Σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE, η λειτουργική θερμοκρασία μπορεί να επιτευχθεί με βάση την δραστηριότητα και το είδος ένδυσης, όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$t_{oac} = t_{osed} - 3(1 + clo)(met - 1.2)$$

Η εξίσωση ισχύει για τιμές μεταξύ 1.2 - 3 με ελάχιστη αποδεκτή τιμή $t_{oac} = 15^\circ \text{C}$.

Οι συνθήκες θερμοκρασίας για καθιστική δραστηριότητα το καλοκαίρι ή το χειμώνα είναι:

Για το καλοκαίρι:

$$t_{osed} = 24.5 \pm 1.6^\circ \text{C}$$

Για το χειμώνα:

$$t_{osed} = 21.8 \pm 1.8^\circ \text{C}$$

2.4.2 Προσαρμοζόμενα μοντέλα

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, τα προσαρμοστικά μοντέλα εφαρμόζονται για τον καθορισμό της ουδέτερης θερμοκρασίας ως συνάρτηση της εξωτερικής, της εσωτερικής ή και των δύο θερμοκρασιών. Μερικά από

αυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ακρίβεια σε ορισμένους όρους. Στις παρακάτω εξισώσεις παρουσιάζονται τα διάφορα μοντέλα:

Nicol και Roaf:

$$T_{n,o} = 17 + 0.38T_o$$

Humphreys:

$$T_{n,i} = 2.6 + 0.831T_i$$

$$T_{n,o} = 11.9 + 0.534T_o$$

Auliciems:

$$T_{n,i} = 5.41 + 0.731T_i$$

$$T_{n,o} = 17.6 + 0.31T_o$$

$$T_{n,i,o} = 9.22 + 0.48T_i + 0.14T_o$$

ASHRAE:

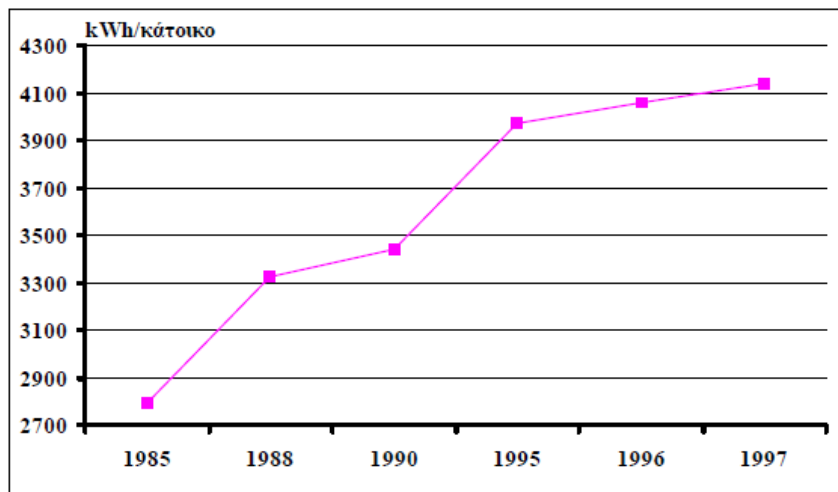
$$T_c = 17.8 + 0.31T_o$$

Όπου:

- T_c είναι η θερμοκρασία θερμικής άνεσης,
- T_o είναι η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα,
- T_i είναι η μέση θερμοκρασία του αέρα στον εσωτερικό χώρο,
- $T_{n,i}$ είναι η ουδέτερη θερμοκρασία που βασίζεται στη μέση θερμοκρασία του αέρα του εσωτερικού χώρου και
- $T_{n,o}$ είναι η ουδέτερη θερμοκρασία με βάση τη μέση εξωτερική θερμοκρασία του αέρα. [14]

2.5 Υφιστάμενα κτήρια

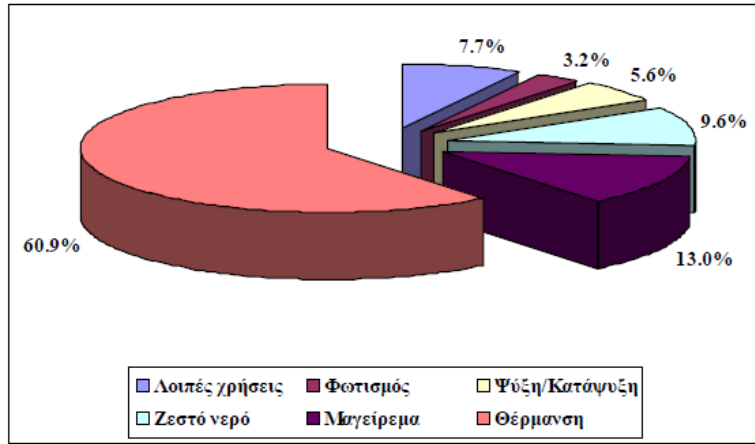
Τα τελευταία χρόνια η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κάτοικο στην Ελλάδα αυξάνεται συνεχώς, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά κάτοικο και κατ' επέκταση τη ρύπανση του περιβάλλοντος και την υποβάθμιση της ποιότητας ζωής.



Πηγή: E.U. Annual Energy Review 1999

Εικόνα 6: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κάτοικο στην Ελλάδα

Ο οικιακός τομέας με χρήση ως κατοικία, αποτελεί το 73% των κτιρίων της χώρας (Στατιστική Επετηρίδα της Ελλάδος, 1998) ενώ το υπόλοιπο ποσοστό αντιπροσωπεύει άλλες χρήσεις (εκκλησίες, ξενοδοχεία, εργοστάσια-εργαστήρια, σχολεία). Από την παρακάτω εικόνα φαίνεται ότι τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, ο αριθμός των κατοικιών αυξάνεται συνεχώς. Επίσης, στην εικόνα παρατηρείται η μεγάλη συμμετοχή της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση σε σχέση με τις υπόλοιπες χρήσεις, καθώς και η μεγάλη χρήση των ηλεκτρικών συσκευών για μαγείρεμα και για θέρμανση του νερού. Έτσι, χρήζει προτεραιότητας –λόγω της μεγάλης συμμετοχής του στην εκπομπή CO₂– η λήψη μέτρων για την εξοικονόμηση και ορθολογική χρήση της ενέργειας, με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και τη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης, με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση.



Πηγή: Καραβασιλή 1999, σελ. 238

Εικόνα 7: Κατανομή ενέργειας στον οικιακό τομέα

Τα μέτρα τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν αφορούν δύο κατηγορίες κτιρίων. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα κτίρια που έχουν κατασκευαστεί πριν το Κανονισμό Θερμομόνωσης, δηλαδή πριν το 1979. Στα κτίρια αυτά έχουν παρατηρηθεί σοβαρές ελλείψεις στη μόνωση του κελύφους, αλλά και στη μόνωση των εγκαταστάσεων των σωληνώσεων θέρμανσης, σύμφωνα με στοιχεία της τεχνικής έκθεσης "Ενέργεια 2001". Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα κτίρια κατασκευής μετά το 1979, όπου θεσπίστηκε ο Κανονισμός Θερμομόνωσης. Στα κτίρια αυτά η απαιτούμενη επίβλεψη θερμομόνωσης δεν ήταν επαρκής και έτσι διαπιστώθηκαν ατέλειες στην εφαρμογή της.

Τα μέτρα τα οποία μπορούν να πραγματοποιηθούν είναι τα παρακάτω:

- Μόνωση του περιβλήματος με κατάλληλη μετατροπή των δομικών στοιχείων.
- Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας με παθητικά ηλιακά συστήματα.
- Αύξηση της απόδοσης των εγκαταστάσεων θέρμανσης.
- Αλλαγή του καυσίμου των κεντρικών θερμάνσεων.

Στα νέα κτίρια και πολεοδομικά σύνολα τα μέτρα τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν είναι:

- Εφαρμογή των αρχών του βιοκλιματισμού (κατάλληλος αερισμός και φωτισμός).
- Πλήρης θερμομόνωση του κτιρίου.
- Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων.
- Εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης χαμηλών θερμοκρασιών (ενδοδαπέδια θέρμανση).
- Εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών για χρήση ζεστού νερού.
- Χρήση συστημάτων ελέγχου και αυτοματισμών.

Ένα σημαντικό σημείο αναφοράς είναι η εγκατάσταση κλιματιστικών συσκευών και η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό. Λόγω της ραγδαίας αύξησης της εγκατάστασης κλιματιστικών μονάδων τα

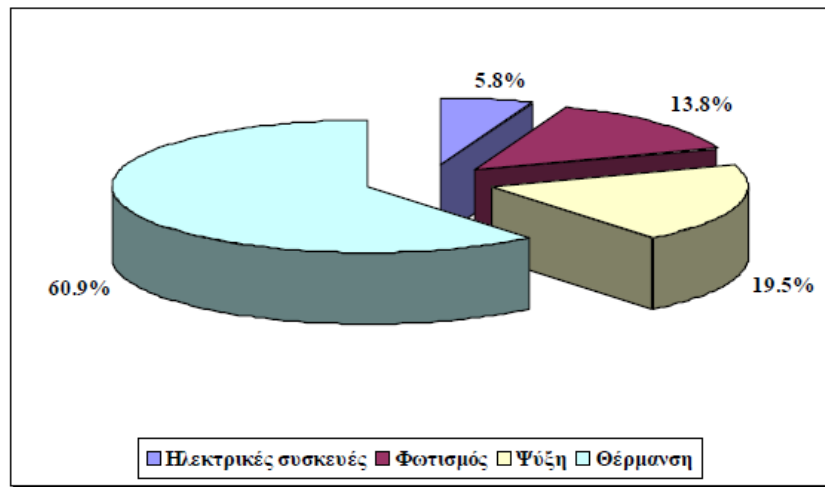
τελευταία χρόνια και της μεγάλης ενεργειακής τους κατανάλωσης, κρίνεται απαραίτητη η επιβολή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, όπως:

- Η ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τη λειτουργία των κλιματιστικών συσκευών που διαθέτουν οι οικίες. Σε κάθε κλιματιστική συσκευή υπάρχουν προγράμματα λειτουργίας χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.
- Η έκδοση άδειας εγκατάστασης κλιματιστικών ανάλογα με τον όγκο της οικίας.

Η εξοικονόμηση ενέργειας από τον φωτισμό μπορεί να έχει άμεσα θετικά αποτελέσματα. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως μπορούν να αντικατασταθούν σταδιακά με λαμπτήρες χαμηλής κατανάλωσης (φθορίου) χωρίς να μειώνεται η απόδοση του φωτισμού. Έχει υπολογιστεί πως ο λαμπτήρας φθορίου αντικαθιστώντας τους παραδοσιακούς λαμπτήρες πυρακτώσεως καταναλώνει 75% μέχρι 80% λιγότερο ηλεκτρισμό και διαρκεί πολύ περισσότερο, χωρίς να μειώνεται η ένταση του φωτός [Γεωργόπουλος 1998].

2.5.1 Δημόσια κτίρια

Τα κτίρια του δημόσιου τομέα αντιπροσωπεύουν το 27% περίπου του συνόλου των κτιρίων της χώρας, με συνολικό όγκο της τάξης των 17.536 m³ (15% του συνολικού κτιριακού όγκου) (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. 1995). Η κατανομή ενέργειας ανά χρήση στα κτίρια αυτά παρουσιάζει υψηλά ποσοστά κατανάλωσης, κυρίως όσον αφορά σε ανάγκες θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού και ηλεκτρικές συσκευές (Εικόνα 8). Η συνολική κατανάλωση ενέργειας αναλογεί στο 8%, όπου το πετρέλαιο αποτελεί το 94% της κατανάλωσης υγρών καυσίμων.



Πηγή: Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. 1995, σελ. 19

Εικόνα 8: Κατανομή ενέργειας στα δημόσια κτίρια.

Οι μεγαλύτερες καταναλώσεις παρατηρούνται στα νοσοκομεία, με ποσοστά 55.1% και 44.9% θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχα. Κύριο μέλημα για τα δημόσια κτίρια είναι η μείωση της εκπομπής του CO₂ και η σταδιακή διεύδυση μηχανισμών ενεργειακής πιστοποίησης. Είναι ο τομέας όπου το κράτος μπορεί να παρέμβει δραστικά με βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα οφέλη, τόσο στον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας όσο και στον περιορισμό των εκπομπών ρύπων.

Τα μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν στο δημόσιο τομέα είναι:

- ✓ Χρήση επιπλέον μόνωσης και εγκατάσταση διπλών παραθύρων.
- ✓ Αύξηση του βαθμού απόδοσης των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης.
- ✓ Αντικατάσταση όλων των λαμπτήρων πυρακτώσεως με λαμπτήρες φθορισμού.
- ✓ Εφαρμογή αυτοματισμών στις διατάξεις θέρμανσης και ψύξης.
- ✓ Αλλαγή του καυσίμου των κεντρικών θερμάνσεων.
- ✓ Εφαρμογή των αρχών του βιοκλιματισμού στα νέα κτίρια.

- ✓ Εγκατάσταση ηλιακών θερμοσιφωνικών συστημάτων.

Τα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας, εφαρμόζοντας τα παραπάνω μέτρα δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7: Εξοικονόμηση ενέργειας στα δημόσια κτίρια [Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. 1995]

Τύπος κτιρίου	Χρήση επιπλέον μόνωσης	Διπλά παράθυρα	Αύξηση απόδοσης του συστήματος 10%	Χρήση λαμπτήρων φθορισμού
Γραφεία	17%	5%	9%	24%
Εμπορικά	38%	4%	17%	26%
Εκπαιδευτήρια	44%	6%	6%	31%
Νοσοκομεία	37%	7%	15%	36%
Ξενοδοχεία	48%	6%	13%	63%

3.1 Δομικοί λίθοι

Η συνεχής αύξηση των καταναλωτικών αγαθών, η υπερβολική αύξηση του πληθυσμού και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, οδήγησε στην ταχεία αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης τα τελευταία είκοσι χρόνια. Η αυξημένη χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει συμβάλλει στην αύξηση των εκπεμπόμενων ρύπων οι οποίοι καταστρέφουν τη στοιβάδα του όζοντος και έχουν υποβαθμίσει το περιβάλλον σε μεγάλο βαθμό καταστρέφοντας σταδιακά τα οικοσυστήματα.

Ο όρος δομημένο περιβάλλον αναφέρεται στο συνολικό χώρο που έχει αναπτυχθεί από τις ανθρώπινες κατασκευές συμπεριλαμβανομένου όλων των κτιρίων που καλύπτουν τις ανάγκες στέγασης, απασχόλησης και αναψυχής. Βάσει του μεγέθους των κτιρίων και των γειτονικών υποδομών το δομημένο περιβάλλον χαρακτηρίζεται ως αστικό, ημιαστικό και αγροτικό. [5]

Ένα κτίριο χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, είναι πιο αποτελεσματικό από ό,τι ένα συμβατικό κτίριο το οποίο είναι σχεδιασμένο με ιδιαίτερη προσοχή ως προς τη χρήση πράσινων υλικών, αλλά με κανένα μέτρο για την εξοικονόμηση ενέργειας. Το ίδιο σπίτι, σε σύγκριση με αντίστοιχο συμβατικό κτίριο, απαιτεί την διπλάσια ενσωματωμένη ενέργεια, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζει μείωση στις συνολικές ανάγκες ενέργειας. Ένα παθητικό σπίτι, ένα άλλο είδος κτιρίου χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, είναι ακόμη πιο αποτελεσματικό από ό,τι ένα συμβατικό αυτόνομο κτίριο. [1]

Οι τεχνητοί δομικοί λίθοι, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν σε σχέση με τους φυσικούς λίθους, χρησιμοποιούνται ευρέως στις κατασκευές. Μερικά από τα πλεονεκτήματά τους είναι η δυνατότητα στην επιλογή πρώτων υλών, η παραγωγή δομικών στοιχείων με προκαθορισμένες διαστάσεις και ιδιότητες, η ομοιομορφία της δομής τους, όπως και η οικονομική κατασκευή τους λόγω της δυνατότητας κατασκευής τους κοντά στο εργοτάξιο.

Οι πλίνθοι ή τούβλα, τα κεραμίδια και τα κεραμικά πλακίδια επένδυσης τοίχων και επίστρωσης δαπέδων, ήταν γνωστά από αρχαιότατων χρόνων και εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ως βασικά υλικά δόμησης και στις σύγχρονες κατασκευές. Στις νεότερες, όμως, ελαφρές κατασκευές χρησιμοποιούνται διάτρητοι αντί των συμπαγών οπτόπλινθων και ασβεστοπυριτικών πλίνθων, με κατακόρυφες ή οριζόντιες οπές, καθώς και πορώδεις πλίνθοι, οι οποίοι συμβάλλουν στη θερμομόνωση των κατασκευών.

Άλλοι τεχνητοί δομικοί λίθοι είναι τα εμφανή τούβλα, οι πυρίμαχοι πλίνθοι, οι πλίνθοι πατωμάτων και οροφής, οι πλίνθοι καπνοδόχων και επένδυσης σιηράγγων, τα υπέρθυρα τούβλα και οι πλάκες πεζοδρομίων και δρόμων. Στην ίδια κατηγορία περιλαμβάνονται και οι πηλοσωλήνες, τα κεραμικά πλακίδια, τα προϊόντα πορσελάνης, τα κεραμικά προηγμένης τεχνολογίας και τα κεραμικά σύνθετα. Περιλαμβάνονται ακόμα οι τσιμεντόλιθοι, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην τοιχοποιία. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε διάφορα έργα υλικά από σκυρόδεμα, όπως πλίνθοι και πλάκες πεζοδρομίου, πλάκες δαπέδου, σωλήνες και άοπλα ή οπλισμένα προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία τοίχου και οροφής. Στους τεχνητούς δομικούς λίθους περιλαμβάνονται τα υαλότουβλα, διάφορα προϊόντα γύψου, όπως γυψότουβλα, πλάκες τοίχου και γυψοσανίδες καθώς και προϊόντα αμιαντοτσιμέντου και ελαφροσκυροδέματος. [8]

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των τεχνητών δομικών λίθων είναι :

- Άργιλοι για αργιλικά ή κεραμικά δομικά στοιχεία,
- Άσβεστος και χαλαζιακά αδρανή για άνοπτους πλίνθους ή ασβεστοαμμόλιθους και πλάκες,
- Τσιμέντο και αδρανή για τσιμεντόπλινθους, πλάκες και άλλα προϊόντα τσιμέντου,
- Γύψος για γυψόπλινθους ή γυψότουβλα, πλάκες τοίχου και γυψοσανίδες οροφής και
- Γυαλί για υαλόπλινθους ή υαλότουβλα.

3.1.1 Φυσικές ιδιότητες

Για τη σωστή χρήση των τεχνητών δομικών λίθων πρέπει να είναι γνωστές οι χαρακτηριστικές ιδιότητές τους, όπως είναι η φαινόμενη πυκνότητά τους. Αυτή υπολογίζεται από το βάρος τους, το οποίο προσδιορίζεται σε ξηρή κατάσταση και από τον όγκο τους, ο οποίος προσδιορίζεται με τη μέθοδο της εμβάπτισης στο νερό σύμφωνα

με τον αντίστοιχο κανονισμό. Η υδροαπορρόφηση προσδιορίζεται από τη διαφορά του βάρους του πλίνθου μετά τον κορεσμό του και του βάρους του σε ξηρά κατάσταση και δίνεται σε ποσοστό % κατά βάρος.

Σημαντικός παράγοντας για τους πλίνθους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τοιχοποιίας, είναι και η ταχύτητα απορρόφησης της υγρασίας. Η μικρή ταχύτητα απορρόφησης της υγρασίας συνεπάγεται μικρή συνάφεια μεταξύ του πλίνθου και του νωπού κονιάματος, ενώ η μεγάλη ταχύτητα συνεπάγεται γρήγορη ξήρανση του νωπού κονιάματος, οπότε απαιτείται η διαβροχή των πλίνθων. Επίσης, είναι απαραίτητο να προσδιορίζονται το πορώδες, η θερμική αγωγιμότητα, η θερμική διαστολή, η αντοχή στη φωτιά και στον παγετό, η ηχομονωτική ικανότητα και η ανθεκτικότητα στο χρόνο και στις καταπονήσεις των τεχνητών δομικών πλίνθων. [8]

3.1.2 Μηχανικές ιδιότητες

Η αντοχή σε θλίψη των τεχνητών δομικών πλίνθων είναι βασική ιδιότητά τους και χαρακτηρίζει την ποιότητά τους. Προσδιορίζεται σύμφωνα με τον αντίστοιχο κανονισμό και στη συνέχεια ανάγεται σε αντοχή σε θλίψη ξηρού πλίνθου με πλάτος 100 mm και με ύψος 100 mm και πολλαπλασιάζεται επί ένα συντελεστή δ , του οποίου οι τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Η τιμή η οποία προκύπτει ονομάζεται ανοιγμένη αντοχή σε θλίψη, f_b , σύμφωνα με τον αντίστοιχο κανονισμό.

Πίνακας 8: Τιμές του συντελεστή δ

Πλάτος πλίνθου (mm)	50	100	150	200	≥250
Ύψος πλίνθου (mm)	Συντελεστής δ				
40	0.8	0.7	-	-	-
50	0.85	0.75	0.70	-	-
65	0.95	0.85	0.75	0.70	0.65
100	1.15	1.00	0.90	0.80	0.75
150	1.30	1.20	1.10	1.00	0.95
200	1.45	1.35	1.25	1.15	1.10
≥250	1.55	1.45	1.35	1.25	1.15

Η αντοχή σε θλίψη των πλίνθων εξαρτάται από τη διεύθυνση φόρτισης. Για φόρτιση παράλληλη προς τα κενά η αντοχή σε θλίψη είναι αντιστρόφως ανάλογη του ποσοστού των κενών και για φόρτιση κάθετη προκύπτει μείωση της αντοχής σε θλίψη λόγω ανάπτυξης πρόσθετων τάσεων από την κάμψη των τοιχωμάτων. Η αντοχή σε εφελκυσμό θεωρείται απαραίτητη για τον προσδιορισμό της αντοχής σε κάμψη της τοιχοποιίας. Ο έλεγχος της αντοχής σε εφελκυσμό γίνεται, είτε με τον προσδιορισμό του καθαρού εφελκυσμού, είτε με τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό από κάμψη ή διάρρηξη, σύμφωνα με τους αντίστοιχους κανονισμούς. Τέλος, οι πλίνθοι από άργιλο παρουσιάζουν γραμμική ελαστική συμπεριφορά μέχρι το σημείο θραύσης τους. [8]

3.2 Αργιλικά ή κεραμικά δομικά στοιχεία

Τα αργιλικά δομικά στοιχεία παράγονται από τον πηλό μετά από προεργασία, διαμόρφωση με τα χέρια ή με μηχανικά μέσα, σε κατάλληλα καλούπια, ξήρανση του υλικού στον αέρα ή σε ρεύματα θερμού αέρα, όπτηση σε δακτυλοειδή καμίνια ή καμίνια συνεχούς καύσης και τέλος ψύξη.

Η προεργασία του πηλού ανάλογα με τις ιδιότητές του, περιλαμβάνει απίσχναση ή εμπλουτισμό ισχνών αργίλων, ανάμιξη με νερό, φύραση, έλαση και κοπή. Η απίσχναση εφαρμόζεται όταν ο πηλός είναι παχύς, δηλαδή όταν περιέχει πολύ άργιλο. Όταν περιέχει πολύ άμμο ονομάζεται ισχνός. Οι ισχνοί πηλοί έχουν μειωμένη πλαστικότητα και συνεκτικότητα. Η απίσχναση επιτυγχάνεται με την προσθήκη χαλαζιακής άμμου, αλεύρων πετρωμάτων, τέφρας, λιγνίτη, πριονιδίων ξύλου κ.λ.π. Όταν η απίσχναση γίνεται με οργανικά υλικά, π.χ. πριονίδι, τότε τα προϊόντα της όπτησης μετατρέπονται σε πορώδη υλικά, λόγω της πλήρους καύσης του οργανικού υλικού. Ο εμπλουτισμός των ισχνών πηλών γίνεται με την απομάκρυνση των απίσχναντικών συστατικών, με πλύσιμο μέσα σε δεξαμενές ανάδευσης με περυγιοφόρο αναδευτήρα.

Για την παραγωγή θερμομονωτικών αργιλικών προϊόντων και κυρίως οπτόπλινθων δόμησης ή επένδυσης χρησιμοποιούνται κατά την πρόσμιξη διογκωμένη πολυστερίνη ή άλλα υλικά, τα οποία όταν καίγονται κατά την όπτηση, δίνουν πορώδεις οπτόπλινθους με μικρή φαινόμενη πυκνότητα. Η διαμόρφωση των προϊόντων, ώστε να αποκτήσουν το επιθυμητό σχήμα, γίνεται με την εφαρμογή πίεσης χειρωνακτικά ή με κατάλληλες συσκευές. Υπάρχουν δύο μέθοδοι μόρφωσης, η υγρή και η ξηρή. Η επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την ποιότητα του πηλού και από το προϊόν που θα κατασκευαστεί. Η ξήρανση γίνεται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο. Η φυσική ξήρανση πλεονεκτεί της τεχνητής ως προς την ομοιομορφία και την ομαλότητα ξήρανσης. Παρουσιάζει, όμως, τα μειονεκτήματα ότι χρειάζεται μεγάλους χώρους και σημαντικό χρόνο για την ολοκλήρωσή της.

Η όπτηση δίνει στα προϊόντα σταθερή μορφή και ικανές μηχανικές αντοχές. Πραγματοποιείται σε καμίνους και καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία παρατηρείται στους 100 °C εξάτμιση του νερού, στους 500-600 °C απομάκρυνση του κρυσταλλικού νερού και στους 950-1050 °C εξαύλωση, όπου τήγμα προσμίξεων στην περιοχή αυτή συγκολλά τους κόκκους του υλικού, με αποτέλεσμα το προϊόν να αποκτά μηχανικές αντοχές. Η τελευταία φάση της παραγωγής είναι η ψύξη του προϊόντος που πρέπει να γίνεται με βραδύ ρυθμό, ώστε να αποφευχθούν μικρορηγματώσεις. Η χημική σύσταση του πηλού και η θερμοκρασία όπτησης καθορίζουν το χρώμα του προϊόντος.

Η παρουσία επιβλαβών προσμίξεων στα προϊόντα αργίλου, όπως και η κακή όπτηση δημιουργούν προβλήματα στα προϊόντα που παρασκευάζονται, όπως εξανθήματα, τριχοειδείς ραγμές, κηλίδες, διαρρήξεις κ.ά. Τα προϊόντα αργίλου, τούβλα, κεραμίδια κ.λ.π., τα οποία είναι καλής ποιότητας παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στη θλίψη, στις καιρικές συνθήκες, στη φωτιά και στις χημικές επιδράσεις. Έχουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, διαπερατότητα από τον αέρα και ικανοποιούν τους όρους υγιεινής. Τέλος, έχουν διάφορους χρωματισμούς, επιθυμητές διαστάσεις και είναι εύχρηστα σε κάθε έργο ή κατασκευή. [7]

3.3 Οπτόπλινθοι ή τούβλα

Τα τούβλα είναι μικρά τεχνητά δομικά στοιχεία με κανονικό πρισματικό σχήμα, τα οποία χρησιμοποιούνται εύκολα στη δόμηση τοιχοποιίας ή επιφάνειας. Τα τούβλα διακρίνονται σε συμπαγή και σε διάτρητα. Οι βασικές αιτίες για την παραγωγή διάτρητων τούβλων, είναι το μεγάλο βάρος, η μεγάλη χρονική διάρκεια ξήρανσης και η κοπιαστική και χρονοβόρα εργασία δόμησης των συμπαγών τούβλων. Τα συμπαγή τούβλα διακρίνονται σε συμπαγή πλήρη και σε συμπαγή διάτρητα με κατακόρυφες οπές, με συνολικό όγκο μικρότερο ή ίσο του 25% του τούβλου και με πάχος τοιχωμάτων μεγαλύτερο από 20 mm ή με συνολική επιφάνεια οπών μικρότερη ή ίση με το 15% της επιφάνειας των τούβλων έδρασης.

Τα διάτρητα τούβλα διακρίνονται σε διάτρητα με οπές κατά τη διεύθυνση του μήκους του τούβλου, δηλαδή οριζόντιες και σε διάτρητα με οπές κατά τη διεύθυνση του ύψους, τα οποία ονομάζονται ορθότρυπα. Οι οπές έχουν συνολικό όγκο μεγαλύτερο από 25% και μικρότερο από 55% του όγκου του τούβλου και η συνολική επιφάνειά τους είναι μεγαλύτερη από το 15% της επιφάνειας έδρασης του τούβλου. Οι οπές πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ομοιόμορφα κατανεμημένες. Σχετικά με το σχήμα και το πλήθος των οπών δεν υπάρχει κανένας περιορισμός. Τα διάτρητα τούβλα με μεγάλες διαστάσεις ονομάζονται μπλόκια. [11]

3.3.1 Ελαφρά ή πορώδη τούβλα

Ως ελαφρά τούβλα χαρακτηρίζονται τα τούβλα με φαινόμενη πυκνότητα από 400 - 800 Kg/m³. Παράγονται με την ανάμιξη του πηλού με υλικά, τα οποία είναι δυνατόν να καούν, όπως πριονίδια, σκόνη ξυλάνθρακα, λιγνίτη ή γαιάνθρακα, διογκωμένη πολυστερίνη κ.ά. Κατά τη διάρκεια της όπτησης καίγονται οι πρόσθετες ουσίες, οπότε δημιουργούνται κενά στην αργιλόμαζα. Άλλος τρόπος παρασκευής πορώδων τούβλων

είναι η προσθήκη στο κονίαμα αφρώδους υλικού, όπως χλωριούχο ασβέστιο, σκόνη αλουμινίου κ.λ.π., το οποίο προκαλεί φουσαλίδες και τελικά δημιουργούνται πόροι.

Τα ελαφρά ή πορώδη τούβλα είναι ελαφρότερα και προσφέρουν καλύτερη θερμομόνωση από τα κοινά τούβλα. Η αντοχή τους σε θλίψη κυμαίνεται από 2.5 - 35 ΜΡα, κόβονται εύκολα με πριόνι και καρφώνονται. Παρουσιάζουν πολύ καλή πρόσφυση με επίχρισμα λόγω της πορώδους επιφάνειάς τους. Παράγονται σε τύπους συμπαγών μπλοκίων και πετασμάτων και χρησιμοποιούνται σε φέρουσες και μη φέρουσες τοιχοποιίες.

3.3.2 Πυρίμαχα τούβλα ή πυρότουβλα

Τα πυρίμαχα τούβλα κατασκευάζονται από ειδικά μίγματα πλούσια σε οξείδια του αργιλίου και του πυριτίου, στα οποία οφείλεται η μεγάλη αντοχή τους σε θερμοκρασίες πάνω από 1600°C και η αντοχή τους σε απότομες και μεγάλης διάρκειας μεταβολές θερμοκρασίας, χωρίς επίτηξη ή αλλοίωση υλικού. Η διαδικασία παραγωγής των πυρότουβλων είναι ίδια με την αντίστοιχη για τα κοινά τούβλα. Τοποθετούνται σε κλιβάνους με θερμοκρασία 1300°C για 2 ή 3 μέρες και μετά αφήνονται να κρυσώσουν με αργό ρυθμό. Χρησιμοποιούνται για την εσωτερική επένδυση καμίνων, κλιβάνων, εστιών, καπνοδόχων κ.λ.π. και ανάλογα με τη σύστασή τους διακρίνονται σε αργιλικά, χαλαζιακά και μαγνησιακά πυρότουβλα.

Τα αργιλικά, ή τούβλα Chamotte, παρασκευάζονται από πυρίμαχο πηλό με την προσθήκη σκόνης πηλού ίδιας ποιότητας. Περιέχουν μεγάλο ποσοστό Al_2O_3 , μικρό SiO_2 και τα υπόλοιπα οξείδια σε ποσοστό πάνω από 6%. Τα μαλακά και πορώδη είναι ανθεκτικότερα στη φωτιά από τα σκληρά και συμπαγή και λιγότερο ανθεκτικά στην επίδραση των οξέων. Είναι κατάλληλα για πυρεστίες στα σπίτια και ακατάλληλα για καμίνους.

Στα χαλαζιακά, ή τούβλα Dina, οι πρώτες ύλες για την παρασκευή τους είναι η χαλαζιακή άμμος, το χαλαζιακό άλευρο και μικρή ποσότητα πηλού. Περιέχουν SiO_2 σε ποσοστό 98 % και Al_2O_3 από 1.0 - 1.5 %. Παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα στη φωτιά και είναι κατάλληλα για εσωτερική επένδυση καμίνων.

Τα μαγνησιακά, ή τούβλα λευκόλιθου, παράγονται από μαγνησίτη ή λευκόλιθο με όπτηση σε θερμοκρασία πάνω από 1600°C μέχρι την επίτηξη. Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στη φωτιά και χρησιμοποιούνται για εσωτερική επένδυση σε καμίνους τήξης των μετάλλων. [11]

3.3.3 Τούβλα με θερμομονωτικό υλικό

Είναι κανονικά τούβλα με διαστάσεις συνήθως μπατικής τοιχοποιίας και κατάλληλη μορφή. Έχουν ελεύθερο ενδιάμεσο χώρο, ο οποίος μετά την όπτηση καλύπτεται με θερμομονωτικό υλικό, όπως πολυουρεθάνη, διογκωμένη ή εξηλασμένη πολυστερίνη κ.ά.

Τα τούβλα για υπέρθυρα (πρέκια), είναι αργιλικά τούβλα ειδικής μορφής με αγκυρώσεις και προκατασκευασμένο οπλισμένο εφελκύζόμενο τμήμα, το οποίο σε συνεργασία με τη θλιβόμενη ζώνη δίνουν στο υπέρθυρο την απαιτούμενη αντοχή. Χαρακτηρίζονται από καλή θερμομονωτική συμπεριφορά.

Τα τούβλα δαπέδων, είναι ειδικά χρωματιστά τούβλα, τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή δαπέδων εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου. Έχουν υποστεί καλή όπτηση και παρουσιάζουν μικρή υδροαπορρόφηση και μεγάλη σκληρότητα και αντοχή σε τριβή. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην κατασκευή οπλισμένων δαπέδων, όταν φέρουν οπλισμένες νευρώσεις. Τα τούβλα, τα οποία χρησιμοποιούνται για δάπεδα εξωτερικού χώρου, έχουν αντιολισθητική επίστρωση και υψηλή αντοχή στο παγετό.

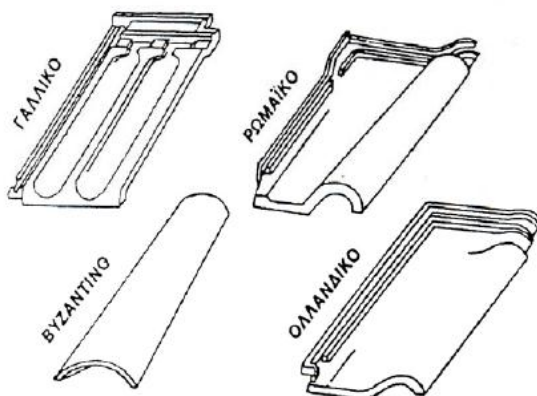
Τα τούβλα οροφής, είναι τούβλα, τα οποία λόγω μικρού κόστους και καλής θερμομονωτικής συμπεριφοράς χρησιμοποιήθηκαν πολύ στο παρελθόν, αλλά τώρα χρησιμοποιούνται ελάχιστα στις οροφές και κυρίως στα δώματα. Ειδικά τούβλα χρησιμοποιούνται σε οπλισμένη δοκιδωτή οροφή.

Τα κεραμίδια είναι αργιλικά προϊόντα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την κάλυψη στεγών με κλίση (κεραμοσκεπές). Παράγονται από πηλό καλής ποιότητας χωρίς κόκκους λίθων και αποτελούνται από αμμώδη υλικά κατά 40 - 80 % κατά βάρος, οξείδιο του αργιλίου κατά 10 - 40 %, οξείδιο του σιδήρου μέχρι 7%, ανθρακικό ασβέστιο μέχρι 10 %, ανθρακικό μαγνήσιο μέχρι 1 % και αλκάλια μέχρι 10 %. Για την παρασκευή τους ο πηλός απλώνεται σε φύλλα με πάχος 10 mm, τα οποία τοποθετούνται σε κατάλληλα καλούπια. Ακολουθεί η ξήρανση που διαρκεί 10 - 60 h ή όταν γίνεται σε περιστρεφόμενα ξηραντήρια 1 - 48 h και μετά υποβάλλονται σε όπτηση.

Για τη βελτίωση της στεγανότητας των κεραμιδιών γίνεται εφύαλωση ή διαφανής επικάλυψη. Αυτή επιτυγχάνεται με την προσθήκη στην αργιλική μάζα, κατά τη διάρκεια της όπτησης, εύτηκτων υλικών, όπως χλωριούχο νάτριο ή μεγαλύτερης αντοχής οξείδια του πυριτίου, μολύβδου, κασσίτερου ή βαρίου. Τα κεραμίδια

διακρίνονται σε δύο βασικούς τύπους τα κοίλα ή Βυζαντινά και τα πτυχωτά ή Γαλλικά. Τα Βυζαντινά διακρίνονται σε στρωτήρες και καλυπτήρες.

Παράλληλα για τις ανάγκες της κεραμοσκεπής κατασκευάζονται και για τους δύο τύπους ειδικά τεμάχια, όπως κορυφές, άκρα κ.ά. Στην Ελλάδα παράγονται τέσσερις τύποι κεραμιδιών Βυζαντινά, Ρωμαϊκά, Γαλλικά, και Ολλανδικά. Επίσης, από τη σύγχρονη βιομηχανία παράγονται νέοι τύποι κεραμιδιών με τεχνικά πλεονεκτήματα με τα οποία επιτυγχάνονται μεγαλύτερη αντοχή, αερισμός και προστασία των ξύλων, μεγαλύτερη ασφάλεια από τα νερά της βροχής ακόμα και από νεροποντή, ευκολότερο και ασφαλέστερο στρώσιμο, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνουν και την αισθητική εμφάνισή τους. [11]



Εικόνα 9: Βασικοί τύποι κεραμιδιών.

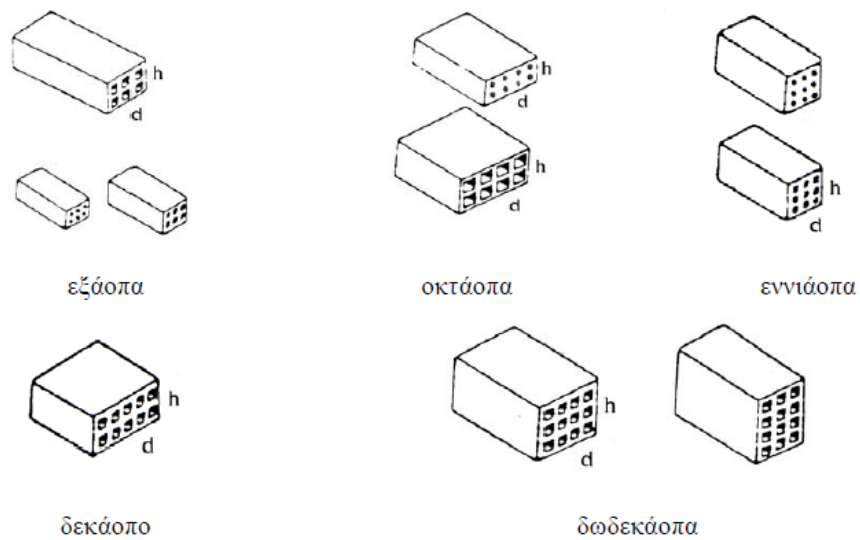
Τα κεραμίδια από εμπορική άποψη διακρίνονται στις κατηγορίες διαλογής Α, Β και Γ. Η πρώτη περιλαμβάνει τις διαλογές ΑΑ και ΑΒ. Τα κεραμίδια διαλογής ΑΑ πληρούν όλους τους όρους των κανονισμών, ενώ τα διαλογής ΑΒ τους πληρούν με μικρές αποκλίσεις ως προς τις γωνίες, το σχήμα και το χρώμα. Τα διαλογής Β δεν πληρούν όλους τους όρους των κανονισμών και τα διαλογής Γ τους πληρούν ελάχιστα.

Για τον έλεγχο και τη χρήση των κεραμιδιών απαιτούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

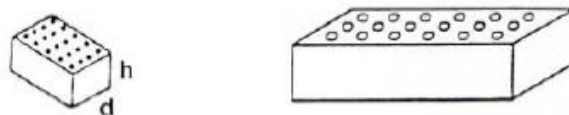
1. Να μην υπάρχουν ρωγμές, λευκοί κόκκοι και σπασίματα.
2. Ακρίβεια στη μορφή και στις διαστάσεις, οι οποίες δεν πρέπει να παρουσιάζουν αποκλίσεις πάνω από 2 %.
3. Να έχουν ομοιομορφία χρωματισμού.
4. Το ειδικό βάρος να κυμαίνεται από 19000 - 2600 N/m³.
5. Όταν κρούονται με μεταλλικό αντικείμενο ο παραγόμενος ήχος να είναι οξύς και διαυγής.
6. Κατά τη θραύση τους να μη γίνεται συντριβή και να προκύπτουν γωνιώδεις ακμές.
7. Ο ιστός στην επιφάνεια θραύσης να είναι κοκκώδης και οι κόκκοι στερεά συγκολλημένοι με το τηγμένο υλικό.
8. Η σκληρότητα σε εγχάραξη να είναι λίγο μικρότερη από εκείνη του χάλυβα.
9. Η τιμή του πορώδους να είναι μικρή, ώστε τα κεραμίδια να μην είναι υδατοπερατά. [11]

3.3.4 Διαστάσεις τούβλων

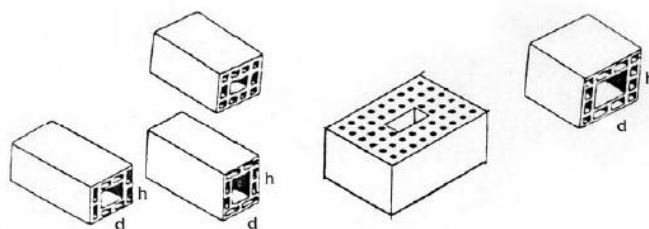
Η επιλογή του σχήματος και των διαστάσεων των τούβλων αποβλέπει στη σωστή, εύκολη και γρήγορη δόμηση των τοίχων. Αποδείχτηκε ότι προσφορότερο σχήμα είναι το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με πλάτος ίσο με το άνοιγμα της παλάμης ανθρώπου.



Εικόνα 10: Διάτρητα τούβλα με οριζόντιες σπές.



Εικόνα 11: Διάτρητα τούβλα με κατακόρυφες σπές.



Εικόνα 12: Μπλόκια

Για λόγους τυποποίησης οι άλλες διαστάσεις συνδέονται με το πλάτος με τις σχέσεις:

$$\mu = 2\pi + \alpha \quad \text{και} \quad u = (\pi - \alpha) / 2$$

όπου:

- μ - το μήκος του τούβλου
- π - το πλάτος του τούβλου
- υ - το ύψος του τούβλου
- α - το πάχος του άρμου.

Ο κανόνας για τις διαστάσεις χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλους τους κανονισμούς. Το πάχος, Π, του τοίχου, ανάλογα με την κατασκευή του, δίνεται από την σχέση:

$$\Pi = K \cdot \Pi + (K-1) \cdot \alpha,$$

όπου:

K= 1 για δρομικό τοίχο

K= 2 για μπατικό τοίχο

K= 3 για υπερμπατικό τοίχο.

Το πλάτος του τοίχου για ψαθωτό τοίχο δίνεται από την σχέση:

$$\Pi = K \cdot \Pi + (K-2) \cdot \alpha + \delta$$

όπου:

δ το διάκενο και

K ακέραιος αριθμός με τιμές $K \geq 2$.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις διαστάσεις τυπικών τούβλων που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα καθώς και την αντίστοιχη εφαρμογή τους.

Πίνακας 9: Διαστάσεις τυποποιημένων τούβλων στην Ελλάδα. [11]

Τύπος	Μήκος (mm)	Πλάτος (mm)	Ύψος (mm)	Εφαρμογή
6οπο	190	90	60	Εσωτερική τοιχοποιία
9οπο	190	90	90	Εξωτερική τοιχοποιία
12οπο	190	120	90	Εξωτερική τοιχοποιία
Πλάκα οριζόντιων οπών	350	90	150	Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση
Πλάκα οριζόντιων οπών	350	75	150	Εξωτερική διπλή τοιχοποιία
Πλάκα κατακ. οπών	230	90	180	Εξωτερική τοιχοποιία
Συμπαγές	170	80	40	Εμφανή εξωτερική τοιχοποιία
Συμπαγές	250	120	60	Εμφανή εξωτερική τοιχοποιία
Συμπαγές	210	100	35	Εμφανή εξωτερική τοιχοποιία
Συμπαγές	210	50	35	Εμφανή εξωτερική τοιχοποιία
Μπλόκιο οριζ. οπών	350	180	150	Εξωτερική τοιχοποιία
Μπλόκιο οριζ. οπών	300	200	150	Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση
Μπλόκιο οριζ. οπών	250	280	150	Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση
Μπλόκιο οριζ. οπών	250	225	150	Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση
Μπλόκιο οριζ. οπών	300	225	150	Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση
Μπλόκιο οριζ. οπών	300	250	150	Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση
Μπλόκιο οριζ. οπών	350	170	150	Εξωτερική τοιχοποιία
Μπλόκιο οριζ. οπών	350	200	180	Εξωτερική τοιχοποιία
Μπλόκιο κατακ. οπών	330	190	190	Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση

3.3.5 Ιδιότητες τούβλων

Τα τούβλα, ως δομικά στοιχεία τοιχοποιίας, πρέπει να ικανοποιούν μια σειρά από επιθυμητές ιδιότητες και λειτουργικές απαιτήσεις, όπως υψηλές μηχανικές αντοχές, μικρή υδροαπορρόφηση και υδατοπερατότητα, καλή θερμομονωτική και ηχομονωτική συμπεριφορά, μικρές μεταβολές όγκου λόγω μεταβολής της υγρασίας και της θερμοκρασίας, αντοχή στον παγετό και στη διάβρωση, ικανή αντίσταση στη φωτιά και ανθεκτικότητα στη χρήση και στο χρόνο. Το ειδικό βάρος των τούβλων κυμαίνεται από 19000 - 26000 N/m³, η φαινόμενη πυκνότητά τους από 750 - 2300 Kg/m³ και το ολικό πορώδες τους από 10 – 50 % κ.ο.

Πίνακας 10: Βασικές ιδιότητες των τούβλων. [11]

Είδος τούβλου	Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m ³)	Ολικό πορώδες (% κ.ο.)	Υδροαπορρόφηση μετά από 24h εμβάπτιση στο νερό (%κ.β.)	Συντελεστής θερμικής διαστολής (°C)* 10 ⁻⁶	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (W/mK)
Συμπαγές	1500-2300 (ρ=1900)	10-50	7-15	4-8	0.40-0.70
Διάτρητο	950-1300 (ρ=1100)				0.20-0.35
Μπλόκιο	750-900 (ρ= 800)				0.17-0.20

Η αντοχή σε θλίψη των τούβλων είναι γενικά υψηλή και αρκετά υψηλότερη από την απαιτούμενη σε τοιχοποιία. Εξαρτάται από το ποσοστό των κενών, την ποιότητα του αργιλικού υλικού, και τη διεύθυνση φόρτισης σε σχέση με τη διεύθυνση των κενών. Στα συμπαγή τούβλα κυμαίνεται από 15 - 50 MPa και στα διάτρητα και στα μπλόκια από 1.5 - 5 MPa. Η υδροαπορρόφηση και η υδατοπερατότητα των τούβλων εξαρτώνται από το είδος των πόρων, δηλαδή αν οι πόροι είναι ανοιχτοί ή κλειστοί. Από τη μέτρηση της υδροαπορρόφησης των τούβλων με τη μέθοδο της εμβάπτισης και παραμονής 5 δοκιμίων στο νερό για 24 h, σύμφωνα με τους κανονισμούς, προσδιορίζεται η απορροφούμενη ποσότητα νερού από το τούβλο, η οποία δεν πρέπει να ξεπερνά το 15% του βάρους του. Η μεγάλη υδροαπορρόφηση προκαλεί εξανθήματα, γήρανση και καταστροφή από παγετό.

Ο υπολογισμός της απορροφούμενης ποσότητας νερού από τα κορεσμένα πλέον δοκίμια με βρασμό στο νερό για 5 h οδηγεί στον προσδιορισμό της νέας υδροαπορρόφησης και στο συντελεστή κορεσμού. Αυτός προκύπτει από το λόγο της αρχικής και της νέας υδροαπορρόφησης κατ' όγκο και αποτελεί δείκτη για την ευκολία πλήρωσης με νερό των πόρων και της αντοχής των τούβλων σε παγετό. Τούβλα με μικρό συντελεστή κορεσμού παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα στον παγετό. Γενικά τα τούβλα και τα άλλα κεραμικά είδη έχουν υψηλή αντοχή στον παγετό.

3.3.3 Έλεγχος τούβλων

Έναν πρόχειρο έλεγχο της αντοχής ή της κατάστασης των τούβλων αποτελεί το είδος του ήχου από την κρούση με άλλο τούβλο ή σφυρί. Μεταλλικός ήχος και διαυγής δείχνει τούβλο υγιές με μεγάλες μηχανικές αντοχές. Αντίθετα βαρύς ήχος και υπόκωφος δείχνει τούβλο κακής όπτησης με μικρές μηχανικές αντοχές. Ο έλεγχος των τούβλων αναφέρεται σε μετρήσεις ιδιοτήτων, οι οποίες ενδιαφέρουν τη χρησιμοποίηση του τούβλου. Σύμφωνα με τους επί μέρους κανονισμούς ελέγχονται η κανονικότητα της όπτησης, η κανονικότητα του σχήματος και των διαστάσεων, η ομοιογένεια του χρώματος, η υδροαπορρόφηση, η σκληρότητα και οι μηχανικές αντοχές του τούβλου.

3.4 Τοιχοποιία

Η τοιχοποιία είναι ο αρχαιότερος και με εξαίρεση κάποιες ξύλινες κατασκευές, ο μοναδικός τρόπος δόμησης μέχρι την εμφάνιση του χάλυβα και του μπετόν τους τελευταίους δύο αιώνες. Από τα πανάρχαια χρόνια, μία κατασκευή μπορούσε να γίνει συναρμολογώντας πέτρες και σηκώνοντας μ' αυτό τον τρόπο τοίχους. Τοίχοι είναι δυνατόν να κατασκευαστούν χωρίς κανένα συνδετικό κονίαμα (λάσπη), απλώς και μόνο τοποθετώντας τις πέτρες τη μία πάνω στην άλλη (ξερολιθιά). Σ' αυτή την περίπτωση η αντοχή του τοιχίου σε πλάγιες δυνάμεις είναι σχετικά μειωμένη, αλλά και πάλι, εάν οι πέτρες έχουν τοποθετηθεί με σωστό τρόπο το τοίχιο σηκώνει αρκετά σημαντικά κατακόρυφα φορτία. Με την χρήση, ωστόσο, λάσπης σαν συνδετικό κονίαμα, το τοίχιο αποκτά αντιστάσεις και στις πλάγιες φορτίσεις. Η καλή αρμολόγηση (το σωστό ταίριασμα των λίθων και η σωστή τοποθέτηση συνδετικού κονιάματος) παίζει πρωτεύοντα ρόλο για την πετυχημένη κατασκευή ενός τοίχου.

Ανάλογα με το σκοπό που επιτελεί μία τοιχοποιία, κατατάσσεται σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

- Φέρουσα, στην περίπτωση που αποτελεί το σκελετό (ή έστω και μέρος του) μίας κατασκευής και αναλαμβάνει σημαντικά φορτία,
- Πλήρωσης, όταν χρησιμοποιείται μόνο για το γέμισμα των κενών ανάμεσα στα στοιχεία του σκελετού, ενώ συνήθως ο ίδιος ο σκελετός της κατασκευής έχει γίνει από άλλο υλικό (π.χ. οπλισμένο σκυρόδεμα) και
- Διακοσμητική, όπου τοποθετείται για επικάλυψη άλλων επιφανειών για λόγους εμφάνισης ή και ακόμα και για λόγους μόνωσης. [7]

Στην Ελλάδα, η συνηθέστερη χρήση τοιχοποιίας σήμερα, είναι η δεύτερη (πλήρωση) και κατασκευάζεται τις περισσότερες φορές με κοινά τούβλα (οπτόπλινθοι). Το κοινό κόκκινο τούβλο παράγεται σε 2 βασικά μεγέθη: μονό (με έξι τρύπες) και διπλό (με δώδεκα τρύπες).

Ο λόγος που τα τούβλα κατασκευάζονται με τρύπες είναι:

1. Για μείωση του βάρους τους (ένα διπλό τούβλο ζυγίζει περίπου 1 κιλό),
2. Οι τρύπες δίνουν στο τούβλο καλύτερες θερμομονωτικές ιδιότητες,
3. Βελτιώνουν τις ηχομονωτικές του ιδιότητες και
4. Η λάσπη που μπαίνει ανάμεσα στα τούβλα με τις τρύπες τα συνδέει καλύτερα.

Η συντριπτική πλειονότητα των τούβλων που χρησιμοποιούνται σε μία συμβατική κατοικία είναι διπλά. Οι εξωτερικοί τοίχοι κατασκευάζονται από διπλή σειρά τούβλων. Οι δύο σειρές τούβλων αφήνουν μεταξύ τους ένα κενό μέσα στο οποίο τοποθετείται θερμομόνωση. Για να δέσει μία κατασκευή από τούβλα απαιτείται και μία τουλάχιστον οριζόντια στρώση από μπετό πλάτους όσο το πλάτος του τοίχου και πάχους 10-12 εκ.. Η στρώση αυτή από μπετόν λέγεται σενάζ (από τη γαλλική λέξη chainage- αλυσιδωτό δέσιμο) και με την πίεση που ασκεί πάνω στα τούβλα, λόγω του βάρους της, σταθεροποιεί τα τούβλα μετατρέποντάς τα σε μία συμπαγή τοιχοποιία. Στην περίπτωση της διπλής σειράς των εξωτερικών τοίχων, το σενάζ γίνεται φαρδύτερο ώστε να συνδέει και τις δύο σειρές μεταξύ τους. Σε αυτή την περίπτωση λέγεται πρέκι. Είναι φανερό ότι τα σενάζ και τα πρέκια είναι πολύ σημαντικά για την πετυχημένη κατασκευή της τοιχοποιίας.

Γι' αυτό πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω σημεία:

- Τα σενάζ και τα πρέκια πρέπει να οπλίζονται με σίδερα (2 ή 4 σίδερα τοποθετημένα κατά μήκος του σενάζ).
- Πρέπει να κατασκευάζονται από μπετό κι όχι από το ίδιο συνδετικό κονίαμα (λάσπη) που χρησιμοποιείται για το χτίσιμο των τούβλων. Η λάσπη που είναι λιγότερο δυνατή από το μπετό, κατασκευάζεται από τσιμέντο, άμμο, ασβέστη και νερό. Το μπετό κατασκευάζεται από τσιμέντο, άμμο, χαλίκια και νερό. Ο ασβέστης που περιέχεται στη λάσπη, διαβρώνει τον χάλυβα και τον καταστρέφει.
- Στην εξωτερική τους πλευρά, τα σενάζ και τα πρέκια πρέπει να μονώνονται με πολυστερίνη (felizol), όπως ακριβώς μονώνονται οι κολώνες και τα δοκάρια του σκελετού από μπετό.
- Το πρώτο σενάζ τοποθετείται σε ύψος περίπου 1.2 m, σχεδόν εκεί που θα είναι τα παράθυρα, ενώ το δεύτερο, τοποθετείται περίπου ένα μέτρο ψηλότερα, δηλ. στα 2.2 m.

Εκτός από τα τούβλα, όλο και συχνότερα χρησιμοποιούνται άλλα είδη δομικών στοιχείων όπως οι πλίνθοι από πορομπετόν. Έχει επικρατήσει να αναφέρονται με το όνομα του κατασκευαστή τους Alphablock ή YTONG. Αυτά έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι πολύ ελαφρύτερα από τα κοινά τούβλα, παρέχουν καλή θερμο-ηχομόνωση και παράγονται σε διάφορα πάχη. Έτσι, σε μία εξωτερική τοιχοποιία, δεν απαιτούνται δύο σειρές από τούβλα αλλά μία μόνο σειρά, χωρίς κενό ανάμεσά τους. Μ' αυτό τον τρόπο το εργατικό κόστος είναι μικρότερο, καθώς το κόστος

κυμαίνεται ανάλογα με το τετραγωνικό μέτρο. Ωστόσο είναι ακριβότερα απ' ό,τι τα τούβλα. Επίσης μ' αυτά τα στοιχεία, η καλή αρμολόγηση και το σωστό ευθύγραμμο και κατακόρυφο χτίσιμο του τοίχου επιτυγχάνεται ευκολότερα, χάρις τις εγχοπές που διαθέτουν ώστε να θηλυκώνουν το ένα με το άλλο, καθώς και στο ότι για συνδετικό κονίαμα δεν χρησιμοποιείται λάσπη, αλλά μία λεπτή στρώση ειδικής κόλλας. Τέλος, στην τοιχοποιία με στοιχεία από πορομετό, τα τοιχεία είναι λεπτότερα κι έτσι ο οφέλιμος εσωτερικός χώρος της κατοικίας είναι μεγαλύτερος.

Η ποικιλία υλικών για την κατασκευή τοιχείων δεν περιορίζεται μόνο σ' αυτά που προαναφέρθηκαν. Ωστόσο, τα παραπάνω είδη καλύπτουν περισσότερο από 95% των χρήσεων στην Ελλάδα σήμερα σε ότι αφορά την κατοικία. [7]

3.5 Υαλοπίνακες

Οι νέες τεχνολογίες στους υαλοπίνακες έχουν αυξήσει τα οφέλη και την θερμική άνεση και δίνουν στους καταναλωτές περισσότερες επιλογές. Η επιλογή του σωστού υαλοπίνακα για ένα συγκεκριμένο σπίτι απαιτεί την κατανόηση ορισμένων βασικών εννοιών, όπως η ροή της ενέργειας από τα παράθυρα.

Τρεις είναι οι μεγάλες μορφές ροής της ενέργειας από τα παράθυρα:

1. Οι θερμικές απώλειες με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία,
2. Ηλιακά κέρδη με μορφή ακτινοβολίας και
3. Ροή του αέρα μέσω του αερισμού και της φυσικής διεύθυνσης του αέρα.

Η ροή θερμότητας μέσα από ένα παράθυρο είναι αποτέλεσμα της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Τα παράθυρα χάνουν θερμότητα προς τα έξω κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου και παίρνουν θερμότητα από το εξωτερικό κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου. Για κάθε παράθυρο, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας από μέσα προς τα έξω, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα ροής της θερμότητας. [12]

Η ακτινοβολούμενη από τον Ήλιο στη Γη υπέρυθη ακτινοβολία, συμμετέχει στην θέρμανση του πλανήτη κατά 50% περίπου, ενώ το υπόλοιπο 50% οφείλεται στην επίπτωση του ορατού (φυσικού) φωτός το οποίο απορροφάται από τα διάφορα υλικά και επανεκπέμπεται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (IR). Στην πράξη τα διάφορα αντικείμενα σε θερμοκρασία δωματίου, εκπέμπουν ακτινοβολία συγκεντρωμένη κατά κύριο λόγο στα 800-1200nm (IRA). Η υπέρυθη ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να είναι επιθυμητή και ανεπιθύμητη. Είναι επιθυμητή όταν απαιτείται άνεση και φυσική θέρμανση του χώρου, ενώ είναι ανεπιθύμητη όταν το δωμάτιο υπερθερμαίνεται.

Ο υαλοπίνακας ενός παραθύρου, χρησιμοποιείται πολλά χρόνια ως μέσο πλήρωσης των ανοιγμάτων ενός κτιρίου προκειμένου να προστατευθούν οι κάτοικοί του από τα καιρικά φαινόμενα (αέρα, βροχή, κρύο, ζέστη κλπ) το οποίο, σε αντίθεση με όλα τα υλικά που είχαν χρησιμοποιηθεί γι' αυτόν τον σκοπό στην αρχή, επιτρέπει στο φυσικό φως να εισέρχεται. Βέβαια η εξέλιξη της τεχνολογίας, συνετέλεσε στην διαρκή βελτίωση των οπτικών χαρακτηριστικών των υαλοπινάκων, ενώ παράλληλα εφευρέθηκαν και πέρασαν σε βιομηχανική παραγωγή νέοι τύποι υαλοπινάκων με πρόσθετες ιδιότητες τις οποίες δεν διέθεταν οι απλοί λευκοί υαλοπίνακες. Πρόκειται για υαλοπίνακες, στην μάζα των οποίων έχουν προστεθεί χρωματικές ουσίες ή η επιφάνεια των οποίων έχει επιστρωθεί με λεπτά αόρατα στρώματα μετάλλων, προκειμένου να μεταβληθεί ο δείκτης φωτοπερατότητάς τους, δηλαδή η ποσότητα του φυσικού φωτός που επιτρέπουν να διέρχεται.

3.5.1 Μετάδοση θερμότητας

Η θερμότητα είναι ενέργεια σε παροδική μορφή η οποία ρέει εξ' αιτίας της θερμοκρασιακής διαφοράς. Όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο σημείων ενός υλικού (στερεού, υγρού ή αερίου) τότε αυτόματα η θερμότητα μεταφέρεται από τα θερμότερα σημεία προς τα ψυχρότερα. Αυτό ισχύει για όλες τις επιφάνειες. Όμως μια γυάλινη επιφάνεια παρουσιάζει την ιδιομορφία να είναι ταυτόχρονα και διαπερατή από την ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα την ελεύθερη συσσώρευση θερμότητας.

Η θερμότητα εναλλάσσεται μέσω της επιφάνειας των υλικών, με τρεις διαφορετικούς τρόπους.

1. Με επαφή (Conduction): Η θερμότητα μεταφέρεται από το ένα μόριο στο επόμενο μέσα στο ίδιο στερεό σώμα ή σε επαπτόμενα μεταξύ τους σώματα. Η ροή θερμότητας μεταξύ δύο επιφανειών ενός υλικού εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αυτών και την θερμική αγωγιμότητα του υλικού. Η θερμική αγωγιμότητα του γυαλιού είναι $\lambda = 1.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
2. Με συναγωγή (Convection): Είναι η μεταφορά θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας ενός στερεού και ενός υγρού ή αερίου σώματος. Αυτός ο τρόπος μεταφοράς θερμότητας συνεπάγεται κίνηση των μορίων μέσω κυκλοφορίας. Οι διαφορές της θερμοκρασίας μεταξύ των σημείων του υγρού ή αερίου υλικού, προκαλούν κίνηση των μορίων προς τα επάνω καθώς αυτά ζεσταίνονται, με αποτέλεσμα την βαθμιαία εξισορρόπηση της θερμοκρασίας.
3. Με Ακτινοβολία (Radiation): Κάθε θερμό σώμα εκπέμπει ενέργεια με την μορφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διασχίζουν τις ελεύθερες περιοχές (αέρα, κενό) και όταν συναντήσουν εμπόδιο (κάποιο αντικείμενο), αφήνουν επάνω του μέρος της ενέργειάς τους. Το αντικείμενο αποκτά θερμότητα, την οποία στην συνέχεια εκπέμπει κ.ο.κ. Σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, αυτή η ακτινοβολία λαμβάνει χώρα στην περιοχή της μεγάλου μήκους υπέρυθρης ακτινοβολίας (πάνω από 5.000 nm).

Η επιφάνεια ενός υλικού ανταλλάσσει θερμότητα με τον αέρα με τον οποίο έρχεται σε επαφή με αγωγή (conduction) και συναγωγή (convection). Ανταλλάσσει επίσης θερμότητα με το περιβάλλον του με ακτινοβολία (radiation). Στον οικοδομικό/κατασκευαστικό τομέα η μεταφορά αυτή της θερμότητας έχει να κάνει με την ταχύτητα του ανέμου, τις θερμοκρασίες και τα επίπεδα εκπομπής ακτινοβολίας. Οι δεδομένες τιμές των συντελεστών αυτών είναι:

- Για εξωτερική ανταλλαγή: $h_e = 23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Για εσωτερική ανταλλαγή: $h_e = 8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

3.5.2 Θερμική εκπομπή (emissivity) υαλοπινάκων

Τα αντικείμενα ενός χώρου επανεκπέμπουν την θερμότητα που αποκτούν, με την μορφή μεγάλου μήκους υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR). Οι υαλοπίνακες γενικώς, δεν αφήνουν αυτού του είδους την ακτινοβολία να περάσει και να διαφύγει προς τα έξω, ταυτόχρονα όμως την απορροφούν όπως και τα υπόλοιπα υλικά, θερμαίνονται και επανεκπέμπουν την θερμότητα που απέκτησαν. Έτσι, ένας κοινός υαλοπίνακας (μη ανακλαστικός), επανεκπέμπει την θερμότητα που αποκτά, προς την ψυχρότερη περιοχή, π.χ. προς τα έξω τον χειμώνα, με αποτέλεσμα να χάνεται ενέργεια. Η ιδιότητα αυτή των σωμάτων λέγεται ικανότητα εκπομπής (emissivity) και εκφράζεται με την τιμή e η οποία δηλώνει το ποσοστό (%) της επανεκπεμπόμενης ενέργειας. Μία τυπική τιμή (e) της δυνατότητας εκπομπής (emissivity) ενός κοινού υαλοπίνακα είναι 0.89. Αυτό σημαίνει, ότι το 89% της ενέργειας που απορροφάται από την μάζα του γυαλιού, επανεκπέμπεται προς το περιβάλλον (προς την ψυχρότερη πλευρά του) και μόνο το 11% ανακλάται πίσω στην θερμή περιοχή.

Σημαντική βελτίωση (μείωση) της δυνατότητας θερμικής εκπομπής (e) των υαλοπινάκων επέφερε η εφεύρεση της επίστρωσης της επιφάνειάς των με ένα μικροσκοπικώς λεπτό στρώμα μετάλλων ή μεταλλικών οξειδίων, πάνω στο οποίο ανακλάται η προσπίπτουσα υπέρυθρη ακτινοβολία και επιστρέφει στον χώρο. Έτσι, μειώνεται η απορρόφηση ενέργειας από τον υαλοπίνακα και κατά συνέπεια η αύξηση της θερμότητάς του και η ικανότητα εκπομπής του. Με την διαρκή βελτίωση της τεχνολογίας και την παραγωγή αποτελεσματικότερων επιστρώσεων, αυξάνει δραστικά η ποιότητα της θερμομόνωσης που παρέχουν οι νέες τεχνολογίας υαλοπίνακες. Η χαμηλής εκπομπής (low-e) επίστρωση είναι σχεδιασμένη να αυξάνει την ανάκλαση της προσπίπτουσας και απορροφούμενης από το γυαλί θερμότητας προς την πλευρά της πηγής της θερμότητας. Αυτό σημαίνει ότι, αντίθετα με τους κοινούς λευκούς ή έγχρωμους απορροφητικούς υαλοπίνακες, οι επιστρωμένοι low-e υαλοπίνακες απορροφούν, άρα και επανεκπέμπουν προς την ψυχρότερη πλευρά, πολύ μικρότερα ποσοστά ενέργειας, συμβάλλοντας στην διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου τον χειμώνα και την απόθεση της ζέστης προς τα έξω το καλοκαίρι, βελτιώνοντας την θερμική άνεση.

Η ικανότητα εκπομπής επιδρά μόνο στην μεγάλου μήκους υπέρυθρη ακτινοβολία ενώ δεν έχει ουσιαστικά επίπτωση στον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας. Προκειμένου να συνδυαστεί ο έλεγχος της θερμοπερατότητας με

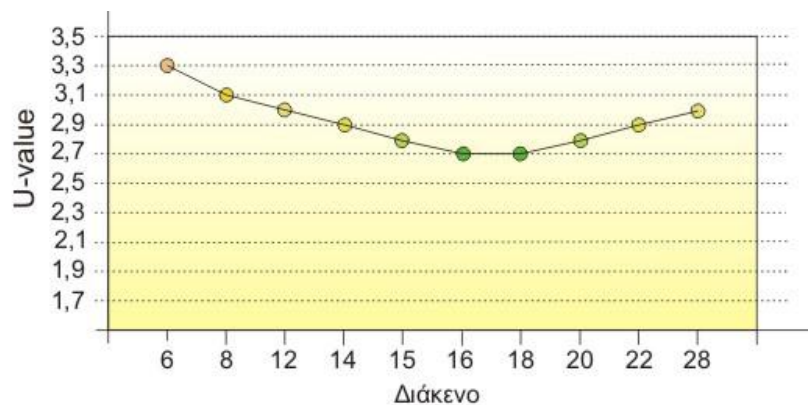
τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν υαλοπίνακες οι οποίοι συνδυάζουν και τις δύο λειτουργίες (Low-e & solar control).

3.5.3 Συντελεστής θερμοπερατότητας U-Value

Η θερμοπερατότητα ενός υαλοπίνακα, εκφράζεται με τον συντελεστή U-value και μετρά την θερμότητα η οποία μεταδίδεται (δραπετεύει) συνολικά με επαφή ανάμειξη και ακτινοβολία (σε Watt), μέσω ενός υαλοπίνακα ($1m^2$) από την θερμότερη στην ψυχρότερη πλευρά (για κάθε ένα βαθμό διαφοράς θερμότητας). Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός μονού υαλοπίνακα 4mm είναι: $U_g = 5.8 W/(m^2K)$. Ένα υαλοστάσιο με διπλό υαλοπίνακα, αποτελούμενο από δύο κοινούς υαλοπίνακες 6mm με 16mm διάκενο αέρα, ανάμεσά τους, έχει $U = 2,7 W/(m^2K)$. Η συνολική θερμική μόνωση ενός παραθύρου εξαρτάται από την θερμική μόνωση του πλαισίου, την θερμική μόνωση του υαλοστασίου και αποδίδεται από τον συντελεστή U_w , ενώ η θερμική μόνωση μόνο του υαλοστασίου αποδίδεται από τον συντελεστή U_g .

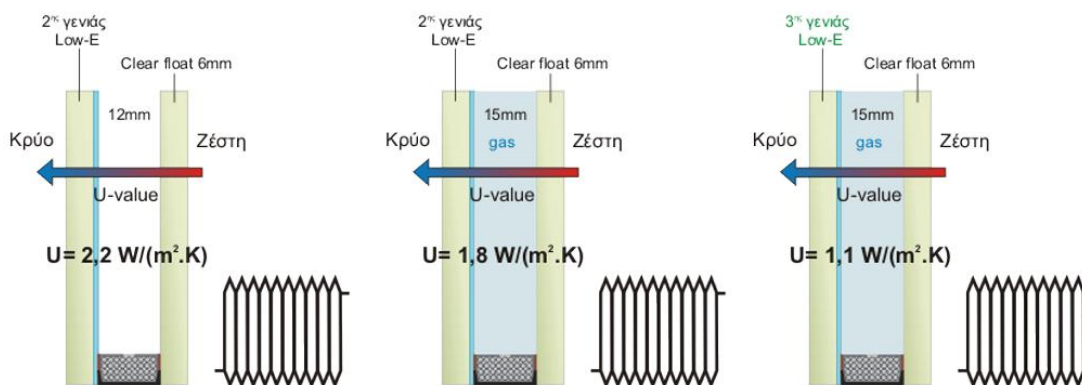
Μέχρι τα μισά του προηγούμενου αιώνα, τα υαλοστάσια αποτελούνταν από μονούς υαλοπίνακες με αποτέλεσμα να υπάρχουν τεράστιες απώλειες θερμότητας μέσω των παραθύρων, εξ αιτίας του πολύ υψηλού U-value. Περί τα τέλη της δεκαετίας του 1930 γεννήθηκε η ιδέα του διπλού υαλοπίνακα, η οποία άρχισε να εφαρμόζεται στην πράξη στις αρχές της δεκαετίας του '50, όταν έκαναν την εμφάνισή τους οι πρώτοι διπλοί υαλοπίνακες. Αργότερα στις αρχές της δεκαετίας του 1960, τα εργοστάσια παρήγαγαν ερμητικά σφραγισμένους διπλούς υαλοπίνακες. Η ιδέα των διπλών υαλοπινάκων ήταν να δημιουργηθεί ένα διάκενο γεμισμένο με ξηρό αέρα ανάμεσα σε δύο φύλλα υαλοπινάκων, το οποίο θα συντελούσε στην μείωση της μετάδοσης της θερμότητας με επαφή, δεδομένου ότι το γυαλί έχει θερμοαγωγιμότητα $1W/(mK)$ ενώ ο αέρας μόλις $0.025W/(mK)$, βελτιώνοντας έτσι τα μονωτικά χαρακτηριστικά και τον συντελεστή θερμοπερατότητας (U_g) ενός υαλοστασίου.

Αργότερα επήλθε νέα βελτίωση με την αντικατάσταση του αέρα με ευγενή αέρια (Argon, Krypton) τα οποία έχουν μικρότερη θερμοαγωγιμότητα από τον αέρα ώστε να μειώνουν την μετάδοση θερμότητας με επαφή, αλλά και μεγαλύτερη πυκνότητα ώστε να περιορίζουν την μετάδοση θερμότητας με ανάμειξη.



Εικόνα 10: Μεταβολή του συντελεστή U-value ενός διπλού υαλοπίνακα με απλά γυαλιά, σε σχέση με την μεταβολή του διακένου.

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, όσο μεγαλώνει το διάκενο, τόσο βελτιώνεται η θερμομονωτική ικανότητα του διπλού υαλοπίνακα. Αυτό όμως συμβαίνει μέχρι ένα ορισμένο σημείο που είναι τα 16 – 18mm. Άρα ένα διάκενο πάνω από 18mm, όχι μόνο δεν ωφελεί, αλλά αντιθέτως μειώνει την θερμομονωτική ικανότητα του υαλοστασίου.



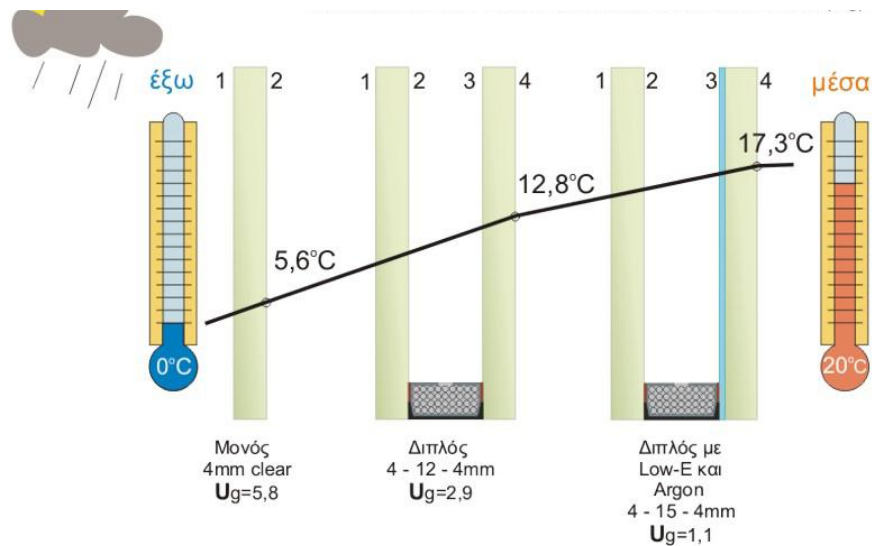
Εικόνα 13: Η βελτίωση του U-value με την χρήση Low-E υαλοπινάκων.

Πίνακας 11: Υπολογισμός απωλειών ενέργειας αποκλειστικά και μόνο από την υάλωση ενός τυπικού διαμερίσματος 140m², με διαφορετικούς τύπους υαλώσεων.

Είδος υάλωσης	U- Value ή συντελεστής K	Εμβαδόν υάλωσης m ²	Μέση διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας Watt	Ενεργειακές απώλειες ανά μήνα kWh	Μηνιαία οικονομική επιβάρυνση €	Μηνιαίο οικονομικό όφελος €	Ετήσιο οικονομικό όφελος με βμνη θερμοκημιτισμό €
Μονή υάλωση	5.7	30	15	2565	1850	185	0	0
Διπλή υάλωση με 5+12+5 mm	2.9	30	15	1305	950	90	90	540
Διπλή υάλωση με 5+14+5 mm Low- E	1.1	30	15	495	350	150	150	900

3.5.4 Θερμοκρασία υαλοστασίων

Η θερμική άνεση των ανθρώπων σ' ένα χώρο δεν εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία και την ταχύτητα κίνησης του αέρα εντός του χώρου, αλλά και από την ενδεχόμενη εγγύτητά του σε ψυχρές επιφάνειες. Το ανθρώπινο σώμα, όταν βρεθεί κοντά σε ψυχρές επιφάνειες, όπως π.χ. ένα υαλοστάσιο με μικρή θερμομόνωση, αντιδρά σαν θερμαντικό σώμα, αποβάλλοντας θερμότητα. Η διαχεόμενη μ' αυτόν τον τρόπο ενέργεια, έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μιας αίσθησης κρύου.



Εικόνα 14: Μεταβολή της θερμοκρασίας της εσωτερικής ενέργειας του υαλοστασίου, ανάλογα με τον συντελεστή θερμοπερατότητας (U_g)

Η σχέση ανάμεσα στον συντελεστή διερχόμενου φωτός (LT Light Transmission) και στον ηλιακό συντελεστή (g Solar Factor) ενός υαλοπίνακα αποκαλείται επιλεκτικότητα (selectivity) ενός υαλοπίνακα. Οι τιμές που μπορεί να πάρει η επιλεκτικότητα ενός υαλοπίνακα κυμαίνονται μεταξύ 0 και 2. Την τιμή 0 έχει ένας αδιαφανής υαλοπίνακας και την τιμή 2 είναι η καλύτερη δυνατή επιλεκτικότητα αφού το φως αντιπροσωπεύει το 50% του ηλιακού φάσματος. Όσο πλησιέστερα προς το 2 είναι η τιμή, τόσο πιο επιλεκτικός είναι ο υαλοπίνακας. [22]

3.5.5 Υαλοστάσια ελέγχου ηλιακής ακτινοβολίας

Η ανάγκη ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας ανακύπτει κυρίως σε κτίρια με μεγάλα ανοίγματα, άμεσα εκτεθειμένα στον ήλιο. Με την χρήση των κατάλληλων υαλοπινάκων (solar control), υπάρχει η δυνατότητα παρέμβασης, μεταβάλλοντας ουσιαστικά δύο μεγέθη:

1. Την ποσότητα του εισερχόμενου φυσικού φωτός
2. Την ποσότητα της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας (θερμότητας)

Αξίζει να σημειωθεί ότι η όποια μείωση της περατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας, συνεπάγεται αντίστοιχη μείωση της περατότητας του ορατού φωτός, δηλαδή του φυσικού φωτισμού. Οι υαλοπίνακες που μπορούν να ελέγξουν την ηλιακή ακτινοβολία διατίθενται σε δύο τύπους: απορροφητικοί υαλοπίνακες και επιστρωμένοι (coated) υαλοπίνακες.

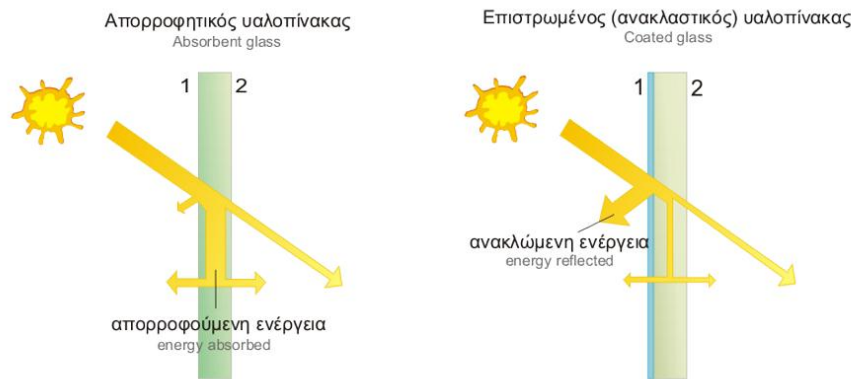
3.5.6 Απορροφητικοί υαλοπίνακες

Οι απορροφητικοί υαλοπίνακες είναι έγχρωμοι υαλοπίνακες (μπρονζέ, φυμέ, πράσινοι, μπλέ κλπ), οι οποίοι έχουν υψηλό συντελεστή απορρόφησης, με αποτέλεσμα να συγκρατούν μεγαλύτερο μέρος ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με τους κοινούς λευκούς υαλοπίνακες. Η συγκρατούμενη ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα η οποία οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας των υαλοπινάκων αυτών. Αποτέλεσμα της συγκράτησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η μείωση του διερχόμενου φυσικού φωτός ώστε να περιοριστεί στα επιθυμητά επίπεδα, άρα και η μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας.

Στις διπλές υαλώσεις, τα χρωματιστά γυαλιά τοποθετούνται στην εξωτερική πλευρά, ώστε η θερμότητα που συσσωρεύουν να διαχέεται προς το εξωτερικό περιβάλλον. Οι απορροφητικοί αυτοί υαλοπίνακες δεν διαφέρουν

από τους κοινούς υαλοπίνακες ως προς την ικανότητα θερμικής εκπομπής, κατά συνέπεια η χρήση τους μειώνεται συνεχώς, καθώς αντικαθίστανται με υαλοπίνακες οι οποίοι συνδυάζουν και χαρακτηριστικά χαμηλής εκπομπής.

Μια βασική παράμετρος της χρήσης έγχρωμων υαλοπινάκων είναι ο κίνδυνος του «θερμικού σοκ», το οποίο προκαλείται από την ανομοιόμορφη έκθεση της επιφάνειας του γυαλιού στην ηλιακή ακτινοβολία, πράγμα το οποίο οδηγεί σε μεγάλες διαφορές της θερμοκρασιακής βαθμίδας, άρα στην δημιουργία τάσεων πέρα από τα όρια αντοχής του υαλοπίνακα και τελικά στην θραύση του. Μείωση του κινδύνου επιτυγχάνεται με το πλευρικό τρύχισμα των γυαλιών και ελαχιστοποίησή του με την χρήση σκληρυμένων (tempered ή securit) υαλοπινάκων. [22]



Εικόνα

Εικόνα 15: Απορροφητικός και επιστρωμένος υαλοπίνακας. [22]

3.5.7 Επιστρωμένοι υαλοπίνακες (coated)

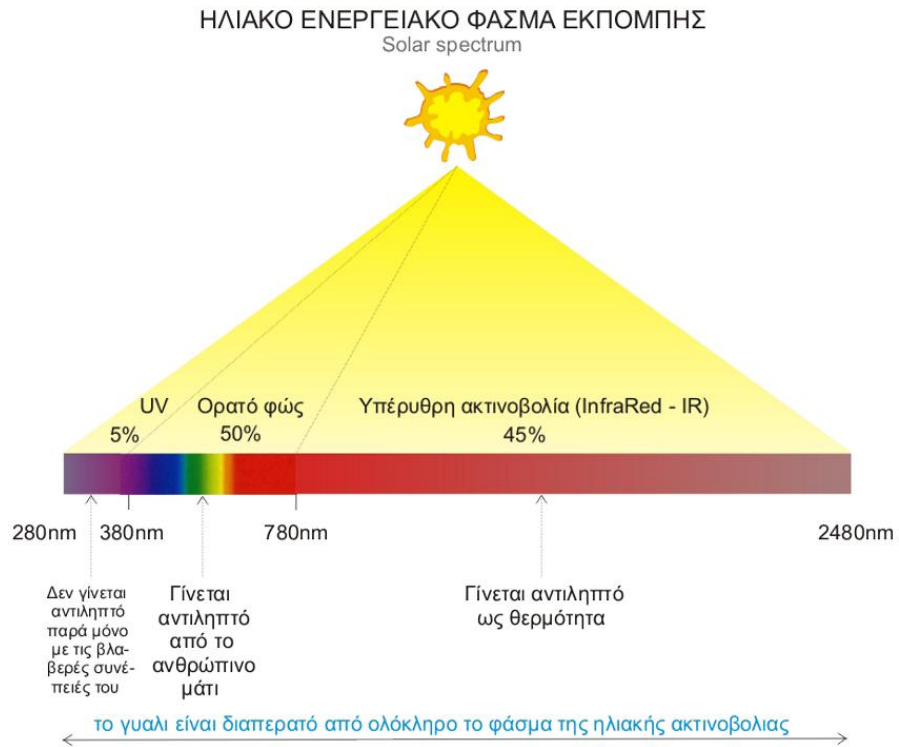
Πρόκειται για υαλοπίνακες των οποίων η επιφάνεια έχει επιστρωθεί με λεπτότατα, αόρατα στρώματα μεταλλικών οξειδίων, ικανά να ανακλούν μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μειώνοντας δραστικά το θερμικό κέρδος. Η βασική αρχή της παραγωγής ανακλαστικών γυαλιών είναι η επίστρωση της μιας επιφάνειάς τους με λεπτά στρώματα οξειδίων διαφόρων μετάλλων και μεταλλικών αλάτων, με την οποία το γυαλί αποκτά αυξημένες ανακλαστικές ιδιότητες αφ' ενός και διάφορους χρωματισμούς αφ' ετέρου. Ένα από τα βασικώς χρησιμοποιούμενα μέταλλα είναι ο άργυρος, λόγω κυρίως του χαμηλού συντελεστή ακτινοβολίας της θερμότητας. Η ανακλαστική επίστρωση του αργύρου (ή άλλου μετάλλου) συνδυάζεται με άλλες προ και μετά επιστρώσεις οξειδίων μετάλλων, προκειμένου να επιτευχθεί ο επιθυμητός συντελεστής ανακλαστικότητας και η χρωματική χροιά του γυαλιού.

Ανάλογα με την μέθοδο επίστρωσης, οι επιστρωμένοι υαλοπίνακες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Σε υαλοπίνακες πυρολυτικής επίστρωσης (ή σκληρής επίστρωσης) των οποίων η επίστρωση γίνεται υπό θερμοκρασίες της τάξεως των 500°C, κατά την διάρκεια της παραγωγής τους, εν σειρά. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η ενσωματούμενη στην επιφάνεια του γυαλιού επίστρωση, είναι ανθεκτική σε μηχανικές καταπονήσεις.
2. Σε υαλοπίνακες εν κενώ επίστρωσης (ή μαλακής επίστρωσης) των οποίων η επίστρωση γίνεται σε χωριστή φάση από την παραγωγή. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η παραγωγή επιστρώσεων μη ανθεκτικών σε μηχανικές καταπονήσεις, κάτι που απαιτεί προσεκτικό χειρισμό των γυαλιών καθ' όλα τα στάδια της περαιτέρω επεξεργασίας αυτών και τη χρήση τους μόνο σε διπλές υαλώσεις.

Μία πολύ σημαντική παράμετρος των επιστρωμένων (ανακλαστικών) γυαλιών είναι το οπτικό αποτέλεσμα που δίνουν οι χρωματισμοί τους. Η δημιουργία τους στηρίζεται στους διαφορετικούς δείκτες διάθλασης που έχουν δυο διαφορετικά υλικά αλλά και δυο διαφορετικού πάχους στρώματα του ίδιου υλικού. Συνδυάζοντας λοιπόν οι παραγωγοί των επιστρωμένων γυαλιών τόσο διαφορετικά υλικά (Οξείδιο Τιτανίου, Οξείδιο Χρωμίου, Οξείδιο Χαλκού κλπ) όσο και διαφορετικού πάχους επιστρώσεις του ίδιου υλικού, παράγουν ανακλαστικά γυαλιά με

διαφορετικό οπτικό-χρωματικό αποτέλεσμα (Fume, Bronze, Green, Blue, Silver, Gold, Green κλπ) αλλά και διαφορετικό βαθμό ανακλαστικότητας. [22]



4.1 Γενικά

Η βασική αρχή της θερμοδυναμικής, σύμφωνα με την οποία παρατηρείται ροή θερμότητας από κάθε περιοχή, χώρο ή αντικείμενο σχετικά υψηλής θερμοκρασίας, προς περιοχές, χώρους και αντικείμενα χαμηλότερης θερμοκρασίας, είναι η αιτία που αναγκάζει τον άνθρωπο να κατασκευάζει εγκαταστάσεις θέρμανσης και κλιματισμού. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι κλειστοί χώροι έχουν υψηλότερη θερμοκρασία από το ψυχρό, φυσικό περιβάλλον. Παρατηρείται ροή θερμότητας από τους κλειστούς χώρους προς το περιβάλλον. Η ροή αυτή, πραγματοποιείται από τα σταθερά τοιχώματα, από τα κουφώματα, αλλά και εξ αιτίας ρευμάτων από τις χαραμάδες και τα περιοδικά ανοίγματα θυρών και παραθύρων. Αυτή η απώλεια θερμότητας είναι περισσότερο έντονη, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά. Κατά την καλοκαιρινή περίοδο παρατηρείται ανάλογο φαινόμενο με αντίστροφη πορεία. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη προσθήκης θερμότητας στους χώρους (τον χειμώνα) και απομάκρυνσης θερμικών φορτίων (το καλοκαίρι). Οι αναγκαίες ποσότητες θερμότητας πρέπει να προστίθενται ή να αφαιρούνται με ρυθμό ανάλογο των αναγκών. Είναι επομένως σημαντική η εξοικονόμηση ενέργειας στη δομή των κτιρίων και η χρήση των χώρων από τους ανθρώπους, κατά τρόπο ώστε να μειώνουν, όσο το δυνατόν, τις αναγκαίες προσθαφαιρέσεις ενέργειας. Όταν για παράδειγμα, αποφεύγονται τα άσκοπα ανοίγματα των θυρών και παραθύρων, όταν φράσσονται κατά το δυνατόν οι χαραμάδες και κυρίως όταν οι χώροι διαθέτουν κατάλληλα θερμομονωτικά τοιχώματα και ανοίγματα. Μετά την πρώτη ενεργειακή κρίση (1973), η θερμομόνωση των οικοδομών αποτελεί πρωταρχικό μέλημα όλων των κατασκευαστών κτιρίων. [9] Οποιοδήποτε κτίριο με εσωτερικές θερμοκρασίες μεγαλύτερες του εξωτερικού περιβάλλοντος, θα χάσει μικρή ή μεγάλη ποσότητα θερμότητας αντίστοιχη με τη θερμομόνωση του εξωτερικού περιβάλλοντος του κάθε κτιρίου (π.χ. περιβάλλοντες τοίχοι, στέγη κ.τ.λ).

Τα διάφορα θερμομονωτικά υλικά συμβάλλουν στην άνετη και ευχάριστη διαβίωση των ενοίκων από τις επιδράσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος με τη μείωση της θερμικής ροής μεταξύ των εσωτερικών χώρων και του κλίματος του εξωτερικού περιβάλλοντος. Με τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων μονωτικών-δομικών υλικών επιτυγχάνεται η μείωση των απωλειών θερμότητας ενός κτιρίου και συμβάλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, στη μείωση της μόλυνσης της ατμόσφαιρας και στον αντίστοιχο περιορισμό των δαπανών θέρμανσης. [5] Με τη θερμομόνωση επιδιώκεται αρχικά η μείωση της ταχύτητας ροής της θερμότητας από και προς έναν χώρο. Με τη θερμομόνωση για παράδειγμα μιας κατοικίας μειώνεται κατά τη χειμερινή περίοδο η ταχύτητα ροής της θερμότητας προς το περιβάλλον και επιτυγχάνεται η διατήρηση της «επιθυμητής» θερμοκρασίας, με την περιοδική προσθήκη μικρών ποσοτήτων θερμότητας (θέρμανση). Αντίστοιχα κατά τη θερινή περίοδο, η θερμομόνωση επιβραδύνει την εισροή εξωτερικής θερμότητας και επιτρέπει στα μηχανήματα κλιματισμού να λειτουργούν με πολύ χαμηλότερο κόστος.

Θεωρητικά, αυξάνοντας το πάχος του θερμομονωτικού υλικού, μηδενίζεται σχεδόν πλήρως η ροή της θερμότητας. Είναι όμως φανερό ότι η αύξηση του πάχους του μονωτικού υλικού αυξάνει το πάχος των τοιχωμάτων και απαιτεί μεγαλύτερη ποσότητα (κόστος υλικού μονώσεως). Σε κεντρικές κτιριακές εγκαταστάσεις το συνολικό πάχος των τοιχωμάτων αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα, γιατί είναι πολύ υψηλό το κόστος του διατιθέμενου ωφέλιμου εμβαδού. Σ' αυτές τις περιπτώσεις είναι δικαιολογημένη η χρησιμοποίηση «ασχυρών» μονωτικών, έστω και υψηλού κόστους αγοράς. Οι προδιαγραφές θερμομόνωσης μιας κτιριακής κατασκευής είναι τόσο αυστηρότερες (άρα και δαπανηρότερη κατασκευή), όσο περισσότερο ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές θα έχει να αντιμετωπίσει το κτίριο και όσο περισσότερο απαιτητικοί είναι οι χρήστες των χώρων. Πρακτικά με τη θερμομόνωση μειώνονται οι δαπάνες (σε ενέργεια και χρήματα) θέρμανσης των κατοικιών από 30% με βελτιώσεις σε υπάρχουσες κατασκευές και μέχρι 60% σε νέες κατασκευές. Είναι λοιπόν απόλυτα δικαιολογημένο ότι στις εγκαταστάσεις θέρμανσης και κλιματισμού, η ροή της θερμότητας είναι αντικείμενο ενδιαφέροντος μεγάλου αριθμού ειδικών επιστημόνων, ερευνητών, κατασκευαστών κτιρίων και παραγωγών δομικών υλικών. [10]

Με την θερμομόνωση στις κτιριακές κατασκευές λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα ώστε να παρεμποδίζεται η διαφυγή της θερμικής ενέργειας από ένα χώρο προς την ατμόσφαιρα ή προς ένα άλλο, ψυχρότερο γειτονικό χώρο - ή αντίστροφα. Σε παλαιότερες εποχές, η ανάγκη για μια τέτοια πρόβλεψη δεν ήταν επιβεβλημένη, αφού οι βαριές κατασκευές του περιβλήματος (τοιχοί, στέγη), η διάταξη των χώρων καθώς και η σύνθεση των όγκων των παραδοσιακών κτισμάτων, ήταν καθοριστικοί παράγοντες ρύθμισης της θερμομονωτικής ικανότητας, αλλά και της ροής θερμότητας. Αξιοσημείωτο είναι πως, σε αντίθεση με σήμερα και μολονότι τα βασικά υλικά κατασκευής ήταν κοινά, η τυπολογία οικισμών και κτισμάτων διαφοροποιούνταν από τόπο σε τόπο με βάση τις κλιματολογικές συνθήκες κάθε περιοχής. Επιπλέον, η ορθή ένταξη και προσανατολισμός των κτιρίων αυτών στο περιβάλλον, με τη σωστή διαμόρφωση χώρων και επιλογή υλικών κατασκευής, καθιστούσε επιτρεπτό τον επιθυμητό φωτισμό-ηλιασμό και παρείχε τη δυνατότητα φυσικού δροσισμού. Με την πάροδο του χρόνου, οι

κατασκευές έγιναν ελαφρότερες, περισσότερο σύνθετες και λιγότερο ανθεκτικές στις καιρικές συνθήκες. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας η προστασία από τις θερμικές μεταβολές μεταβιβάστηκε στα διάφορα συστήματα ελέγχου του μικροκλίματος, όπως η κεντρική θέρμανση και ο κλιματισμός. Η κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία των συστημάτων αυτών δεν αποτελούσε πρόβλημα μέχρι τη στιγμή που τα διαθέσιμα αποθέματα των συμβατικών καυσίμων – ουσιαστικά του πετρελαίου – μειώθηκαν και αυξήθηκε η τιμή τους. Επακόλουθο αυτού ήταν μια παγκόσμια προσπάθεια διαφύλαξης και ορθολογικής εκμετάλλευσης των αποθεμάτων ενέργειας και έτσι άρχισε να διαφαίνεται, μεταξύ άλλων, ο πρωτεύοντας ρόλος που έχει η θερμομόνωση στην εξοικονόμηση ενέργειας. [9]

Μια καλή θερμική μόνωση πρέπει να εξασφαλίζει:

- Την υγιεινή, άνετη κι ευχάριστη διαβίωση, χωρίς να διαταράσσεται το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος και να προκαλούνται σοβαρές θερμικές αλληλοεπιδράσεις κρύου ή ζέστης ανάμεσα σ' αυτό και στο χώρο που το περιβάλλει. Το θερμικό ισοζύγιο είναι αυτό κυρίως που καθορίζει το αίσθημα άνεσης του ανθρώπινου οργανισμού.
- Την οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας, με τον περιορισμό των θερμικών απωλειών από το κέλυφος του κτιρίου.
- Τον περιορισμό του αρχικού κόστους κατασκευής της εγκατάστασης του συστήματος κεντρικής θέρμανσης ή κλιματισμού.
- Την ταυτόχρονη προστασία από τους θορύβους, αφού τα περισσότερα από τα θερμομονωτικά υλικά είναι και ηχομονωτικά.
- Τη βελτίωση της προστασίας του περιβάλλοντος γενικότερα, αφού μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας ελαττώνεται αντίστοιχα και η ποσότητα των εκπεμπόμενων καυσαερίων προς την ατμόσφαιρα. [5]

4.2 Λειτουργία θερμομόνωσης

Όταν έρθουν σε επαφή δύο αντικείμενα με διαφορετικές θερμοκρασίες, τότε εμφανίζεται ροή θερμικής ενέργειας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα. Η ροή αυτή χαρακτηρίζεται ως θερμοροή. Συμβολίζεται ως q και εκφράζεται σε μονάδες W (Watt). Το μέγεθος της θερμοροής υπολογίζεται από το νόμο του Fourier. Για επίπεδο τοίχωμα πάχους d και εμβαδού S , ο νόμος του Fourier εκφράζεται με την εξίσωση:

$$\dot{q} = S\lambda \frac{\Delta\theta}{d}$$

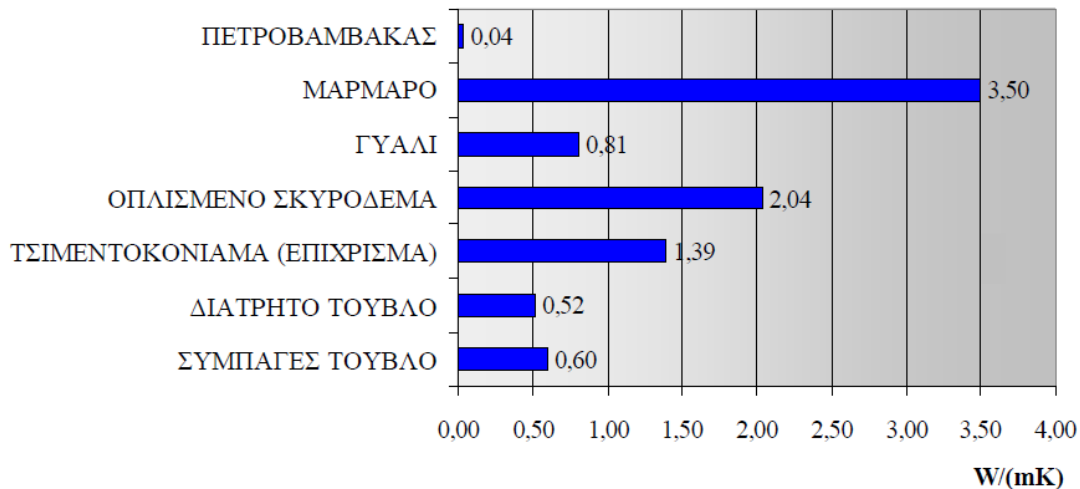
όπου λ , ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, ο οποίος χαρακτηρίζει το υλικό από άποψη θερμικής συμπεριφοράς και εκφράζεται σε W/(mK).

Το παραπάνω φαινόμενο δημιουργεί προβλήματα απωλειών ενέργειας. Στην περίπτωση των κτιρίων η θερμότητα ρέει με φυσικό τρόπο από ένα θερμό χώρο σε έναν ψυχρότερο. Κατά τη χειμερινή περίοδο (ή περίοδο θέρμανσης) αυτή η ροή θερμότητας κινείται είτε άμεσα από όλους τους θερμαινόμενους χώρους του κτιρίου προς τους παρακείμενους μη θερμαινόμενους χώρους (σοφίτες, αποθήκες, υπόγεια) και προς το εξωτερικό περιβάλλον, είτε έμμεσα διαμέσου των εσωτερικών οροφών, τοίχων και δαπέδων, οπουδήποτε ή οποτεδήποτε παρουσιάζεται θερμοκρασιακή διαφορά. Αντίθετα, κατά τη θερινή περίοδο (ή περίοδο δροσισμού) η θερμότητα ρέει από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του κτιρίου. Για να διατηρηθούν ικανοποιητικές συνθήκες θερμικής άνεσης στο κτίριο και να μειωθεί η ενέργεια που προσδίδεται στο κτίριο από τα μηχανικά συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού είναι απαραίτητη η χρήση θερμομόνωσης, η οποία και έχει ως τελικό σκοπό τη μείωση της θερμοροής παρέχοντας μία αποτελεσματική αντίσταση στη ροή της θερμότητας. Για παράδειγμα, σε μια κατοικία, η εσωτερική θερμοκρασία κατά τη χειμερινή περίοδο πρέπει να διατηρείται στους 18-22°C, έτσι ώστε να εξασφαλίζονται οι συνθήκες θερμικής άνεσης. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι πολύ χαμηλότερη, με αποτέλεσμα να υπάρχει ροή θερμότητας διαμέσου των δομικών στοιχείων, από το εσωτερικό της κατοικίας προς το περιβάλλον. Επομένως, απαιτείται επιπλέον ενέργεια για να διατηρηθεί η εσωτερική θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα.

Από το νόμο του Fourier, διαπιστώνεται ότι για να μειωθούν οι απώλειες λόγω θερμοροής, επιβάλλεται η χρήση υλικών με χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Ακριβώς αυτά τα υλικά, χαρακτηρίζονται ως θερμομονωτικά. Η θερμομόνωση επομένως στα ομοιογενή και ισότοπα υλικά, ταξινομείται με τον όρο του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ , του οποίου η φυσική σημασία έγκειται στην αντίσταση στη θερμοροή. Όσο

μικρότερη είναι η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στη θερμοροή και επομένως η αποτελεσματικότητα του θερμομονωτικού υλικού. Η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας εξαρτάται από το θερμομονωτικό υλικό, τη δομή του (πορώδες, πυκνότητα) τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση.

Ενδεικτικά, στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 11) παρουσιάζεται ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας διάφορων δομικών στοιχείων σε σύγκριση με ένα θερμομονωτικό υλικό, ώστε να γίνει κατανοητός ο λόγος χρήσης τους. [17]



Εικόνα 11: Τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας λ, για διάφορα δομικά στοιχεία (σε W/(mK)).

Για την σωστή επιλογή των μέτρων θερμομόνωσης για τον έλεγχο των θερμικών απωλειών πρέπει, κατά το σχεδιασμό, να μελετηθούν οι βασικότεροι παράγοντες που τις προκαλούν. Τέτοιοι παράγοντες είναι:

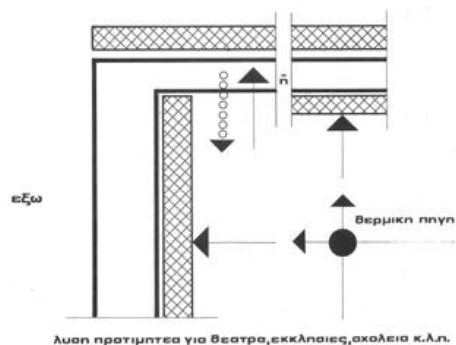
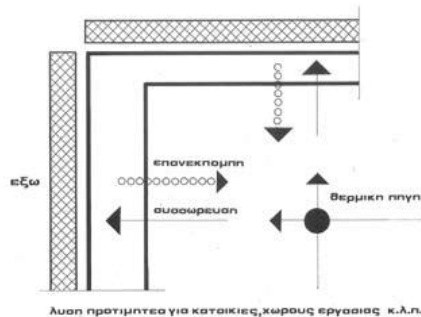
- Η τοποθεσία και ο προσανατολισμός του κτιρίου μέσα στον περιβάλλοντα χώρο. Όσο περισσότερο εκτεθειμένο είναι ένα κτίριο στους ανέμους τόσο μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας εμφανίζει. Επίσης, όσο περισσότερο προσβάλλεται από την ηλιακή ακτινοβολία, τόσο οι απώλειες ψύξης των εσωτερικών χώρων του είναι μεγαλύτερες.
- Το μέγεθος των επιφανειών του εξωτερικού περιβλήματος του κτιρίου που είναι άμεσα εκτεθειμένες στις καιρικές συνθήκες, σε συνάρτηση με τον όγκο του κτιρίου. Ένα ελεύθερο στο χώρο κτίριο εμφανίζει πολύ μεγαλύτερες απώλειες από ένα άλλο που είναι ενταγμένο σε ένα συνεχές σύστημα δόμησης.
- Το πόσο εκτεθειμένοι στο περιβάλλον είναι οι διάφοροι χώροι του κτιρίου. Χώροι τελείως εσωτερικοί θεωρείται ότι δεν παρουσιάζουν καμία θερμική μεταβολή. Αντίθετα, χώροι που εκτείνονται σε δύο ή περισσότερους ορόφους, όπως για παράδειγμα τα κλιμακοστάσια, παρουσιάζουν μεγάλες απώλειες.
- Τα εξωτερικά κουφώματα, τα οποία, ανάλογα με το μέγεθος, τον αριθμό και τη θέση τους στις όψεις ενός κτιρίου, επηρεάζουν τη ροή της θερμότητας.

Ο ρυθμός ροής θερμότητας διαμέσου του κελύφους ενός κτιρίου εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από το σύνολο των μέτρων που λαμβάνονται και κυρίως από τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Η μελέτη και η σωστή εφαρμογή της θερμομόνωσης βασίζεται στον βέλτιστο συνδυασμό των μεθόδων και υλικών κατασκευής, τα οποία προσδίδουν συγκεκριμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες στα δομικά στοιχεία του κτιρίου.

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη θερμική συμπεριφορά του κελύφους του κτιρίου και είναι οι ακόλουθες:

1. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value), δηλαδή η ποσότητα θερμότητας που περνά σε ένα δευτερόλεπτο μέσα από τις απέναντι πλευρές ενός κύβου πλευράς 1m όταν η διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ των δυο επιφανειών του στοιχείου είναι 1K. Αυτή εξαρτάται από τις ιδιότητες που έχουν τα υλικά που συνθέτουν την κατασκευή ενός δομικού στοιχείου, δηλαδή:
 - Το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (συντελεστής λ)
 - Την περιεκτικότητά τους σε υγρασία και
 - Το πάχος τους.

2. Ο βαθμός διαπερατότητας του αέρα διαμέσου των δομικών στοιχείων, που εξαρτάται από:
 - Το είδος της κατασκευής που διαμορφώνει το περίβλημα ενός χώρου.
 - Την επιφάνεια των ανοιγμάτων και τον τρόπο συναρμογής των κουφωμάτων. Μεγάλες ποσότητες θερμότητας χάνονται από τις πόρτες και τα παράθυρα μιας όψης, ανάλογα με το μέγεθος του τζαμιού και τον τρόπο κατασκευής τους, καθώς και με τους αρμούς επαφής μεταξύ των φύλλων και του πλαισίου ενός κουφώματος. Το γεγονός αυτό κάνει τα παράθυρα και τις πόρτες να εμφανίζουν υπερβολικά μεγάλο συντελεστή θερμοπερατότητας, γιατί οι θερμικές απώλειες, όπως είναι γνωστό, προκαλούνται όχι μόνο από θερμική αγωγιμότητα αλλά και από θερμική μεταφορά.
3. Η ειδική θερμότητα (c) των δομικών στοιχείων του κτιρίου, που συμβάλλει στον περιορισμό του ρυθμού μεταβολής της θερμοπερατότητας των στοιχείων. Όταν οι τοίχοι και οι οροφές έχουν μεγάλη θερμοχωρητική ικανότητα, τότε η θερμότητα που συγκεντρώνουν ενόσω λειτουργεί η θέρμανση, αποβάλλεται όταν αυτή σταματήσει, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η γρήγορη ψύξη των χώρων. Το αντίθετο συμβαίνει το καλοκαίρι όταν οι χώροι ψύχονται. Ανάλογα με τη θέση της μόνωσης – στην εξωτερική ή εσωτερική επιφάνεια - οι τοίχοι και οι οροφές ενεργούν:
 - Ως συσσωρευτές θερμότητας, όταν η θερμική μόνωση τοποθετείται στην εξωτερική τους επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή, συσσωρεύουν επί ένα μεγάλο χρονικό διάστημα τη θερμότητα, για να την αποβάλουν και πάλι μέσα στο χώρο με ακτινοβολία. Με τη διαδικασία αυτή αυξάνεται αντίστοιχα η διάρκεια μεταβολής της θερμοκρασίας σε χώρους στους οποίους είναι απαραίτητο να δημιουργείται αίσθημα άνεσης (κατοικίες, χώροι εργασίας, κ.λπ.).
 - Ως φράγμα προστασίας, όταν η θερμική μόνωση τοποθετείται στην εσωτερική τους επιφάνεια, στις περιπτώσεις που απαιτείται η γρήγορη θέρμανση ή ψύξη των χώρων.

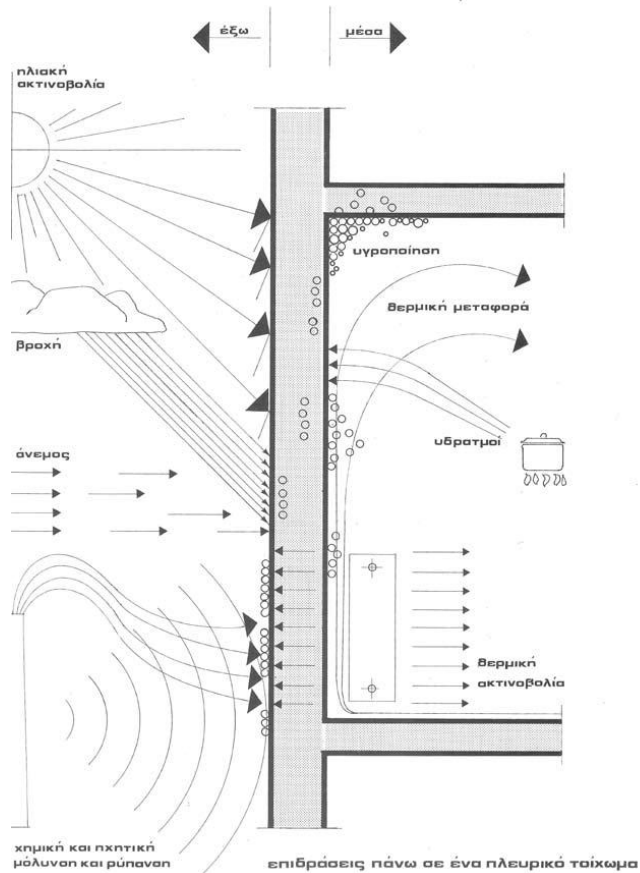


Εικόνα 16: Θερμοχωρητικότητα δομικών στοιχείων ανάλογα με τη θέση της θερμικής μόνωσης (εσωτερικά ή εξωτερικά). α. Ως συσσωρευτές θερμότητας, β. Ως φράγμα προστασίας, αντίστοιχα.

Η κατασκευή της θερμομόνωσης ενός κτιρίου πρέπει να γίνεται σύμφωνα με ορισμένες προϋποθέσεις που ανάλογα με τη θέση της επιφάνειας που πρόκειται να προστατευθεί και τη θέση της μονωτικής στρώσης μέσα στην κατασκευή (εσωτερικά ή εξωτερικά). Είναι ευνόητο ότι δεν μπορούν να αγνοηθούν οι απαιτήσεις προστασίας από την υγρασία. Για το λόγο αυτό, το πρόβλημα της θερμομόνωσης δεν μπορεί να εξετάζεται μεμονωμένα, αλλά σε

συνδυασμό με άλλες απαιτήσεις προστασίας. Στη συνέχεια, γίνεται συνοπτική αναφορά στα πιο ευάλωτα στοιχεία του κτιρίου, που έχουν ανάγκη θερμικής προστασίας. Αυτά είναι:

- Η οροφή (επίπεδη ή κεκλιμένη) και η στέγη, που παρουσιάζουν μεγάλες θερμικές απώλειες, μιας και είναι τα μέρη εκείνα του κτιρίου που δέχονται άμεσα όλες τις επιδράσεις των καιρικών συνθηκών.
- Τα εξωτερικά τοιχώματα, που υπόκεινται σε μια σειρά επιδράσεων και τα οποία ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, προκαλούν μεγάλες θερμικές απώλειες. Η προστασία των εξωτερικών τοιχωμάτων μπορεί να γίνει εσωτερικά ή εξωτερικά, ανάλογα με τη χρήση των χώρων που προστατεύουν και το βασικό μέρος της δομής τους. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις τοιχωμάτων στις οποίες η θερμική μόνωση τοποθετείται ανάμεσα σε δυο κατακόρυφα στρώματα ομοιογενών ή ανομοιογενών υλικών και είναι σχετικά απλή λύση η οποία όμως, έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Γενικά σε όλες τις περιπτώσεις πλευρικών εξωτερικών τοιχωμάτων παίρνονται μέτρα για:
 - ✓ Προστασία του θερμομονωτικού υλικού από συμπύκνωση και δρόσο, με φράγμα υδρατμών.
 - ✓ Παρεμπόδιση της διείσδυσης νερών βροχής, που θα έχει ως συνέπεια την πρόκληση ανεπανόρθωτης ζημιάς στο θερμομονωτικό υλικό, και
 - ✓ Αποφυγή της δημιουργίας θερμογεφυρών που αυξάνουν τις θερμικές απώλειες και δημιουργούν θερμικές τάσεις στα επιμέρους υλικά που συνθέτουν την κατασκευή. Επιπλέον, πρέπει να αποφεύγεται η διάτρηση των εξωτερικών τοιχωμάτων για να περάσουν σωληνώσεις εγκαταστάσεων ή άλλου είδους κατασκευές. Όπου αυτό είναι απαραίτητο, επιβάλλεται ιδιαίτερη μέριμνα για την προστασία των ευάλωτων αυτών στοιχείων, τόσο από τη θερμότητα όσο και από την υγρασία.
- Τα ανοίγματα, που είναι από τα πιο ευάλωτα στοιχεία ενός κτιρίου. Για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών πρέπει οι αρμοί συναρμογής των πλαισίων να είναι απόλυτα αδιαπέραστοι από τον αέρα. Τα υλικά που συγκροτούν το κούφωμα (ξύλο, αλουμίνιο, πλαστικό) να είναι άριστης ποιότητας ώστε να αποφεύγονται οι παραμορφώσεις των φύλλων. Για ξύλινα παράθυρα ή πόρτες, αυτό δεν είναι εύκολα κατορθωτό εξαιτίας της φύσης του υλικού. Στην περίπτωση όμως κουφωμάτων αλουμινίου, η πρόβλεψη ειδικών παρεμβυσμάτων στους αρμούς επαφής δίνει συνήθως άριστα αποτελέσματα. Επιπλέον, τα υαλοστάσια των ανοιγμάτων θα πρέπει να έχουν χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας.
- Το κατώτερο δάπεδο του κτιρίου το οποίο δεν χρειάζεται πάντα θερμική προστασία, εκτός εάν χρησιμοποιείται ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης (δάπεδο ισογείου σε επαφή με το έδαφος). Οποσδήποτε όμως, απαιτείται θερμική προστασία στις περιπτώσεις δαπέδου εκτεθειμένου προς το εξωτερικό περιβάλλον (π.χ. κτίριο σε πλωτή).
- Τα μπαλκόνια και οι προεξοχές της πλάκας, όταν δεν προστατεύονται από τη θερμότητα, λειτουργούν σαν θερμογέφυρες, με αποτέλεσμα να μην ελέγχονται απόλυτα οι θερμικές απώλειες των εσωτερικών χώρων και να προκαλούνται βλάβες στις κατασκευές λόγω συμπύκνωσης.



Εικόνα 17: Επιδράσεις σε πλευρικό τοίχωμα

4.3 Περιπτώσεις θερμομόνωσης κτιρίου

Ένα κτίριο πρέπει να θερμομονώνεται σε όλες τις εξωτερικές επιφάνειές του, κατακόρυφες και οριζόντιες, που περικλείουν κλιματιζόμενους χώρους από τους οποίους είναι δυνατό να διαφύγει θερμική ενέργεια (επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με ατμοσφαιρικό αέρα ή μη κλιματιζόμενους χώρους).

4.3.1 Εξωτερική θερμομόνωση τοιχοποιίας - δοκών - υποστυλωμάτων

Οι βασικοί τρόποι θερμομόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας, δοκών και υποστυλωμάτων είναι οι ακόλουθοι:

1. Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας:
 - ✓ Θερμομόνωση στην εσωτερική επιφάνεια
 - ✓ Θερμομόνωση στην εξωτερική επιφάνεια
 - ✓ Θερμομόνωση στον πυρήνα
 - ✓ Χρήση θερμομονωτικών τούβλων

Στις περιπτώσεις θερμομόνωσης τοίχου, σε όποια θέση και να τοποθετηθεί η θερμομόνωση θα πρέπει:

- Να παρέχει επαρκή θερμική αντίσταση ώστε να πληρούνται οι ελάχιστες απαιτήσεις θερμομόνωσης.
- Να παρέχει ένα συνεχές θερμομονωτικό στρώμα χωρίς θερμογέφυρες.
- Να αντιστέκεται στη διείσδυση νερού.

2. Θερμομόνωση Δοκών - Υποστυλωμάτων:
 - ✓ Θερμομόνωση στην εσωτερική παρειά

- ✓ Θερμομόνωση στην εξωτερική παρειά

Η ενίσχυση της θερμομόνωσης γίνεται με τη χρήση θερμοσοβά, όπου τοποθετείται σε κτίρια στα οποία απαιτείται η απόδοση θερμότητας από τα δομικά στοιχεία και μετά τη διακοπή του κλιματισμού, δηλαδή σε κατοικίες μόνιμης διαμονής, νοσοκομεία κ.λπ. Η χρήση της σε υφιστάμενα μη θερμομονωμένα κτίρια πρέπει να γίνεται με προσοχή, λόγω της δυσκολίας κατασκευής, του υψηλού κόστους και της αύξησης της περιμέτρου του κτιρίου που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο συντελεστή δόμησης.

Τα πλεονεκτήματα της εξωτερικής θερμομόνωσης είναι:

- Διατήρηση της θερμότητας στο χώρο και μετά τη διακοπή της θέρμανσης λόγω της θερμοχωρητικότητας των δομικών στοιχείων.
- Μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας λόγω μικρότερης χρονικά χρήσης του συστήματος θέρμανσης/ψύξης εξαιτίας της αποθήκευσης ενέργειας στα νότια κυρίως δομικά στοιχεία από τον ήλιο εφόσον εξασφαλίζεται η απαιτούμενη θερμοχωρητικότητα με την κατασκευή τοιχοποιίας, δοκών και υποστρωμάτων επαρκούς πάχους.
- Προστασία εξωτερικών επιφανειών τοίχων από συστολές και διαστολές λόγω εξωτερικών θερμοκρασιακών μεταβολών.
- Ελαχιστοποίηση έως μηδενισμός των θερμογεφυρών.
- Σε περίπτωση που εφαρμοστεί σε υφιστάμενα κτίρια αφενός δεν εμποδίζει τη λειτουργία του εσωτερικού χώρου κατά την κατασκευή και αφετέρου δεν μειώνει το ωφέλιμο εμβαδόν του.
- Προστασία από καιρικές συνθήκες.

Τα μειονεκτήματα της εξωτερικής θερμομόνωσης είναι:

- Αυξημένο κόστος κατασκευής.
- Απαιτείται προσοχή στην κατασκευή (ορθή επιλογή υλικών, ορθή τοποθέτηση) για αποφυγή δημιουργίας ρωγμών στην όψη.
- Δυσκολία/Αδυναμία εφαρμογής σε κτίρια με έντονες εξωτερικές μορφολογικές όψεις.

4.3.2 Εσωτερική θερμομόνωση τοιχοποιίας, δοκών-υποστρωμάτων

Η εσωτερική θερμομόνωση τοποθετείται σε κτίρια στα οποία χρειάζεται η άμεση απόδοση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης χωρίς χρονική καθυστέρηση και δεν χρειάζεται η απόδοση θερμότητας από τα δομικά στοιχεία μετά τη διακοπή του κλιματισμού, δηλαδή, παραθεριστικές κατοικίες, σχολεία, κτίρια γραφείων ημερήσιας λειτουργίας κ.λπ. Η εσωτερική θερμομόνωση καλύπτεται με συνδυασμό πλέγματος και επιχρίσματος, με γυψοσανίδα κ.λπ.

Τα πλεονεκτήματα της εσωτερικής θερμομόνωσης είναι:

- Απλή και γρήγορη κατασκευή
- Οικονομικότερη κατασκευή σε σχέση με την εξωτερική θερμομόνωση
- Άμεση απόδοση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης
- Τα μονωτικά υλικά δεν χρειάζονται προστασία από εξωτερικές επιδράσεις (άνεμοι, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία κ.λπ.)

Τα μειονεκτήματα της εσωτερικής θερμομόνωσης είναι:

- Πρόβλημα θερμογεφυρών (κυρίως στα σημεία όπου υπάρχουν συναρμογές εξωτερικών και εσωτερικών τοίχων).
- Γρήγορη ψύξη του χώρου μετά τη διακοπή της θέρμανσης.

- Αδυναμία προστασίας δομικών στοιχείων από συστολές - διαστολές λόγω εξωτερικών θερμοκρασιακών μεταβολών.
- Πιθανότητα δημιουργίας επιφανειακής υγρασίας από συμπύκνωση υδρατμών που για να αποφευχθεί απαιτείται η τοποθέτηση φράγματος υδρατμών (φύλλα αλουμινίου, ασφαλτόπανο, νάιλον κ.λπ.) μπροστά από το μονωτικό υλικό και προς την κλιματιζόμενη πλευρά του χώρου.
- Δυσκολία στη τοποθέτηση ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.
- Στην περίπτωση που εφαρμοστεί σε υφιστάμενα κτίρια εμποδίζει την ομαλή λειτουργία του εσωτερικού χώρου κατά την κατασκευή και μειώνει το ωφέλιμο εμβαδόν του.

4.3.3 Θερμομόνωση πυρήνα εξωτερικής τοιχοποιίας

Η εξωτερική τοιχοποιία με διάκενο, συνήθως αποτελείται από δύο επιμέρους τοίχους που ενώνονται μεταξύ τους. Ο εξωτερικός τοίχος είναι, συνήθως, από τούβλο όπως και ο εσωτερικός, παρόλο που χρησιμοποιούνται και κατασκευές τούβλου/μπλοκ και μπλοκ/μπλοκ. Για συμμόρφωση με τις ελάχιστες απαιτήσεις θερμομόνωσης που ισχύουν, θα πρέπει να τοποθετηθεί θερμική μόνωση στο διάκενο.

Ο εσωτερικός επιμέρους τοίχος από τούβλο θα απορροφήσει και θα συγκρατήσει τη θερμική ενέργεια ενώ το κτίριο θερμαίνεται. Ο τοίχος θα επιστρέψει τη θερμότητα αυτή στα δωμάτια όταν το κτίριο δεν θερμαίνεται, διατηρώντας έτσι μια πιο ομοιόμορφη εσωτερική θερμοκρασία. Ο τοίχος από τούβλα είναι πορώδης. Σε μακρές περιόδους βροχοπτώσεων, το νερό της βροχής θα διεισδύσει από τον εξωτερικό τοίχο και μπορεί να τρέξει στο εσωτερικό μέτωπο του τοίχου αυτού. Για να αποφευχθεί το πέρασμα της υγρασίας από τον εξωτερικό τοίχο στο θερμομονωτικό υλικό, θα πρέπει να υπάρχει ένα σαφές διάκενο μεταξύ του εξωτερικού τοίχου και των θερμομονωτικών πλακών. Ένα καθαρό κενό πάχους 5 cm, είναι κατάλληλο για όλους τους βαθμούς έκθεσης. Για ορισμένες περιπτώσεις, ένα καθαρό κενό των 2.5 cm είναι αρκετό για να αποτρέψει την είσοδο της υγρασίας στο θερμομονωτικό υλικό.

4.3.4 Τοιχοποιία από θερμομονωτικά τούβλα

Στις περιπτώσεις αυτές δεν τοποθετούνται μονωτικά υλικά καθότι τα δομικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της τοιχοποιίας είναι ειδικά τούβλα που εμφανίζουν θερμομονωτικές ιδιότητες (τούβλα από κυβελωτό σκυρόδεμα, ειδικά θερμομονωτικά τούβλα), ή τούβλα που περιλαμβάνουν στην εργοστασιακή κατασκευή τους θερμομονωτικά υλικά. Οι δοκοί και υποστυλώματα μονώνονται εσωτερικά ή εξωτερικά.

Τα πλεονεκτήματα είναι:

- Ευκολία κατασκευής
- Εξοικονόμηση ωφέλιμου εσωτερικού χώρου
- Ταυτόχρονη εξασφάλιση ικανοποιητικού επιπέδου ακουστικής άνεσης

Τα μειονεκτήματα είναι:

- Χρήση μόνο σε ελαφριές κατασκευές.
- Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις που απαιτείται υψηλή θερμοχωρητικότητα.

4.3.5 Θερμομόνωση Κουφωμάτων

Η τοποθέτηση, διαστασιολόγηση και τυπολογία των κουφωμάτων κατά τη διάρκεια του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού είναι ένα ιδιαίτερο πρόβλημα με πολλές παραμέτρους, όπως:

- Η θέα
- Η ηλιοφάνεια

- Ο σκιασμός
- Ο φωτισμός
- Ο αερισμός
- Ο δροσισμός
- Η μορφή
- Τα ενεργειακά οφέλη
- Οι ενεργειακές απώλειες

Τα κουφώματα είναι παρειές του κτιρίου και μέσα επαφής με το περιβάλλον, είναι στοιχεία από τα οποία μπορεί να διαφύγει ενέργεια. Επομένως, ο ρόλος τους στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και ψύξη των χώρων είναι σημαντικός. Το χειμώνα χάνεται θερμότητα από μέσα προς τα έξω, ενώ το καλοκαίρι εισέρχεται θερμότητα στον εσωτερικό χώρο από το ζεστό εξωτερικό περιβάλλον. Η διαδικασία αυτή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση κατάλληλα κατασκευασμένων, ενεργειακά αποδοτικών κουφωμάτων. Τα κουφώματα αυτά θα πρέπει να έχουν υαλοπίνακες και σκελετούς με καλές θερμομονωτικές ιδιότητες και επί πλέον, θα πρέπει να είναι αεροστεγανά, ώστε να εμποδίζουν τη διαφυγή θερμότητας από χαραμάδες οι οποίες μπορούν να φέρουν σημαντικές απώλειες θερμότητας, όπως παρατηρείται σε παλαιά κτίρια.

Υπάρχουν κουφώματα ξύλινα, μεταλλικά, αλουμινίου και συνθετικά πλαστικά σε διάφορες τυπολογίες ανοίγματος (επάλληλα, συρόμενα εσωτερικά σε τοίχο ή εξωτερικά, ανοιγόμενα, περιστρεφόμενα περί οριζόντιο ή κατακόρυφο άξονα) και σταθερά. Από ενεργειακής πλευράς καλό είναι να αποφεύγονται τα εσωτερικά σε τοίχο συρόμενα κουφώματα λόγω αυξημένων θερμικών απωλειών.

Από πλευράς υλικού κατασκευής των πλαισίων των κουφωμάτων, τα πλαίσια αλουμινίου έχουν τις μεγαλύτερες θερμικές απώλειες, εκτός αν υπάρχει φράγμα ροής θερμότητας (thermal break) τοποθετημένο στον πυρήνα του προφίλ του αλουμινίου. Τα ξύλινα και συνθετικά πλαστικά πλαίσια παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας και ως εκ τούτου εμποδίζουν τη διαφυγή θερμότητας.

Τα κουτιά των ρολών καλό είναι να μονώνονται εσωτερικά και τα φύλλα των ρολών εάν είναι πλαστικά να έχουν γέμιση με μονωτικό αφρό. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στη θέση τους σε σχέση με το πάχος της τοιχοποιίας. Έτσι προτιμώνται παράθυρα τα οποία βρίσκονται σε συνέχεια με το θερμομονωτικό υλικό των τοίχων.

4.4 Ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών

Οι ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- ✓ τις φυσικές ιδιότητες, που περιγράφουν τη συμπεριφορά του υλικού υπό ορισμένες συνθήκες και
- ✓ τις περιβαλλοντικές ιδιότητες, που περιγράφουν τον οικολογικό χαρακτήρα του υλικού.

4.4.1 Φυσικές ιδιότητες

- ✓ Πυκνότητα: Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής και την απαίτηση της τελικής χρήσης, κάθε υλικό παράγεται για ένα εύρος πυκνοτήτων. Η πυκνότητα του υλικού επηρεάζει την τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ .
- ✓ Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ : Είναι ο συντελεστής που περιγράφει το ποσό της θερμότητας που περνά ανά μονάδα επιφάνειας του υλικού και για διαφορά θερμοκρασίας μιας μονάδας μεταξύ των δύο όψεών του. Όσο χαμηλότερος ο συντελεστής λ , τόσο μικρότερη η θερμοροή και επομένως, τόσο καλύτερη η θερμομονωτική του ικανότητα.
- ✓ Εύρος χρήσης: Όπως όλα τα υλικά, έτσι και τα θερμομονωτικά έχουν ένα όριο θερμικής αντοχής. Ως εύρος χρήσης ορίζεται το θερμοκρασιακό διάστημα, μέσα στο οποίο η χημική σύσταση, η θερμομονωτική ικανότητα και η μηχανική αντοχή του υλικού είναι σε επιθυμητά επίπεδα, τέτοια ώστε να είναι ομαλή η απόδοση του υλικού.
- ✓ Αντοχή στην επίδραση της υγρασίας: Η αντοχή στην επίδραση της υγρασίας εκφράζεται με δύο μεγέθη, τον συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών και την ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης.
 - Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών: Ο συντελεστής αυτός δηλώνει πόσο μεγαλύτερη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών παρουσιάζει το υλικό από ένα στρώμα αέρα ίδιου πάχους και στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος. Η φυσική σημασία του συντελεστή, ο οποίος πρακτικά

θεωρείται ανεξάρτητος από τη θερμοκρασία και την πίεση, είναι η ευκολία με την οποία διαπερνούν οι διαχεόμενοι υδρατμοί το θερμομονωτικό υλικό. Όσο μεγαλύτερη η τιμή του, τόσο δυσκολότερα οι υδρατμοί διέρχονται μέσω της μάζας του.

- Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης: Τα θερμομονωτικά υλικά απορροφούν νερό σε υγρή κατάσταση ή σε μορφή υδρατμών. Η ποσότητα της απορροφούμενης υγρασίας, που εξαρτάται από το πορώδες του υλικού, την υδρατμοστεγανότητα και την κατανομή των τριχοειδών αγγείων στη μάζα του, προκαλεί αισθητή αλλαγή στις ιδιότητες του υλικού και κυρίως του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Για την περιγραφή των παραπάνω ορίζεται η τιμή της ποσότητας υγρασίας εξομοίωσης, η οποία εκφράζει το ποσό της υγρασίας που απορροφήθηκε στο υλικό υπό ορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος και σχετικής υγρασίας.
- ✓ Αντίσταση στη φωτιά - πυραντοχή: Η συμπεριφορά των υλικών σε περίπτωση πυρκαγιάς, προσδιορίζεται κατά το DIN 4102, σύμφωνα με το οποίο τα υλικά κατατάσσονται σε κλάσεις πυραντοχής, ανάλογα με το χρονικό διάστημα, μέσα στο οποίο το υλικό διατηρεί τις βασικές του ιδιότητες κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Οι κλάσεις της πυραντοχής από την καλύτερη (μεγάλη διάρκεια αντοχής κατά την πυρκαγιά) είναι: A1/A2/A3/B1/B2/B3/C1/C2/C3. Πιο αναλυτικά:
 - τα μη εύφλεκτα δομικά υλικά τυποποιούνται ως A1 ή A2,
 - τα υλικά που αντιστέκονται στη φωτιά ως B1,
 - κανονικά υλικά ως B2 και
 - εύφλεκτα υλικά ως B3.

Τα υλικά της κατηγορίας A1 δεν επιτρέπεται να παρουσιάσουν καμιά ανάφλεξη, ενώ τα υλικά της κατηγορίας A2 μπορούν να αναφλεγούν για χρόνο μέχρι 20s. Τα μη αναφλέξιμα υλικά της κατηγορίας A, καθώς και τα υλικά της κατηγορίας B1 που αντιστέκονται στη φωτιά, χρειάζονται ένα πιστοποιητικό αποτελεσματικότητας. Για τα μη αναφλέξιμα υλικά και τους επιβραδυντές της φωτιάς της κλάσης A, απαιτείται τα αέρια της καύσης να μην είναι τοξικά. Η συμπεριφορά των δομικών υλικών σε περίπτωση πυρκαγιάς προσδιορίζεται με βαθμούς «ανάφλεξης» από F30 έως F90, όπου ο αριθμός δείχνει τον ελάχιστο χρόνο σε λεπτά, που το δομικό υλικό αντέχει στη φωτιά ή αποτρέπει την εξάπλωση της φωτιάς. Η μη αναφλεξιμότητα χαρακτηρίζεται από το γράμμα A ή B π.χ F30-B. Σε περίπτωση που σημαντικά συστατικά του δομικού υλικού δεν καίγονται, το δομικό υλικό χαρακτηρίζεται με τα γράμματα AB.

- ✓ Αντοχή σε εφελκυσμό και όριο θραύσης: Πρόκειται για τα όρια αντοχής του υλικού σε τάσεις και εκφράζεται με τα μεγέθη αντοχής σε εφελκυσμό, του ορίου θραύσης και της θλιπτικής τάσης σε βράχυνση. Η αντοχή σε εφελκυσμό είναι η τάση, μετά την οποία το υλικό παραμορφώνεται πλαστικά. Το όριο θραύσης είναι η τιμή της τάσης, μετά την οποία το υλικό χάνει τη συνοχή του, δηλαδή κόβεται. Όπως είναι αναμενόμενο, τα οργανικά αφρώδη υλικά, έχουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις από τα ανόργανα ινώδη.
- ✓ Βαθμός απορρόφησης ήχου: Οι ηχομονωτικές ιδιότητες, που ενώ αποτελούν διαφορετική παράμετρο της δομικής φυσικής, σε ό,τι αφορά τα υλικά οφείλουν να συνεξετάζονται με τις θερμομονωτικές ιδιότητες. Η έννοια της ηχομόνωσης είναι η προσπάθεια προστασίας των χρηστών ενός χώρου από τους θορύβους, δηλαδή από την επίδραση κάθε ενοχλητικού ή δυσάρεστου ήχου. Οι θόρυβοι μπορεί να προέρχονται είτε από το εξωτερικό περιβάλλον π.χ. κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανημάτων, είτε από το εσωτερικό περιβάλλον των κτιρίων. Οι απαιτήσεις για ηχοπροστασία βασίζονται σε προδιαγραμμένες τιμές ανεκτής στάθμης θορύβων, οι οποίες υπολογίζονται σε μονάδες Decibel. Κάθε μια μονάδα Decibel αντιστοιχεί σε αύξηση της έντασης του θορύβου κατά 26%. Ο βαθμός απορρόφησης ήχου περιγράφει την ηχοαπορροφητικότητα του υλικού για διάφορες συχνότητες ήχου. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής, τόσο καλύτερη η ηχοαπορροφητικότητα του υλικού.
- ✓ Ευκολία κατεργασίας και τοποθέτησης: Πρόκειται για μία πολύ σημαντική ιδιότητα, αφού αφορά άμεσα τους πραγματικούς χρήστες των υλικών. Είναι εύλογο, ότι ένα υλικό που είναι ελαφρύ, μεταφέρεται εύκολα στο εργοτάξιο ενός κτιριακού έργου. Ένα υλικό που είναι μαλακό και όχι εύθρυπτο κόβεται εύκολα και προσαρμόζεται στις κατασκευαστικές διαμορφώσεις ενός ξυλότυπου ή μίας τοιχοποιίας. Ένα υλικό που ψεκάζεται με μορφή αφρού, μπορεί να καλύψει μία γεωμετρικά περίπλοκη επιφάνεια, όπως έναν θόλο, μεταλλικές κατασκευές κ.α.. Η αξιολόγηση και ταξινόμηση των υλικών γίνεται ως προς την κατεργασία και τοποθέτηση ποιοτικά, με βάση τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τους και ανάλογα με τις ικανότητες του συγκεκριμένου εργατικού δυναμικού.

- ✓ Η διάρκεια ζωής σε σχέση με τη φθορά στο χρόνο: Η αντοχή στο χρόνο αποτελεί ακόμη μια παράμετρο των θερμομονωτικών υλικών, παράμετρο που εκφράζεται σε έτη διάρκειας ζωής, όπως προκύπτει από εργαστηριακές δοκιμές γήρανσης των υλικών και από πολυετείς παρατηρήσεις σε πραγματικές συνθήκες. [17]

4.4.2 Περιβαλλοντικές ιδιότητες

Τα θερμομονωτικά υλικά πέρα από τη σημαντική συνεισφορά τους στην προστασία του περιβάλλοντος που επιτυγχάνεται από τη μείωση των απωλειών θερμότητας με συνέπεια τη μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση, η οποία και οδηγεί στην ελάττωση της ποσότητας των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων, δεν παύουν να επιβαρύνουν το περιβάλλον από την παραγωγή έως την τελική απόθεσή τους. Η περιβαλλοντική επιβάρυνση μπορεί να είναι είτε άμεση είτε έμμεση. Η έμμεση περιβαλλοντική επιβάρυνση οφείλεται στην ενσωματωμένη ενέργεια στα θερμομονωτικά υλικά που αποτελείται από το άθροισμα της εσωτερικής ενέργειας των υλικών και της ενέργειας που καταναλώθηκε για την παραγωγή τους. Η ενσωματωμένη ενέργεια των θερμομονωτικών υλικών συνδέεται και μετατρέπεται σε ισοδύναμη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και της όξινης βροχής (διοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του θείου αντίστοιχα).

- ✓ Περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια: Η περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια εκφράζει το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή μιας μονάδας όγκου θερμομονωτικού υλικού, συνήθως σε μονάδες kWh/m³ ή kWh/kg. Τα τελευταία χρόνια διαπιστώνεται μία τάση για χρήση υλικών φιλικών προς το περιβάλλον, τάση που δεν περιορίζεται ασφαλώς μόνο στα θερμομονωτικά υλικά, αλλά γενικότερα στο σύνολο του πεδίου των κατασκευών. Επομένως, προτιμώνται υλικά με χαμηλή περιεχόμενη ενέργεια.
- ✓ Η αντοχή σε προσβολές από μικροοργανισμούς και έντομα: Τα θερμομονωτικά υλικά κινδυνεύουν από έντομα, σκώρους, τρωκτικά και μύκητες. Για το λόγο αυτό, προστίθενται σ' αυτά διάφορες πρόσθετες χημικές ουσίες, που έχουν ως στόχο την προστασία των θερμομονωτικών υλικών από βιολογικούς παράγοντες. Επειδή οι ουσίες αυτές επιβαρύνουν το περιβάλλον συνιστάται να αποφεύγεται η χρήση τους και να αναζητούνται άλλοι τρόποι αντιμετώπισης επιθέσεων από μικροοργανισμούς. Η αντοχή σε προσβολές από μικροοργανισμούς και έντομα εκφράζεται ποιοτικά, με το αν ένα υλικό είναι ευπρόσβλητο ή όχι, μετά από εργαστηριακές δοκιμές γήρανσης των υλικών και από πολυετείς παρατηρήσεις σε πραγματικές συνθήκες. [17]

4.4.3 Κριτήρια επιλογής θερμομονωτικών υλικών

Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή θερμομονωτικών υλικών είναι:

- Θερμοτεχνικά Χαρακτηριστικά:
 - ✓ Η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ .
 - ✓ Η εξάρτηση του λ από τη θερμοκρασία.
 - ✓ Η εξάρτηση του λ από την υγρασία. Η τιμή του λ αυξάνει σημαντικά με τη συμπύκνωση υδρατμών μέσα στη μάζα του και αν διαβραχεί όλη η μάζα του τότε παύει να υπάρχει θερμομονωτική δράση.
 - ✓ Η ειδική θερμότητα.
 - ✓ Ο συντελεστής θερμικής διαστολής. Όσο χαμηλότερος είναι, τόσο απομακρύνεται ο κίνδυνος οικοδομικών μικροζημιών ή καταστροφής των στεγανώσεων.
- Τρόπος Εφαρμογής:
 - ✓ Προκατασκευασμένα προϊόντα ή κατασκευή επί τόπου.
 - ✓ Απαιτούμενα προστατευτικά μέτρα (για προστασία από μηχανικές βλάβες ή δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις).
 - ✓ Δυνατότητα ελέγχου κατά την κατασκευή.
- Μηχανικές Ιδιότητες:
 - ✓ Αντοχή σε θλίψη, κάμψη και δονήσεις.
 - ✓ Αλλοιώσεις με το χρόνο (γήρανση)
 - ✓ Πυκνότητα

- ✓ Ελαστικότητα, ευθραυστότητα.
- Χημική συμπεριφορά – ανθεκτικότητα
 - ✓ Αντίσταση στη διάβρωση, στους μικροοργανισμούς, έντομα, κ.λπ.
 - ✓ Συμπεριφορά στην υγρασία (τυχόν μεταβολή των διαστάσεων, διαπερατότητα στους υδρατμούς, απορροφητικότητα νερού).
 - ✓ Συμπεριφορά στη φωτιά και μέγιστες επιτρεπόμενες θερμοκρασίες λειτουργίας.
 - ✓ Βαθμός ευαισθησίας σε υπεριώδη ακτινοβολία, σε διάφορα αέρια και σε διάφορους διαλύτες ή το θαλασσινό νερό, κ.λπ.
- Οικονομικά Στοιχεία
 - ✓ Επιπρόσθετο κόστος προμήθειας και εγκατάστασης.
 - ✓ Χρόνος απόσβεσης δαπάνης.
 - ✓ Ποσοστό προστιθέμενης αξίας στην όλη κατασκευή.

4.5 Υλικά θερμομόνωσης

Σύμφωνα με την Οδηγία 89/106/ΕΟΚ για τα Προϊόντα Δομικών Κατασκευών, καθώς και σύμφωνα με τους Περί των Βασικών Απαιτήσεων Νόμους και τους Περί των Βασικών Απαιτήσεων Κανονισμούς, που πρέπει να πληρούν καθορισμένες κατηγορίες προϊόντων, τα προϊόντα δομικών κατασκευών για τα οποία υπάρχει εναρμονισμένο πρότυπο και η περίοδος συνύπαρξης του με αντίστοιχο εθνικό πρότυπο μπορούν να διατίθενται στην αγορά μόνο εάν φέρουν τη Σήμανση Συμμόρφωσης CE. Η επιλογή των θερμομονωτικών υλικών θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη τις διάφορες καταπονήσεις (μηχανικές, υγροθερμικές και φυσικοχημικές) που υφίστανται τα υλικά στο συγκεκριμένο έργο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση του βέλτιστου συνδυασμού των κριτηρίων επιλογής θερμομονωτικών υλικών.

Το 1987, η Επιτροπή Brundtland όρισε την αειφόρο ανάπτυξη ως εξής: «ανάπτυξη που ικανοποιεί την ανάγκη του παρόντος χωρίς να διακιβέβεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες» (Brundtland, 1987). Για τα υλικά μόνωσης, αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να παράγονται και να χρησιμοποιούνται κατά τρόπο που να αποθηκεύει τους περισσότερους πόρους με τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση για τους ανθρώπους και τη φύση σε όλο το κύκλο ζωής του προϊόντος.

Παρακάτω αναλύονται τα πιο βασικά υλικά θερμομόνωσης και οι αντίστοιχες ιδιότητές τους καθώς και ο τρόπος εφαρμογής τους.

4.5.1 Πετροβάμβακας

Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό των προϊόντων του πετροβάμβακα είναι η αντοχή στη φωτιά. Ο πετροβάμβακας έχει σημείο τήξης πάνω από 1.000°C. Η χρήση του πετροβάμβακα ως μονωτικό υλικό σε ένα κτίριο, βελτιώνει την πυρασφάλειά του. Ο πετροβάμβακας είναι εξαιρετικά ανθεκτικός καθώς, διατηρεί τις μηχανικές του ιδιότητες, έχει υψηλή σταθερότητα ως προς τις διαστάσεις του, οι οποίες δεν επηρεάζονται από τις αλλαγές της θερμοκρασίας ή της υγρασίας. Ως αποτέλεσμα, αν ο πετροβάμβακας χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό εσωτερικά ή εξωτερικά διατηρεί το αρχικό του πάχος σε όλη τη διάρκεια ζωής του κτιρίου.

Ο πετροβάμβακας μπορεί να προσφέρει ένα πολύ υψηλό επίπεδο ηχοαπορρόφησης [Laboratoire du Trois]. Μια καλή κατασκευή τοίχου με μόνωση από πετροβάμβακα συμβάλλει στη μείωση της μετάδοσης του θορύβου πάνω από 50 ντεσιμπέλ (dB) - περίπου 20 dB περισσότερο από την κατασκευή χωρίς μόνωση. [19]

Ο πετροβάμβακας είναι 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 (πιο σύγχρονη μέθοδος, καθώς επιτυγχάνει διαστασιακή ομοιομορφία στις παραγόμενες ίνες μέσω της σταθερά ελεγχόμενης θερμοκρασίας του τήγματος, καθώς και μηδαμινή μόλυνση του περιβάλλοντος). Στη συνέχεια και με τη βοήθεια της φυγοκέντρισης διαμορφώνεται στην τελική ινώδη μορφή. Η συγκόλληση των ινών μεταξύ τους επιτυγχάνεται με την προσθήκη συνθετικής φαινολικής ρητίνης και σιλικονέλαιου.

Ο πετροβάμβακας έχει υψηλή πυκνότητα (30 kg/m³) και ιδιαίτερα καλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 0.033 έως 0.045 W/(mK). Η υψηλή θερμομονωτική ικανότητά του επηρεάζεται

σημαντικά στην περίπτωση προσβολής του από την υγρασία, έτσι ώστε κρίνεται αναγκαία η λήψη μέτρων προστασίας από την υγρασία είτε με την προσθήκη οργανικών ενώσεων 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. Ο πετροβάμβακας διαθέτει ιδιαίτερα υψηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι οι πρώτες ύλες και τα πρόσθετα κατά την παραγωγή λιώνουν σε μεγάλες θερμοκρασίες. Η ανώτερη θερμοκρασία εφαρμογής (750 °C) καθορίζει μεχρι 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 ιδιότητες του παρουσιάζει χαμηλό βαθμό απορρόφησης του ήχου στις χαμηλές συχνότητες σε σχέση με τον υαλοβάμβακα, αντίθετα στις υψηλές συχνότητες εμφανίζει υψηλό βαθμό απορρόφησης. Δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά ούτε και από χημικές ενώσεις.

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 12) παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες του πετροβάμβακα. [17]

Πίνακας 12: Τεχνικά χαρακτηριστικά πετροβάμβακα [FMI F, 1994] και [Rockwool F,1994].

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2	3-6/8/10/11/16	18
Πυκνότητα	kg/m ³	30	30-40/55/90/100/130	180
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0.00012	0.0003/0.002	0.0075
Όριο θραύσης	N/mm ²	0.005	0.02	0.05
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²			
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0.033		0.045
Εύρος χρήσης min/max	°C	-100		750
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	<1		1
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχ.υγρασία	-	<0.1	0.2	1.5
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2	A2	A1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0.05	0.14	0.19
στα 250Hz	-	0.34	0.37/0.55	0.88
στα 1000Hz	-	0.92	0.93/0.96	0.99
στα 4000Hz	-	0.92	0.93	1.06
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²	5	11/12/15/30	70
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	30		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	KWh/m ³	110	250/450/540/600	660

4.5.2 Διογκωμένη πολυστερίνη

Ο αφρός πολυστερίνης 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 μέσα σε μεγάλο αριθμό κυψελίδων. Στο εμπόριο συναντάται σε πλάκες για εφαρμογές σε τοίχους, τοιχία, πλάκες σκυροδέματος και υπόγεια. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής διογκωμένης πολυστερίνης χρησιμοποιείται σε εφαρμογές στα κτίρια ως θερμομόνωση δωματίων, τοίχων και πατωμάτων.

Η διογκωμένη πολυστερίνη διαθέτει ικανοποιητική θερμομονωτική ικανότητα (0.029-0.041W/mK). Ωστόσο απαιτείται προσοχή κατά την παραγωγή της, διότι αν σχηματιστούν κενά που δε διαμορφώνουν κλειστούς πόρους, είναι δυνατόν να εισχωρήσει νερό και να αυξηθεί σημαντικά ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ. Γενικότερα πάντως η διογκωμένη πολυστερίνη παρουσιάζει καλή αντοχή στη διάχυση υδρατμών και στην απορρόφηση υγρασίας. Επιπρόσθετα, διαθέτει καλές ιδιότητες όσον αφορά στην αντοχή στον εφελκυσμό και στη συμπίεση. Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης είναι μικρότερο από αυτό του υαλοβάμβακα και του 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 Hexanbromcyclododecan), σε ποσοστό 5-7%, ως μέσο αύξησης της πυραντοχής κατατάσσεται στις κατηγορίες πυραντοχής B1 και B2. Η διογκωμένη πολυστερίνη προσβάλλεται από έντομα, τρωκτικά και ποικιλία χημικών διαλυτών (κετόνες, βενζόλιο, βενζίνη κ.ά.) και δεν προτείνεται η χρήση ασφαλτόπανων. Είναι ευαίσθητη στην ηλιακή ακτινοβολία, καθώς σε εκτεταμένης διάρκειας έκθεση στον ήλιο, μετά την αλλαγή του χρώματός της σε ελαφρώς κιτρινωπό, σκληραίνεται και θρυμματίζεται.

Ιδιαίτερο πλεονέκτημα της διογκωμένης πολυστερίνης αποτελεί η ευκολία τοποθέτησής της. Σχετικά με τις ηχομονωτικές ιδιότητες της διογκωμένης πολυστερίνης δεν έχουν καταχωρηθεί στοιχεία στο συγκεντρωτικό πίνακα των ιδιοτήτων της, καθώς δεν παρουσιάζει ηχοαπορροφητικές ιδιότητες και επομένως δεν χρησιμοποιείται για ηχομόνωση.

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 13) παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγραπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) της διογκωμένης πολυστερίνης.

Πίνακας 13: Τεχνικά χαρακτηριστικά διογκωμένης πολυστερίνης.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	1.4	1.6/2/2.5/3/3.5	4.0
Πυκνότητα	kg/m ³	8	13/15/20/30	50
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0.15		0.52
Όριο θραύσης	N/mm ²	0.09		0.22
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²	0.07		0.26
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0.029		0.041
Εύρος χρήσης min/max	°C	-70		90
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	25	30/40/50/60/70	200
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχ.υγρασία	-		5	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²			
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³	60		100
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	50		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	KWh/m ³	151	190	269

4.5.3 Εξηλασμένη πολυστερίνη

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

Παράγεται σε μορφή πλακών, διαφορετικής πυκνότητας ανάλογα με την εφαρμογή, με επίπεδη ή ανάγλυφη επιφάνεια, για την επίτευξη καλύτερης πρόσφυσης του κονιάματος του επιχρίσματος. Επίσης παράγονται πλάκες με επικάλυψη τσιμεντοκονίας ή ψηφίδας, στη μία τους πλευρά. Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη διαθέτει καλές θερμομονωτικές ιδιότητες με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 0.025 έως 0.035 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 αερίου μίγματος με τον εξωτερικό αέρα. Έχει υπολογιστεί μάλιστα πως το αέριο R12 υποδιπλασιάζεται κάθε 50 έτη, περίπου δηλαδή όσο και η διάρκεια ζωής ενός κτιρίου. Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης της είναι σχετικά περιορισμένο, καθώς το κατώτερο είναι στους -60°C και το ανώτερο όριο ανέρχεται σε 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 N/mm²) και στη συμπίεση, στην αυξημένη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών και στην απορρόφηση νερού. Η μέγιστη απορροφητικότητα φθάνει το 0.1 με 0.2% του όγκου του υλικού.

Η εξηλασμένη πολυστερίνη έχει όμοια συμπεριφορά με την διογκωμένη πολυστερίνη σε ότι αφορά την προσβολή της από έντομα και τρωκτικά και την ευαισθησία της σε διαλύτες και στην ηλιακή ακτινοβολία, η οποία αποχρωματίζει την επιφάνειά της και καθιστά τις κυψέλες της εύθραυστες. Η τεχνική λύση για την αποφυγή της προσβολής από έντομα και τρωκτικά αφορά τον εγκλωβισμό της εξηλασμένης πολυστερίνης στο δομικό στοιχείο ή την επικάλυψη με επίχρισμα. Η προστασία της από την ηλιακή ακτινοβολία επιτυγχάνεται επίσης με επικάλυψη με τσιμεντοσανίδες, πλάκες ορυκτών ινών και ψευδομοσαϊκού, γυψοσανίδες ή ξηρή χαλικόστρωση.

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 14) παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγραπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) της εξηλασμένης πολυστερίνης.

Πίνακας 14: Τεχνικά χαρακτηριστικά εξηλασμένης πολυστερίνης [Ceuterick, 1993], [Heraklith F, 1994], [BASF F, 1994] και [G+H, 1994].

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2	2.5/3/4/5	12
Πυκνότητα	kg/m ³	20	30/35/40/60	80
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0.30	0.33/0.34	0.35
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²	0.15	0.20/0.25/0.30/0.5	0.70
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0.025	0.032/0.33	0.035
Εύρος χρήσης min/max	°C	-60		75
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	80	100/160/200	200
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχ.υγρασία	-		<1	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος		50	
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	KWh/m ³	23	28	32

4.5.3.1 Παραγωγή εξηλασμένης πολυστερίνης

Η βάση της εξηλασμένης πολυστερίνης είναι μικροί κλυσταλλιζέ κόκκοι. Οι κόκκοι αυτοί, μαζί με άλλα χημικά πρόσθετα, διογκωτικό υλικό και χρώμα, οδηγούνται σε ένα μηχάνημα μεγάλης πίεσης για να εκθλιφτούν. Το μίγμα συγχωνεύεται και λιώνει κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες μεγάλης θερμοκρασίας και πίεσης για να δημιουργηθεί ένα ημίρρεστο, πηχτό πλαστικό υγρό. Το υγρό έπειτα οδηγείται σε μία συνεχόμενη κυλινδρική μήτρα. Κάθως βγαίνει από τη μήτρα διογκώνεται σε αφρό, παίρνει μορφή, κρύνει και κόβεται σε πλάκες. Στη συνέχεια αφού οι πλάκες αποθηκευτούν για ένα χρονικό διάστημα περίπου 2-3 εβδομάδες είναι έτοιμες για χρήση. Λόγω της επίπονης διαδικασίας παραγωγής, της μορφής καθώς και των χημικών που χρησιμοποιούνται, η εξηλασμένη πολυστερίνη περιορίζεται σε θερμομονωτικές πλάκες πάχους 2.5-10 cm.

Η εξηλασμένη πολυστερίνη οφείλει τις θερμομονωτικές ιδιότητες στα αέρια που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή της. Με την πάροδο του χρόνου ένα ποσοστό των αερίων αυτών διαφεύγει στην ατμόσφαιρα μέχρι και 28%.

Λόγω της λείας επιφάνειας που αποκτά κατά την παραγωγή της, η εξηλασμένη πολυστερίνη έχει πολύ χαμηλό συντελεστή υδατοαπορροφητικότητας. Μετά από συνεχές βύθισμα της σε νερό έχει μόνο 0.5% αύξηση του βάρους της. [20]

Οι πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης μπορούν να παραμείνουν αρκετές εβδομάδες χωρίς προστασία στην ύπαιθρο, καθώς δεν επηρεάζονται από βροχή, χιόνι και παγωνιά. Οι πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης όπως και όλα τα άλλα σκληρά αφρώδη συνθετικά υλικά, επηρεάζονται δυσμενώς από τη συνεχή έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία. Γι' αυτό, εφόσον θα μείνουν στην ύπαιθρο για μεγάλο χρονικό διάστημα, πρέπει να αποθηκεύονται σε στοίβες κάτω από σκέπαστρα ή να καλύπτονται από μεμβράνες συνθετικού υλικού ανοικτού χρώματος. Κάτω από τελείως διαφανείς ή σκούρου χρώματος μεμβράνες ενδέχεται να αναπτυχθούν υψηλές θερμοκρασίες που μπορούν να επηρεάσουν τις διαστάσεις των πλακών. Η μέγιστη θερμοκρασία εφαρμογής είναι στους 75°C.

Η επεξεργασία των πλακών γίνεται με τα συνηθισμένα εργαλεία και μηχανήματα ξυλουργικής και δεν απαιτείται καμία ιδιαίτερη μέριμνα. Σε όλες τις εφαρμογές πρέπει οι πλάκες της εξηλασμένης πολυστερίνης να προστατεύονται, με επικαλυπτικές στρώσεις, από την απευθείας έκθεσή τους σε ηλιακή ακτινοβολία. [21]

4.5.3 Υαλοβάμβακας

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 φυγοκέντρησης, 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 μορφοποιημένων κογχυλιών για χρήση ως μόνωση σωληνώσεων.

Ο υαλοβάμβακας αποτελεί μία καλή θερμομονωτική λύση υπό την προϋπόθεση ότι προστατεύεται από τη διεσόδου της υγρασίας. Όσο μικρότερο είναι το πάχος των ινών και όσο μεγαλύτερο το μήκος τους, τόσο υψηλότερη θερμική προστασία προσφέρει αλλά αποκτά και μεγαλύτερο κόστος. Η προσβολή από την υγρασία έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . 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. Όσον αφορά στις ιδιότητες πυραντοχής του υαλοβάμβακα, απαιτείται προσοχή στα υλικά που προστίθενται για την βελτίωση της συνοχής (υδρίδιο του πυριτίου), στα συνδετικά υλικά (ρητίνες φαινοφορμαλδεΐδης), καθώς και στα υδατοαπωθητικά έλαια (σιλικονόνες ή ορυκτέλαια), διότι αυτά τα υλικά δύναται να υποβαθμίσουν την αντοχή του υαλοβάμβακα σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Γενικότερα, ο υαλοβάμβακας παρουσιάζει καλή συμπεριφορά στην πυρκαγιά καθώς ανήκει στις A1, A2 και B1 κατηγορίες πυραντοχής. Ο υαλοβάμβακας διαθέτει επίσης ανθεκτικότητα στη θερμοκρασία για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών από -100°C έως 500°C . Η αντοχή στον εφελκυσμό (0.005 N/mm^2) και το όριο θραύσης ($0.005- 0.015 \text{ N/mm}^2$) 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.

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 15) παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του υαλοβάμβακα με τις μέγιστες

και ελάχιστες τιμές να οφείλονται σε διαφοροποιήσεις που παρουσιάζονται από τεχνολογικής πλευράς κατά την διαδικασία παραγωγής.

Πίνακας 15:Τεχνικά χαρακτηριστικά υαλοβάμβακα [FMI F, 1994].

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	1	3/4/5/8/10/12/14/15	18
Πυκνότητα	kg/m ³	13	18/23/60/65/80	100
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²		0.005	
Όριο θραύσης	N/mm ²	0.005		0.015
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²		0.1	
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0.030	0.0338	0.045
Εύρος χρήσης min/max	°C	-100	-	500
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	<1		1
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχ.υγρασία	-	<0.1	0.2/0.5...1	1
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B1	A2	A1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0.1		0.79
στα 250Hz	-	0.26		0.79
στα 1000Hz	-	0.71		0.97
στα 4000Hz	-	0.96		0.95
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²	5	8/12/18	>35
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³	>25	17/13/10	<5
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	30		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	KWh/m ³	90	110	430

4.5.4 Αφρός πολυουρεθάνης

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. Παλαιότερα, ως προωθητικό μέσο χρησιμοποιούταν το FCKW (R11), το οποίο έχει αντικατασταθεί με υδρογονάνθρακες όπως το πεντάνιο και το CO₂. Διατίθεται στο εμπόριο είτε σε μορφή αφρού, που χρησιμοποιείται για την επικάλυψη των καθαρών από ξένες ουσίες επιφανειών στο εργοτάξιο με επί τόπου ψεκασμό και ιδιαίτερα κυλινδρικών, σφαιρικών και καμπύλων επιφανειών είτε σε μορφή σκληρών πλακών και μορφοποιημένων κομματιών από αφρό, πλακών με επιφανειακή επίστρωση αδιαβροχοποιημένου χαρτιού, πολλαπλών στρωμάτων ή φύλλων αλουμινίου. Οι τελευταίες παράγονται και σχηματοποιούνται από τον αφρό πολυουρεθάνης στο εργοστάσιο και οι πλάκες έρχονται έτοιμες για τοποθέτηση στο εργοτάξιο. Μία τρίτη μορφή χρήσης του αφρού πολυουρεθάνης είναι και τα ειδικά μορφοποιημένα «κοχύλια» που βρίσκουν εφαρμογή στη μόνωση σωληνώσεων.

Όσον αφορά στην αντοχή σε εφελκυσμό ο αφρός πολυουρεθάνης αντέχει σε αναπτυσσόμενες τάσεις που κυμαίνονται από 20 έως 30 N/cm² και συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών από 50 έως και πάνω από 100 και παρουσιάζει εξαιρετικά μικρή απορρόφηση υγρασίας. Ουσιαστικά δηλαδή, πρόκειται για ένα αδιάβροχο υλικό, λόγω της κλειστής δομής των κυψελίδων του. Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης είναι σχετικά περιορισμένο, αν συγκριθεί με αυτό του υαλοβάμβακα και του πετροβάμβακα με κατώτερο όριο τους -50°C και ανώτερο τους 120°C. Ο αφρός πολυουρεθάνης δεν παρέχει ικανοποιητική προστασία στη φωτιά 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 σε μικρές ποσότητες τοξικά αέρια.

Ο αφρός πολυουρεθάνης επηρεάζεται όταν μένει 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 ψεκασμό. Τέλος, το υλικό δεν παρέχει προστασία ηχομόνωσης και ως εκ τούτου δεν χρησιμοποιείται ως ηχομονωτικό υλικό.

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 16) παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του αφρού πολυουρεθάνης.

Πίνακας 16: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρού πολυουρεθάνης [IVPU F, 1994].

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm		2-20	
Πυκνότητα	kg/m ³	30	31-35	80
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²			
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²	10		>15
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0.02		0.027
Εύρος χρήσης min/max	°C	-50	-50/-40/100	120
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	50	65	>100
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχ.υγρασία			5	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής		B2		B1
Ακουστικές ιδιότητες				
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	30	50	50
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		ναι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	KWh/m ³	16	28/33	36

4.5.6 Λοιπά θερμομονωτικά υλικά

Ο υαλοβάμβακας, ο πετροβάμβακας, η διογκωμένη και εξηλασμένη πολυστερίνη και ο αφρός πολυουρεθάνης είναι τα περισσότερο διαδεδομένα θερμομονωτικά υλικά και κυριαρχούν τόσο στην ευρωπαϊκή όσο και στην ελληνική αγορά. Εκτός από τα παραπάνω υλικά διατίθενται και άλλα θερμομονωτικά υλικά των οποίων όμως η χρήση είναι περιορισμένη στην αγορά θερμομονωτικών υλικών. Για το λόγο αυτό, στη συνέχεια θα δοθούν συνοπτικά υπό μορφή πινάκων οι κυριότερες ιδιότητες για τα σημαντικότερα από αυτά τα θερμομονωτικά υλικά.

4.5.6.1 Αφρώδης διογκωμένος φελλός

Ο διογκωμένος φελλός ανήκει στα οργανικά αφρώδη θερμομονωτικά υλικά. Η παραγωγή του γίνεται με τη βοήθεια της θερμότητας και του εγκλωβισμένου νερού και ρητίνης, χωρίς την προσθήκη προωθητικού μέσου. Για την κατασκευή των πλακών φελλού από κυψελίδες φελλού χρειάζονται ασφατικά πρόσθετα. Συναντάται στο εμπόριο με τη μορφή πλακών και κογγυλιών. Παρουσιάζει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας μεταξύ 0.040 και 0.065 W/(mK), ενώ ενδείκνεται για ηχομόνωση καθώς διαθέτει καλές ηχομονωτικές ιδιότητες.

Ο πίνακας 17 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγραπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του διογκωμένου φελλού.

Πίνακας 17: Τεχνικά χαρακτηριστικά διογκωμένου φελλού.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2	2,5/3/4/5/6/7	10
Πυκνότητα	kg/m ³	100	110/120	130
Αντοχή στον εφέλκυσμό	N/mm ²		>0.03	
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²		>0.1	
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0.040	0.05	0.065
Εύρος χρήσης min/max	°C	-100		120
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	10		30
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχ.υγρασία	-		10	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		B2	
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος			
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	KWh/m ³		16	

4.5.6.2 Προβατόμαλλο

Το προβατόμαλλο ανήκει στα οργανικά ινώδη θερμομονωτικά υλικά. Παράγεται με χρήση μαλλιού προβάτου και διατίθεται σε μορφή πλακών για την μόνωση σωλήνων και ως ηχοαπορροφητικά πετάσματα για λόγους ηχομόνωσης.

Ο πίνακας 18 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγραπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του προβατόμαλλου.

Πίνακας 18: Τεχνικά στοιχεία προβατόμαλλου.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	Cm	2	3/4/5/6/8/9/10/11/12	20
Πυκνότητα	kg/m ³	20		80
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²		0.005	0.02
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0.0337		0.037
Εύρος χρήσης min/max	°C	100		160
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	1		2
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχ.υγρασία	-	14.5	18.6	20
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		B2	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0.4		0.56
στα 250Hz	-	0.75		0.81
στα 1000Hz	-	0.5	0.9	1.05
στα 4000Hz	-	0.72	1	1.07
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²	4829		5810
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	Έτος	50		100
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-	όχι		ναι
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	KWh/m ³		38 για 25 kg/m ³	

4.5.6.3 Βαμβακόμαλλο

Το βαμβακόμαλλο είναι ένα ινώδες μονωτικό υλικό από φυτικές ίνες, οι οποίες είναι βιοδιασπόμενες και χρειάζεται προσθήκη ουσιών για να αυξηθεί η πυραντοχή τους. Έτσι, η σύσταση του μονωτικού υλικού είναι 97% ακατέργαστο βαμβακόμαλλο και 3% βορικό άλας ως μέσο αύξησης της πυραντοχής. Οι μορφές, με τις οποίες διατίθεται, είναι πλάκες διάφορων παχών και «μαλλί» για την μόνωση σωλήνων. Το βαμβακόμαλλο είναι κατάλληλο για θερμομόνωση και ηχομόνωση σε οικιακές συσκευές και στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Ο πίνακας 19 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υδροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του βαμβακόμαλλου.

Πίνακας 19: Τεχνικά χαρακτηριστικά βαμβακόμαλλου.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	0.4-1	6/8/10/12/12.5/14/16	18
Ποκνότητα	kg/m ³	20		60
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²		0.031	
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²			
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)		0.0355	
Εύρος χρήσης min/max	°C	-80		100
Ιδιότητες υδροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	1		2
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχ.υγρασία	-		11.6	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		B2	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-		0.56	
στα 250Hz	-		0.70	
στα 1000Hz	-		0.75	
στα 4000Hz	-		0.84	
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²			8.8
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος		>50	
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		Ναι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	KWh/m ³		10	

4.5.6.4 Αφρώδες γυαλί

Πρόκειται για ένα υλικό ορυκτής προέλευσης με κυψελωτή δομή και υψηλών προδιαγραφών για εξειδικευμένες εφαρμογές. Τα βασικά συστατικά του αφρώδους γυαλιού είναι φυσικά, όπως άμμος, δολομίτης και ανθρακικό νάτριο. Με θερμική επεξεργασία και με προσθήκη μικρών ποσοτήτων άνθρακα το αφρώδες γυαλί τελικά στερεοποιείται σε μπλοκ. Επίσης συνυπάρχουν μικρές ποσότητες H₂S. Κατά τη διαδικασία δημιουργίας αφρού το μονωτικό υλικό αποκτάει κλειστή κυψελοειδή μορφή με την σύνθεση των εγκλωβισμένων αερίων (με πίεση 0.25 bar) στις κυψελίδες να είναι 99% CO₂ και 0,5% H₂S. Η βασική εφαρμογή του αφρώδους γυαλιού είναι η θερμομόνωση, αλλά χρησιμοποιείται και σε βιομηχανικές και τεχνικές εφαρμογές, όπως υψηλής θερμοκρασίας μόνωση και μόνωση σωλήνων.

Ο πίνακας 20 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγραπροστασίας πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του αφρώδους γυαλιού. Από τον σχετικό πίνακα απουσιάζουν οι ακουστικές ιδιότητες, διότι δεν υπάρχουν σχετικά διαθέσιμα στοιχεία.

Πίνακας 20: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρώδους γυαλιού

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2.5	3/7/14/15	18
Πυκνότητα	kg/m ³	100	106/120/165	180
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0.24		0.28
Όριο θραύσης	N/mm ²	0.3		0.5
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²			
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0.038		0.063
Εύρος χρήσης min/max	°C	-260		430
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-		∞	
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχ.υγρασία	-		0	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		A1	
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος		50	
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	KWh/m ³	25		50

4.5.6.5 Περλίτης

Πρόκειται στην πραγματικότητα για μία ευρύτερη οικογένεια διογκωμένων ανόργανων πορώδων υλικών, γνωστότερο των οποίων είναι ο περλίτης. Τα διογκωμένα πορώδη υλικά αποτελούνται από τον περλίτη, το οξείδιο του πυριτίου και το διογκωμένο φυσικό γυαλί (ηφαιστειακής προέλευσης) ή από διογκωμένο γυαλί, το οποίο προέρχεται από καθαρό, χωρίς άλλες προσθήκες, γυαλί. Τα διογκωμένα πορώδη υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως στη θερμομόνωση κτιρίων, στη θερμομόνωση δωματίων και στην εξασφάλιση των κλίσεων τους, στην ηχοπροστασία από κτυπογενείς ήχους διαπέδων και σε περιπτώσεις θερμομόνωσης και εξοικονόμησης βάρους στα επιχρίσματα των οικοδομών.

Ο πίνακας 21 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υδροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του περλίτη. Για το πάχος δεν μπορεί να δοθεί μια τυπική τιμή, αφού πρόκειται για χύδην υλικό και αντίστοιχα, η πυκνότητα παρουσιάζει μια διακύμανση από 80 kg/m³ έως 800 kg/m³, η οποία οφείλεται στην διαφορετική σύνθεση του βασικού υλικού γυαλί ή ηφαιστειακό πέτρωμα. Από τον σχετικό πίνακα απουσιάζουν οι ακουστικές ιδιότητες, διότι υπάρχουν σχετικά διαθέσιμα στοιχεία αν και υπάρχουν εφαρμογές στην ηχομόνωση.

Πίνακας 21: Τεχνικά χαρακτηριστικά περλίτη

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	Cm			
Πυκνότητα	kg/m ³	50	80/90/100/170	800
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²		-	
Όριο θραύσης	N/mm ²		-	
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²			
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0.040	0.042	0.065
Εύρος χρήσης min/max	°C	-273		750
Ιδιότητες υδροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	3		4
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχ.υγρασία	-			
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		A1	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0		0.2
στα 250Hz	-	0.1		0.25
στα 1000Hz	-	0.25		0.6
στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²	1.5		110
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος			
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	KWh/m ³	90		140

4.5.6.6 Ξυλόμαλλο

Το ξυλόμαλλο ανήκει στην κατηγορία των σύνθετων θερμομονωτικών υλικών και αποτελείται από ξυλώδεις ίνες ή ακόμη και καλάμια, φύκια και άλλα λεπτά οργανικά υλικά και συγκολλητική ύλη τσιμέντο ή καυστική μαγνησία.

Τρεις ομάδες προϊόντων κυκλοφορούν στο εμπόριο:

- Ελαφρές πλάκες από ξυλόμαλλο (HWL): Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται μεγάλες ίνες ξυλόμαλλου από μη επεξεργασμένο ξύλο και τσιμέντο, σύμφωνα με το DIN 1164, ή αντί του τσιμέντου καυστικό οξείδιο του μαγνησίου. Όταν χρησιμοποιείται το τσιμέντο ως συνδετικό υλικό, μπορεί να προστεθεί χλώριο μέχρι 0.35%.
- Σύνθετες πλάκες από ξυλόμαλλο και διογκωμένη πολυστερίνη (HS-ML): Οι ελαφρές προκατασκευασμένες πολυστρωματικές πλάκες από πολυστερίνη σύμφωνα με το DIN 1101 αποτελούνται από ένα μονωτικό στρώμα πολυστερίνης.
- Σύνθετες πλάκες από ξυλόμαλλο και πετροβάμβακα (Min-ML): Οι ελαφριές προκατασκευασμένες πολυστρωματικές πλάκες από ορυκτές ίνες, σύμφωνα με το DIN 1101 αποτελούνται από ένα στρώμα μονωτικού ορυκτοβάμβακα, σύμφωνα με το DIN 18165 και δύο επιφάνειες από ορυκτό συνδετικό ξυλλόμαλλο, που περιβάλλουν τον ορυκτοβάμβακα. [17]

5.1 Γενικά

Οι άνθρωποι περνούν σήμερα σημαντικό μέρος του χρόνου τους μέσα στα κτήρια, ποσοστό που ανέρχεται μέχρι και στο 90% για τους κατοίκους των σύγχρονων αστικών κέντρων. Ο χρόνος αυτός κατανέμεται κυρίως μεταξύ των χώρων κατοικίας και εργασίας. Για την ευχάριστη και υγιεινή διαμονή των ανθρώπων στους εσωτερικούς χώρους είναι αναγκαία η διατήρηση του εσωτερικού κλίματος του κτηρίου σε επίπεδα ανεκτά από το ανθρώπινο σώμα. Οι παράγοντες που προσδιορίζουν το εσωκλίμα ενός κτηρίου είναι: (α) η θερμοκρασία του αέρα και των επιφανειών του, (β) η σχετική υγρασία, (γ) η ταχύτητα του αέρα, (δ) η συγκέντρωση σωματιδίων και ρύπων στον αέρα, (ε) το επίπεδο φωτισμού, και (στ) το επίπεδο θορύβου. Η ρύθμιση των τεσσάρων πρώτων παραγόντων είναι αντικείμενο των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, αερισμού και κλιματισμού των κτηρίων ενώ των τελευταίων δύο των συστημάτων φωτισμού και ηχομόνωσης-ηχοπροστασίας αντίστοιχα. [27]

Ειδικότερα, όσον αφορά τη θερμοκρασία του αέρα στους εσωτερικούς χώρους, για το κλίμα της Ελλάδας και για άνθρωπο ντυμένο, καθιστό και χωρίς ιδιαίτερα έντονη σωματική δραστηριότητα, συνιστάται η πιο ευνοϊκή θερμοκρασία 20 - 21°C για τη χειμερινή περίοδο, ενώ για τη θερινή περίοδο 24 - 26°C. Σε χώρους που κλιματίζονται με αέρα, η θερμοκρασία που θεωρείται κατάλληλη για το χειμώνα είναι 22 - 23°C. Αυτό συμβαίνει γιατί η κίνηση του αέρα δημιουργεί μια πρόσθετη αίσθηση ψύξης που πρέπει να αντισταθμισθεί από μια υψηλότερη θερμοκρασία. Για άτομα με σωματική δραστηριότητα η κατάλληλη θερμοκρασία είναι τόσο μικρότερη όσο πιο βαριά είναι η φύση της εργασίας.

Σημαντικό στοιχείο είναι επίσης και η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας σε ένα χώρο. Γενικά δεν επιτρέπεται να εμφανίζονται θερμοκρασιακές διαφορές μεγαλύτερες από 4°C, ανάμεσα στα διάφορα σημεία του χώρου, και θερμοκρασιακές διαφορές μεγαλύτερες από 3°C ανάμεσα στο δάπεδο και σε ύψος 1.8 m από το δάπεδο (ζώνη κατοίκησης). Το αποδεκτό επίπεδο υγρασίας ενός χώρου εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία του και το είδος της εργασίας που εκτελείται σε αυτόν και προσδιορίζεται από τη σχετική υγρασία του αέρα. Η υγρασία ενός χώρου επιδρά άμεσα στο ρυθμό εφίδρωσης του ανθρώπινου οργανισμού ο οποίος αποτελεί ουσιαστικά ρυθμιστικό παράγοντα για την αποβολή θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα. Είναι σημαντικό να αποφεύγονται καταστάσεις που εμποδίζουν την εξάτμιση από το ανθρώπινο σώμα, δηλαδή υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με υψηλή υγρασία, διότι τότε προκαλείται δυσφορία. Έτσι, όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι 20°C το κατώτερο όριο σχετικής υγρασίας είναι 30% (σχηματισμός σκόνης, δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού, ξήρανση των βλεννογόνων) και το ανώτερο 70% (συμπύκνωση υδρατμών, σχηματισμός μούχλας, δημιουργία δυσάρεστων οσμών). Γενικά τα συνιστώμενα επίπεδα σχετικής υγρασίας σε χώρους παραμονής και εργασίας είναι 40-60% κατά το καλοκαίρι και 30-50% κατά το χειμώνα.

Η αποδεκτή ένταση της ταχύτητας του αέρα στους εσωτερικούς χώρους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως π.χ. από το είδος του χώρου, από την πυκνότητα των ατόμων που ζουν και εργάζονται μέσα στο χώρο, από τη διάρκεια παραμονής τους στο χώρο κ.ά. Γενικά η επιτρεπτή ταχύτητα του αέρα για θερμοκρασίες 20 – 27°C και για καθιστική εργασία είναι περίπου 0.15 - 0.25 m/s. Σε χώρους με μεγάλη πυκνότητα όπου οι άνθρωποι κινούνται συνεχώς (π.χ. εμπορικά καταστήματα) επιτρέπεται μια μεγαλύτερη ταχύτητα του αέρα. Στην πραγματικότητα η ιδανική ταχύτητα του αέρα για την άνεση των ανθρώπων είναι περίπου 0.13 m/s, αλλά στην πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Η ανανέωση του αέρα στους χώρους των κτηρίων είναι αναγκαία για την προσαγωγή οξυγόνου, την αραίωση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα και των διάφορων οσμών που παράγονται από τη δραστηριότητα των ανθρώπων. Η απαραίτητη ποσότητα φρέσκου αέρα προσδιορίζεται συνήθως ως συνάρτηση της πυκνότητας των ατόμων και της χρήσης του χώρου από τους διάφορους κανονισμούς. Γενικά η βέλτιστη ποσότητα νωπού αέρα που πρέπει να εισαχθεί σε έναν χώρο ή σε ένα κτήριο εξαρτάται από τις ανάγκες αερισμού και από το ισοζύγιο θερμότητας και υγρασίας του χώρου ή του κτηρίου.

Η ρύθμιση των απαιτούμενων συνθηκών θερμοκρασίας, υγρασίας, κίνησης και καθαρότητας του αέρα επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων συσκευών που αποτελούν τα αντίστοιχα συστήματα θέρμανσης, ύγρανσης, αερισμού και καθαρισμού του αέρα. Η λειτουργία κάθε συστήματος αλλά και η επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος βασίζεται σε μία σειρά διεργασιών που είναι:

- Η θέρμανση: Είναι η διεργασία με την οποία προστίθεται θερμική ενέργεια (θερμότητα) στον αέρα και στις επιφάνειες του χώρου με σκοπό την αύξηση και τη διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου στα επιθυμητά επίπεδα.
- Η ψύξη: Είναι η διεργασία με την οποία αφαιρείται θερμική ενέργεια (θερμότητα) από τον αέρα και στις επιφάνειες του χώρου με σκοπό τη μείωση και τη διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου στα επιθυμητά όρια.
- Η ύγρανση: Είναι η διεργασία με την οποία προστίθεται υγρασία (υδρατμός) στον αέρα του χώρου με σκοπό την αύξηση και διατήρηση της σχετικής υγρασίας του χώρου σε επιθυμητές τιμές.
- Η αφύγρανση: Είναι η διεργασία με την οποία αφαιρείται υγρασία (υδρατμός) από τον αέρα του χώρου με σκοπό τη μείωση και διατήρηση της σχετικής υγρασίας του χώρου σε επιθυμητά επίπεδα.
- Ο αερισμός: Είναι η διεργασία με την οποία προστίθεται φρέσκος εξωτερικός αέρας (αέρας του φυσικού περιβάλλοντος) στον αέρα του χώρου με σκοπό τη διατήρηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα στα επιθυμητά όρια.
- Ο εξαερισμός: Είναι η διεργασία με την οποία αφαιρείται ποσότητα εσωτερικού αέρα με σκοπό την απομάκρυνση σωματιδίων, οσμών και ρύπων. Η ποσότητα αυτή αναπληρώνεται από το σύστημα αερισμού.
- Ο καθαρισμός: Είναι η διεργασία με την οποία ο εσωτερικός αέρας διέρχεται από διατάξεις φίλτρων και φιλτράρεται (καθαρίζεται). Τα φίλτρα συγκρατούν ποσότητες σωματιδίων και οσμών και στη συνέχεια ο αέρας επανακυκλοφορεί στους εσωτερικούς χώρους με σκοπό τη διατήρηση της ποιότητάς του στα επιθυμητά όρια.
- Ο κλιματισμός: Είναι σύνθετη διεργασία η οποία αποτελείται από το σύνολο ή το συνδυασμό των διεργασιών που αναπτύχθηκαν προηγουμένως. Με τη διεργασία αυτή είναι δυνατή η ολοκληρωμένη ρύθμιση των απαιτούμενων εσωτερικών συνθηκών, γεγονός που κατατάσσει τα συστήματα κλιματισμού στα ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης του εσωκλίματος των κτηρίων. [27]

5.2 Συμβατικά συστήματα θέρμανσης – ψύξης

Σκοπός των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης είναι να προσφέρουν τις απαιτούμενες ποσότητες θερμικής και ψυκτικής ενέργειας οι οποίες θα καλύψουν αντίστοιχα τις θερμικές και ψυκτικές ανάγκες των κτηρίων και θα εξασφαλίσουν τις επιθυμητές συνθήκες θερμικής άνεσης. Τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης ενός κτηρίου διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (α) τα τοπικά και (β) τα κεντρικά. Τοπικά ονομάζονται τα συστήματα στα οποία η θερμότητα ή η ψύξη παράγεται σε μια θερμαντική εστία ή ψυκτική μηχανή τοποθετημένη σε κάποιο σημείο του χώρου που πρόκειται να θερμανθεί/ψυχθεί και αποδίδει την παραγόμενη θερμότητα/ψύξη άμεσα στο χώρο χωρίς τη μεσολάβηση κάποιου μέσου μεταφοράς. Έτσι τα τοπικά συστήματα χαρακτηρίζονται από απλότητα και ευκολία εγκατάστασης ακόμα και σε υφιστάμενα κτήρια.

Αντιθέτως σε ένα κεντρικό σύστημα το σύνολο της απαιτούμενης θερμικής ή ψυκτικής ενέργειας του κτηρίου ή του κτηριακού συγκροτήματος παράγεται από θερμαντικά και ψυκτικά μηχανήματα και στη συνέχεια διανέμεται με τη βοήθεια ενδιάμεσου φορέα θερμότητας στους θερμαινόμενους/ψυχόμενους χώρους. Τα κεντρικά συστήματα χαρακτηρίζονται από μία μεγάλη ποικιλία συσκευών και εναλλακτικών κατασκευαστικών λύσεων και αποτελούνται από τρία επιμέρους υποσυστήματα: παραγωγή, διανομή και εκπομπή (διάθεση) της θερμικής/ψυκτικής ενέργειας.

Στα ελληνικά κτήρια τα κυριότερα συστήματα τοπικής θέρμανσης αποτελούν οι διάφορου τύπου θερμάστρες: πετρελαίου, υγραερίου, φυσικού αερίου και βιομάζας, οι ανοικτές εστίες καύσης (τζάκια), τα ηλεκτρικά συστήματα θερμωσυσώρευσης, οι ηλεκτρικοί θερμοπομποί και τα ηλεκτρικά αερόθερμα. Η χρήση των συστημάτων τοπικής θέρμανσης περιορίζεται σήμερα κυρίως σε αγροτικές περιοχές της χώρας καθώς τις τελευταίες δεκαετίες εκτοπίστηκαν από τα κεντρικά εξαιτίας του υψηλότερου βαθμού απόδοσης, της ευκολίας και της καθαρότητας που παρουσιάζουν. Τα τοπικά συστήματα, γνωρίζουν όμως εκτεταμένη χρήση στην κατηγορία των ψυκτικών εγκαταστάσεων καθώς η πλειονότητα των κτηρίων της χώρας χρησιμοποιεί για την ψύξη συστήματα αντλιών θερμότητας αέρα-αέρα διαρνούμενου τύπου (κλιματιστικά) τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των τοπικών συστημάτων. [27]

5.2.1 Υποσύστημα εκπομπής

Το υποσύστημα εκπομπής σε μία εγκατάσταση θέρμανσης/ψύξης περιλαμβάνει τις θερματικές συσκευές (μονάδες), οι οποίες αποδίδουν στους χώρους των κτηρίων με κατάλληλο τρόπο τα απαιτούμενα ποσά θερμότητας/ψύξης. Από κατασκευαστικής άποψης οι θερματικές μονάδες των θερμικών/ψυκτικών συστημάτων με φορέα θερμότητας το νερό ή το ψυκτικό ρευστό είναι εναλλάκτες νερού-αέρα ή ψυκτικού ρευστού-αέρα αντιστοίχως. Στα συστήματα θέρμανσης/ψύξης με φορέα θερμότητας τον αέρα δεν υφίσταται θερματικό σύστημα εκπομπής καθώς τα στόμια των αεραγωγών από τα οποία εξέρχεται ο θερμός/ψυχρός αέρας αποτελούν θερματικό στοιχείο του υποσυστήματος διανομής.

Η λειτουργία των θερματικών μονάδων βασίζεται στους μηχανισμούς μετάδοσης της θερμότητας και ειδικότερα στο φαινόμενο της συναγωγής και της ακτινοβολίας. Οι δύο αυτοί μηχανισμοί συνυπάρχουν σε όλους τους τύπους θερματικών μονάδων και ανάλογα με το ποσοστό συνεισφοράς τους στο συνολικό φαινόμενο οι θερματικές μονάδες κατατάσσονται σε: (α) μονάδες συναγωγής (convectors) και (β) μονάδες ακτινοβολίας (radiators). Χαρακτηριστικό των μονάδων συναγωγής είναι η κατάλληλη διαμόρφωση της επιφάνειας συναλλαγής της θερμότητας, η ύπαρξη οδηγητικών ελασμάτων ή πτερυγίων, καθώς και η ύπαρξη ανεμιστήρα όπως π.χ. στις μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου (fan-coil). Αντίθετα τα θερματικά σώματα ακτινοβολίας διαθέτουν μεγάλη επιφάνεια η οποία δημιουργείται με την παράλληλη ή σε σειρά τοποθέτηση πολλαπλών στοιχείων.

Οι θερματικές μονάδες θέρμανσης/ψύξης κατασκευάζονται κυρίως από χάλυβα. Υπάρχουν όμως και μονάδες κατασκευασμένες από χυτοσίδηρο ή από κράματα χαλκού και αλουμινίου. Ανάλογα με την τελική διαμόρφωση οι θερματικές μονάδες διακρίνονται σε:

- Χυτοσιδηρές μονάδες στοιχείων: Είναι ο παλαιότερος τύπος θερμαντικών σωμάτων, κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο και αποτελούνται από στοιχεία (φέτες), οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους και στεγανοποιούνται μηχανικά. Σήμερα χρησιμοποιούνται πλέον σπάνια. Είναι μονάδες συναγωγής και χρησιμοποιούνται μόνο σε συστήματα θέρμανσης.
- Χαλύβδινες μονάδες στοιχείων: Είναι γνωστά και ως «κοινά θερμαντικά σώματα» ή «ραντιατέρ» ή «σώματα τύπου AKAN». Αποτελούνται από ισομεγέθη μεμονωμένα στοιχεία (φέτες) που κατασκευάζονται από χαλύβδινα ελάσματα. Ανάλογα με τον αριθμό των διαδρομών του νερού στο κάθε στοιχείο, χαρακτηρίζονται ως δίστηλα (II), τρίστηλα (III) και τετράστηλα (IV). Είναι μονάδες συναγωγής και χρησιμοποιούνται μόνο σε συστήματα θέρμανσης.
- Επίπεδες μονάδες τύπου Panel: Κατασκευάζονται από επίπεδα χαλυβδοελάσματα συνήθως με πτερύγια στην εσωτερική επιφάνεια. Αποδίδουν μεγαλύτερη θερμική ισχύ ανά τετραγωνικό επιφάνειας σε σχέση με τις χαλύβδινες μονάδες και χρησιμοποιούνται μόνο σε συστήματα θέρμανσης.
- Σωληνωτές μονάδες λουτρού: Είναι ειδικές μονάδες, με επάλληλες σειρές σωλήνων σε οριζόντια διάταξη, με ειδικό φινίρισμα επιφάνειας και μεγάλη αντοχή στη διάβρωση, ώστε να τοποθετούνται σε χώρους υψηλής υγρασίας. Είναι μονάδες συναγωγής και χρησιμοποιούνται μόνο σε συστήματα θέρμανσης.
- Επίπεδες μονάδες: Είναι επίπεδες χαλύβδινες επιφάνειες κατασκευασμένες από πεπλατυσμένους σωλήνες χωρίς ραφή, ηλεκτροσυγκολλημένους μεταξύ τους, που καταλήγουν σε δύο παράλληλους συλλέκτες εκατέρωθεν. Η μετάδοση θερμότητας στις μονάδες αυτές γίνεται κυρίως με ακτινοβολία και χρησιμοποιούνται μόνο σε συστήματα θέρμανσης.
- Μονάδες τύπου Runtal: Αποτελούνται από απλούς ή διπλούς άβακες, στην επιφάνεια των οποίων έχουν συγκολληθεί χαλύβδινα ελάσματα σε σχήμα μαιάνδρου. Είναι μονάδες συναγωγής και χρησιμοποιούνται μόνο σε συστήματα θέρμανσης.
- Μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου (fan-coil): Αποτελούνται από χαλκοσωλήνες με πτερύγια χαλκού ή αλουμινίου. Η κυκλοφορία του αέρα γίνεται εξαναγκασμένα από έναν ανεμιστήρα. Το κύριο προτέρημά τους είναι ότι θερμαίνουν πολύ γρήγορα το χώρο. Χρησιμοποιούνται τόσο σε συστήματα θέρμανσης όσο και σε συστήματα ψύξης με νερό ή άλλο ψυκτικό μέσο και διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία για εγκατάσταση επί του δαπέδου, εντός αυτού, στην οροφή και στον τοίχο του χώρου. Είναι μονάδες συναγωγής.
- Ενδοδαπέδια/ενδοτοιχία συστήματα: Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από σωλήνες τοποθετημένους εντός του δαπέδου ή του τοίχου στους οποίους κυκλοφορεί θερμό/ψυχρό νερό. Με τον τρόπο αυτό οι αντίστοιχες επιφάνειες μετατρέπονται σε επιφάνειες εκπομπής θερμότητας/ψύχους. Είναι συστήματα ακτινοβολίας.

- Συστήματα ψυχόμενης οροφής: Αποτελούνται από σωλήνες εντός της οροφής του χώρου μέσα στους οποίους κυκλοφορεί ψυχρό νερό για την ψύξη του χώρου. [27]

5.2.2 Υποσύστημα διανομής

Ο όρος υποσύστημα διανομής αναφέρεται στο σύνολο των σωληνώσεων, αεραγωγών, των εξαρτημάτων διαμόρφωσης και των λοιπών μηχανολογικών εξαρτημάτων τους (αποφρακτικές διατάξεις, εναλλάκτες κλπ.) που μεταφέρουν τα ρευστά μετάδοσης θερμότητας/ψύξης από το σύστημα παραγωγής στις τερματικές συσκευές και αντίστροφα. Στις συνήθεις εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης ως ρευστά διανομής χρησιμοποιούνται: (α) το θερμό/ψυχρό νερό, (β) ο θερμός/ψυχρός αέρας και (γ) τα ψυκτικά ρευστά. Σε ειδικές εφαρμογές του τριτογενή τομέα που αφορούν κυρίως βιομηχανικές εγκαταστάσεις καθώς και εκτεταμένα κτηριακά συγκροτήματα με κεντρικό σύστημα παραγωγής θερμότητας όπως νοσοκομεία, ερευνητικά και εκπαιδευτικά κέντρα κ.α., δύναται να χρησιμοποιηθούν ως φορείς θερμότητας το υπέρθερμο νερό και ο ατμός.

Στις εγκαταστάσεις θέρμανσης και ψύξης όπου χρησιμοποιείται ως φορέας μετάδοσης θερμότητας ο αέρας, το ψυκτικό ρευστό, το υπέρθερμο νερό, ή ο ατμός, τα δίκτυα διανομής από πλευράς κατασκευής περιλαμβάνουν δυο ανεξάρτητους κλάδους, τον κλάδο προσαγωγής του φορέα θερμότητας στους θερμαινόμενους χώρους και αντίστοιχα τον κλάδο απαγωγής. Το υλικό κατασκευής των δικτύων διανομής επιλέγεται με βάση το φορέα θερμότητας. Για δίκτυα θερμού/ψυχρού νερού χρησιμοποιούνται χαλυβδοσωλήνες, σκληροί ή εύκαμπτοι σωλήνες χαλκού και πλαστικοί σωλήνες από πολυπροπυλένιο (PP) ή από πολυαιθυλένιο (PE). Οι κεντρικές γραμμές αυτών των δικτύων κατασκευάζονται από ευθύγραμμους χαλυβδοσωλήνες ή σωλήνες χαλκού μεγάλων διαμέτρων ή σωλήνες πολυπροπυλενίου (PP), ενώ στις μικρότερες διαμέτρους των τερματικών δικτύων συνήθίζεται η χρήση εύκαμπτων σωλήνων. Σε αντίθεση με αυτά τα δίκτυα υπέρθερμου νερού και ατμού κατασκευάζονται αποκλειστικά από χαλυβδοσωλήνες. Τα δίκτυα διανομής θερμού/ψυχρού αέρα, τα δίκτυα αεραγωγών κατασκευάζονται κυρίως από γαλβανισμένο χαλυβδόφυλλο (λαμαρίνα), κυκλικοί ή ορθογώνιοι. Για μικρές διατομές σε τερματικές μονάδες χρησιμοποιούνται και εύκαμπτοι αγωγοί αλουμινίου. Τέλος, στα ψυκτικά δίκτυα χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά ο χαλκός. Τα εξαρτήματα ελέγχου και ρύθμισης της ροής (διακόπτες, βαλβίδες, βάνες) των δικτύων κατασκευάζονται κυρίως από ορείχαλκο, σίδηρο ή χυτοσίδηρο και σπανιότερα από χάλυβα όταν πρόκειται για εξαρτήματα δικτύων υπό πίεση. Αντίστοιχα τα εξαρτήματα διαμόρφωσης του δικτύου (μούφες, καμπύλες, ταφ, συστολικά, κλπ.) κατασκευάζονται από μαλακό σίδηρο ή χυτοσίδηρο και από χαλκό για τα δίκτυα χαλκοσωλήνων. [27]

5.2.3 Υποσύστημα παραγωγής

Το υποσύστημα παραγωγής θερμικής/ψυκτικής ενέργειας των κεντρικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης απαρτίζεται από μία ή περισσότερες θερμικές/ψυκτικές μονάδες οι οποίες βρίσκονται εγκατεστημένες σε έναν ιδιαίτερο χώρο (μηχανοστάσιο, λεβητοστάσιο). Στην περίπτωση εγκατάστασης μονάδων περισσότερων της μιας η λειτουργία τους γίνεται παράλληλα και σε συνάρτηση με το φορτίο που ζητείται από την εγκατάσταση. Οι μονάδες αυτές μπορούν να χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας τον ηλεκτρισμό, το ελαφρύ πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, την ηλιακή ενέργεια, τη γεωθερμία κ.α., για να παράγουν θερμότητα ή ψύχος με τη μορφή θερμού/υπέρθερμου νερού, ατμού, θερμού αέρα, ψυχρού νερού, ή ψυχρού αέρα αντίστοιχα.

Το υποσύστημα παραγωγής ψύξης αποτελείται από συσκευές που ονομάζονται ψύκτες. Οι ψύκτες, με βάση το λειτουργικό τους κύκλο, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: (α) στους ψύκτες συμπίεσης ατμών, και (β) στους ψύκτες απορρόφησης ή προσρόφησης. Εκτός όμως από τους ψύκτες, οι ψυκτικές εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν για την απόρριψη της θερμότητας και πύργους ψύξης, αερόψυκτους ή υδρόψυκτους συμπυκνωτές, ή και συνδυασμό των μηχανημάτων αυτών. Τα ψυκτικά μηχανήματα καταναλώνουν κυρίως ηλεκτρική ενέργεια εκτός από τα μηχανήματα απορρόφησης και προσρόφησης, τα οποία χρησιμοποιούν θερμότητα και παράγουν ψύχος.

Τα κυριότερα συστήματα παραγωγής θερμικής ενέργειας είναι: (α) οι διατάξεις λέβητα-καυστήρα, (β) τα συστήματα Συμπαγωγής Θερμότητας Ηλεκτρισμού (ΣΗΘ) και (γ) τα συστήματα τηλεθέρμανσης. Τα συστήματα της πρώτης κατηγορίας αποτελούν την πλειονότητα των συστημάτων παραγωγής θερμότητας στον κτηριακό τομέα της Ελλάδας. Τα συστήματα ΣΗΘ χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου υπάρχει σημαντική ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας, σε ποσοστό άνω του 50% σε σχέση με την θερμική. Στην Ελλάδα, η χρήση των συστημάτων ΣΗΘ περιορίζεται κυρίως σε ξενοδοχειακές μονάδες και νοσοκομεία. Στο μέγεθος αυτό, η τεχνολογία των συστημάτων

ΣΗΘ αφορά συστήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) και συστήματα μικροστροβίλων (micro-turbine). Η παροχή θερμότητας από σύστημα τηλεθέρμανσης αποτελεί την οικονομικότερη λύση παρότι τα συστήματα αυτά γνωρίζουν περιορισμένη εφαρμογή στην Ελλάδα. Στο σύστημα τηλεθέρμανσης η παραγωγή θερμότητας γίνεται εκτός του κτηρίου οπότε δεν υφίσταται υποσύστημα παραγωγής θερμότητας εντός του κτηρίου. Εκτός όμως από τα ανεξάρτητα συστήματα παραγωγής θερμότητας/ψύχους, υπάρχουν και συσκευές οι οποίες μπορούν να παράγουν εναλλακτικά θερμότητα ή ψύχος. Συσκευές με αυτή τη δυνατότητα είναι οι αντλίες θερμότητας οι οποίες συχνά αποτελούν μέρος ή και ολόκληρα του υποσυστήματος παραγωγής θερμότητας/ψύχους. [27]

5.3 Λέβητες - Καυστήρες

Οι λέβητες και οι καυστήρες είναι βασικές συσκευές και μηχανήματα στις συνήθεις εγκαταστάσεις θέρμανσης. Καυστήρας ονομάζεται η συσκευή η οποία δημιουργεί και τροφοδοτεί το θάλαμο καύσης του λέβητα (φλογοθάλαμο) με την απαραίτητη ποσότητα και ποιότητα μείγματος καυσίμου-αέρα και δημιουργεί παράλληλα τις κατάλληλες συνθήκες για την καύση του. Αντίστοιχα ο λέβητας είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας ο οποίος μεταδίδει την παραγόμενη θερμότητα από την καύση του καυσίμου στο φορέα μεταφοράς θερμότητας που είναι το νερό και σπανιότερα ο αέρας.

Η διάκριση των καυστήρων γίνεται με βάση το καύσιμο σε: (α) στερεών, (β) υγρών και (γ) αερίων καυσίμων, και με βάση την ύπαρξη ή μη ανεμιστήρα σε καυστήρες: (α) χωρίς ανεμιστήρα (ατμοσφαιρικούς), (β) με ανεμιστήρα και χωρίς υπερπίεση και (γ) με ανεμιστήρα υπερπίεσης. Πρέπει να σημειωθεί πως υπάρχουν επίσης και καυστήρες διπλού καυσίμου, οι οποίοι μπορούν να καύσουν εναλλακτικά υγρά ή αέρια καύσιμα. Προφανώς στην περίπτωση αυτή ο καυστήρας είναι εξοπλισμένος με τα απαραίτητα εξαρτήματα και φέρει τον κατάλληλο προγραμματισμό. Καυστήρες χωρίς ανεμιστήρα και καυστήρες με ανεμιστήρα και χωρίς υπερπίεση απαντώνται μόνο σε συσκευές αερίων καυσίμων. Τέλος οι καυστήρες με ανεμιστήρα υπερπίεσης χρησιμοποιούνται στην καύση υγρών αλλά και αερίων καυσίμων.

Οι λέβητες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με: (α) το είδος του καυσίμου, (β) το είδος του καυστήρα, (γ) το υλικό κατασκευής και (δ) το φορέα μετάδοσης της θερμότητας. Ανάλογα με το είδος του καυσίμου οι λέβητες διακρίνονται σε (i) ειδικούς, (ii) μετατρέπομενης καύσης και (iii) εναλλακτικής καύσης. Οι ειδικοί λέβητες μπορούν να καύσουν ένα συγκεκριμένο καύσιμο και δεν μπορούν να υποστούν μετατροπή ώστε να καύσουν άλλο καύσιμο. Τέτοιοι λέβητες είναι π.χ. οι ατμοσφαιρικοί λέβητες αερίου καυσίμου. Οι λέβητες μετατρέπομενης καύσης μπορούν μετά από κατάλληλη αλλαγή ορισμένων εξαρτημάτων τους να καύσουν και δεύτερο καύσιμο, ενώ οι λέβητες εναλλακτικής καύσης μπορούν να καύσουν διάφορα καύσιμα χωρίς να απαιτείται οποιαδήποτε μετατροπή. Για παράδειγμα λέβητες εναλλακτικής καύσης είναι όλοι σχεδόν οι σημερινοί λέβητες πετρελαίου οι οποίοι με αλλαγή του καυστήρα δύνανται να καύσουν και αέριο καύσιμο.

Ανάλογα με το είδος του καυστήρα που φέρουν οι λέβητες διακρίνονται σε: (α) ατμοσφαιρικούς, (β) με καυστήρα με ανεμιστήρα χωρίς υπερπίεση και (γ) υπερπίεσης. Από πλευράς υλικού κατασκευής οι λέβητες διακρίνονται σε (i) χαλύβδινους και (ii) χυτοσιδηρούς, ενώ με βάση το φορέα μετάδοσης της θερμότητας διακρίνονται σε λέβητες: (i) θερμού νερού με θερμοκρασία προσαγωγής μέχρι 100°C, (ii) υπέρθερμου νερού με θερμοκρασία προσαγωγής άνω των 100°C, (iii) ατμολέβητες και (iv) αερολέβητες, με τις τρεις τελευταίες κατηγορίες να εμφανίζονται κυρίως σε επαγγελματικές και βιομηχανικές χρήσεις. Με βάση την Κοινοτική Οδηγία 92/42/ΕΕ, οι λέβητες παραγωγής θερμού νερού με θερμοκρασία προσαγωγής έως 100°C, διακρίνονται επιπρόσθετα σε: (α) συμβατικούς, (β) χαμηλών θερμοκρασιών και (γ) συμπύκνωσης.

Οι συμβατικοί λέβητες παράγουν θερμό νερό σε θερμοκρασία 80-90°C και είναι οι πλέον διαδεδομένοι στον οικιακό τομέα. Οι λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών μπορούν να λειτουργούν συνεχώς με θερμοκρασία εξόδου 35-40°C και σ' αυτούς κατά περίπτωση μπορεί να εφαρμοστεί και συμπύκνωση. Οι λέβητες αυτοί χρησιμοποιούνται στα συστήματα ενδοδαπέδιας και ενδοτοιχίας θέρμανσης και μπορούν να λειτουργήσουν παράλληλα και με αντλίες θερμότητας. Τέλος, οι λέβητες συμπύκνωσης είναι κατασκευασμένοι για συνεχή συμπύκνωση μεγάλου μέρους του υδρατμού του καυσαερίου και παρουσιάζουν υψηλό βαθμό απόδοσης. Φέρουν εναλλάκτη θερμότητας καυσαερίου-νερού στον οποίο ανακτάται το 50-80% της λανθάνουσας θερμότητας του υδρατμού, αυξάνοντας την απόδοση του λέβητα συμπύκνωσης κατά 5-15%.

Σήμερα σύμφωνα με την οδηγία 92/42/ΕΕ και το Π.Δ. 335/1993 (ΦΕΚ 134Α), όλοι οι λέβητες θέρμανσης με ισχύ έως 400 kW πρέπει να φέρουν σήμανση CE και να αναγράφουν στην πινακίδα με τα χαρακτηριστικά τους το βαθμό απόδοσης σύμφωνα με μετρήσεις πιστοποιημένου εργαστηρίου. Η ίδια οδηγία ορίζει τις συνθήκες μέτρησης και τον ελάχιστο αποδεκτό βαθμό απόδοσης, όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα. [27]

Πίνακας 22: Αποδόσεις λέβητων με βάση την Οδηγία 92/42/ΕΕ και το Π.Δ. 335/1993. [27]

Τύπος λέβητα	Φάσμα Ισχύος	Απόδοση σε ονομαστική ισχύ (P_n)		Απόδοση σε μερικό φορτίο	
		Μέση θερμοκρασία νερού στο λέβητα ($^{\circ}\text{C}$)	Απαίτηση απόδοσης (%)	Μέση θερμοκρασία νερού στο λέβητα ($^{\circ}\text{C}$)	Απαίτηση απόδοσης (%)
Συνήθεις λέβητες	4-400	70	$\geq 84 + 2\log P_n$	≥ 50	$\geq 80 + 3\log P_n$
Λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών	4-400	70	$\geq 87.5 + 1.5\log P_n$	40	$\geq 87.5 + 1.5\log P_n$
Λέβητες με συμπύκνωση	4-400	70	$\geq 91 + 1\log P_n$	30	$\geq 97 + 1\log P_n$

Κεντρική θέρμανση ονομάζεται η παραγωγή θερμότητας για τη θέρμανση χώρων ή/και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης από ένα κεντρικό σύστημα εγκατεστημένο σε ένα κτίριο (ή σύνολο κτιρίων) για το σκοπό αυτό. Το κεντρικό αυτό σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο αλληλοσυνδεδεμένων συσκευών και οργάνων, και συγκεκριμένα από το λέβητα, τον καυστήρα, τον κυκλοφορητή, τη δεξαμενή καυσίμων, τις διατάξεις ασφαλείας, τις σωληνώσεις, την καλνοδόχο και τα θερμαντικά σώματα. [23]

Οι κυκλοφορητές και η δεξαμενή καυσίμων σε μια εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης, μεταφέρουν το νερό από τον λέβητα στα θερμαντικά σώματα και αντιστρόφως. Ο κυκλοφορητής είναι αντλία φυγοκεντρικού τύπου και κινείται με τη βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος. Συνήθως τοποθετούνται μέσα στο λεβητοστάσιο και κοντά στον λέβητα. Η δεξαμενή καυσίμων αποτελεί άλλο ένα σημαντικό στοιχείο μιας εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης καθώς εκεί αποθηκεύεται το πετρέλαιο. Η μεταφορά του νερού από το λέβητα στα θερμαντικά σώματα και η επιστροφή του πίσω στο λέβητα επιτυγχάνεται μέσω του δικτύου σωληνώσεων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τρία είδη σωλήνων: χαλκοσωλήνες, χαλυβδοσωλήνες και πλαστικοί σωλήνες. Τα θερμαντικά σώματα αποτελούν τις τελικές συσκευές ενός συστήματος εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης μέσω των οποίων η θερμότητα που μεταφέρει το θερμαντικό ρευστό μεταδίδεται στους εσωτερικούς χώρους. Τα σώματα είναι συνήθως κασκευασμένα από χάλυβα ή αλουμίνιο. Τα θερμαντικά σώματα διαθέτουν ειδικούς διακόπτες που επιτρέπουν την απομόνωσή τους προκειμένου να μην ξοδεύεται ενέργεια άσκοπα σε χώρους που δεν κατοικούνται. Διαθέτουν επίσης βαλβίδες εξαερισμού για την εξαέρωσή τους σε περιπτώσεις που συσσωρεύεται αέρας μη επιτρέποντας την ομαλή κυκλοφορία του νερού στο εσωτερικό τους. Επίσης, οι λέβητες σε κεντρικά συστήματα θέρμανσης λειτουργούν με χρονοδιακόπτες και όχι με βάση τη θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων με αποτέλεσμα προκειμένου να θερμανθούν περισσότερο «δύσκολοι» και κρύοι χώροι να υπερθερμαίνονται αναγκαστικά και αυτοί που δεν έχουν τόσο μεγάλες ανάγκες.

Μια εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης θεωρείται επιτυχημένη όταν θερμαίνει σωστά και όσο πρέπει, καθώς επίσης εφόσον λειτουργεί οικονομικά και με ασφάλεια. Προκειμένου να επιτευχθούν αυτά απαιτείται σωστή μελέτη που να περιλαμβάνει: τα τεχνικά χαρακτηριστικά και μεγέθη του εξοπλισμού, ακριβή υπολογισμό των θερμικών απαιτήσεων, καλό σχεδιασμό των δικτύων διανομής, σωστή διάταξη του εξοπλισμού του συστήματος, καθώς και τη λειτουργική σύνδεση και ρύθμιση των διαφόρων στοιχείων. Η επιλογή ισχύος του λέβητα αποτελεί πρώτη προτεραιότητα και στηρίζεται στον υπολογισμό των βασικών κλιματικών και γεωγραφικών παραμέτρων, και των θερμικών απωλειών του κτιρίου. [23]

5.4 Συστήματα θέρμανσης

5.4.1 Πετρέλαιο

Η λέξη πετρέλαιο προέρχεται από την Ελληνική λέξη πέτρα και τη λατινική Oleum, που σημαίνει λάδι. Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από το Γερμανό ορυκτολόγο Agricola το 1556. Το πετρέλαιο όπως αποδείχθηκε

από ανασκαφές χρησιμοποιούνταν από την αρχαιότητα. Η χρησιμοποίησή του από αρχαίους λαούς αρχίζει πριν από 5000 χρόνια.

Ο διαχωρισμός του πετρελαίου στα προϊόντα του επιτυγχάνεται με την εφαρμογή τριών διακεκριμένων διεργασιών: της ατμοσφαιρικής απόσταξης του αργού πετρελαίου, του διαχωρισμού των αερίων και των βενζινών και της εν κενό απόσταξης του ατμοσφαιρικού υπολειμματος. Οι τρεις αυτές διεργασίες αποτελούν συνήθως μια παραγωγική μονάδα, τη λεγόμενη μονάδα διύλισης αργού πετρελαίου. [34]

Τα στάδια διαχωρισμού περιλαμβάνουν:

A) Φυσικές μέθοδοι διαχωρισμού: όπου με αυτές τις διεργασίες τα μόρια των υδρογονανθράκων δεν αλλάζουν δομή.

1. Απόσταξη: Είναι το πρώτο στάδιο του χωρισμού των συστατικών του αργού πετρελαίου σε ομάδες. Είναι η σημαντικότερη διαδικασία στη διύλιση η οποία στηρίζεται στην ικανότητα των συστατικών του πετρελαίου να εξατμίζονται.
2. Κρυστάλλωση. Συνίσταται στο χωρισμό, ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο των υδρογονανθράκων, χρησιμοποιώντας τη διαφορά στο σημείο τήξης και τη διαλυτότητα, σε συνδυασμό με διήθηση ή φυγοκέντρωση.
3. Εκχύλιση με διαλύτη. Είναι ο διαχωρισμός ανάλογα με τον τύπο των υδρογονανθράκων. Με αυτή τη μέθοδο π.χ. χωρίζονται οι παραφίνες από τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες.
4. Προσρόφηση. Χάρη στη διαφορετική δύναμη με την οποία προσκολλούνται πάνω σε πορώδη υλικά, μπορούμε να διαχωρίσουμε ορισμένες τάξεις υδρογονανθράκων.
5. Απορρόφηση. Διαχωρίζονται οι υδρογονάνθρακες ανάλογα με το μέγεθος ή το σχήμα των μορίων τους, χάρη στη διαφορά που παρουσιάζουν στη διαλυτότητα σε ορισμένα υγρά.

B) Χημικές μέθοδοι διαχωρισμού

Οι διεργασίες αυτές μεταβάλλουν το μέγεθος και τη δομή των μορίων των υδρογονανθράκων και είναι σημαντικότερες γιατί μετατρέπουν προϊόντα που βρίσκονται σε μεγάλη ποσότητα στη φύση, σε άλλα που έχουν μεγάλη ζήτηση. Πιο συγκεκριμένα, η ανάπτυξη των μηχανών εσωτερικής καύσης έκανε απαραίτητη την παραγωγή περισσότερων ελαφρών κλασμάτων απ' όσα ήδη υπάρχουν στο πετρέλαιο. Επιπλέον η καλή ανάφλεξη γίνεται με μόρια που περιέχουν αρωματικούς δακτυλίους ή διακλαδισμένες αλυσίδες. Η παρασκευή αυτών των υδρογονανθράκων γίνεται με την πυρόλυση. [34]

Τα τελικά προϊόντα της διύλισης διακρίνονται σε ενεργειακά (βενζίνες, καύσιμα στροβιλοαντιδραστήρων, ντίζελ και μαζούτ οικιακής χρήσης, βαρέα μαζούτ) και σε μη ενεργειακά (άσφαλτοι, λιπαντικά). Η θεμελιώδης διεργασία της διύλισης είναι η συνεχής κλασματική απόσταξη, από την οποία προκύπτει μια δεκάδα βασικών πετρελαϊκών κλασμάτων με χαρακτηριστικά που βελτιώνονται κατόπιν σε άλλες εγκαταστάσεις για τον μετασχηματισμό ή τον εξευγενισμό. [34]

Το πετρέλαιο κυριαρχεί σαν κύριο καύσιμο στη θέρμανση, πράγμα το οποίο πριν από κάποια χρόνια ήταν δικαιολογημένο αν αναλογιστεί κανείς τις συνθήκες που επικρατούσαν. Έτσι, με τις συνθήκες να ευνοούν και το πετρέλαιο να είναι το πλέον εύκολο αλλά και αποδοτικό καύσιμο για θέρμανση, με ένα απλό στην κατασκευή σύστημα λέβητα- καυστήρα, με ελάχιστη συντήρηση και καθαρισμό, χωρίς να απαιτεί επιπλέον χώρο αποθήκευσης όπως άλλα στερεά καύσιμα, το πετρέλαιο κατέκτησε την πρώτη θέση στην επιλογή για θέρμανση.

Με την πάροδο των χρόνων τα κοιτάσματα του πετρελαίου ολοένα και μειώνονται, με αποτέλεσμα αλυσιδωτές κρίσεις γύρω από τις περιοχές που παραδοσιακά αντλείται με συνέπεια αύξηση των τιμών του πετρελαίου που φτάνει στον καταναλωτή. Ο καταναλωτής αντιλαμβάνεται όλο και περισσότερο το κόστος θέρμανσης λόγω της ραγδαίας αύξησης των τιμών της ενέργειας. Πέρα όμως από το οικονομικό θέμα, το πετρέλαιο έχει αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον. Γενικά, πρόκειται για ύλη της οποίας τα παράγωγα διασπώνται εξαιρετικά δύσκολα και η ίδια εκ φύσεως αλλά και με ρυπογόνα κατάλοιπα στην καύση της. Τα καυσαέρια που παράγονται επιβαρύνουν το περιβάλλον και την ατμόσφαιρα με τα γνωστά προβλήματα, νέφος, αυξημένα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα, όξινη βροχή, κτλ. [30]

5.4.2 Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο είναι ένα αέριο καύσιμο το οποίο υπάρχει σε αφθονία στην φύση. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο το οποίο είναι άχρωμο, άοσμο και αρκετά ελαφρύτερο από τον αέρα. Γενικότερα ο όρος φυσικό αέριο είναι το αέριο καύσιμο που εξάγεται από την γη και μεταφέρεται με κατάλληλα διαμορφωμένους αγωγούς σε αέρια κατάσταση μέχρι τα σημεία κατανάλωσής του. Κατά την καύση του δεν δημιουργείται σκόνη ή καπνός ενώ οι εκπεμπόμενοι ρύποι είναι μικρότεροι σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Όσο για την ασφάλεια, εάν χρησιμοποιηθεί σωστά δεν είναι καθόλου επικίνδυνο. Σε περίπτωση που υπάρξει διαρροή, για να δημιουργηθεί έκρηξη πρέπει να γίνει σε κλειστό χώρο και να αναμιχθεί το φυσικό αέριο με το οξυγόνο και στη συνέχεια το μίγμα να έρθει σε επαφή με σπινθηράκι από φλόγα.

Τα μεγαλύτερα γνωστά αποθέματα φυσικού αερίου στη σημερινή εποχή βρίσκονται στις χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, στην Μέση Ανατολή, στις ΗΠΑ, στην Βενεζουέλα, στην Αλγερία και στην Νιγηρία. Σε σύγκριση με το πετρέλαιο, υπάρχει πολύ μεγαλύτερη επάρκεια αποθεμάτων με αποτέλεσμα η τροφοδοσία της παγκόσμιας ενεργειακής αγοράς να είναι κατά πολύ ασφαλέστερη. Σημαντικό ρόλο για την χρήση του φυσικού αερίου διαδραμάτισε η εκτεταμένη μόλυνση του περιβάλλοντος από την συνεχή χρήση των συμβατικών καυσίμων. Στη σημερινή εποχή όπου η ανάπτυξη στηρίζεται κυρίως στη χρήση συμβατικών καυσίμων και σε συνδυασμό με τα σοβαρά προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, απαιτούνται τέτοιες ενεργειακές επιλογές που να συνδυάζουν την οικονομική ανάπτυξη και την περιβαλλοντική προστασία. Είναι λογικό η ζήτηση του φυσικού αερίου να αυξάνεται ταχύτατα, αφού θεωρείται λόγω της μορφής και της σύστασης του ένα οικολογικό καύσιμο.

Η εισαγωγή του φυσικού αερίου στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας έχει επηρεάσει αρκετά την οικονομική και κοινωνική εξέλιξη της χώρας. Η είσοδος του αναμφισβήτητα έχει διαμορφώσει μια νέα αντίληψη στο χώρο των ενεργειακών πηγών στη χώρα. Το φυσικό αέριο μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα καύσιμο υψηλής ποιότητας που μπορεί να διεισδύσει σε όλους σχεδόν τους κλάδους, όπως σε αυτόν της βιομηχανίας, της ηλεκτροπαραγωγής, των μεταφορών, της οικιακής χρήσης κ.α..

Οι καυστήρες αερίων καυσίμων παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως:

- Άμεση ετοιμότητα για λειτουργία.
- Καθαριότητα.
- Δεν απαιτούν αποθήκη καυσίμου.
- Παρουσιάζουν μειωμένη ρύπανση για το περιβάλλον εφόσον έχουν σωστή ρύθμιση.

5.4.3 Βιομάζα

Ο όρος βιομάζα αναφέρεται σε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Κάθε οργανική ύλη που είναι διαθέσιμη σε ανανεώσιμη μορφή, συμπεριλαμβανομένων των ενεργειακών καλλιεργειών, των υποπροϊόντων ή κατάλοιπων των δασικών προϊόντων, των παραπροϊόντων ή των υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών, των ζωικών αποβλήτων, του οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων και των υδρόβιων φυτών. Η βιομάζα είναι ανανεώσιμη και έχει υπολογισθεί ότι κάθε χρόνο παράγονται παγκοσμίως περίπου 220 δισεκατομμύρια τόνοι ξηρής βιομάζας στον πλανήτη.

Ως βιομάζα θεωρούνται:

- Τα προϊόντα, τα παραπροϊόντα και τα κατάλοιπα της γεωργικής δασικής και ζωικής παραγωγής.
- Τα παραπροϊόντα, από τη βιομηχανική επεξεργασία των παραπάνω προϊόντων.
- Τα αστικά λύματα.
- Οι οργανικές ύλες από φυσικά οικοσυστήματα π.χ. αυτοφυή φυτά, δάση, τεχνητές φυτείες αγροτικού και δασικού τύπου. [30]

Οι περισσότεροι λέβητες ξύλου που χρησιμοποιούνται σήμερα για θέρμανση κατοικιών στη Σουηδία είναι παλιοί και πολλές φορές εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες οργανικών ενώσεων. Νέες εναλλακτικές λύσεις καύσης της βιομάζας, όπως με συσσωματώματα ξύλου και λέβητες ξύλου υψηλής απόδοσης, εισήλθαν στην αγορά κατά τα

τελευταία δέκα χρόνια. Οι εκπομπές από αυτές τις νέες εναλλακτικές λύσεις είναι σημαντικά χαμηλότερες σε σύγκριση με τις παραδοσιακές εναλλακτικές λύσεις. Μερικά από τα πιο σημαντικά συσσωματώματα ξύλων, όπως η βρώμη, μπορεί να καίγονται άμεσα σε προσαρμοσμένες συσκευές καύσης για pellets, ενώ άλλες, όπως το σιτάρι, το άχυρο και η τύρφη, είναι κατάλληλα για την παραγωγή ιζημάτων.

Παρά το γεγονός ότι τα βιοκαύσιμα θεωρούνται φιλικά προς το περιβάλλον και οι συνολικές εκπομπές στην ατμόσφαιρα από τις σύγχρονες συσκευές οικιακής καύσης μπορεί να είναι πολύ χαμηλές, είναι σημαντικό να μελετηθούν οι εκπομπές των επιμέρους ενώσεων. [29]

5.4.3.1 Θερμική αξία του ξύλου

Καύση, είναι η θερμική διάσπαση με την παρουσία οξυγόνου. Ως θερμογόνο δύναμη, ορίζεται το ποσό της θερμότητας το οποίο παράγεται κατά τη στοιχειομετρική καύση μιας ορισμένης ποσότητας καυσίμου. Δηλαδή, για την περίπτωση της καύσης του ξύλου, η θερμαντική αξία είναι η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που παράγεται από την πλήρη καύση ενός κιλού (kg) ξηρού ξύλου. Η θερμογόνο δύναμη μετρείται με ειδικές συσκευές που λέγονται θερμιδόμετρα. Με μονάδες μέτρησης ενέργειας, δηλαδή θερμότητας, ανά μονάδα μάζας ή όγκου (kcal/kg ή BTU/lb με $1 \text{ Cal} = 3.968 \text{ BTU}$).

Η υψηλή θερμογόνο δύναμη (Kcal/kg ή Btu/lb) είναι η πυκνότητα ενέργειας ανά μονάδα μάζας του καυσίμου. Παρόλο αυτά, για τη βιομάζα πιο σημαντική είναι η θερμογόνο δύναμη ανά μονάδα όγκου (Kcal/Lt, MJ/m³, Btu/ft³). Επειδή η βιομάζα κατά πλειοψηφία έχει χαμηλό βάρος, η μάζα της δεν είναι τόσο σημαντικός παράγοντας κατά τη συλλογή, τη μετακίνηση, την αποθήκευση και τη χρήση. Με την αύξηση της πυκνότητάς της και κατά συνέπεια της θερμογόνο δύναμης, η βιομάζα ως καύσιμο αλλάζει σημαντικά τις ιδιότητές της και αποκτά πολλές χρήσεις. Χαρακτηριστικός είναι και ο παρακάτω πίνακας που παραθέτει συγκριτικά, την πυκνότητα και τη θερμογόνο δύναμη ροκανιδίων και Pellets ξύλου. [30]

Πίνακας 23: Σύγκριση της πυκνότητας και την θερμογόνο δύναμη των ροκανιδίων και των pellets. [30]

Καύσιμο	Πυκνότητα(kg/Lt)	Ενεργειακή πυκνότητα μάζας (MJ/kg)	Ενεργειακή πυκνότητα όγκου (MJ/Lt)
Ροκανίδια	0.19	20	3.8
Pellets	0.68	20	13.6

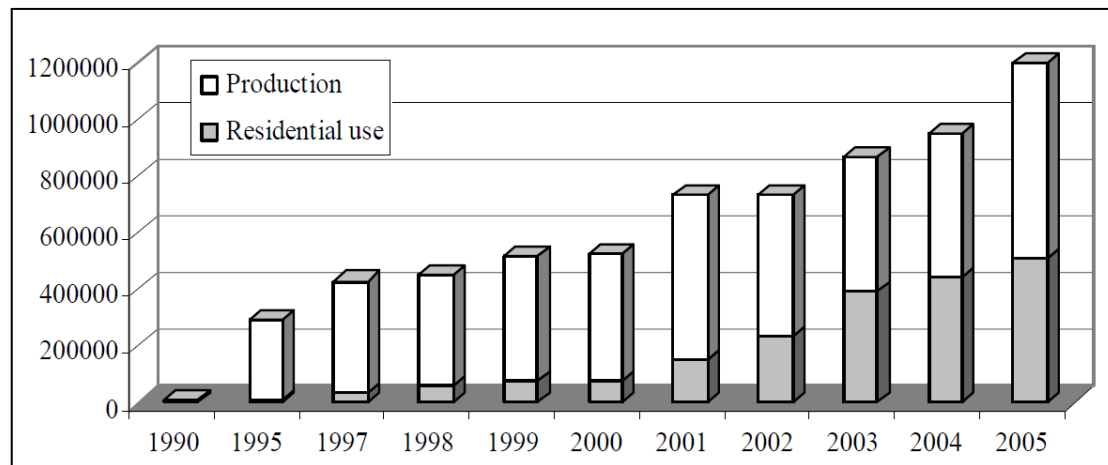
Παρόλο που η βιομάζα είναι μια σημαντική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας, δεν αποτελεί πολύ καλό καύσιμο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το περισσότερο από το 70% του όγκου της είναι συνήθως αέρας και νεκρός όγκος. Αυτή η χαμηλή πυκνότητα ενέργειας ανά μονάδα όγκου της βιομάζας, δυσχεραίνει τόσο τη συλλογή όσο τη μεταφορά, την αποθήκευση και τη χρήση της. Για τη βελτίωση του ενεργειακού περιεχόμενου ανά μονάδα όγκου της βιομάζας, χρησιμοποιείται η μέθοδος της μηχανικής αύξησης της πυκνότητάς της (Densification). Η αύξηση της πυκνότητας της βιομάζας είναι μια νέα διαδικασία κατά τη οποία με τη χρήση υψηλών πιέσεων συμπιέζεται η βιομάζα σε μικρά συσσωματώματα κοινώς pellets (χρησιμοποιώντας συνεχούς τροφοδοσίας μηχανήματα), σε μπάλες (χρησιμοποιώντας μηχανές δεσίματος τριφυλλιού) καθώς και σε μεγαλύτερα συσσωματώματα μπρικέτες βιομάζας.

5.4.3.2 Συσσωματώματα ξύλου (wood pellets)

Τα συσσωματώματα ξύλου ή συμπυκνώματα, που χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στη βιομηχανία ζωοτροφών και ιχθυοτροφών, είναι τυποποιημένο κυλινδρικό βιολογικό καύσιμο που παρασκευάζεται με την συμπίεση ξηρών πριονιδίων και τεμαχιδίων που προέρχονται από τα βιολογικά παραπροϊόντα της γεωργίας, της δασοπονίας και της βιομηχανίας επεξεργασίας ξύλου. Είναι ένα οικονομικά αποδοτικό μέσο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τα συσσωματώματα συνιστούν ένα σημαντικό πόρο που συμβάλλει στο μελλοντικό ανεξάρτητο ενεργειακό ανεφοδιασμό της Ευρώπης. [31]

Τα συσσωματώματα ξύλου προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα και συνεπώς, μία ταχεία αντικατάσταση του αργού πετρελαίου και των ξύλων για θέρμανση κατοικιών. Οι ιδιότητες των pellets ξύλου διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιότητες των καυσόξυλων. Τα συσσωματώματα ξύλου είναι ομοιογενές καύσιμο με χαμηλή υγρασία

που επιτρέπει ακόμα και την καύση με χαμηλές εκπομπές ρύπων και με υψηλή απόδοση. Χάρη στην χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, οι αποθηκευτικές ιδιότητες των συσσωματωμάτων ξύλου είναι καλές [Lehtikangas 2000]. Το κόστος επεξεργασίας εν μέρει αντισταθμίζεται με τις χαμηλότερες δαπάνες μεταφοράς και αποθήκευσης, λόγω της υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας [Wahlund et al. 2004]. Τα pellets μπορούν να τροφοδοτούνται αυτόματα μέσα στον καυστήρα, δεν απαιτούν διαχωρισμό και περιέχουν μικρότερη ποσότητα τέφρας. [29]



Εικόνα 18: Παραγωγή συσσωματωμάτων ξύλου στην Σουηδία και οικιακή χρήση σε τόνους [Olsson 2002, 2004β, PIR 2005].

Τα συσσωματώματα ξύλου είναι μια ανανεώσιμη πηγή καυσίμου με μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον είναι φθηνότερα από ό,τι το πετρέλαιο και την ηλεκτρική ενέργεια και έχουν μια πιο σταθερή εξέλιξη τιμής. [29] Είναι σημαντικό τα pellets να μην περιέχουν άλλα συστατικά ή προσμίξεις που αυξάνουν σημαντικά το ποσό της στάχτης και συνεπώς δημιουργούν λειτουργικά προβλήματα στο λέβητα. Είναι επίσης σημαντικό να έχουν συγκεκριμένες μηχανικές ιδιότητες, ώστε να μη θρυμματίζονται εύκολα. Πολλές χώρες (π.χ. Σουηδία, Αυστρία, Γερμανία, ΗΠΑ) έχουν ήδη πρότυπα για την ποιότητα των pellets. Ο παρακάτω πίνακας δίνει κάποια βασικά χαρακτηριστικά από ένα τυπικό καύσιμο σε μορφή pellets.

Πίνακας 24: Βασικά χαρακτηριστικά από ένα τυπικό καύσιμο σε μορφή pellets. [31]

Τεχνικά χαρακτηριστικά των pellets	
Θερμογόνος δύναμη	17 GJ/tn
- Ανά kg	4.7 kWh/kg
- Ανά m³	3.077 kWh/m ³
Περιεχόμενη υγρασία	8%
Φαινόμενη πυκνότητα	650 kg/m ³
Στάχτη	0.5%

Τα συσσωματώματα παράγονται κυρίως από το πριονίδι, θρύμματα και υπολείμματα υλοτομίας. Σήμερα, ο ανταγωνισμός στη βιομηχανία μοριοσανίδων και η τρέχουσα αυξανόμενη ζήτηση για τα συσσωματώματα, τόσο στην οικιακή αγορά όσο και για χρήσεις μεγάλης κλίμακας, μπορεί να οδηγήσει σε μια μελλοντική έλλειψη πριονιδιού και υπολειμμάτων υλοτομίας. Παραδείγματος χάριν, στη Σουηδία - ο κύριος ευρωπαϊός παραγωγός -, το δυναμικό παραγωγής συσσωματωμάτων ξύλου (1 Mts) έχει πλησιάσει το εθνικό δυναμικό πριονιδιού, και στη Δανία η έλλειψη των εθνικών κατάλληλων πρώτων υλών υποχρεώνει την εισαγωγή υπολειμμάτων ξύλου από τη Βόρεια Αμερική και τα κράτη της Βαλτικής. Αν η ζήτηση - και τιμές - συνεχίζουν να αυξάνονται, θα ερευνηθούν για την παραγωγή συσσωματωμάτων και άλλα παραπροϊόντα βιομάζας εκτός από το πριονίδι, τα θρύμματα και τα υπολείμματα υλοτομίας. [31]



Εικόνα 19: Διαθέσιμες πρώτες ύλες στην Ελλάδα από ξύλο.

Πυρήνες ροδάκινων	Ορυζοφλοιός	Απορρίμματα εκκοκκιστηρίων
		
Θ.Δ.: 3000-5500 kcal/kg ΤΕΦΡΑ: 18-20 %	2900 kcal/kg 3%	3500 kcal/kg 15 % (max)

Εικόνα 20: Διαθέσιμες πρώτες ύλες από την γεωργική παραγωγή.

Κατά την επιλογή ενός τύπου για την παραγωγή των συσσωματωμάτων πρέπει να αξιολογηθούν κάποιοι παράγοντες. Οι πιο σημαντικοί είναι η προσβασιμότητα σε πρώτες ύλες, οι υφιστάμενες κτηνοτροφικές μονάδες παραγωγής των συσσωματωμάτων και η απόσταση από τους κατοίκους της περιοχής. Η παραγωγή των συσσωματωμάτων πρέπει να ενσωματωθεί με μία μονάδα χαρτοπολυτού, ένα πριονιστήριο ή με μία συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση βιοκαυσίμων [Wahlund et al. 2002, Vidlund 2004,

Wolf et al. 2005]. Οι πρώτες ύλες πρέπει να αποθηκεύονται σωστά πριν από την παραγωγή για να αποφευχθεί η ανάπτυξη μούχλας και η αναερόβια αποσύνθεση που οδηγεί σε εκπομπές μεθανίου [Pier και Kelly 1997]. [29]

Η παραγωγή των συσσωματωμάτων βιομάζας μπορεί να χωριστεί σε 5 βασικά μέρη. Πολύ συχνά η ακατέργαστη πρώτη ύλη χρειάζεται να ξηραθεί με τεχνητά μέσα πριν προχωρήσει στη διαδικασία της συσσωμάτωσης. Δεύτερον, τα κομμάτια της ακατέργαστης πρώτης ύλης δεν πρέπει να ξεπερνούν ένα ορισμένο μέγεθος, οπότε πολύ συχνά χρειάζεται να θρυμματιστούν. Τρίτον, είναι εφικτό να γίνει η υπόσταση της πρώτης ύλης πιο ήπια και πιο εύκαμπτη ατμοποιώντας τη προετοιμασία. Τέταρτον, η συσσωμάτωση πραγματοποιείται με την πελετοποίηση. Τέλος, για τη μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης στα συσσωματώματα βιομάζας (pellets) είναι αναγκαίος ένας εξοπλισμός ψύξης, για να μειωθούν οι υψηλές θερμοκρασίες που δημιουργήθηκαν στη διαδικασία της συσσωμάτωσης. Μετά από τα 5 αυτά βασικά μέρη ακολουθούν ακόμα η διαχώριση των συσσωματωμάτων βιομάζας, η συσκευασία τους, η αποθήκευση τους και η διανομή τους. Στη συνέχεια αναλύονται τα βασικά μέρη πιο λεπτομερώς. [31]

1. Ξήρανση

Πολύ συχνά η ακατέργαστη πρώτη ύλη χρειάζεται να ξηραθεί με τεχνητά μέσα πριν προχωρήσει στην διαδικασία της συσσωμάτωσης. Ο πιο κοινός εξοπλισμός ξήρανσης είναι οι απευθείας θερμαινόμενοι περιστροφικοί κυλινδρικοί ξηραντήρες. Τα αέρια από το σωλήνα που δημιουργούνται από την ανάφλεξη του ξηραντικού καυσίμου οδηγούνται μέσω του ξηραντήρα και έχουν σαν αποτέλεσμα την άμεση θέρμανση της πρώτης ύλης. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της θερμότητας στους ξηραντήρες είναι είτε φυσικό αέριο είτε ξύλο.

2. Θρυμματισμός

Η πρώτη ύλη χρειάζεται να θρυμματιστεί για να παραχθεί ομοιόμορφο υλικό για την διοχέτευσή του στον εξοπλισμό για την πελετοποίηση. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται οι σφυρόμυλοι που τροφοδοτούνται από ηλεκτρικές μηχανές. Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική, η οποία συμβάλει σε αυτό το στάδιο στην περαιτέρω εξαγωγή της υγρασίας από την πρώτη ύλη. Το καινούριο μέγεθος της θρυμματισμένης πρώτης ύλης εξαρτάται από την διάμετρο σε mm που θα έχουν τα συσσωματώματα βιομάζας.

3. Προετοιμασία /Βελτιστοποίηση

Στην προετοιμασία της πρώτης ύλης για την συσσωμάτωση εφαρμόζεται θερμός ατμός στην πρώτη ύλη ώστε να αλλάξει η υπόσταση της πρώτης ύλης και να μαλακώσουν οι ξύλινες ίνες.

4. Συσσωμάτωση / Πελετοποίηση

Για την πελετοποίηση/συσσωμάτωση της πρώτης ύλης χρησιμοποιούνται κανονικοί μύλοι πελετοποίησης ή αλλιώς πελετέζες. Η ακατέργαστη πρώτη ύλη εισάγεται στο θάλαμο της πελετέζας. Η περιστροφική κίνηση της μήτρας και η πίεση των κυλίνδρων εξαναγκάζουν την πρώτη ύλη, μέσω των εσοχών της μήτρας στη συμπίεσή της, στην δημιουργία των συσσωματωμάτων βιομάζας (pellets). Ρυθμιζόμενα κοπτικά εργαλεία κόβουν τα συσσωματώματα βιομάζας στο επιθυμητό μήκος. Υπάρχουν δύο τύποι μύλων πελετοποίησης: οι επίπεδης μήτρας και οι κυκλικής μήτρας. Πιο συχνά χρησιμοποιούνται οι κυκλικής μήτρας μύλοι πελετοποίησης στους οποίους, η μήτρα του μύλου έχει κυλινδρικό σχήμα και περιστρέφεται και τα συσσωματώματα βιομάζας πρεσάρονται μέσω των κυλίνδρων. Καθώς η πρώτη ύλη μπαίνει στο άνοιγμα μεταξύ της μήτρας και του κυλίνδρου ο κύλινδρος αρχίζει να περιστρέφεται και πιέζει το υλικό στις εσοχές της μήτρας. Στους μύλους επίπεδης μήτρας, η μήτρα παραμένει σταθερή και περιστρέφονται οι τροφοδοτούμενοι κύλινδροι. Όπως και στους σφυρόμυλους, έτσι και στην διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται εξαγωγή υγρασίας από την πρώτη ύλη.

5. Ψύξη

Η ψύξη της εξευγενισμένης μορφής βιομάζας, δηλαδή των συσσωματωμάτων βιομάζας είναι ένα από τα σημαντικότερα στάδια στην παραγωγή τους. Κατά την διάρκεια της πελετοποίησης παράγεται θερμότητα λόγω της τριβής κατά την συμπίεση της πρώτης ύλης και έχει σαν αποτέλεσμα τα συσσωματώματα βιομάζας (pellets) όταν εξέρχονται από το μύλο πελετοποίησης να έχουν υψηλά επίπεδα θερμότητας (συνήθως 90 – 95°C). Το σχετικά μικρό ποσοστό νερού που έχει απομείνει στην πρώτη ύλη ασκεί πίεση ίση με την ατμοσφαιρική κατά την

μετατροπή του από την υγρή στην αέρια φάση. Για να αποτραπεί η διάλυση των πρόσφατα διαμορφωμένων συσσωματωμάτων βιομάζας από την άσκηση της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι συνήθως αναγκαίο να ψύχονται τα συσσωματώματα βιομάζας αμέσως μετά την συμπίεσή τους. Η διαδικασία πελετοποίησης απελευθερώνει υγρασία που πρέπει να αφαιρεθεί μαζί με την παραγόμενη θερμότητα. Όλοι οι παραγωγοί των συσσωματωμάτων βιομάζας (pellets) χρησιμοποιούν συσκευές ψύξης για να αυξήσουν την ανθεκτικότητα των προϊόντων τους. Η διαδικασία ψύξης βοηθάει στην σταθεροποίηση, σκλήρυνση και στην μορφοποίηση των συσσωματωμάτων βιομάζας. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυτής τα πρόσφατα διαμορφωμένα συσσωματώματα βιομάζας μεταφέρονται μέσω σήραγγας πάνω σε ταινιόδρομο ενώ ταυτόχρονα μεταφέρεται ψυχρός αέρας προς αυτά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μια ήπια ψύξη ενώ τα συσσωματώματα βιομάζας που είναι πιο κοντά στην πρέσα συναντάνε τον αέρα που έχει ήδη απορροφήσει κάποια θερμότητα από τα προπορευόμενα συσσωματώματα βιομάζας. [31]

6. Διαχωρισμός, αποθήκευση, μεταφορά

Εφόσον τελειώσει η βασική διαδικασία της παραγωγής των συσσωματωμάτων, υπάρχει ακόμα ένα στάδιο, το στάδιο του διαχωρισμού στο οποίο τα υπολείμματα από όλη την διαδικασία της παραγωγής διαχωρίζονται από τα συσσωματώματα βιομάζας και ξαναρίχνονται στην παραγωγή από το πρώτο στάδιο ωστόσο επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τα τελικά προϊόντα αποθηκεύονται αυτόματα σε :

- Μικρούς σάκους (15- 25 kg, που πωλούνται και παραδίδονται σε παλέτες των 800 kg ή μεμονωμένα). Αυτό το είδος συσκευασίας είναι κατάλληλο για ελάχιστη κατανάλωση συσσωματωμάτων βιομάζας, π.χ. όταν οι σύμπες συσσωματωμάτων βιομάζας χρησιμοποιούνται μόνο ως βοηθητική θέρμανση. Οι καταναλωτές αγοράζουν τα συσσωματώματα βιομάζας στα οικογενειακά καταστήματα αγαθών (super markets), βενζινάδικα ή γεωργικά καταστήματα και μεταφέρονται στην οικία τους από τους ίδιους. Το πλεονέκτημα της πώλησης συσσωματωμάτων στους σάκους είναι ότι το κόστος μεταφοράς είναι πολύ χαμηλό υπό τον όρο ότι οι σάκοι αντιμετωπίζονται κατάλληλα και τα συσσωματώματα βιομάζας είναι προστατευμένα από την υγρασία για την τήρηση της ποιότητάς τους. Εντούτοις, οι τιμές σβόλων με αυτήν την μορφή συσκευασίας είναι πολύ υψηλότερες σε σχέση με την αγορά συσσωματωμάτων βιομάζας από ασυσκευάστα συσσωματώματα βιομάζας pellets.
- Μεγάλους σάκους (με περιεχόμενο 1 έως 1.5 m³ ή έως 1000kg). Οι περισσότεροι παραγωγοί προσφέρουν τα pellets κατ' αυτό τον τρόπο. Οι μεγάλοι σάκοι μπορούν να μεταφερθούν είτε με φορτωτές φορτηγά, είτε με τρακτέρ, είτε με μικρούς γεραμούς, γεγονός το οποίο είναι ιδιαίτερα ενοχλητικό και μη εξυπηρετικό, ειδικά για τη μεταφορά στον τελικό καταναλωτή. Η άνευ συσκευασίας μαζική παράδοση σε ένα βυτιοφόρο και ένα αεριώδες γέμισμα της αποθήκης ή των σιλό αποθήκευσης γίνεται ο κύριος τρόπος διανομής συσσωματωμάτων βιομάζας στην Ευρώπη. Ο χειρισμός είναι παρόμοιος με αυτόν που χρησιμοποιείται στην παράδοση του πετρελαίου και καλύπτει τις απαιτήσεις ευκολίας τόσο των πελατών όσο και των λιανοπωλητών. Η ασυσκευάστη μεταφορά συσσωματωμάτων βιομάζας σε ένα βυτιοφόρο και ένα αεριώδες γέμισμα της αποθήκης ή του σιλό αποθήκευσης γίνεται πιο οργανωμένη, αλλά υπάρχουν ακόμα διάφορα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Οι αποθήκες των πελατών είναι ένα από τα κρίσιμα σημεία στην αλυσίδα παράδοσης και το γέμισμά τους πρέπει να είναι καθαρό και πρακτικό. Πρέπει να ληφθούν προφυλάξεις ενάντια στην παραγωγή σκόνης και τη καταστροφή των συσσωματωμάτων βιομάζας κατά τη διάρκεια της τροφοδοσίας της αποθήκης. [31]

Ο χώρος εγκατάστασης της δεξαμενής πρέπει να είναι τουλάχιστον 7.62 έως 10.16 εκατοστά μεγαλύτερος από ότι η ίδια η δεξαμενή. Για παράδειγμα, για πλάτος δεξαμενής 1.97 m το ελάχιστο πλάτος του χώρου πρέπει να είναι 2.05 m. Επίσης, το δωμάτιο πρέπει να είναι 30.48 cm μεγαλύτερο από το ελάχιστο μήκος του. Το ελάχιστο απαιτούμενο ύψος του δωματίου πρέπει να είναι 2.14 m. Ο λέβητας έχει το δικό του κέντρο τροφοδοσίας. Έξω από το λεβητοστάσιο, και κοντά στην πόρτα του λεβητοστασίου, προτείνεται ένας διακόπτης στάσης εκτάκτου ανάγκης. Όπως και για όλα τα συστήματα θέρμανσης, η αποθήκη των pellets και οι πόρτες λεβητοστασίου πρέπει να αντέχουν στην φωτιά και να ανοίγουν προς τα έξω. Το δωμάτιο όπου είναι εγκατεστημένη η δεξαμενή πρέπει να διαθέτει επαρκές άνοιγμα εξαερισμού εμβαδού τουλάχιστον 68.58 cm². Ανάλογα με το μέγεθος της δεξαμενής ή τη θέση του συστήματος εφοδιασμού θα χρειαστεί έως και δύο σωλήνες πληρώσεως για την πλήρωση της δεξαμενής ομοιόμορφα. Άρα για την εγκατάσταση του λέβητα βιομάζας και του χώρου αποθήκευσης των pellets απαιτείται επιφάνεια περίπου 69 m². [31]

Ενδιαφέρουσα είναι η σύγκριση της τιμής των συσσωματωμάτων με την αντίστοιχη τιμή του πετρελαίου θέρμανσης που θα χρειαζόταν για την κάλυψη των αναγκών με έναν συμβατικό λέβητα. Η λογική της σύγκρισης βασίζεται στην θερμογόνο ικανότητα του πετρελαίου και έχει ως εξής: Η θερμογόνο ικανότητα του πετρελαίου θέρμανσης είναι $10.250 \text{ kcal/kg} = 42.89 \text{ MJ/kg}$. Αντίστοιχα των συσσωματωμάτων ξύλου είναι 18 MJ/kg . Ο λόγος των δύο αυτών αριθμών μας δείχνει ότι το πετρέλαιο είναι 2.382 φορές καλύτερο σε απόδοση από ότι τα συσσωματώματα. [31]

5.4.3.3 Χρήσεις

Η τεχνολογική εξέλιξη όσον αφορά τους μικρούς καυστήρες συσσωματωμάτων βιομάζας στα κατοικημένα κτήρια έχει κάνει μεγάλα βήματα κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Συστήματα κεντρικής θέρμανσης βιομάζας με πλήρως αυτόματη τροφοδοσία στους καυστήρες με συσσωματώματα βιομάζας (pellets) μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε πυκνοκατοικημένες περιοχές με την ίδια ευκολία που χρησιμοποιούνται τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Τα συσσωματώματα βιομάζας χρησιμοποιούνται:

1. Σε μεγάλης κλίμακας κεντρικά συστήματα θέρμανσης: Αυτή η εφαρμογή υπάρχει στη Σουηδία λόγω της χαμηλού κόστους των συσσωματωμάτων βιομάζας και λόγω του χαμηλού έως μεσαίου κόστους των συμβατικών καυσίμων στη βιομηχανία (πετρελαίου, φυσικού αερίου). Όσον αφορά τις μεγάλες μονάδες υπάρχει υψηλός και κρίσιμος ανταγωνισμός μεταξύ των συσσωματωμάτων βιομάζας και των θρυμμάτων ξύλου.
2. Μεσαίου μεγέθους κλίμακας κεντρικά συστήματα θέρμανσης: Η κατάσταση στη Γερμανία και την Αυστρία είναι η ίδια και για της μεγάλης κλίμακας κεντρικές μονάδες θέρμανσης. Στη Βαυαρία υπάρχει μια μονάδα επίδειξης με παραγωγή 10 MW μέσα σε έναν θερμό ξηραντήρα αέρα.
3. Μικρής κλίμακας κεντρικά συστήματα θέρμανσης για τα κατοικημένα κτήρια (μικροδίκτυα): Στις περιοχές που υπάρχει φτωχός ανεφοδιασμός θρυμμάτων ξύλου και άχυρου, τα συσσωματώματα βιομάζας είναι οικονομικά βιώσιμα εάν η τιμή του πετρελαίου είναι κατά πολύ υψηλότερη. Ένα τεχνικό και οικονομικό πλεονέκτημα είναι ότι τα συσσωματώματα βιομάζας, μειώνουν την τεχνική πολυπλοκότητα της αποθήκευσης, της τροφοδοσίας και έτσι το κόστος μεταφοράς και επένδυσης μειώνονται.
4. Συστήματα κεντρικής θέρμανσης για ατομικές οικίες: Όπου οι τιμές του πετρελαίου είναι υψηλές τα συσσωματώματα βιομάζας μπορούν να ανταγωνιστούν την συμβατική ενέργεια. Όσο μικρότερη η μονάδα, τόσο μεγαλύτερο το πλεονέκτημα των φούρνων συσσωματωμάτων βιομάζας σε σύγκριση με τα κούτσουρα και την καύση των θρυμμάτων ξύλου. Πολλοί κατασκευαστές μικρών στοφών θρυμμάτων ξύλου για λεπτά θρύμματα ξύλου (με διάμετρο λιγότερο από 25 χιλ.) προσφέρουν ειδικούς φούρνους για τα συσσωματώματα βιομάζας ή και μετατροπές/προσαρμογές στους φούρνους θρυμμάτων ξύλου. Αυτό μειώνει την τεχνική πολυπλοκότητα της αποθήκευσης, τροφοδοσίας και μεταφοράς αφού τα συσσωματώματα βιομάζας έχουν τριπλάσια πυκνότητα και ρέουν ευκολότερα. Οι ιδιοκτήτες ξυλείας προτιμούν να χρησιμοποιήσουν το δικό τους υπόλειμμα ξύλου στις μονάδες καύσης κούτσουρων ή θρυμμάτων ξύλου. Μόνο όταν δεν έχουν αρκετό δικό τους υπόλειμμα ξύλου οδηγούνται στην αγορά συσσωματωμάτων βιομάζας (pellets). Υπάρχουν ειδικοί λέβητες συσσωματωμάτων βιομάζας, ως επί το πλείστον από τους Αυστριακούς και Γερμανούς κατασκευαστές.
5. Καπνοδόχους φούρνους και σόμπες: Η πρώτη σόμπα συσσωματωμάτων κατασκευάστηκε από τον Frank Whitfield και ήρθε στην Ευρώπη το 1983. Μερικά έτη αργότερα τα συσσωματώματα άχυρου άρχισαν να χρησιμοποιούνται ως βιολογικά καύσιμα στη Δανία σε μεγάλες εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης. Οι σόμπες που χρησιμοποιούν στερεά καύσιμα βιομάζας με την αυτόματη τροφοδοσία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο στα συσσωματώματα βιομάζας. Οι σόμπες για τη χαμηλή παραγωγή θερμότητας 5 έως 10 kW απαιτούνται στα ενεργειακά σπίτια για εξοικονόμηση ενέργειας (κυρίως στα ξύλινα σπίτια με καλή μόνωση). Με την ολοένα αυξανόμενη τιμή του πετρελαίου θα υπάρξει τεράστια ζήτηση για τις σόμπες συσσωματωμάτων βιομάζας. Το 1999 περίπου 1000 σόμπες συσσωματωμάτων πουλήθηκαν στη Γερμανία, κυρίως εισαγόμενες μονάδες. Συνολικά 300 μονάδες προήλθαν από τη γερμανική παραγωγή.

Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τύποι συστημάτων θέρμανσης κατάλληλοι για τα συσσωματώματα βιομάζας. Αυτά τα συστήματα θέρμανσης χρησιμοποιούν διαφορετικά συστήματα καύσης, όπως:

- Σόμπα συσσωματωμάτων βιομάζας (6 έως 10 kW) βασισμένη στο νερό ή όχι, για τα διαμερίσματα μιας οικογένειας, ειδικά στις χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης σπίτια.
- Μικροί λέβητες συσσωματωμάτων βιομάζας (7 έως 20 kW) για συστήματα κεντρικής θέρμανσης ενός ή δύο διαμερισμάτων σπίτια.
- Μέσου μεγέθους λέβητες συσσωματωμάτων βιομάζας (20 έως 50 kW) για πολυκατοικίες, μικρής κλίμακας κατοικημένης περιοχής με συστήματα κεντρικής θέρμανσης.
- Μεγάλης κλίμακας λέβητες (πάνω από 1MW) για πυκνοκατοικημένη περιοχή με συστήματα κεντρικής θέρμανσης. [31]

5.4.3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την χρήση των pellets

Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου - επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας. Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή. Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού. Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι) τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλιάνθος κ.ά.), και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.

Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας. Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας. Βάση των παραπάνω παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά, και αποθήκευση της βιομάζας που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης. Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων. [35]

5.5 Αντλίες θερμότητας

Η αντλία θερμότητας είναι μία συσκευή η οποία έχει την ικανότητα να απορροφά (να αντλεί) θερμότητα από πηγή χαμηλής θερμοκρασίας και να τη μεταφέρει σε έναν αποδέκτη υψηλότερης θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, κατά τη χειμερινή περίοδο η αντλία θερμότητας έχει την ικανότητα να μεταφέρει θερμότητα από τον ψυχρό εξωτερικό αέρα (0-15°C) σε ένα χώρο κατοίκησης (20°C), με σκοπό τη θέρμανση του χώρου. Επίσης κατά τη θερινή περίοδο η αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά θερμότητας από ένα χώρο κατοίκησης (26°C) προς το θερμότερο εξωτερικό αέρα (35°C), με σκοπό την ψύξη του χώρου. Συνήθως οι αντλίες θερμότητας είναι σχεδιασμένες κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να αντιστρέφουν την ψυκτική και τη θερμαντική τους λειτουργία. Αυτό επιτρέπει τη χρήση της ίδιας συσκευής για ψύξη και θέρμανση. Η λειτουργία των αντλιών θερμότητας βασίζεται σε ψυκτικούς κύκλους, με επικρατέστερο αυτόν της συμπίεσης ατμών ενός ψυκτικού ρευστού.

Για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας σύμφωνα με τον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμών είναι απαραίτητες οι παρακάτω συσκευές:

- ✓ Ο εξατμιστής: Είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας που βρίσκεται στο χώρο όπου είναι απαραίτητη η ψύξη ή στο μέσον από το οποίο απαιτείται η άντληση θερμότητας. Μέσα στον εξατμιστή, το ψυκτικό ρευστό σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία, απορροφά θερμότητα και εξατμίζεται.

- ✓ Ο συμπιεστής: Είναι μία συσκευή που αναρροφά τους ατμούς του ψυκτικού ρευστού από την έξοδο του εξατμιστή και αυξάνει την πίεση και τη θερμοκρασία τους. Ο συμπιεστής καταναλώνει μηχανικό έργο, που συνήθως προέρχεται από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- ✓ Ο συμπυκνωτής: Είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας που βρίσκεται στο χώρο όπου απαιτείται η θέρμανση ή στο μέσον στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα. Μέσα στο συμπυκνωτή, οι θερμοί ατμοί του ψυκτικού ρευστού αρχικά ψύχονται μέχρι μια ορισμένη θερμοκρασία και στη συνέχεια συμπυκνώνονται, αποβάλλοντας θερμότητα.
- ✓ Η εκτονωτική (στραγγαλιστική) βαλβίδα: Είναι μία συσκευή που μειώνει την υψηλή πίεση που επικρατεί στον συμπυκνωτή μέχρι τη χαμηλή πίεση που επικρατεί στον εξατμιστή.

Οι αντλίες θερμότητας, εκτός από τις παραπάνω τέσσερις βασικές συσκευές, περιέχουν και διάφορα άλλα εξαρτήματα, όργανα και συσκευές όπως π.χ. σωληνώσεις κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου, βαλβίδες, φίλτρα, αφυγραντήρες, όργανα αυτοματισμού και ελέγχου, καλωδιώσεις κλπ. Το ιδιαίτερο πλεονέκτημα των αντλιών θερμότητας είναι ότι χρησιμοποιούν όλες τις διαθέσιμες πηγές θερμότητας του περιβάλλοντος που είναι το νερό, το έδαφος, ο αέρας και ο ήλιος. Οι τρεις πρώτες πηγές είναι αποθήκες ηλιακής ακτινοβολίας. Ως αποδέκτες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ο αέρας, το νερό και το έδαφος.

Οι αντλίες θερμότητας για τη ψύξη και θέρμανση των κτηρίων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με: (α) την πηγή και τον αποδέκτη θερμότητας, (β) την ισχύ και (γ) την κατασκευή. Ανάλογα με την πηγή και τον αποδέκτη θερμότητας, οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται σε αέρα-αέρα, αέρα-νερού, νερού-αέρα, νερού-νερού, εδάφους-νερού και εδάφους-αέρα. Ανάλογα με την ισχύ τους οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται σε μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, ενώ ανάλογα με την κατασκευή τους, οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται σε ενιαίου (packaged) και διαιρούμενου τύπου (split). Οι ενιαίου τύπου περιέχουν όλα τα κατασκευαστικά τους μέρη τοποθετημένα μέσα σε μια μονάδα. Οι διαιρούμενου τύπου αντλίες θερμότητας αποτελούνται από δύο ανεξάρτητες μονάδες, που συνδέονται μεταξύ τους μέσω χαλκοσωλήνων. [27]

5.6 Συστήματα ψύξης

Τα ψυκτικά συστήματα είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό και παράγουν ψυχρό νερό, εργαζόμενοι με βάση τους ψυκτικούς κύκλους: (α) συμπίεσης ατμών και (β) απορρόφησης ή προσρόφησης. Τα ψυκτικά συστήματα (ψύκτες) που λειτουργούν με βάση τον κύκλο συμπίεσης ατμών περιλαμβάνουν ένα πλήρες ψυκτικό κύκλωμα, το οποίο αποτελείται από το συμπιεστή, τον εξατμιστή, το συμπυκνωτή, τη μονάδα κίνησης του συμπιεστή, τη διάταξη εκτόνωσης του ψυκτικού ρευστού ή το σύστημα ελέγχου της ροής και τη μονάδα ελέγχου. Ο ψύκτης μπορεί επίσης να περιλαμβάνει οικονομητήρα, τουρμπίνα εκτόνωσης και διάταξη υπόψυξης. Επιπλέον, ανάλογα με την τεχνολογία χρησιμοποιούνται και βοηθητικά εξαρτήματα όπως ψυγείο λιπαντικού μέσου, διαχωριστή λιπαντικού-ψυκτικού ρευστού, αντλία λιπαντικού, διάταξη απομάκρυνσης της υγρασίας του λιπαντικού, λιπαντικές βαλβίδες, συμπληρωματικές διατάξεις ελέγχου, κ.α.

Το μέσο που ψύχεται (συνήθως το νερό) εισέρχεται στον εξατμιστή της μονάδας όπου το ψυκτικό ρευστό απορροφά θερμότητα από το ψυχόμενο μέσο και εξατμίζεται σε χαμηλή θερμοκρασία. Στη συνέχεια το αέριο ψυκτικό ρευστό εισέρχεται στο συμπιεστή όπου αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία του έτσι ώστε στη συνέχεια να ψυχθεί και να αποδώσει θερμότητα στο συμπυκνωτή της μονάδας. Μετά την έξοδό του από το συμπυκνωτή το υγρό ψυκτικό ρευστό εισέρχεται στην εκτονωτική διάταξη η οποία μειώνει την πίεσή του και το οδηγεί πίσω στον εξατμιστή για την έναρξη ενός νέου κύκλου ψύξης.

Ανάλογα με το φορέα απόρριψης της θερμότητας στο συμπυκνωτή οι ψύκτες διακρίνονται σε: (α) υδρόψυκτους, όταν η θερμότητα απορρίπτεται σε ένα κύκλωμα νερού-πύργου ψύξης, και (β) αερόψυκτους όταν η θερμότητα του συμπυκνωτή απορρίπτεται απευθείας στον ατμοσφαιρικό αέρα. Σύγχρονοι ψύκτες της τεχνολογίας αυτής, έχουν τη δυνατότητα, με κατάλληλη αναστροφή του λειτουργικού τους κύκλου, να εργαστούν και ως συσκευές παραγωγής θερμότητας.

Η αρχή λειτουργίας των ψυκτών απορρόφησης ή προσρόφησης βασίζεται στην ιδιότητα ορισμένων ουσιών να απορροφούν ή να προσροφούν αντίστοιχα ποσότητες ψυκτικού ρευστού σε χαμηλές πιέσεις και θερμοκρασίες και να το αποδίδουν σε υψηλές θερμοκρασίες. Στους ψύκτες αυτούς ο μηχανικός συμπιεστής αντικαθίστανται από μια διάταξη θερμικής συμπίεσης. Τα ψυκτικά μηχανήματα απορρόφησης χρησιμοποιούν ως ψυκτικό ρευστό το

βρωμιούχο λίθιο (LiBr), την αμμωνία (NH₃) και το χλωριούχο λίθιο (LiCl), ενώ ως φορέα ψύξης το νερό (H₂O). [27]

5.6.1 Συστήματα κλιματισμού

Τα συστήματα κλιματισμού, ανάλογα με τον βαθμό επεξεργασίας του αέρα, μπορούν να διακριθούν σε:

- Συστήματα αερισμού-εξαερισμού. Τα συστήματα αυτά προσάγουν ή/και απάγουν αέρα από τους χώρους και εξασφαλίζουν την ανανέωσή του. Περιλαμβάνουν έναν ανεμιστήρα απαγωγής ή/και έναν ανεμιστήρα προσαγωγής αέρα, οι οποίοι εγκαθίστανται είτε τοπικά είτε κεντρικά. Στην περίπτωση κεντρικής τοποθέτησης εγκαθίσταται παράλληλα και το απαιτούμενο δίκτυο αεραγωγών.
- Συστήματα μερικού κλιματισμού. Εκτός από την ανανέωση του αέρα, παρέχουν και μερική επεξεργασία του που περιλαμβάνει κυρίως τον καθαρισμό και τη θέρμανση ή ψύξη του αέρα.
- Συστήματα πλήρους κλιματισμού. Τα συστήματα αυτά εξασφαλίζουν τη διατήρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας ενός χώρου μέσα σε προκαθορισμένα όρια και περιλαμβάνουν διατάξεις για τον καθαρισμό, τη θέρμανση, την ψύξη, την ύγρανση, την αφύγρανση και την ανανέωση του αέρα, καθώς και τοπικές ή κεντρικές διατάξεις αυτόματης ρύθμισης της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ανανέωσης του αέρα.

Με κριτήριο τη θέση των συσκευών κλιματισμού ως προς τον κλιματιζόμενο χώρο και το μέγεθος του συστήματος, διακρίνονται τρεις βασικές κατηγορίες συστημάτων που είναι: (α) τα κεντρικά, (β) τα ημικεντρικά, και (γ) τα τοπικά. Συγχρόνως με κριτήριο το μέσο μεταφοράς της ενέργειας στους κλιματιζόμενους χώρους τα συστήματα κλιματισμού διακρίνονται σε: (α) συστήματα με αέρα, (β) συστήματα με νερό, (γ) συστήματα με αέρα και νερό.

Στα συστήματα κλιματισμού με αέρα ο φορέας μεταφοράς της ενέργειας είναι ο αέρας. Ο κλιματισμένος αέρας παρασκευάζεται στην κεντρική κλιματιστική μονάδα και μεταφέρεται με τη βοήθεια δικτύου αεραγωγών στους κλιματιζόμενους χώρους. Η κεντρική μονάδα κλιματισμού αναρροφά αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον τον οποίο σε ορισμένες περιπτώσεις δύναται να τον αναμίξει με ποσότητα αέρα που επιστρέφει από το κτήριο (ανακυκλοφορία). Στη συνέχεια ο αέρας φιλτράρεται και ακολουθεί η επεξεργασία του, δηλαδή η θέρμανση, ψύξη, ύγρανση, αφύγρανση κλπ., ανάλογα με τις επιθυμητές συνθήκες των χώρων, και οδηγείται μέσω του ανεμιστήρα και των αεραγωγών διανομής στους κλιματιζόμενους χώρους. Η θέρμανση του αέρα γίνεται με θερμό νερό, το οποίο παρασκευάζεται σε λέβητα-καυστήρα ή αντλία θερμότητας και προσάγεται στους εναλλάκτες αέρα-νερού (θερμαντικά στοιχεία) της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας. Η ύγρανση του αέρα γίνεται από κατάλληλες συσκευές, τους υγραντήρες, οι οποίοι διοχετεύουν νερό ή ατμό στην κεντρική μονάδα κλιματισμού. Η ψύξη και η αφύγρανση του αέρα γίνεται με ψυχρό νερό, το οποίο παρασκευάζεται σε ψύκτη και οδηγείται σε εναλλάκτες αέρα-νερού (ψυκτικά στοιχεία) της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας.

Τα συστήματα κλιματισμού με νερό χρησιμοποιούν το νερό ως φορέα μεταφοράς της ενέργειας. Το ψυχρό νερό παρασκευάζεται σε ψυκτικές μονάδες (υδρόψυκτες ή αερόψυκτες) και το θερμό νερό σε λέβητες. Το θερμό/ψυχρό νερό μεταφέρεται σε τερματικές συσκευές ανεμιστήρα (fan-coils), με τη βοήθεια αντλιών. Ο έλεγχος των συνθηκών του αέρα γίνεται με την κυκλοφορία του αέρα των χώρων μέσα από τις τερματικές συσκευές, στις οποίες κυκλοφορεί το θερμό ή ψυχρό νερό. Οι τερματικές συσκευές περιλαμβάνουν θερμαντικό/ψυκτικό στοιχείο και ανεμιστήρα ρυθμιζόμενης ταχύτητας για την εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα. Επίσης, κάθε τερματική συσκευή είναι εφοδιασμένη με θερμοστάτη χώρου, μέσω του οποίου ρυθμίζεται η λειτουργία της συσκευής. [27]

5.6.2 Εναλλακτικά συστήματα ψύξης – κλιματισμού

5.6.2.1 Εξατμιστική ψύξη

Η εξατμιστική ψύξη βασίζεται στη δυνατότητα του αέρα (όταν δεν βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού), όπου όταν έλθει σε επαφή με μια υγρή επιφάνεια, να εξατμίζει μικρή ποσότητα του νερού, υπό την προϋπόθεση ότι η θερμοκρασία του νερού είναι υψηλότερη από το σημείο δρόσου του αέρα. Η απαιτούμενη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού προσφέρεται (μερικώς) και από τον αέρα, του οποίου έτσι η θερμοκρασία μειώνεται. Ταυτόχρονα όμως, το περιεχόμενο υγρασίας του αέρα αυξάνεται.

- Άμεση εξατμιστική ψύξη:

Ο αέρας έρχεται σε άμεση επαφή με υγρή επιφάνεια ή με ψεκαζόμενο νερό, οπότε ψύχεται και υγραίνεται και προσάγεται στο χώρο για παραλαβή ψυκτικού φορτίου. Η άμεση εξατμιστική ψύξη μπορεί να εφαρμοσθεί για συνθήκη κλιματισμού (επίτευξη άνεσης) κατοικιών ή κτηρίων τριτογενούς τομέα, μόνο σε θερμά και ξηρά κλίματα.

- Έμμεση εξατμιστική ψύξη:

Ένα ρεύμα αέρα (πρωτεύον) ψύχεται και υγραίνεται, με άμεση εξατμιστική ψύξη, αλλά δεν προσάγεται σ' αυτή την κατάσταση στο χώρο. Διέρχεται από έναν εναλλάκτη αέρα-αέρα, όπου ψύχει την παροχή του αέρα που κυκλοφορεί στον κλιματιζόμενο χώρο (δευτερεύον). Έτσι, η υγρασία του αέρα προσαγωγής παραμένει σταθερή, ενώ η θερμοκρασία του μειώνεται και προσάγεται στο χώρο για παραλαβή ψυκτικού φορτίου. Αυτό το σύστημα εξατμιστικής ψύξης ενδείκνυται και για υγρά κλίματα.

- Συνδυασμένα συστήματα εξατμιστικής ψύξης

Συστήματα άμεσης - έμμεσης εξατμιστικής ψύξης μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους (πολυβάθμια) ώστε να επιτευχθεί μια αξιοσημείωτη μείωση της θερμοκρασίας χωρίς υπερβολική αύξηση της υγρασίας. Επίσης μπορούν να συνδυαστούν και με συμβατικά συστήματα ψύξης - κλιματισμού, για τη βελτίωση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης της εγκατάστασης. Π.χ. μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προ-ψυχθεί ο απαιτούμενος νωπός αέρας πριν εισέλθει σε μια κλιματιστική συσκευή.

Η εξατμιστική ψύξη ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά, λόγω της πολύ χαμηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά απαιτεί διαθεσιμότητα νερού. Είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα για τη μείωση της θερμοκρασίας σε βιομηχανικούς χώρους με σημαντικά θερμικά κέρδη, των οποίων η αντιμετώπιση με συμβατικά συστήματα κλιματισμού θα ήταν πολύ δαπανηρή. Συνήθως απαιτεί μεγάλες παροχές αέρα, πράγμα που είναι επιθυμητό για την κάλυψη των απαιτήσεων αερισμού των χώρων.

5.7 Φυσικός αερισμός κτιρίων

Ο αερισμός θεωρείται μία αποτελεσματική τεχνική δροσισμού. Ένας από τους ρόλους του είναι η απομάκρυνση της θερμότητας που εγκλωβίζεται στο εσωτερικό ενός κτηρίου και η οποία προέρχεται από τα ηλιακά κέρδη και την παραγωγή αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας από μηχανήματα, φώτα και ανθρώπους. Συνεπώς, με κατάλληλη χρήση του αερισμού επιτυγχάνεται μείωση του ψυκτικού φορτίου των κτηρίων. Αυτό είναι άμεσα δυνατό μόνο όταν ο εξωτερικός αέρας έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από τον εσωτερικό και η υγρασία του καθώς και η ποιότητά του είναι σε αποδεκτά επίπεδα.

5.7.1 Νυχτερινός Αερισμός

Η τεχνική του νυχτερινού αερισμού αποδεικνύεται πολύ αποδοτική ιδιαίτερα στην περίπτωση κτηρίων με υψηλή θερμική μάζα και εφόσον η θερμοκρασία περιβάλλοντος στην περιοχή όπου βρίσκεται το κτήριο παρουσιάζει μεγάλη ημερήσια διακύμανση. Κατά τη διάρκεια του νυκτερινού αερισμού, ο εξωτερικός αέρας με χαμηλή θερμοκρασία κυκλοφορεί στο εσωτερικό του χώρου, απάγοντας θερμότητα με μεταφορά από τις επιφάνειες των δομικών στοιχείων και ψύχοντας έτσι τη θερμική μάζα του χώρου. Η θερμική μάζα, λόγω μεγάλης θερμοχωρητικότητας, διατηρεί τη χαμηλή της θερμοκρασία για αρκετό χρόνο την επόμενη μέρα, ψύχοντας το χώρο για όσο χρόνο η θερμοκρασία της παραμένει χαμηλότερη από εκείνη του εσωτερικού αέρα του χώρου. Με την τεχνική αυτή περιορίζονται οι ώρες υπερθέρμανσης του κτηρίου και μειώνεται ή μετατοπίζεται η μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος. Ο νυκτερινός αερισμός γίνεται με φυσικό ή μηχανικό τρόπο:

- ✓ Φυσικός Νυχτερινός Αερισμός: Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει οικονομικό κόστος, αλλά ενδέχεται να τίθενται προβλήματα ασφάλειας ή λειτουργικά, εξαιτίας της έλλειψης ελέγχου και προσαρμογής των ανοιγμάτων ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες ταχύτητας του ανέμου. Για την αντιμετώπιση των

προβλημάτων αυτών έχουν μέχρι σήμερα προταθεί και εφαρμοστεί διάφορες τεχνικές. Αν ο φυσικός αερισμός δεν μπορεί να επιτευχθεί με φυσικό τρόπο, συνίσταται η χρήση μηχανικού αερισμού (free cooling).

- ✓ Μηχανικός Νυχτερινός Αερισμός: Σε περίπτωση που οι εξωτερικές συνθήκες δεν επιτρέπουν τη χρήση φυσικού νυχτερινού αερισμού όπως, για παράδειγμα, υπό συνθήκες υψηλής εξωτερικής υγρασίας, ένας χώρος είναι δυνατόν να προ-ψυχθεί με κλιματιστικό σύστημα σε ώρες εκτός περιόδου αιχμής. Έχει βρεθεί ότι η εφαρμογή της τεχνικής του νυχτερινού αερισμού οδηγεί σε μείωση του συνολικού ψυκτικού φορτίου κλιματιζόμενων κτηρίων έως και 30%.

5.8 Ανεμιστήρες Οροφής

Οι ανεμιστήρες οροφής είναι από τις πλέον επιτυχημένες και απλές τεχνικές υβριδικού δροσισμού. Σε μη κλιματιζόμενους χώρους οι ανεμιστήρες οροφής βελτιώνουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης προκαλώντας την κυκλοφορία του εσωτερικού αέρα με ταχύτητα 0.5 – 0.8 m/s. Οι ανεμιστήρες οροφής μπορούν να εγκατασταθούν και σε κλιματιζόμενους χώρους, επιτρέποντας έτσι την ρύθμιση του θερμοστάτη ελέγχου της λειτουργίας των κλιματιστικών μονάδων σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Η εγκατάσταση των ανεμιστήρων οροφής μπορεί να γίνει πρακτικά σε όλους τους χώρους των κτηρίων. Η ηλεκτρική κατανάλωσή τους είναι σχετικά μικρή (συνήθως ισχύς κινητήρα ~50 W), αλλά ταυτόχρονα προκύπτει σημαντικό όφελος από την βελτίωση των εσωτερικών συνθηκών θερμικής άνεσης. Ανεβάζοντας την θερμοκρασία του θερμοστάτη μόνο 1-2°C, η μέση ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας για δροσισμό φτάνει μέχρι 14%, λαμβάνοντας υπόψη και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία του ανεμιστήρα και την πρόσθετη θερμότητα που αποβάλλει ο κινητήρας του. Η εξοικονόμηση ενέργειας περιορίζεται σε 2.6%, εάν η ρύθμιση του θερμοστάτη είναι μόνο 0.5°C. Εάν ο θερμοστάτης του χώρου δεν ρυθμιστεί καθόλου, αν και χρησιμοποιούνται οι ανεμιστήρες οροφής, τότε η κατανάλωση ενέργειας για τον δροσισμό μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 15%, ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας [Sonne et al 1996]. Συνεπώς, ανάλογα με τη χρήση των χώρων όπου είναι εγκατεστημένοι οι ανεμιστήρες οροφής, πρέπει να ρυθμίζεται η λειτουργία των ανεμιστήρων και ο θερμοστάτης της κλιματιστικής μονάδας, εάν υπάρχει.

Οι συνηθισμένοι ανεμιστήρες οροφής είναι αποτελεσματικοί σε μια ακτίνα από 1.2m – 1.8 m από το κέντρο του ανεμιστήρα. Η κυκλοφορία του αέρα και η ταχύτητα του αέρα που θα επιτευχθεί μέσα σε ένα χώρο εξαρτάται από το μήκος των περυγίων του ανεμιστήρα, το ύψος ανάρτησής του και την διαρρύθμιση του χώρου. Οι πιο αποδοτικοί ανεμιστήρες, με ειδικά περύγια, μπορούν να καλύψουν μια ακτίνα από 2.4 – 3.0 m. Για την μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητάς τους, οι ανεμιστήρες πρέπει να αναρτώνται όσο το δυνατόν πιο χαμηλά, αλλά ποτέ σε μικρότερο ύψος από 2.1 m πάνω από το δάπεδο. Συνήθως, ένας ανεμιστήρας οροφής μπορεί να καλύψει ένα τυπικό δωμάτιο, με μήκος μέχρι 5.5 m. Για μεγαλύτερους χώρους, απλά χρησιμοποιούνται περισσότεροι ανεμιστήρες. Η θέση του ανεμιστήρα επιλέγεται ανάλογα με την διαρρύθμιση και την χρήση του χώρου, έτσι ώστε η κυκλοφορία του αέρα να είναι στο άμεσο περιβάλλον των ατόμων που βρίσκονται μέσα στον χώρο.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα υπολογισμών για τα Ελληνικά κτήρια του τριτογενή τομέα, το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας για ψύξη, από τη χρήση ανεμιστήρων οροφής στο 50% των κτηρίων τα οποία κλιματίζονται παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα [Λάλας 2002]:

Πίνακας 25: Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια

	Εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη (GWh)	Ποσοστό κάλυψης διαθέσιμης επιφάνειας κτιρίων
Γραφεία/ εμπορικά	295.8	50
Ξενοδοχεία	257.4	70
Σχολεία	27	80
Νοσοκομεία	33.2	60

6.1 Ελάχιστες απαιτήσεις και προδιαγραφές κτηρίων

Τον Απρίλιο του 2010 εκδόθηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων με την κοινή υπουργική απόφαση αριθμ. Δ6/Β/οικ.5825/2010 «Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)» (Φ.Ε.Κ. Β' 407). Οι βασικότερες ρυθμίσεις του κανονισμού είναι:

- ✓ Ορίζεται η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης και ενεργειακής κατάταξης των κτηρίων (άρθρα 4 και 5). Η μεθοδολογία βασίζεται στα σχετικά ευρωπαϊκά πρότυπα που μέσω της αναθεώρησης της κοινοτικής οδηγίας (31/2010) είναι πλέον υποχρεωτικά.
- ✓ Καθορίζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις (kWh/m^2) για την ενεργειακή απόδοση και ενεργειακή κατάταξη των νέων και ριζικώς ανακαινιζόμενων κτηρίων μέσω της μεθοδολογίας του κτηρίου αναφοράς (άρθρα 7 και 13). Με την ίδια μεθοδολογία αξιολογούνται και κατατάσσονται ενεργειακά και τα υφιστάμενα προς πιστοποίηση κτήρια.
- ✓ Καθορίζονται οι ελάχιστες προδιαγραφές για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους και οι τεχνικές προδιαγραφές των Η/Μ εγκαταστάσεων των υπό μελέτη νέων κτηρίων, καθώς και των ριζικώς ανακαινιζόμενων (άρθρο 8).
- ✓ Ορίζεται το περιεχόμενο της μελέτης της ενεργειακής απόδοσης (Μ.Ε.Α) των κτηρίων (άρθρο 11). Η Μ.Ε.Α. συνοποβάλλεται μαζί με άλλες σχετικές μελέτες για την έκδοση οικοδομικής άδειας.
- ✓ Καθορίζεται η μορφή του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (Π.Ε.Α.) κτηρίου, καθώς και τα στοιχεία που αυτό θα περιλαμβάνει (άρθρο 14).
- ✓ Καθορίζεται η διαδικασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτηρίων, καθώς και η διαδικασία των επιθεωρήσεων λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού (άρθρα 15,16 και 17).

Με το άρθρο 7 και 8 του Κ.Εν.Α.Κ. ορίζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις και προδιαγραφές για όλα τα νέα και ριζικώς ανακαινιζόμενα κτήρια, τα οποία δεν υπάγονται στις εξαιρέσεις του άρθρου 11 του ν. 3661/2008. Οι ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης ικανοποιούνται όταν:

- ✓ Το κτήριο πληρεί όλες τις ελάχιστες προδιαγραφές που περιγράφονται στο άρθρο 8 του Κ.Εν.Α.Κ.
- ✓ Η συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m^2) του εξεταζόμενου κτηρίου είναι μικρότερη ή ίση της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου αναφοράς, όπως αυτό περιγράφεται στο άρθρο 9 του Κ.Εν.Α.Κ.. Δηλαδή το κτήριο κατατάσσεται σε ενεργειακή κατηγορία Β ή καλύτερη. Εναλλακτικά το εξεταζόμενο κτήριο θα πρέπει να έχει τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά με το κτήριο αναφοράς τόσο ως προς το κτηριακό κέλυφος, όσο και ως προς τις ηλεκτρομηχανολογικές του εγκαταστάσεις στο σύνολό τους

Ειδικότερα για τα υφιστάμενα κτήρια που ανακαινίζονται ριζικώς, σύμφωνα με αυτά που ορίζονται στο άρθρο 5 του ν. 3661, όπως αυτό τροποποιήθηκε με το άρθρο 10 (παράγραφος 4) του ν. 3851/2010 και όπως αναφέρεται και στο άρθρο 7 (ενότητα 1) του Κ.Εν.Α.Κ., η υποχρέωση συμμόρφωσης ως προς την ενεργειακή κατηγορία Β γίνεται στο βαθμό που αυτό είναι τεχνικά, λειτουργικά και οικονομικά εφικτό, κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης, που θα περιλαμβάνεται στη μελέτη ενεργειακής απόδοσης. Οι ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές του άρθρου 8 του Κ.Εν.Α.Κ., θα πρέπει υποχρεωτικά να εφαρμόζονται και να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό του κτηρίου και την εκπόνηση της μελέτης ενεργειακής απόδοσης. Στην περίπτωση αδυναμίας εφαρμογής των ελάχιστων προδιαγραφών θα πρέπει να υπάρχει επαρκής τεκμηρίωση κατά την σύνταξη της μελέτης ενεργειακής απόδοσης. Για τα κτήρια που προστατεύονται από ειδικές πολεοδομικές διατάξεις και όρους δόμησης (π.χ. κτήρια παραδοσιακών οικισμών) οι ελάχιστες προδιαγραφές εφαρμόζονται στο βαθμό που αυτό είναι εφικτό.

Οι ελάχιστες προδιαγραφές εφαρμόζονται:

- ✓ Κατά τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτηρίου, με στόχο να περιοριστούν στο ελάχιστο οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου για θέρμανση και ψύξη και σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ κατά το σχεδιασμό θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η χωροθέτηση του κτηρίου στο οικόπεδο, η ενσωμάτωση τουλάχιστον ενός

παθητικού ηλιακού συστήματος, η ηλιοπροστασία του κτηρίου, η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού, κ.ά., όπως ορίζονται στην παράγραφο 1 του άρθρου 8 του Κ.Εν.Α.Κ.

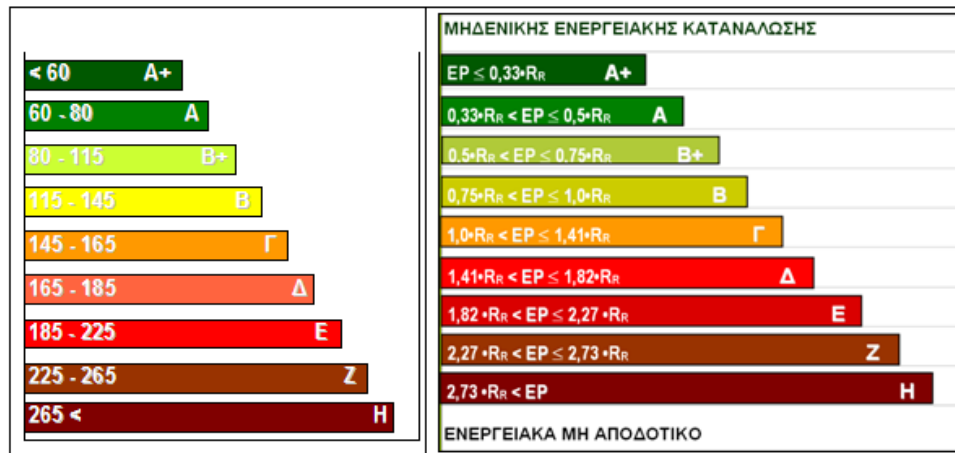
- ✓ Στη θερμική θωράκιση του κτηριακού κελύφους με την εφαρμογή κατάλληλης θερμομόνωσης στα αδιαφανή δομικά στοιχεία και την εφαρμογή κατάλληλων ενεργειακά αποδοτικών κουφωμάτων, ώστε τόσο οι επιμέρους τιμές για κάθε δομικό στοιχείο, όσο και η τιμή του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας (U_m) να μην υπερβαίνουν τα όρια που ορίζονται στην παράγραφο 2 του άρθρου 8 του Κ.Εν.Α.Κ.
- ✓ Κατά το σχεδιασμό και την εγκατάσταση ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων για την θέρμανση, την ψύξη, τον αερισμό, το φωτισμό και το Ζ.Ν.Χ. και ορίζονται ως τεχνικές προδιαγραφές στην παράγραφο 3 του άρθρου 8 του Κ.Εν.Α.Κ.

6.2 Κτήριο αναφοράς

Ο καθορισμός των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης (kWh/m²/έτος) ενός κτηρίου, όπως ορίζει η ευρωπαϊκή οδηγία 91/2002 και ο νόμος 3661/2008, μπορεί να γίνει κυρίως με δύο μεθόδους: είτε μέσω τιμών αναφοράς, είτε μέσω του κτηρίου αναφοράς. Και στις δύο περιπτώσεις διαμορφώνονται (διαβαθμίζονται) οι ενεργειακές κατηγορίες A+, A, B+, B, Γ κ.τ.λ. για κάθε χρήση κτηρίου (κατοικιών γραφείων, ξενοδοχείων, σχολείων, κ.ά.) και για κάθε κλιματική ζώνη, (τέσσερις συνολικά για την Ελλάδα).

Στην περίπτωση των τιμών αναφοράς (Εικόνα 31, αριστερά), οι κατηγορίες ενεργειακής ταξινόμησης καθορίζονται από έναν εύρος τιμών τελικής κατανάλωσης ενέργειας (kWh/m²/έτος) για κάθε χρήση κτηρίου και κλιματική ζώνη. Στην περίπτωση του κτηρίου αναφοράς (Εικόνα 31, δεξιά) το υπό εξέταση κτήριο (νέο ή ανακαινιζόμενο) συγκρίνεται με το κτήριο αναφοράς, το οποίο καταλαμβάνει πάντα τη θέση B. Η τελική πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (kWh/m²/έτος) του κτηρίου αναφοράς καθορίζει και την κατανάλωση της κατηγορίας B, ενώ οι υπόλοιπες κατηγορίες σχηματίζονται ως ποσοστά της κατανάλωσης του κτηρίου αναφοράς.

Ο καθορισμός των ελάχιστων απαιτήσεων μέσω του κτηρίου αναφοράς, είναι μια μέθοδος σύγκρισης και αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης του εξεταζόμενου κτηρίου, ως προς το όμοιο κτήριο του. Το κτήριο αναφοράς έχει τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, την ίδια θέση, τον ίδιο προσανατολισμό, την ίδια χρήση και τα ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτήριο. Το κτήριο αναφοράς πληρεί τις ελάχιστες προδιαγραφές (άρθρο 8 του Κ.Εν.Α.Κ.) και έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά τόσο στα εξωτερικά δομικά στοιχεία του κτηριακού κελύφους του, όσο και στις Η/Μ εγκαταστάσεις, που αφορούν στη θέρμανση, στην ψύξη και στον κλιματισμό των εσωτερικών χώρων, στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.) και στο φωτισμό (για τα κτήρια του τριτογενούς τομέα).



Εικόνα 21: Σχηματική απεικόνιση ενεργειακών κατηγοριών για τιμές αναφοράς και κτήριο αναφοράς

Η μέθοδος του κτηρίου αναφοράς εφαρμόζεται σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες με διάφορες παραλλαγές, ανάλογα με τον τρόπο που ορίζεται στην κάθε περίπτωση. Στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες στις οποίες οι ενεργειακές επιθεωρήσεις έχουν ήδη προχωρήσει και υπάρχει σημαντικό δείγμα καταγεγραμμένων κτηρίων, έχουν ήδη προσδιορίσει και τις τιμές αναφοράς για κάθε χρήση κτηρίου και κλιματική ζώνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε

ορισμένες χώρες οι ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης (kWh/m²/έτος) που πρέπει να πληρούν τα νέα κτήρια, να ελέγχονται και ως προς το κτήριο αναφοράς, αλλά και ως προς καθορισμένες τιμές αναφοράς ανά χρήση. Δηλαδή για τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης εφαρμόζεται διπλός έλεγχος.

Στην Ελλάδα, οι τιμές αναφοράς για κάθε χρήση κτηρίου και κλιματική ζώνη αναμένεται να καθοριστούν σε εθνικό επίπεδο, μετά την καταγραφή και συγκέντρωση δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας από ένα σημαντικό δείγμα κτηρίων. Η συγκέντρωση αυτών των δεδομένων γίνεται κατά τη διενέργεια ενεργειακών επιθεωρήσεων των ελληνικών κτηρίων. Όλα τα νέα και ριζικώς ανακαινιζόμενα κτήρια πρέπει να έχουν ενεργειακή κατάσταση ίδια ή καλύτερη από την κατηγορία Β. Ιδιαίτερα για τα υφιστάμενα κτήρια που ανακαινίζονται ριζικώς και σύμφωνα με αυτά που ορίζονται στο άρθρο 5 του ν. 3661 και όπως αναφέρεται και στο άρθρο 7 του Κ.Εν.Α.Κ., η υποχρέωση συμμόρφωσης ως προς την ενεργειακή κατηγορία Β γίνεται στο βαθμό που αυτό είναι τεχνικά, λειτουργικά και οικονομικά εφικτό, κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης που θα περιλαμβάνεται στη μελέτη ενεργειακής απόδοσης.

Από τη μέχρι σήμερα καταγραφή υφιστάμενων κτηρίων κατοικιών (νέων και παλαιών), η ενεργειακή κατάσταση των κτηρίων ανάλογα την χρονολογία κατασκευής διαμορφώνεται ως εξής:

- ✓ Τα νέα κτήρια που κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τις διατάξεις του Κ.Εν.Α.Κ., εντάσσονται κυρίως στην ενεργειακή κατηγορία Β και σε κάποιες περιπτώσεις στην κατηγορία Β+.
- ✓ Τα υφιστάμενα κτήρια που κατασκευάστηκαν μετά το 1979, οπότε και άρχισε να ισχύει ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτηρίων, εντάσσονται κυρίως μεταξύ των ενεργειακών κατηγοριών Γ, Δ, Ε και Ζ, ανάλογα με το βαθμό, στον οποίο είχαν εφαρμοστεί οι απαιτήσεις θερμικής προστασίας του κτηρίου και ανάλογα με την κατάσταση των υφιστάμενων Η/Μ εγκαταστάσεων.
- ✓ Τα υφιστάμενα κτήρια που κατασκευάστηκαν πριν από το 1979, δηλαδή πριν από την έναρξη ισχύος του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτηρίων, εντάσσονται κυρίως μεταξύ των ενεργειακών κατηγοριών Ζ και Η, ανάλογα με την ποιότητα κατασκευής του κτηριακού κελύφους και την κατάσταση των υφιστάμενων Η/Μ εγκαταστάσεων.

6.3 Ενεργειακή μελέτη

Στο άρθρο 10 του ν. 3661/2008, αναφέρεται ότι από την έναρξη ισχύος των διατάξεων του Κ.Εν.Α.Κ., κάθε οικοδομική άδεια ανέγερσης νέου ή ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτηρίου κατά την έννοια του ν. 3661/2008 χορηγείται μόνο μετά την υποβολή μελέτης για την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου στην αρμόδια πολεοδομική υπηρεσία, όπως αυτή ορίζεται στον Κ.Εν.Α.Κ. σύμφωνα με την παράγραφο 1 του άρθρου 3 του νόμου. Επίσης το άρθρο 10 του ίδιου νόμου, αναφέρει ότι η μελέτη ενεργειακής απόδοσης (Μ.Ε.Α) πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, σύμφωνα με τις διατάξεις του κανονισμού. Ο έλεγχος, η έγκριση και η παρακολούθηση της εφαρμογής της ενεργειακής μελέτης γίνεται σύμφωνα με τα ισχύοντα για την έκδοση οικοδομικών αδειών.

Στο άρθρο 11 του Κ.Εν.Α.Κ. αναφέρονται τα περιεχόμενα της μελέτης ενεργειακής απόδοσης κτηρίου, τα οποία σε γενικές γραμμές είναι τα εξής:

- ✓ Γενικές πληροφορίες κτηρίου: Γενικά στοιχεία κτηρίου όπως η τοποθεσία, χρήση κτηρίου (κατοικία, γραφεία, κ.ά.), πρόγραμμα λειτουργίας (ωράριο), αριθμός χρηστών (συνολικός και ανά βάρδια για κτήρια με 24-ώρη λειτουργία). Επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, αερισμός, φωτισμός). Δεδομένα και παραδοχές για τους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου.
- ✓ Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής.
- ✓ Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτηρίου και των ανοιγμάτων (κάτοψη, όγκος, επιφάνεια, προσανατολισμός, συντελεστές σκίασης κ.ά.).
- ✓ Θερμοφυσικά χαρακτηριστικά κτηριακού κελύφους.
- ✓ Τεχνικά χαρακτηριστικά και προδιαγραφές Η/Μ εγκαταστάσεων.
- ✓ Τεκμηρίωση του ενεργειακού σχεδιασμού του κτηρίου ως προς τις ελάχιστες απαιτήσεις του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, τις ελάχιστες απαιτήσεις θερμικής επάρκειας του κτηρίου καθώς και τις

ελάχιστες απαιτήσεις των Η/Μ εγκαταστάσεων, των διατάξεων αυτόματου ελέγχου και συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

- ✓ Αναφορά του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου, καθώς και των παραδοχών που λαμβάνονται υπόψη για την εφαρμογή της μεθοδολογίας, όπως οι θερμικές ζώνες. Για τις θερμικές ζώνες που καθορίζονται στους υπολογισμούς θα πρέπει να υπάρχει σχηματική και αναλυτική περιγραφή όλων των δεδομένων.
- ✓ Αποτελέσματα υπολογισμών: Αναλυτικά αποτελέσματα των υπολογισμών με σαφή αναφορά των μονάδων μέτρησης των μεγεθών. Στα αποτελέσματα πρέπει να αναφέρονται οι ενεργειακές απαιτήσεις, ετήσια τελική ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m^2), συνολική και ανά χρήση (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, Ζ.Ν.Χ., φωτισμός), ανά θερμική ζώνη και ανά μορφή χρησιμοποιούμενης ενέργειας (ηλεκτρισμός, πετρέλαιο κ.α.), καθώς και η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m^2) ανά χρήση (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, Ζ.Ν.Χ., φωτισμός) και αντίστοιχες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

6.4 Ενεργειακή επιθεώρηση κτηρίων

Σύμφωνα με το ν. 3661/08 (άρθρο 6) και τον Κ.Εν.Α.Κ. (άρθρο 2), για όλα τα νέα ή ριζικώς ανακαινιζόμενα κτήρια ή κτήρια προς μίσθωση και πώληση, επιβάλλεται η ενεργειακή επιθεώρηση για την ενεργειακή κατάταξη και πιστοποίησή τους, προκειμένου να εκδοθεί το απαιτούμενο πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης (Π.Ε.Α.) του κτηρίου. Αναλυτικότερα και με βάση τις σχετικές εγκυκλίους που εκδόθηκαν από το Υ.Π.Ε.Κ.Α., ισχύουν τα εξής:

- ✓ Για όλα νέα ή ριζικώς ανακαινιζόμενα κτήρια, για τα οποία έχει υποβληθεί μελέτη ενεργειακής απόδοσης για την έκδοση οικοδομικής άδειας από την 1η Οκτωβρίου του 2010, μόλις ολοκληρωθεί η κατασκευή του κτηρίου, ο ιδιοκτήτης υποχρεούται να ζητήσει την έκδοση Π.Ε.Α. Για την περίπτωση κτηρίων, για τα οποία έχει εκδοθεί οικοδομική άδεια πριν από την 1η Οκτωβρίου του 2010, αλλά η κατασκευή τους ολοκληρώνεται μετά την ημερομηνία αυτή, δεν ισχύει η υποχρέωση διενέργειας ενεργειακής επιθεώρησης και έκδοσης Π.Ε.Α., πέραν των περιπτώσεων αγοροπωλησίας ή μίσθωσης.
- ✓ Στην περίπτωση νέων συμβάσεων μίσθωσης (και όχι ανανέωσης υφιστάμενων συμβάσεων μίσθωσης) τμημάτων κτηρίων με επιφάνεια ίση ή μεγαλύτερη των 50 m^2 , τα οποία έχουν αποκλειστική χρήση κατοικία και επαγγελματική στέγη και αποτελούν αυτοτελείς οριζόντιες ιδιοκτησίες, υπάρχει η υποχρέωση έκδοσης Π.Ε.Α., με έναρξη ισχύος την 9η Ιουλίου 2011.
- ✓ Στα κτήρια προς πώληση - αγορά, προκειμένου να ολοκληρωθεί η δικαιοπραξία και να υπογραφούν τα οριστικά συμβόλαια, υπάρχει η υποχρέωση έκδοσης Π.Ε.Α., με έναρξη ισχύος την 9η Ιανουαρίου 2010, δηλαδή 9 μήνες από τη δημοσίευση του Κ.Ε.Ν.Α.Κ. στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως.
- ✓ Στο άρθρο 10 του ν. 3851/2010 (Φ.Ε.Κ. 85), ως προς τις οριζόντιες ιδιοκτησίες έχει γίνει η εξής τροποποίηση: Η ενεργειακή πιστοποίηση οριζόντιων ιδιοκτησιών κατά την έννοια του άρθρου 1 του ν. 3741/1929 (Φ.Ε.Κ. 4 Α') και ιδιοκτησιών κατά την έννοια του άρθρου 1 του ν.δ. 1024/1971 (Φ.Ε.Κ. 232 Α') βασίζεται είτε σε μεμονωμένες πιστοποιήσεις των οριζόντιων ιδιοκτησιών (π.χ. διαμέρισμα) είτε σε κοινή πιστοποίηση ολόκληρου του κτηρίου, εφόσον πρόκειται για συγκροτήματα με κοινόχρηστα συστήματα. Η δαπάνη έκδοσης του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης βαρύνει, κατά περίπτωση, τον ιδιοκτήτη ή τους συνιδιοκτήτες ολόκληρου του κτηρίου, κατά το ποσοστό συγκυριότητας του καθένα.
- ✓ Το Π.Ε.Α. έχει διάρκεια ισχύος 10 ετών. Σε περίπτωση όμως που στο κτήριο γίνει ριζική ανακαίνιση ή προσθήκη ή επέκταση που επηρεάζει την ενεργειακή απόδοσή του, η ισχύς του Π.Ε.Α. λήγει κατά το χρόνο ολοκλήρωσης της ανακαίνισης ή προσθήκης ή επέκτασης πριν να παρέλθει το διάστημα των 10 ετών.

Η ενεργειακή επιθεώρηση κτηρίου διενεργείται από ενεργειακούς επιθεωρητές, εγγεγραμμένους στο μητρώο ενεργειακών επιθεωρητών. Η ενεργειακή επιθεώρηση σύμφωνα με το άρθρο 15 του Κ.Εν.Α.Κ. αποσκοπεί:

- ✓ Στην εκτίμηση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου ανά τελική χρήση (θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό, ζεστό νερό χρήσης), αλλά και συνολικά,

- ✓ Στην ενεργειακή πιστοποίηση και κατάταξη του κτηρίου,
- ✓ Στην έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (Π.Ε.Α.), το οποίο θα είναι ουσιαστικά η ενεργειακή ταυτότητα του κτηρίου,
- ✓ Στη σύνταξη συστάσεων προς τον ιδιοκτήτη / διαχειριστή για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου,
- ✓ Στη συλλογή επιπρόσθετων στοιχείων του κτηρίου και των ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων που πρέπει να εισαχθούν στην ηλεκτρονική βάση δεδομένων και αφορούν στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου.

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. (άρθρο 14) για το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης (Π.Ε.Α.), η βαθμολόγηση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου γίνεται σύμφωνα με την ποιοτική αξιολόγηση (asset rating) της κατανάλωσης ενέργειας του σε σχέση με το κτήριο αναφοράς, σύμφωνα με την υπολογιζόμενη κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας σε kWh/m² και καταλήγει στην ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου (A+, A, B+, B, Γ, Δ, E, Z ή H). Στο Π.Ε.Α. περιλαμβάνεται επίσης η αντίστοιχη ετήσια εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (kg/m²), η ετήσια συνολική ενεργειακή απαίτηση (kWh/m²), η πραγματική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με βάση την αξιολόγηση της λειτουργίας του κτηρίου (operational energy consumption) και η συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) με τις αντίστοιχες ετήσιες εκπομπές CO₂ (kg/m²) και τέλος, η εκτίμηση του ενεργειακού επιθεωρητή σχετικά με την αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος.

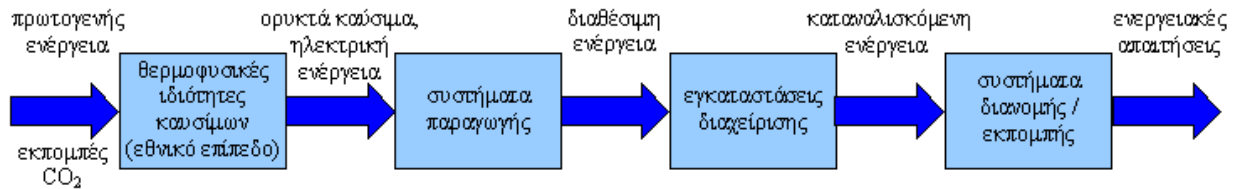
Στη δεύτερη σελίδα του Π.Ε.Α. προσδιορίζεται το είδος καυσίμου / ενέργειας (ορυκτά καύσιμα, ηλεκτρική, Α.Π.Ε.) για συγκεκριμένες τελικές χρήσεις (θέρμανση, ψύξη, αερισμό, ζεστό νερό χρήσης, φωτισμό, ηλεκτρικές συσκευές) και η συνεισφορά τους στο τελικό ενεργειακό ισοζύγιο του κτηρίου. Επιπρόσθετα, προσδιορίζεται η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) ανά τελική χρήση. Τέλος, και ίσως στο πιο σημαντικό τμήμα του Π.Ε.Α., περιλαμβάνονται συστάσεις του ενεργειακού επιθεωρητή για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου, οι οποίες θα είναι ιεραρχημένες και θα περιλαμβάνουν μια σύντομη περιγραφή, προσδιορίζοντας αντίστοιχα το αρχικό κόστος επένδυσης (€), την εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπολογισμών και ποσοστό (%) επί της αρχικώς υπολογιζόμενης πρωτογενούς ενέργειας, την εκτιμωμένη τιμή εξοικονομούμενης ενέργειας (€/kWh), την εκτιμώμενη ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg/m²) και την απλή περίοδο αποπληρωμής κάθε πρότασης. Σύμφωνα με το άρθρο 14 του Κ.Εν.Α.Κ., στο Π.Ε.Α. του κτηρίου πρέπει μεταξύ άλλων να αναφέρονται και συστάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου. Δηλαδή στην περίπτωση κτηρίων που δεν πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις του άρθρου 7 του Κ.Εν.Α.Κ., ο επιθεωρητής θα πρέπει να προτείνει τουλάχιστον μία σύσταση ενεργειακής αναβάθμισης του κτηρίου.

Σύμφωνα με το ν. 3843 (Φ.Ε.Κ. 62/Α/28.4.2010) για την ηλεκτρονική ταυτότητα κτηρίων και την θέσπιση ειδικής διαδικασίας ελέγχου για την ορθή εκτέλεση της κατασκευής των κτηρίων, την ασφάλεια και συντήρηση αυτών, καθώς και την καταπολέμηση των πολεοδομικών αυθαιρεσιών και των υπερβάσεων δόμησης, το Π.Ε.Α. θα περιλαμβάνεται στα απαιτούμενα στοιχεία, τα οποία είναι: οικοδομική άδεια, εγκεκριμένα σχέδια, Π.Ε.Α., κατόψεις, στατικές μελέτες, φύλλα ελέγχου όλων των μελετών & εγκαταστάσεων, πίνακα χιλιοστών κατανομής δαπανών (ο/οο), κινούμενη ψηφιακή εικόνα των χώρων και των εγκαταστάσεων του κτηρίου. Όλα τα προαναφερθέντα διατηρούνται στο αρχείο του Υ.Π.Ε.Κ.Α., στο αρχείο του μηχανικού (μελετητή, επιβλέποντος) και στο κτήριο.

6.5 Μεθοδολογία υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτηρίου

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. για την ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου και το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης (Π.Ε.Α.) η βαθμολόγηση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου γίνεται με βάση την ποιοτική αξιολόγηση (asset rating) της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου σε σχέση με το κτήριο αναφοράς. Για τις ανάγκες της έκδοσης Π.Ε.Α. απαιτούνται υπολογισμοί με την μέθοδο ημισταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος, η οποία βασίζεται στα ακόλουθα ευρωπαϊκά πρότυπα. Αρχικά υπολογίζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις ανά τελική χρήση (θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης, κ.ά) και έπειτα, ανάλογα με τα υπάρχοντα συστήματα και τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα, υπολογίζεται η ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου, η πρωτογενής ενέργεια, καθώς και οι αντίστοιχες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

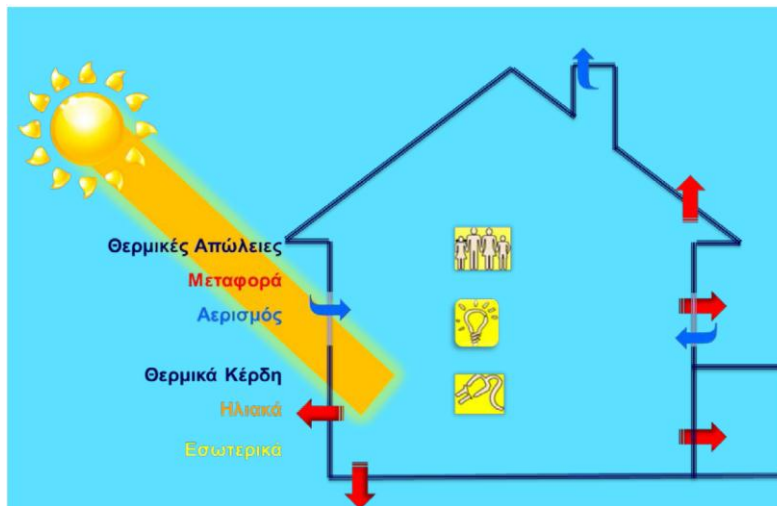
Κάθε σύστημα που καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις μιας τελικής χρήσης, περιλαμβάνει ολόκληρη την εγκατάσταση παραγωγής, διανομής και τερματικών μονάδων απόδοσης ενέργειας. Κάθε ένα από αυτά τα τμήματα χαρακτηρίζεται από το βαθμό απόδοσής του, που συντελεί στον υπολογισμό του συνολικού βαθμού απόδοσης. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η ενεργειακή ροή από το σύστημα παραγωγής, διανομής και τερματικών μονάδων, που καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται βήμα βήμα προς την αντίθετη κατεύθυνση.



Εικόνα 22: Τυπική ροή ενέργειας σε ένα κτήριο (από αριστερά προς δεξιά). Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται από δεξιά προς αριστερά.

6.5.1. Ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση / ψύξη

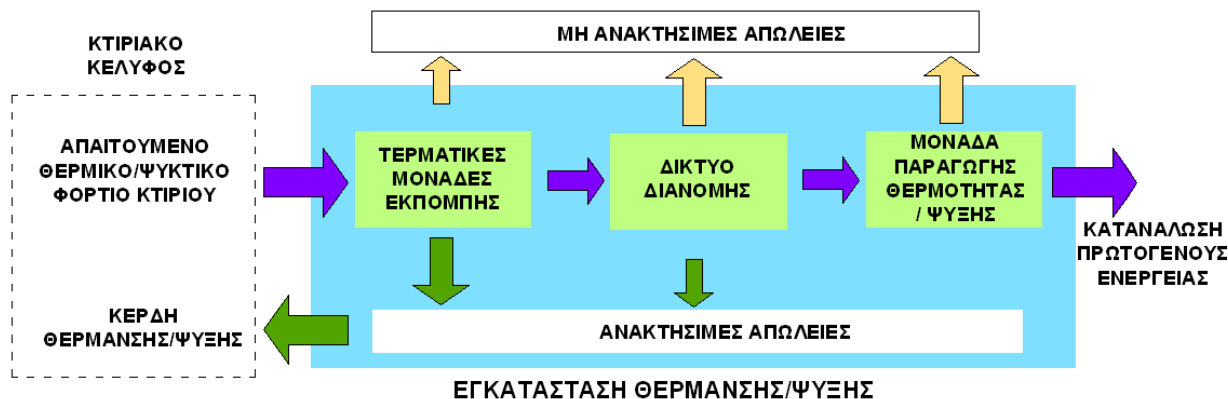
Στη μηνιαία μέθοδο υπολογίζεται η ενεργειακή απαίτηση (ζήτηση) για θέρμανση και ψύξη του κτηρίου, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του, τις θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών κατασκευής του και τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Οι υπολογισμοί βασίζονται στο ισοζύγιο των θερμικών απωλειών του κτηριακού κελύφους και των θερμικών κερδών, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790 E2 (2009), όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 33.



Εικόνα 23: Ισοζύγιο απωλειών και κερδών.

Προκειμένου να ληφθούν υπόψη δυναμικά φαινόμενα κατά τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης / ψύξης στη μεθοδολογία, χρησιμοποιείται ο συντελεστής χρήσης κερδών / απωλειών, ο οποίος προκύπτει από την αναλογία κερδών - απωλειών και από τη σταθεράχρονου του κτηρίου. Αυτός ο συντελεστής καθορίζει το βαθμό κατά τον οποίο τα θερμικά κέρδη είναι ωφέλιμα για την ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση και το βαθμό κατά τον οποίο οι θερμικές απώλειες είναι ωφέλιμες για την ενεργειακή ζήτηση για ψύξη.

Προσδιορίζοντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος θέρμανσης / ψύξης (βαθμοί απόδοσης για παραγωγή, διανομή και τερματικές μονάδες απόδοσης ενέργειας) και καύσιμο που χρησιμοποιούν, υπολογίζεται η ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου για θέρμανση / ψύξη, η πρωτογενής ενέργεια, καθώς και οι αντίστοιχες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, με τη σειρά που παρουσιάζεται στην εικόνα 34.



Εικόνα 24: Γενικό διάγραμμα υπολογισμών θέρμανση / ψύξης. (σελ 18 κενΑΚ) [44]

6.6 Ηλεκτρικές συσκευές

Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές που διατίθενται στην Ε.Ε. και στην Ελλάδα υπόκεινται στην εθνική και κοινοτική νομοθεσία που αφορά την ενεργειακή τους σήμανση. Η ενεργειακή σήμανση καθιερώθηκε στην Ευρωπαϊκή Ένωση με την έκδοση της Οδηγίας 92/75/22.09.92 και σε Εθνικό επίπεδο με την έκδοση του Προεδρικού Διατάγματος 180/1994, το οποίο έθεσε το γενικό νομοθετικό πλαίσιο για την εφαρμογή της ενεργειακής σήμανσης στις οικιακές συσκευές. Στη συνέχεια, εκδόθηκε μια σειρά Κοινών Υπουργικών Αποφάσεων για την εφαρμογή της ενεργειακής σήμανσης σε διάφορες κατηγορίες οικιακών συσκευών, όπως:

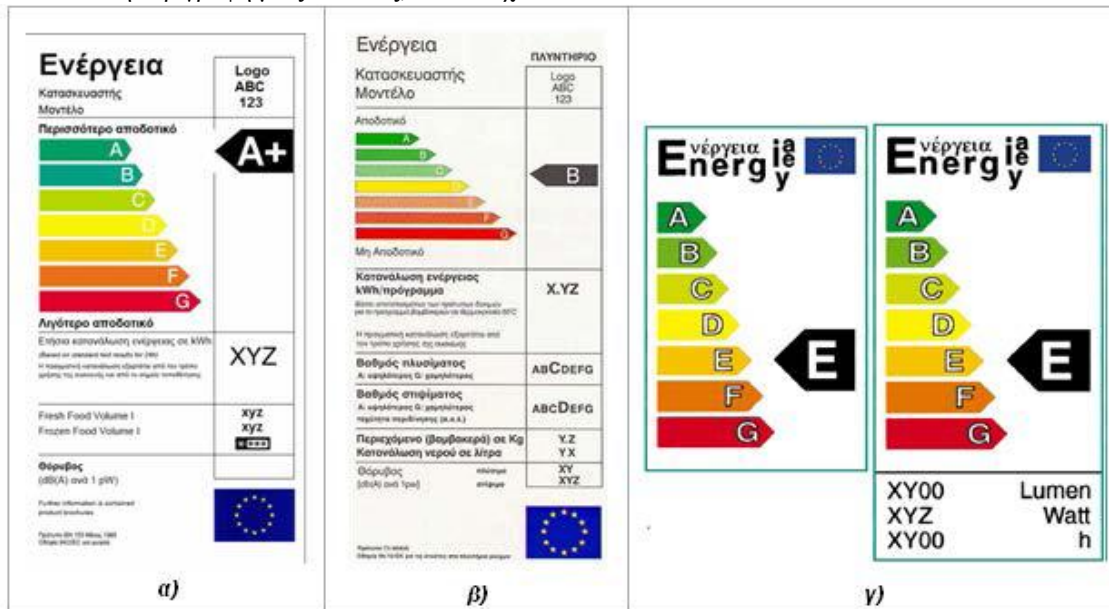
- Ψυγεία, καταψύκτες και συνδυασμοί τους
- Πλυντήρια ρούχων, στεγνωτήρια ρούχων και συνδυασμοί τους
- Πλυντήρια πιάτων
- Ηλεκτρικοί λαμπτήρες
- Ηλεκτρικοί φούρνοι
- Κλιματιστικές συσκευές

Η ενεργειακή σήμανση των οικιακών συσκευών συνίσταται στην υποχρεωτική επικόλληση μιας ετικέτας (ενεργειακή ετικέτα ή ετικέτα ενεργειακής σήμανσης) σε εμφανές μέρος των συσκευών. Η ενεργειακή ετικέτα δείχνει και πληροφορεί τον καταναλωτή για δύο σημαντικά ενεργειακά χαρακτηριστικά της συσκευής:

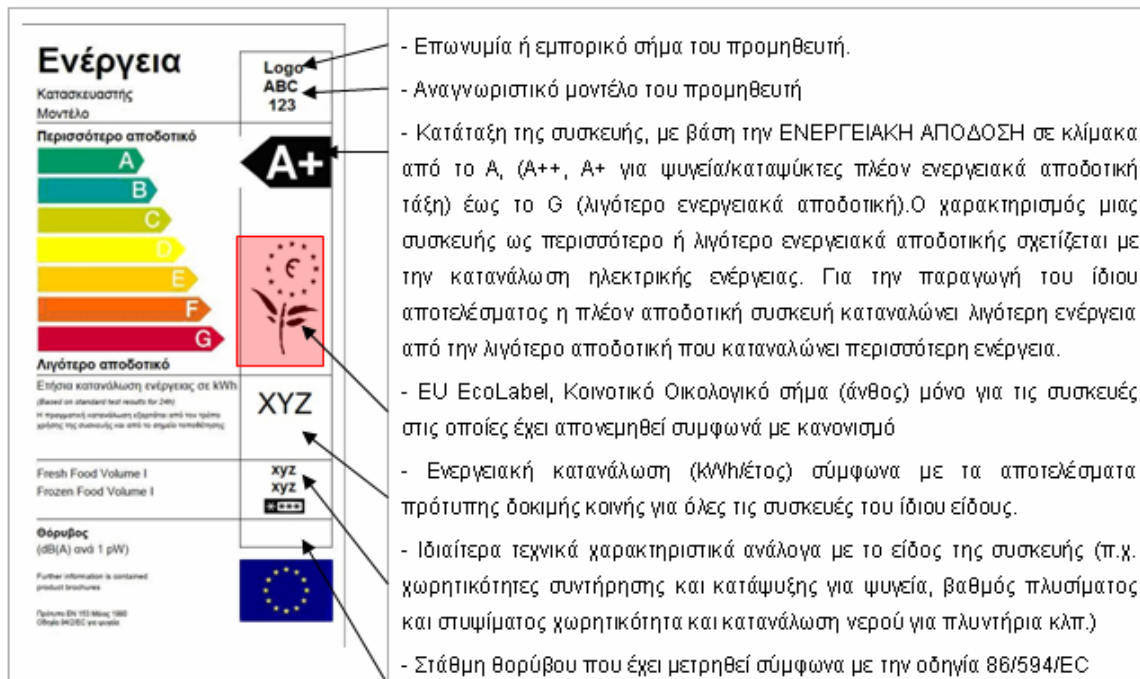
1. Την κατανάλωση ενέργειας, δηλ. την ηλεκτρική ενέργεια, σε kWh, που καταναλώνει η συσκευή κατά τη διάρκεια π.χ. ενός έτους για τα ψυγεία ή ενός τυπικού κύκλου πλυσίματος για τα πλυντήρια ρούχων και πιάτων με το ονομαστικό φορτίο της συσκευής υπό πρότυπες συνθήκες μέτρησης, και
2. Την ενεργειακή αποδοτικότητα της συσκευής, που είναι το σημαντικότερο ενεργειακό χαρακτηριστικό, με τη βοήθεια του οποίου μπορεί ο υποψήφιος αγοραστής να συγκρίνει από πλευράς ενεργειακής κατανάλωσης τις συσκευές διαφόρων κατασκευαστών και διαφορετικών μεγεθών στην ίδια βάση.

Η ενεργειακή αποδοτικότητα δείχνει την κατανάλωση ενέργειας που αντιστοιχεί στη μονάδα χωρητικότητας της συσκευής π.χ. στα ψυγεία δείχνει τις kWh κατανάλωσης ανά lt χωρητικότητας του ψυγείου, στα πλυντήρια ρούχων και πιάτων τις kWh κατανάλωσης ανά kg περιεχομένων ρούχων και πιάτων. Ανάλογα με την ενεργειακή τους αποδοτικότητα οι συσκευές κατατάσσονται σε 7 κατηγορίες ή κλάσεις που καθορίζονται από τα λατινικά γράμματα A, B, C, D, E, F, G και από έγχρωμα και διαφορετικού μήκους βέλη που απεικονίζονται στην ενεργειακή ετικέτα το ένα κάτω από το άλλο, ενώ ένας δείκτης απέναντί τους δείχνει σε ποια ενεργειακή κατηγορία ανήκει η συσκευή. Οι πρώτες κατηγορίες A, B, C είναι οι ενεργειακά αποδοτικότερες και έχουν βέλη πρασίνων αποχρώσεων και μικρότερου μήκους (για να δείχνουν τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα χωρητικότητας της συσκευής), ενώ οι τελευταίες κατηγορίες E, F, G είναι οι ενεργειακά χειρότερες σε αποδοτικότητα και έχουν βέλη κόκκινων αποχρώσεων και μεγαλύτερου μήκους. Πρόσφατα στα ψυγεία/καταψύκτες προστέθηκαν δύο νέες ενεργειακά αποδοτικότερες κατηγορίες A+ και A++.

Οι παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν τυπικές ετικέτες ενεργειακής σήμανσης για κάποια προϊόντα καθώς και μία αναλυτική περιγραφή μιάς ετικέτας, αντίστοιχα.



Εικόνα 25: Ετικέτες Ενεργειακής Σήμανσης: (α) ψυγείο/καταψύκτη, (β) πλυντηρίου ρούχων, (γ) λαμπτήρα φωτισμού.



Εικόνα 26: Αναλυτική περιγραφή τυπικής ετικέτας ενεργειακής σήμανσης.

Η ετικέτα ενεργειακής σήμανσης για τους λαμπτήρες παρέχει πληροφορίες για τη φωτεινή ροή (lumen), την ονομαστική ισχύ (W) και τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα σε ώρες λειτουργίας. Το σημαντικό είναι ότι όλα αυτά τα τεχνικά χαρακτηριστικά, ενεργειακά και μη, έχουν μετρηθεί υπό τα ίδια εναρμονισμένα πρότυπα (standards) και συνθήκες μέτρησης, ώστε να μπορούν να είναι συγκρίσιμα μεταξύ των διαφόρων συσκευών του ίδιου είδους.

Σημαντική ένδειξη στην ετικέτα ενεργειακής σήμανσης, αποτελεί και το Κοινοτικό Οικολογικό Σήμα (EcoLabel) το οποίο απονέμεται αποκλειστικά σε επιλεγμένες ηλεκτρικές συσκευές που ανταποκρίνονται σε πιστοποιημένα υψηλά πρότυπα περιβαλλοντικής και ενεργειακής απόδοσης. Οι συσκευές που φέρουν το Κοινοτικό Οικολογικό Σήμα είναι κατά κανόνα συσκευές με υψηλή ενεργειακή απόδοση και υψηλά περιβαλλοντικά κριτήρια κατασκευής και λειτουργίας.

Οι μηχανές γραφείου, (π.χ. υπολογιστές, εκτυπωτές, φωτοτυπικά μηχανήματα) ο τηλεπικοινωνιακός και δικτυακός εξοπλισμός (π.χ. φαξ, modem, router, ασύρματα τηλέφωνα) έχουν και αυτά ενεργειακή σήμανση. Για τις συσκευές αυτές η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει τη σήμανση EU Energy Star, ενώ ισχύει και το Κοινοτικό Οικολογικό Σήμα - Ecolabel. Όσα προϊόντα φέρουν είτε τη σήμανση EU Energy Star είτε το Κοινοτικό Οικολογικό Σήμα - Ecolabel σημαίνει ότι έχουν χαμηλότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, συγκρινόμενα με άλλα ομοειδή τους. Σημαντικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας έχουν και οι συσκευές οι οποίες υπόκεινται και στην οδηγία για την οικολογική σχεδίαση των προϊόντων που καταναλώνουν ενέργεια.

Η κατανάλωση ενέργειας μίας ηλεκτρικής συσκευής χαρακτηρίζεται από διάφορους τρόπους λειτουργίας. Η συσκευή βρίσκεται σε φάση λειτουργίας (on-mode) όταν εκτελεί τη λειτουργία της, σε φάση αναμονής (standby mode) όταν παίρνει έστω και λίγο ρεύμα αλλά δεν εκτελεί την κύρια λειτουργία της και τέλος, σε φάση διακοπής (off-mode) όταν δεν εκτελεί καμία λειτουργία και δεν καταναλώνει καθόλου ρεύμα. Η κατανάλωση ρεύματος σε φάση αναμονής αφορά κυρίως ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές όπως τηλεοράσεις, στερεοφωνικά, υπολογιστές, ασύρματα τηλέφωνα, φορτιστές και γενικώς συσκευές που στη φάση αναμονής τους παραμένουν υπό τάση και εκτελούν συνήθως κάποια δευτερεύουσα ή βοηθητική λειτουργία. Η κατανάλωση ρεύματος σε φάση αναμονής δεν αφορά συσκευές που λόγω της φύσης της λειτουργίας τους αναγκαστικά παραμένουν συνεχώς συνδεδεμένες με την παροχή ρεύματος (π.χ. ψυγεία, καταψύκτες) ή δεν έχουν φάση αναμονής και ο χειρισμός τους γίνεται με διακόπτη ανοίγματος-κλεισίματος από την παροχή του ρεύματος (π.χ. πλυντήρια, θερμοσίφωνες, λάμπες κ.λπ.). Η κατανάλωση ενέργειας στην φάση αναμονής είναι πολύ σημαντική παρά το γεγονός ότι φαινομενικά η συσκευή καταναλώνει ελάχιστη ενέργεια. Αυτό συμβαίνει γιατί η κατανάλωση στη φάση αναμονής γίνεται σε 24ωρη βάση κάθε μέρα επί 365 μέρες το χρόνο. Οι ενεργειακά αποδοτικές συσκευές έχουν υποχρεωτικά πολύ χαμηλή κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής ενώ από την κοινοτική νομοθεσία έχουν θεσπιστεί πολύ αυστηρά όρια. [27]



Εικόνα 27: (α) Το ευρωπαϊκό σήμα Energy Star για τα μηχανήματα γραφείου. (β) Κοινοτικό Οικολογικό Σχήμα (EcoLabel). (γ) Κοινοτικό Οικολογικό Σχήμα (EcoLabel) σύμφωνα με τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 66/2010 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Νοεμβρίου 2009.

Κεφάλαιο 7. Εισαγωγή- Σκοπός

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η μελέτη και η ανάλυση τριων περιπτώσεων κατοικίας στην περιοχή της Αθήνας. Η κάθε κατοικία είναι συνολικού εμβαδού 88 m² με ύψος 3 m. Αποτελείται από 4 δωμάτια (ζώνες): το υπνοδωμάτιο, το μπάνιο, το σαλόνι και την κουζίνα. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS, υπολογίζοντας την απαιτούμενη θερμότητα για την θέρμανση και ψύξη κατά την διάρκεια όλου του χρόνου. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Homer για τον υπολογισμό των ηλεκτρικών φορτίων για το χειμώνα και το καλοκαίρι με μία απόκλιση 15-20%. Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά υλικά κατασκευής, διαφορετικοί τρόποι θέρμανσης και ψύξης, καθώς και διαφορετικές οικιακές συσκευές με σκοπό την ανάλυση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας σε 25 και 50 χρόνια. Ως εσωτερική τοιχοποιία χρησιμοποιήθηκε η ίδια σε όλες τις περιπτώσεις και αποτελείται μόνο από τούβλο και σοβά.

Η πρώτη περίπτωση αφορά την πιο ενεργοβόρα ως προς την κατανάλωση της ενέργειας. Η εξωτερική τοιχοποιία αποτελείται από σοβά και τούβλο, χρησιμοποιώντας θερμομονωτικό υλικό πετροβάμβακα, η θέρμανση πραγματοποιείται με πετρέλαιο και η ψύξη με ανεμιστήρα οροφής. Η εξωτερική τοιχοποιία για την δεύτερη περίπτωση αποτελείται από σοβά και ορθομπλόκ, που λειτουργεί και ως θερμομονωτικό υλικό, η θέρμανση πραγματοποιείται με καυστήρα πέλλετς και η ψύξη με συμβατικό κλιματιστικό. Αντίστοιχα, η εξωτερική τοιχοποιία της τρίτης περίπτωσης αποτελείται από σοβά και τούβλο, με εξηλασμένη πολυστερίνη ως θερμομονωτικό υλικό και η θέρμανση και η ψύξη γίνεται με κλιματιστικό όπου χρησιμοποιεί την λειτουργία Inverter.

Μελέτες και εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα αναλύουν ξεχωριστά κάθε περίπτωση εξοικονόμησης ενέργειας. Αναλύονται μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας για την τοιχοποιία, για τον τύπο των υαλοστασίων, για τις ηλεκτρικές συσκευές ενεργειακής κλάσης A, A+, για τις μεθόδους θέρμανσης και τέλος ξεχωριστά για τις μεθόδους ψύξης. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αποδείξει την σπουδαιότητα κάθε μέτρου εξοικονόμησης ενέργειας συγκεντρωτικά σε ένα κτήριο κατοικίας. Τέλος, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το κέρδος που εξασφαλίζει το κάθε κτήριο σε διάστημα 25 και 50 χρόνων.

Κεφάλαιο 7.1 Υλικά- Μέθοδοι

Για την υλοποίηση της μελέτης αυτής χρησιμοποιήθηκαν διάφορα υπολογιστικά προγράμματα καθώς και αντίστοιχη βιβλιογραφία για τα δεδομένα κάθε περίπτωσης.

- Υπολογιστικό πρόγραμμα Microsoft Excel
- Πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS
- Πρόγραμμα προσομοίωσης HOMER
- Χρήση διαδικτύου για την διερεύνηση των δεδομένων για την κάθε περίπτωση

7.1.1 Πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS

Το TRNSYS (Transient System Simulation program) αποτελεί ένα ευέλικτο και επεκτάσιμο υπολογιστικό περιβάλλον για την προσομοίωση μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο, συμπεριλαμβανομένων των πολυζωνικών κτηρίων (multi-zone buildings). Χρησιμοποιείται από μηχανικούς και ερευνητές παγκοσμίως για την αξιολόγηση νέων ενεργειακών συστημάτων για διάφορες χρήσεις. Από ένα απλό σύστημα θέρμανσης νερού μέχρι τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτηρίων και του εξοπλισμού τους, συμπεριλαμβανομένων των στρατηγικών ελέγχου, την συμπεριφορά των κατοίκων και τα συστήματα εναλλακτικών πηγών ενέργειας (άνεμος, ήλιος, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου κτλ).

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του TRNSYS είναι το γεγονός ότι ο 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. 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 βασισμένη στα αρχεία DLL. Επιπλέον, το TRNSYS μπορεί να συνδεθεί εύκολα με πολλές άλλες εφαρμογές για επεξεργασία πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (π.χ. Microsoft Excel, Matlab, COMIS κτλ.). Το TRNSYS συμπεριλαμβάνει τις ακόλουθες εφαρμογές:

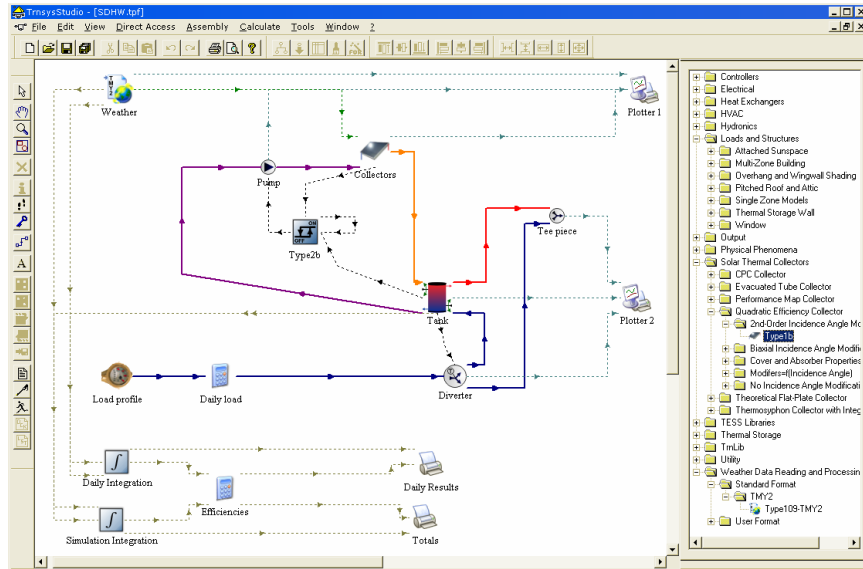
- Ηλιακά συστήματα (θερμικά ηλιακά και φωτοβολταϊκά)
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συμπαράγωγη: Κυψέλες καυσίμου
- Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση

Το TRNSYS αποτελείται από το σύνολο των ακόλουθων προγραμμάτων: Το στούντιο προσομοίωσης (TRNSYS Simulation Studio), το εκτελέσιμο αρχείο του (TRNExe.exe), το γραφικό περιβάλλον διεπαφής κτηρίου για την εισαγωγή των δεδομένων κτηρίων (TRNBuild.exe), και τον επεξεργαστή με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα, γνωστά ως “TRNSED εφαρμογές” (TRNEdit.exe).

7.1.2 Στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio)

Το κεντρικό γραφικό περιβάλλον του TRNSYS αποτελεί το στούντιο προσομοίωσης. Σε αυτό δημιουργούνται τα προγράμματα της προσομοίωσης εισάγοντας στο παράθυρο εργασίας τα επιλεγόμενα μοντέλα, συνδέοντάς τα και θέτοντας τις μεταβλητές της προσομοίωσης. Τα μοντέλα παριστάνονται με τα εικονίδια τους στο παράθυρο εργασίας.

Το στούντιο προσομοίωσης δημιουργεί το αρχείο με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης του χρήστη (*.trf). Επίσης δημιουργεί αρχείο εισόδου, το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου που περιέχει όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης.



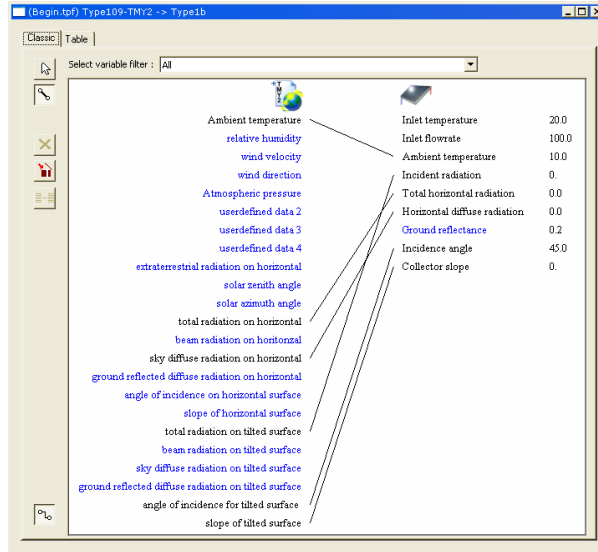
Εικόνα 28: Στούντιο προσομοίωσης του TRNSYS.

Το στούντιο προσομοίωσης περιλαμβάνει επίσης έναν διαχειριστή των εξόδων του προγράμματος, με τον οποίο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει ποιές μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στις εξόδους, ποιές θα εκτυπωθούν και ποιές θα χρησιμοποιηθούν στα διαγράμματα. Επίσης περιλαμβάνει έναν καταγραφέα/διαχειριστή σφαλμάτων, ο οποίος επιτρέπει την λεπτομερή μελέτη των γεγονότων κατά τη διάρκεια μίας προσομοίωσης.

Τέλος, μπορούν να πραγματοποιηθούν πολλές επιπρόσθετες εργασίες μέσα από το στούντιο προσομοίωσης, όπως η δημιουργία νέων υπολογιστικών μοντέλων προς εισαγωγή στο TRNSYS χρησιμοποιώντας την επιλογή «Fortran Wizard» καθώς επίσης η ανάγνωση των εξαγόμενων αρχείων, η επεξεργασία της περιγραφής ενός μοντέλου τροποποιώντας τις παραμέτρους, τις εισόδους και τις εξόδους του μοντέλου κτλ.

7.1.3 Συνδέσεις

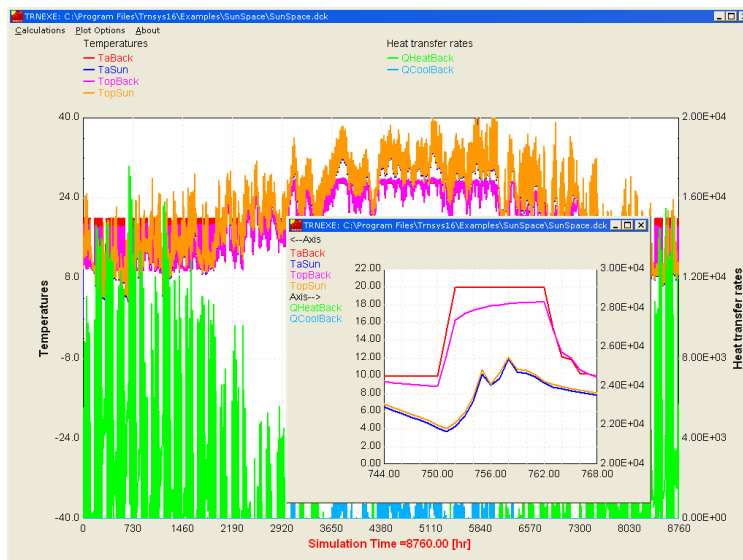
Η σύνδεση των μοντέλων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο της σύνδεσης στα αριστερά του παραθύρου εργασίας και επιλέγοντας τα δύο στοιχεία που επιθυμεί ο χρήστης να συνδέσει. Κάνοντας διπλό κλικ στην γραμμή σύνδεσης μεταξύ των δύο μοντέλων ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορούν να επιλεγούν ποιές έξοδοι του ενός μοντέλου θα συνδεθούν με τις εισόδους του άλλου.



Εικόνα 29: Παράδειγμα παραθύρου συνδέσεων.

7.1.4 Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων.

Η προσομοίωση εκτελείται πληκτρολογώντας «F8» ή κάνοντας κλικ στην συντόμευση «Calculate/Run» στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Εάν στο πρόγραμμα της προσομοίωσης έχει προστεθεί τουλάχιστον ένα μοντέλο ταυτόχρονης δημιουργίας διαγραμμάτων (Online Plotter), εμφανίζεται ένα διάγραμμα κατά τη διάρκεια των υπολογισμών της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό παρέχει πολλές δυνατότητες που χρησιμεύουν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και αφού αυτή περατωθεί. Ενδεικτικά κάποιες από αυτές τις δυνατότητες είναι η παύση, το σταμάτημα και η επανέναρξη της προσομοίωσης, η απόκρυψη και η εμφάνιση μιας μεταβλητής στο διάγραμμα, η επιλογή χρωμάτων και η προσαρμογή των αξόνων του διαγράμματος καθώς και η μεγέθυνση ενός μέρους του διαγράμματος.



Εικόνα 30: Διάγραμμα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης

Στην περίπτωση που έχει προστεθεί μοντέλο εκτυπωτή στην προσομοίωση, οι έξοδοι εκτυπώνονται σε ένα αρχείο εξόδου το οποίο μπορεί να ανοιχθεί μέσω του στούντιο προσομοίωσης κάνοντας κλικ στο «Calculate/ Open/ External Files» στο επάνω μέρος του παραθύρου εργασίας.

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δημιουργείται αρχείο καταγραφής γεγονότων στο οποίο καταγράφονται εκτός των άλλων και τα σφάλματα που προκύπτουν κατά την προσομοίωση. Το στούντιο προσομοίωσης παρέχει πρόσβαση στο αρχείο αυτό μέσω του διαχειριστή σφαλμάτων. Το παράθυρο του διαχειριστή σφαλμάτων εμφανίζεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “LST” στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Στο παράθυρο αυτό εμφανίζονται όλα τα σφάλματα και οι προειδοποιήσεις που προέκυψαν καθώς και σχετικά στατιστικά στοιχεία. Επίσης μπορεί να ανοιχθεί το αρχείο «Listing file», το οποίο δημιουργείται κατά την προσομοίωση και περιέχει και αυτό όλα τα σφάλματα που προκύπτουν καθώς και μια επανάληψη του αρχείου εισόδου του TRNSYS (deck) μαζί με επιπρόσθετες εξόδους. [16]

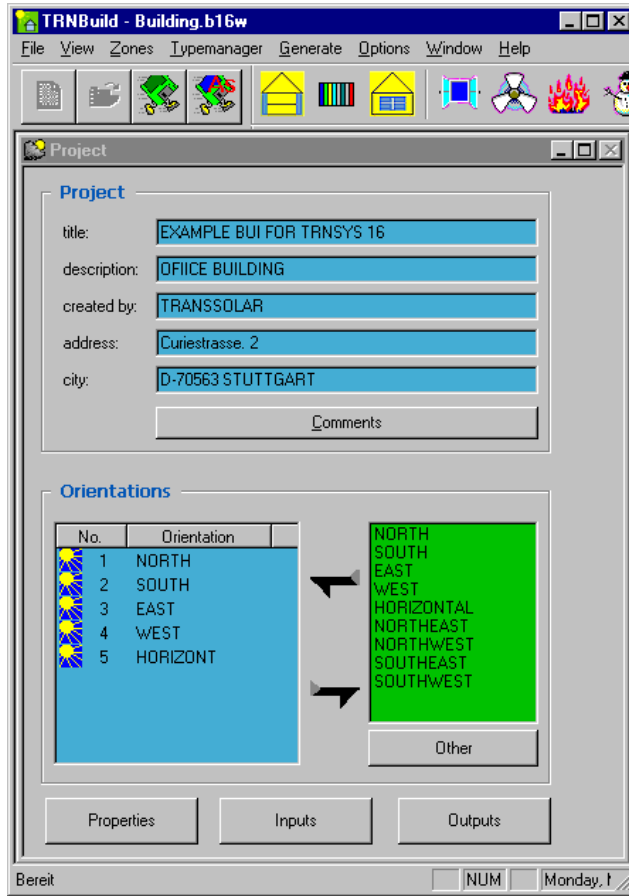
7.1.5 Οπτικό περιβάλλον κτιρίου

Το TRNBuild είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για την είσοδο δεδομένων στα πολυζωνικά κτίρια. Επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει όλες τις λεπτομέρειες κατασκευής του κτιρίου, για να προσομοιώσει την θερμική συμπεριφορά του, όπως τις οπτικές ιδιότητες των παραθύρων, το χρονοδιάγραμμα θέρμανσης ή ψύξης κ.α. Το TRNBuild δημιουργεί ένα αρχείο περιγραφής του κτιρίου (.bui) το οποίο περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για την προσομοίωση του κτιρίου.

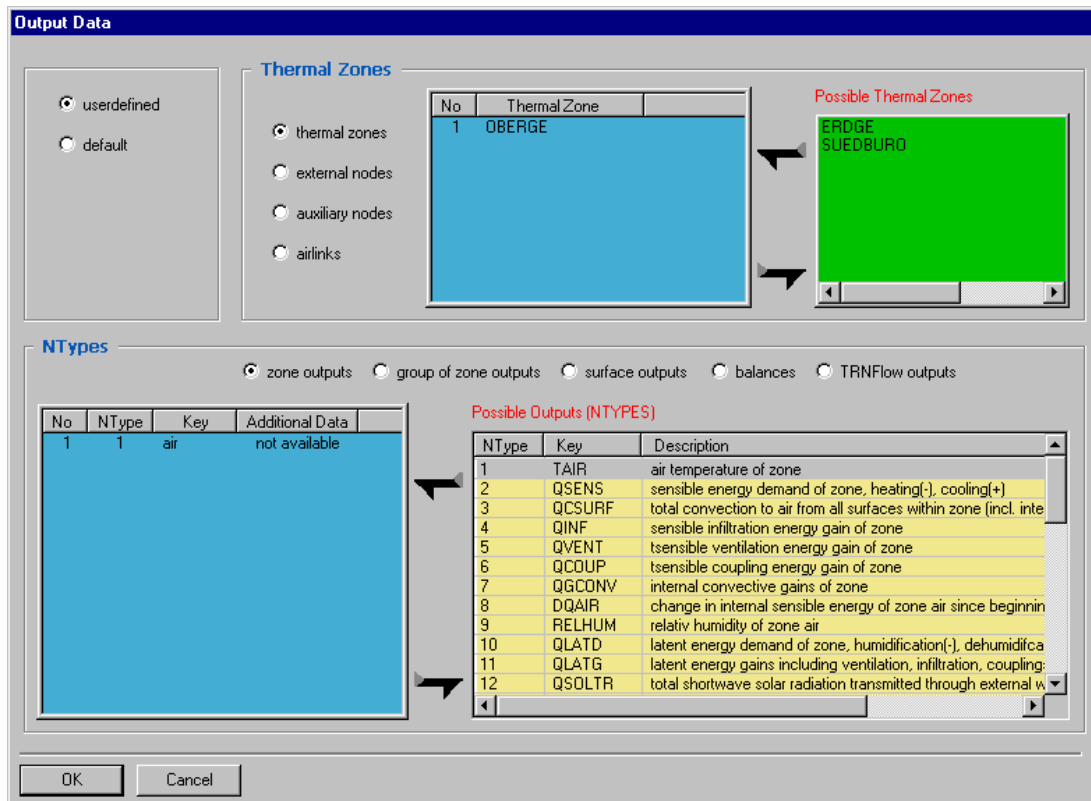
Το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου εμπλέκει πολλές παραμέτρους ώστε να έχει ένα τυπικό αρχείο περιγραφής όπως τα υπόλοιπα μοντέλα του TRNSYS. Έτσι κάθε κτήριο που δημιουργεί ο χρήστης έχει το δικό του ειδικό αρχείο περιγραφής με επέκταση .bui. Ο καθορισμός των στοιχείων του κτηρίου γίνεται κάνοντας δεξιά κλικ στο εικονίδιο του κτηρίου και επιλέγοντας «Edit Building». Με τον τρόπο αυτό εκκινεί το πρόγραμμα TRNBuild και ανοίγει το αρχείο περιγραφής του κτηρίου.

Μέσω του TRNBuild καθορίζονται αρχικά οι γενικές παράμετροι του κτηρίου από την καρτέλα «Project» και οι θερμικές ζώνες. Στην καρτέλα «Project» ορίζονται:

- Οι ιδιότητες του κτηρίου: 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: Μπορούν να επιλεγθούν συνήθεις προσανατολισμοί που ήδη υπάρχουν ή να καθορισθούν νέοι δίνοντας ένα όνομα για τον προσανατολισμό και ορίζοντας νέες εισόδους στο μοντέλο για τον καθορισμό της ακτινοβολίας στον προσανατολισμό αυτό.
- Οι επιθυμητές έξοδοι του μοντέλου του κτηρίου και οι επιπλέον εισοδοί: Οι επιπλέον εισοδοί ορίζονται στην περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί τον καθορισμό της τιμής μιας μεταβλητής από άλλο μοντέλο που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση. Οι έξοδοι που μπορεί να έχει το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου είναι πολλές και συγκεκριμένες και αφορούν κάθε ζώνη ξεχωριστά, ή το σύνολο των ζωνών, κάθε επιφάνεια ξεχωριστά ή το σύνολο των επιφανειών και τέλος ενεργειακά ισοζύγια σε επιφάνειες ή ζώνες μεμονωμένα ή στο σύνολό τους.

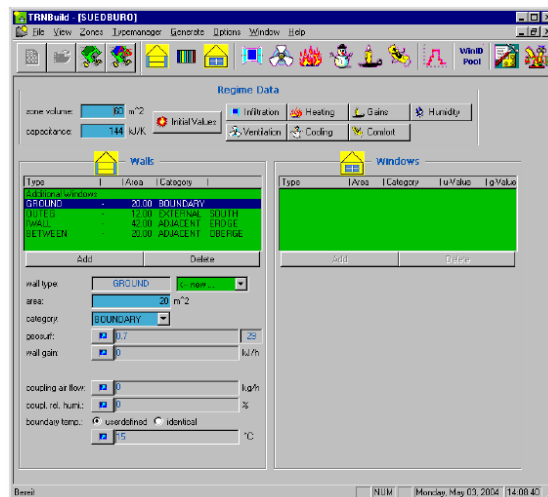


Εικόνα 31: Το παράθυρο "Project" στο TRNBuild. [16]



Εικόνα 32: Παράθυρο επιλογής εξόδων του TRNBuild. [16]

Επιλέγοντας μια θερμική ζώνη ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης:



Εικόνα 33: Το παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης. [16]

Από το παράθυρο αυτό καθορίζονται:

- Τα δεδομένα των τοίχων: Τα δεδομένα για τους τοίχους εισάγονται στο αριστερό μέρος του παραθύρου. Συγκεκριμένα καθορίζονται οι διαστάσεις, η κατηγορία, ο προσανατολισμός των τοίχων και το είδος (υλικά) του τοίχου. Εκτός από τα παραπάνω πρέπει να οριστούν ο συντελεστής θέασης του τοίχου από τον ουρανό, ο συντελεστής κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας (geosurf) και τυχόν επιπρόσθετα φορτία του τοίχου. Το είδος του τοίχου μπορεί να επιλεγεί από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS ή να περιγραφεί από τον χρήστη μέσω του διαχειριστή τοίχων στο άνω μέρος του κεντρικού παραθύρου. Οι βιβλιοθήκες που παρέχει το TRNSYS περιλαμβάνουν: (α) Την βασική βιβλιοθήκη, η οποία περιλαμβάνει συνηθισμένους τοίχους και οροφές, (β) την γερμανική βιβλιοθήκη με τοίχους κατασκευασμένους σύμφωνα με το γερμανικό VDI 2078, (γ) την αμερικάνικη βιβλιοθήκη η οποία περιλαμβάνει 144 τοίχους κατασκευασμένους στα πρότυπα της ASHRAE.
- Τα δεδομένα των παραθύρων: Τα παράθυρα μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικούς τοίχους και σε τοίχους παρακείμενους σε άλλες ζώνες. Τα δεδομένα εισάγονται στο δεξιό μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης, απ' όπου καθορίζονται η θέση, οι διαστάσεις, το είδος των παραθύρων και ο μηχανισμός σκίασης. Επίσης καθορίζεται ο συντελεστής θέασης του παραθύρου από τον ουρανό, τυχόν επιπρόσθετα φορτία και τέλος, ο προσανατολισμός στην περίπτωση παρακείμενων σε άλλη ζώνη τοίχων, ο οποίος μπορεί να είναι ο προσανατολισμός της πρόσθιας ή της οπίσθιας επιφάνειας του τοίχου.
- Η μέθοδος θέρμανσης κάθε ζώνης: Η ενεργειακή απαίτηση μιας ζώνης σε θέρμανση εξαρτάται από την στρατηγική που θα επιλεγεί για τη θέρμανση της ζώνης, η οποία καθορίζεται από τη μέθοδο που θα επιλέξει ο χρήστης. Αν ο εξοπλισμός θέρμανσης μοντελοποιείται εξωτερικά του μοντέλου τότε δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία αυτή, αλλά να ορισθούν ως είσοδοι στο μοντέλο η θερμοκρασία, η υγρασία και οι εναλλαγές του αέρα που υπολογίζονται από το μοντέλο του εξοπλισμού ή εναλλακτικά να ορισθούν ως κέρδη της ζώνης η θερμότητα δια συναγωγής και ακτινοβολίας που παρέχεται από τον εξοπλισμό. Με τη μέθοδο θέρμανσης υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια στην περίπτωση ιδανικής λειτουργίας του εξοπλισμού. Η επιλογή της μεθόδου θέρμανσης γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο «Heating» στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που εμφανίζεται είτε επιλέγεται μια ήδη υπάρχουσα μέθοδο είτε δημιουργείται νέα επιλέγοντας «New». Στην δεύτερη περίπτωση ο χρήστης εισάγει την επιθυμητή θερμοκρασία του δωματίου κάτω από την οποία λειτουργεί η θέρμανση στη ζώνη, την μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί για θέρμανση μαζί με το ποσοστό αυτής που δίδεται με ακτινοβολία και τέλος αν επιθυμείται υγροποίηση του αέρα στη ζώνη. Στην περίπτωση που επιλεγεί η υγροποίηση του αέρα πρέπει να οριστεί η επιθυμητή σχετική υγρασία στη ζώνη. Στην πραγματικότητα η θέρμανση δεν λειτουργεί ασταμάτητα. Για να είναι η προσομοίωση πιο κοντά στην πραγματικότητα πρέπει να οριστεί ένα πρόγραμμα λειτουργίας. Αυτό ορίζεται έμμεσα θέτοντας χρονοδιάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας της ζώνης σε κάθε χρονική στιγμή.
- Η μέθοδος ψύξης της ζώνης: Αντίστοιχα με την μέθοδο θέρμανσης δίνεται η επιλογή εισαγωγής μεθόδου ψύξης της ζώνης. Όμοια, εισάγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο «Cooling» στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης και αφορά την ιδανική λειτουργία του εξοπλισμού. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μία προϋπάρχουσα μέθοδος ψύξης ή καθορίζεται νέα. Σε κάθε μέθοδο καθορίζεται η θερμοκρασία της ζώνης πάνω από την οποία λειτουργεί ο εξοπλισμός για την ψύξη του χώρου, η μέγιστη παρεχόμενη ισχύς για ψύξη και επιλέγεται αν γίνεται ή όχι αφύγρανση του αέρα καθώς και η επιθυμητή σχετική υγρασία του χώρου στην περίπτωση που έχουμε αφύγρανση. Ο ορισμός χρονοδιαγράμματος λειτουργίας της συσκευής ψύξης καθορίζεται και πάλι έμμεσα μέσω χρονοδιαγράμματος για την επιθυμητή θερμοκρασία στη ζώνη.
- Η διείσδυση του αέρα: Καθορίζεται το αν θα συνυπολογιστεί για τη συγκεκριμένη ζώνη το φορτίο από τη διείσδυση του αέρα. Επιλέγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο «Infiltration» στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή δημιουργείται νέα. Για τον καθορισμό της μεθόδου απαιτείται ο ρυθμός εναλλαγών αέρα. Ο αέρας εισέρχεται με την θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.
- Η μέθοδος αερισμού κάθε ζώνης: Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να καθορισθεί η εισροή αέρα από οποιαδήποτε πηγή (π.χ. από ένα κλιματιστικό). Ο ορισμός της μεθόδου αερισμού είναι προαιρετικός και πραγματοποιείται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο «Ventilation» στο άνω μέρος του παραθύρου. Μπορεί να επιλεγεί μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή να οριστεί μία καινούρια. Για τον ορισμό μιας μεθόδου αερισμού

εισάγεται ο ρυθμός εναλλαγής αέρα, καθώς και η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του εισερχόμενου αέρα. Μπορεί αντί της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας να οριστεί ότι ο αέρας εισέρχεται με τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος.

- Τα εσωτερικά φορτία κάθε ζώνης: Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού καθώς και κάθε άλλο φορτίο που ορίζεται από το χρήστη. Ο ορισμός των φορτίων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο «Gains» στο άνω μέρος του παραθύρου. Το παράθυρο που εμφανίζεται είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να διευκολύνεται η εισαγωγή των φορτίων των ανθρώπων, των υπολογιστών και του φωτισμού. Για το φορτίο των ανθρώπων δίνεται πίνακας για την εργασία που εκτελούν τα άτομα στο χώρο με βάση τις προδιαγραφές ISO 7730 ή VDI 2078. Για τους υπολογιστές καθορίζεται από λίστα η ισχύς τους και το αν έχουν ή όχι έγχρωμη οθόνη. Τέλος για τον τεχνητό φωτισμό επιλέγεται από λίστα η εγκατεστημένη ισχύς σε watt/m^2 και το είδος του λαμπτήρα μαζί με το μέρος της ισχύς που μεταδίδεται στον αέρα μέσω συναγωγής. Το πεδίο «scale» αναφέρεται στον αριθμό ατόμων ή υπολογιστών ενώ στην περίπτωση του φωτισμού λαμβάνει τιμές 0 ή 1 ορίζοντας έτσι το πότε ανάβει και σβήνει ο φωτισμός. Εναλλακτικά για τον φωτισμό μπορεί να οριστεί στρατηγική έλεγχου από το αντίστοιχο πεδίο «control strategy». Τα υπόλοιπα εσωτερικά κέρδη της ζώνης καθορίζονται στο κάτω μέρος του παραθύρου κάνοντας κλικ στο εικονίδιο «Add». Ο ορισμός ενός κέρδους απαιτεί την εισαγωγή της ισχύος που μεταδίδεται στη ζώνη μέσω συναγωγής, ακτινοβολίας και της απόλυτης υγρασίας που παράγεται.
- Συνυπολογισμός της θερμικής άνεσης σε μία ζώνη: Η θερμική άνεση είναι προαιρετική και ορίζεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο «Comfort» στο άνω μέρος του παραθύρου. Στο παράθυρο που ανοίγει απαιτείται εισαγωγή του συντελεστή ένδυσης ανάλογα με την ένδυση των ατόμων στο χώρο, του μεταβολικού ρυθμού ανάλογα με την δραστηριότητα των ατόμων στο χώρο, του εξωτερικού έργου, το οποίο συνήθως είναι κοντά στο μηδέν και της σχετικής ταχύτητας του αέρα με τα άτομα στο χώρο. Το μοντέλο βασίζεται στις προδιαγραφές ISO 7730.

Κατά τον ορισμό μίας από τις παραπάνω μεθόδους, ο καθορισμός της τιμής μιας μεταβλητής (εκτός αυτών που επιλέγονται από λίστες ή πίνακες που παρέχει το TRNSYS) μπορεί να γίνει είτε δίνοντας μία σταθερή τιμή στη μεταβλητή, είτε ορίζοντας να διαβάζεται η τιμή από μία είσοδο στο μοντέλο, είτε ορίζοντας ένα χρονοδιάγραμμα για τις τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή σε διάφορες χρονικές περιόδους. Στην περίπτωση χρήσης χρονοδιαγράμματος η τιμή καθορίζεται υπό την ακόλουθη μορφή: $x = a \cdot \text{schedule} + b$, όπου x η τιμή της μεταβλητής, schedule το χρονοδιάγραμμα που χρησιμοποιείται και a , b συντελεστές που ορίζονται από τον χρήστη για τον καθορισμό της τιμής. Έτσι, αν ο χρήστης επιθυμεί η μεταβλητή να έχει τιμή 5 σε μία χρονική περίοδο και 2 σε κάθε άλλη περίπτωση, ορίζουμε με το χρονοδιάγραμμα στην περίοδο αυτή τιμή ίση με 1 και θέτουμε $a=3$ και $b=2$. Έτσι έχουμε στην περίοδο αυτή $x=3 \cdot 1+2=5$ και σε κάθε άλλη χρονική στιγμή $x=3 \cdot 0+2=2$. Τα χρονοδιαγράμματα μπορεί να είναι ημερήσια ή εβδομαδιαία. [16]

7.1.6 Κεντρικό παράθυρο του προγράμματος TRNBuild

Στο άνω μέρος του κεντρικού παραθύρου του προγράμματος TRNBuild υπάρχουν τα εικονίδια των διαχειριστών διαφόρων τύπων. Αυτοί είναι οι διαχειριστές (α) θέρμανσης, (β) ψύξης, (γ) αερισμού, (δ) διείσδυσης αέρα, (ε) εσωτερικών φορτίων (στ) θερμικής άνεσης, (ζ) τοίχων, (η) παραθύρων, (θ) στρώσεων υλικών των τοίχων, (ι) χρονοδιαγραμμάτων. Από τους διαχειριστές αυτούς οι έξι πρώτοι χρησιμεύουν στην διαχείριση και στην επεξεργασία των μεθόδων των αντίστοιχων διεργασιών που έχουν εισαχθεί σε κάθε ζώνη. Μέσω των υπόλοιπων διαχειριστών δίδονται οι ακόλουθες επιλογές:

- Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των συσκευών θέρμανσης και ψύξης και χρονοδιάγραμμα έναρξης και λήξης της ισχύος των διαφόρων φορτίων: Μπορούν να ορισθούν ημερήσια και εβδομαδιαία προγράμματα. Στα ημερήσια επιλέγονται τα χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια της ημέρας όπου λαμβάνεται η τιμή 1 ή 0. Στα εβδομαδιαία επιλέγονται τα ημερήσια προγράμματα που χρησιμοποιούνται κάθε μέρα στην περίοδο μιας εβδομάδας. Στο κάτω μέρος του παραθύρου του διαχειριστή υπάρχουν τα εικονίδια R,D,C,N τα οποία χρησιμεύουν αντίστοιχα στην μετονομασία, διαγραφή, αντιγραφή και τη δημιουργία νέου χρονοδιαγράμματος.

- Δημιουργία νέων τοίχων: Επιλέγοντας τον διαχειριστή τοίχων (wall type manager) ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορεί να γίνει επεξεργασία ενός τοίχου ή να οριστεί ένας νέος. Αυτό γίνεται επιλέγοντας τις στρώσεις των υλικών που αποτελεί τον τοίχο, με το πάχος κάθε στρώσης, ορίζοντας τους συντελεστές απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου και τέλος δίνοντας τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου. Ο συντελεστής αυτός μπορεί να υπολογιστεί αν επιλεγεί από το πρόγραμμα. Στο παράθυρο φαίνεται το συνολικό πάχος του τοίχου και ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας που προκύπτει από την επιλογή των στρώσεων των υλικών και τα πάχη τους. Οι στρώσεις των υλικών εισάγονται από βιβλιοθήκη ή καθορίζονται νέες από τον χρήστη.
- Επεξεργασία και εισαγωγή νέων στρώσεων υλικών για τους τοίχους: Οι ενέργειες αυτές γίνονται μέσω του διαχειριστή στρώσεων υλικών (Layer Type Manager). Στο παράθυρο του διαχειριστή επιλέγεται ένα υλικό και καθορίζεται η αγωγιμότητα του υλικού (kJ/hmK), η θερμοχωρητικότητα (kJ/kgK) και η πυκνότητα (kg/m^3).
- Επεξεργασία και δημιουργία νέων παραθύρων: Μέσω του διαχειριστή παραθύρων δίνεται επιλογή του συνδυασμού ήδη υπάρχοντων υαλοπινάκων με ήδη υπάρχοντα πλαίσια, καθώς επίσης και ορισμός επιπλέον θερμικής αντίστασης από εσωτερικά ή εξωτερικά σκίαστρα. Επιπλέον, πρέπει να οριστεί για τον υαλοπίνακα ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής και για τις δύο επιφάνειες του υαλοπίνακα, ενώ η τιμή των συντελεστών U και g διαβάζονται από την βιβλιοθήκη. Επίσης από το παράθυρο ορίζεται το πλαίσιο του υαλοπίνακα από την παρεχόμενη λίστα καθώς και το ποσοστό της επιφάνειας του παραθύρου που καταλαμβάνει, ο συντελεστής ανάκλασης και ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας U . [16]

Κεφάλαιο 8. Διερεύνηση κόστους κατασκευής και λειτουργίας κατοικιών

8.1 Γενική περιγραφή κατοικιών

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη των 3 περιπτώσεων κατασκευής κτιρίων με τη χρήση του προγράμματος προσομοίωσης TRNSYS. Αρχικά παρουσιάζονται τα υλικά κατασκευής κάθε κατοικίας χωριστά. Στη συνέχεια αναλύονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα από την προσομοίωση για κάθε περίπτωση. Σκοπός της διερεύνησης αυτής είναι η σύγκριση των τριών περιπτώσεων κτηρίων ως προς τα υλικά κατασκευής καθώς και του οικιακού εξοπλισμού ως προς την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται σε κάθε περίπτωση.

Το κτίριο που επιλέχθηκε έχει τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά για όλες τις περιπτώσεις μελέτης και προσομοιώνει μία τυπική ελληνική κατοικία. Το κάθε υπό μελέτη κτίριο εξετάζεται για την περιοχή της Αθήνας, είναι μονοκατοικία συνολικού εμβαδού 88τ.μ. και περιλαμβάνει τις εξής θερμικές ζώνες:

1. Ζώνη 1: Υπνοδωμάτιο
2. Ζώνη 2: Μπάνιο
3. Ζώνη 3: Σαλόνι
4. Ζώνη 4: Κουζίνα

Ο προσανατολισμός της κατοικίας επιλέχθηκε λαμβάνοντας υπόψιν τις βασικές αρχές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, επιλέγοντας στη Ζώνη 3 νότιο προσανατολισμό με τα μεγαλύτερα ανοίγματα (υαλοπίνακες), καθώς στη ζώνη αυτή οι άνθρωποι περνούν το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της ημέρας.

Σε κάθε περίπτωση επιλέχθηκαν διαφορετικοί τύποι εξωτερικής τοιχοποιίας, με διαφορετικά υλικά θερμομόνωσης. Η επιλογή των υλικών θερμομόνωσης έγινε με βάση το κόστος και των ιδιοτήτων των υλικών. Ο εσωτερικός τοίχος που διαχωρίζει κάθε θερμική ζώνη είναι ίδιος σε κάθε περίπτωση ώστε να μην ξεπερνάει συγκεκριμένο πάχος και να μην επηρεάζονται τα τετραγωνικά του κάθε υπο μελέτη κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, το ύψος του κάθε κτιρίου είναι $h=3\text{m}$, τα αντίστοιχα εμβαδά της κάθε ζώνης είναι:

- Ζώνη 1: 12 m^2
- Ζώνη 2: 9 m^2
- Ζώνη 3: 32 m^2
- Ζώνη 4: 24 m^2

Οι επιστρώσεις της εσωτερικής τοιχοποιίας κάθε κτιρίου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (26):

Πίνακας 26: Επιστρώσεις εσωτερικής τοιχοποιίας.

Υλικό	Πάχος (m)	Αγωγιμότητα (kJ/hmK)	Ειδική θερμότητα (kJ/kgK)	Πυκνότητα (kg/m ³)
Σοβάς	0.03	1.26	0.84	1000
Τούβλο (6οπο)	0.09	1.692	0.84	893
Σοβάς	0.03	1.26	0.84	1000

Σε κάθε ζώνη θεωρήθηκε ότι υπάρχει συγκεκριμένος αριθμός ανθρώπων καθώς και συγκεκριμένων ηλεκτρικών συσκευών. Η πλειοψηφία των χώρων του κτιρίου χρησιμοποιείται από 2 ανθρώπους και σε συγκεκριμένες κατά κύριο λόγο χρονικές περιόδους.

Το χρονοδιάγραμμα που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε περίπτωση είναι:

Πίνακας 27: Χρονοδιάγραμμα κάθε ζώνης

Ζώνη	Άτομα	Περιγραφή
Υπνοδωμάτιο	2	24:00-07:00
Μπάνιο	1	07:00-08:00 και 22:00-23:00
Σαλόνι	2	20:00-23:00
Κουζίνα	2	07:00-08:00 και 18:00-19:00

Προτού ξεκινήσει η ανάλυση της κάθε περίπτωσης θεωρείται σκόπιμη η αναφορά και στα ηλεκτρικά φορτία των κατοικιών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα HOMER για την προσομοίωση εκτός των θερμικών φορτίων και των ηλεκτρικών, αντίστοιχα για τις εποχές χειμώνα και καλοκαίρι, εισάγοντας τα συνολικά kW που καταναλώνονται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους και σε συγκεκριμένες δραστηριότητες με μία απόκλιση της τάξης των 15-20%.

8.2 Περίπτωση Πρώτη

Η πρώτη περίπτωση μελέτης αφορά την πιο οικονομική ως προς το κόστος κατασκευής, αλλά όπως αποδεικνύεται στη συνέχεια, την πιο ενεργοβόρα και ακριβή όσον αφορά την συντήρησή του. Είναι ένα κτίριο με μία απλή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μόνωση, αυτή του πετροβάμβακα. Η θέρμανση που χρησιμοποιείται είναι με καυστήρα πετρελαίου και για την ψύξη του κτιρίου χρησιμοποιούνται μόνο ανεμιστήρες οροφής.

Η πλευρά της εξωτερικής τοιχοποιίας, καθώς και τα υλικά των υαλοπινάκων και των κουφωμάτων τα οποία εισήχθησαν στο πρόγραμμα προσομοίωσης TRNBUILD παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 28: Επιστρώσεις εξωτερικής τοιχοποιίας.

Υλικό	Πάχος (m)	Αγωγιμότητα (kJ/hmK)	Ειδική θερμότητα (kJ/kgK)	Πυκνότητα (kg/m ³)
Σοβάς	0.03	1.26	0.84	1000
Τούβλο (12οπο)	0.012	1.692	0.84	885
Πετροβάμβακας	0.05	0.126	0.84	80
Τούβλο (12οπο)	0.012	1.692	0.84	885
Σοβάς	0.03	1.26	0.84	1000

Υαλοπίνακας	U- Υαλοπίνακα (W/m ² K)
Μονός υαλοπίνακας	5.68

Στη συνέχεια ακολουθήθηκε η απαιτούμενη διαδικασία, όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, για την είσοδο των δεδομένων στο πρόγραμμα TRNSYS. Επίσης εισήχθησαν και τα δεδομένα από την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας των ηλεκτρικών συσκευών με τη βοήθεια του προγράμματος HOMER και στη συνέχεια αθροίστηκαν με την κατανάλωση της ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση.

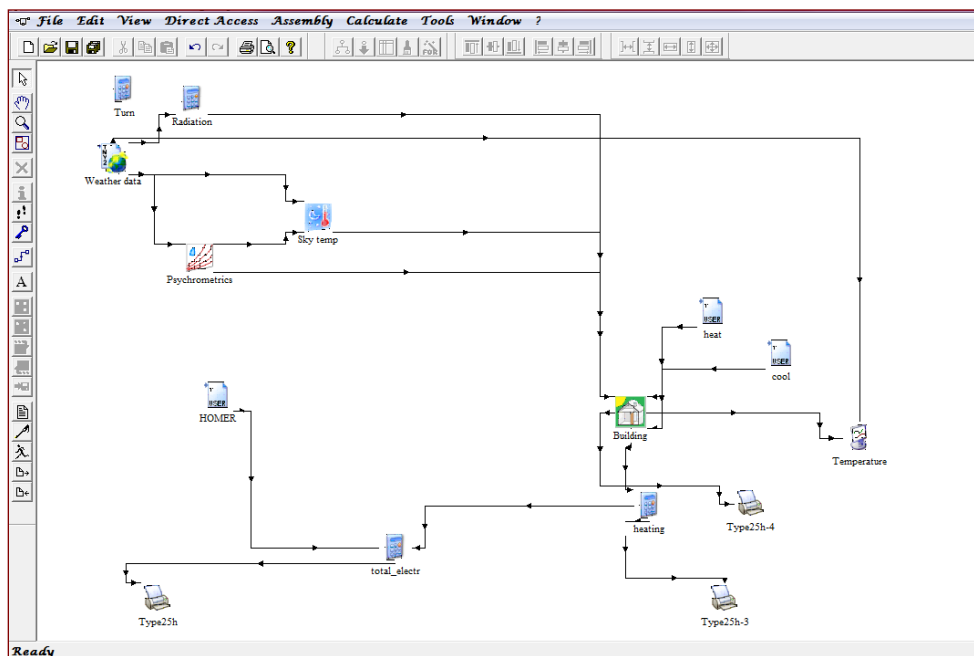
Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι ηλεκτρικές συσκευές που επιλέχθηκαν για το συγκεκριμένο σπίτι με την αντίστοιχη ονομαστική ισχύ τους. Περισσότερες πληροφορίες για τις συσκευές αυτές παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

Πίνακας 29: Οι ηλεκτρικές συσκευές και η αντίστοιχη ονομαστική ισχύς αυτών.

Ηλεκτρικές συσκευές	Ονομαστική ισχύς (kW)
Ψυγείο	0.7
Κουζίνα	0.97-1.08
Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας	3.7
Φωτισμός	0.1
Πληντόριο ρούχων	1.6
Υπολογιστής	0.08
Τηλεόραση	0.22
Ψύξη	
Ανεμιστήρας οροφής	0.06

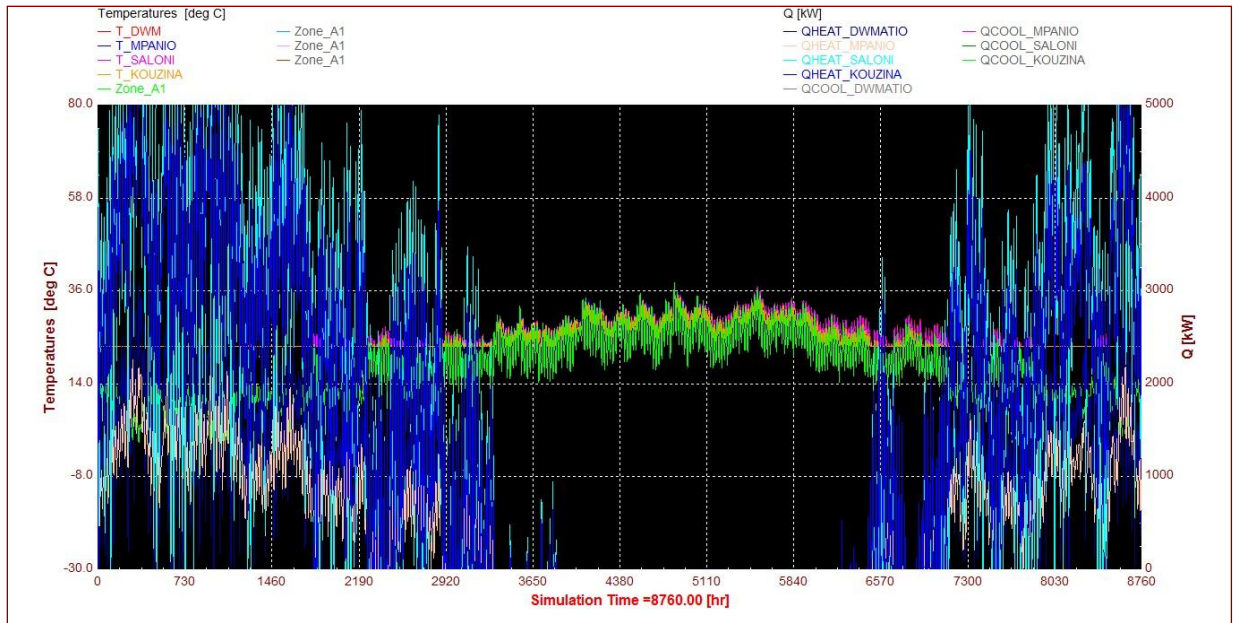
Το κτίριο που προσομοιώθηκε εισάγεται στο Simulation Studio όπου προκύπτει το παρακάτω πλέγμα:

Εικόνα 34: Πλέγμα πρώτης περίπτωσης.

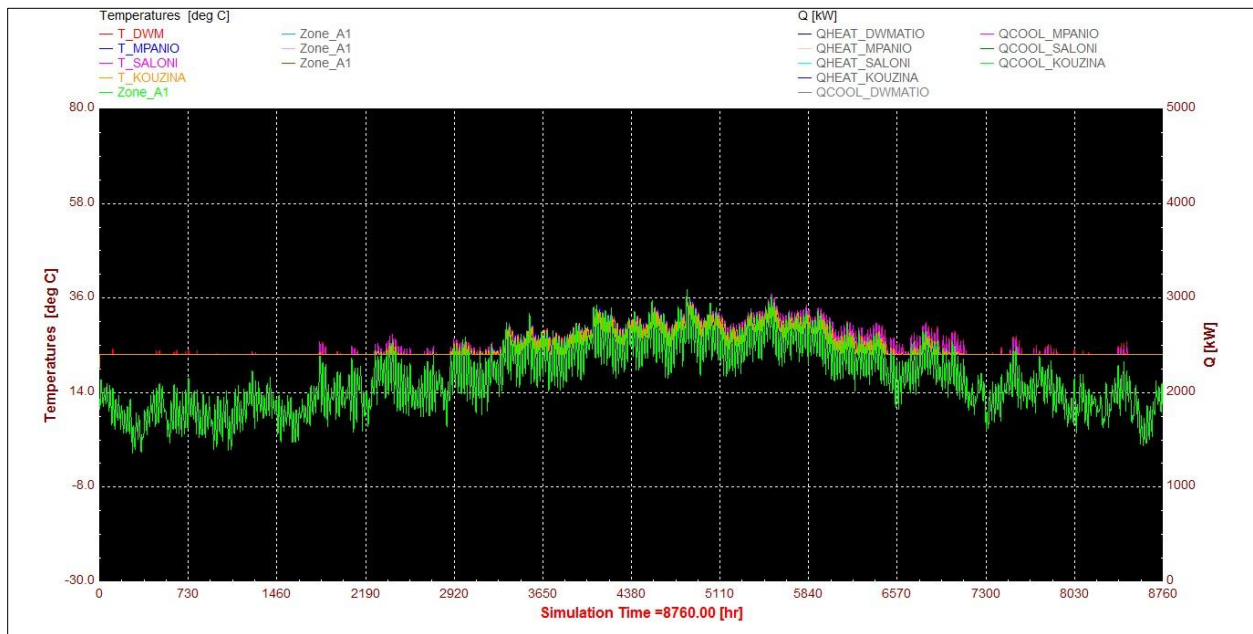


8.2.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων

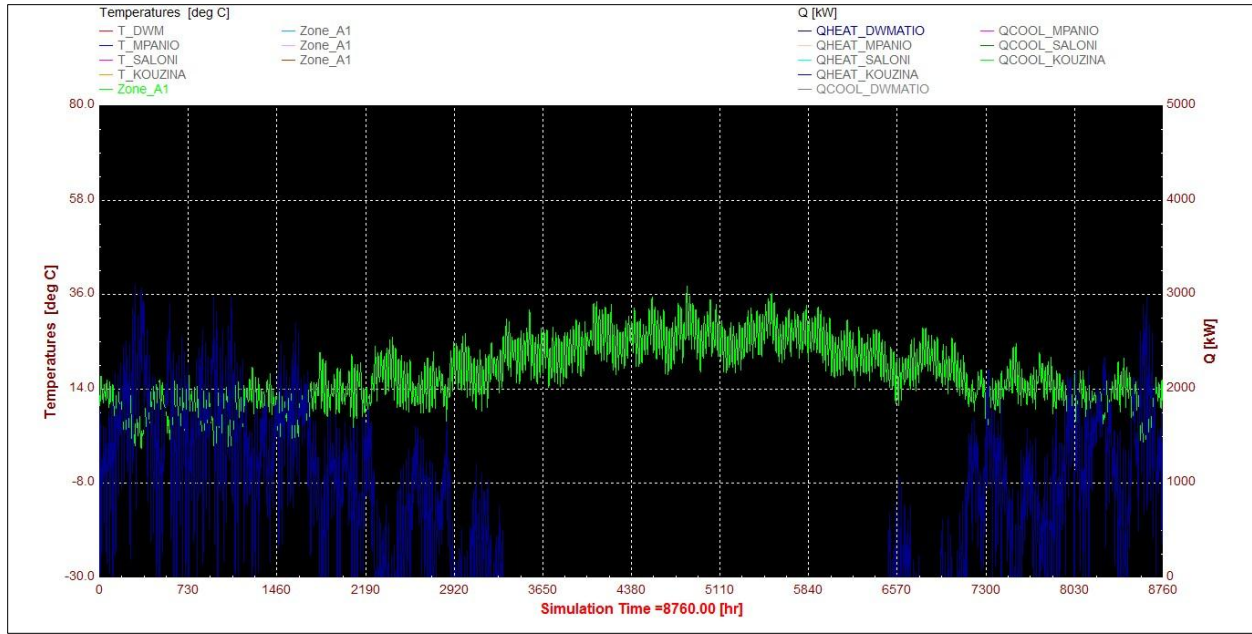
Στην ενότητα αυτή αναλύονται τα σχετικά αποτελέσματα μετά την προσομοίωση για ένα έτος (8760 ώρες). Προκύπτει το διάγραμμα το οποίο παρουσιάζει τις θερμοκρασίες της κάθε ζώνης του κτιρίου, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος καθώς και τα αντίστοιχα ποσά θερμότητας που απαιτούνται για την θέρμανση της κάθε ζώνης. Συνολικά για το σπίτι αυτό χρειάζονται 60000 kJ/h ώστε να διατηρείται και η θερμική άνεση των κατοίκων όσο γίνεται στα επιτρεπτά όρια.



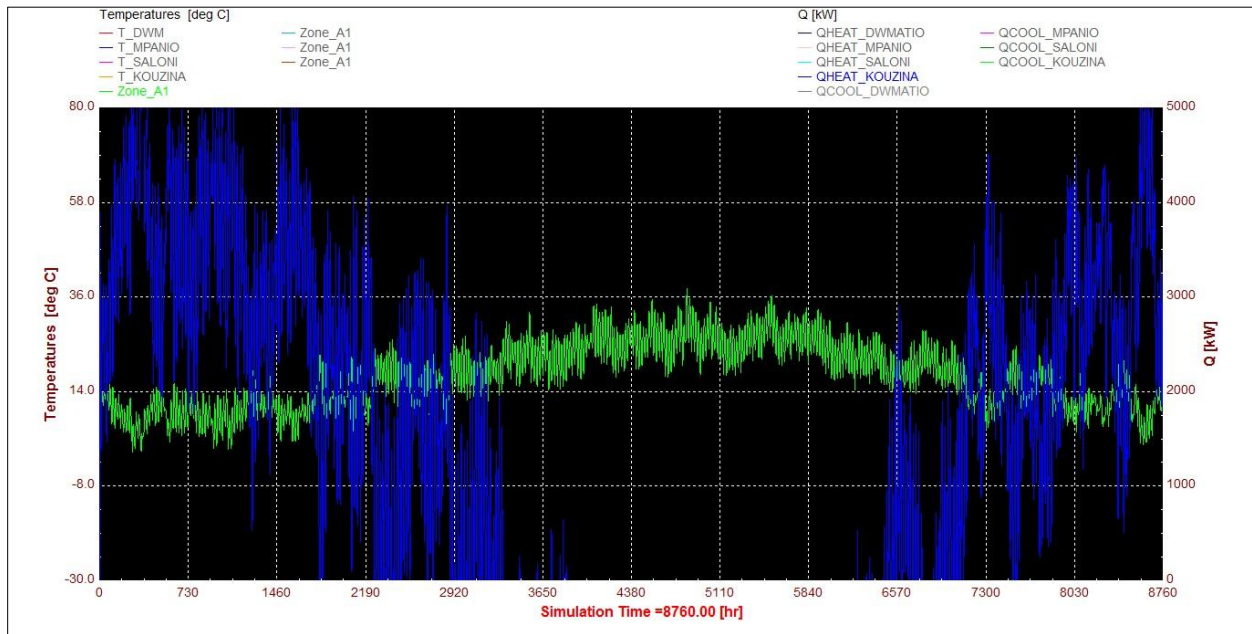
Τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν τα αποτελέσματα σε επιμέρους διαγράμματα για την καλύτερη κατανόησή τους.



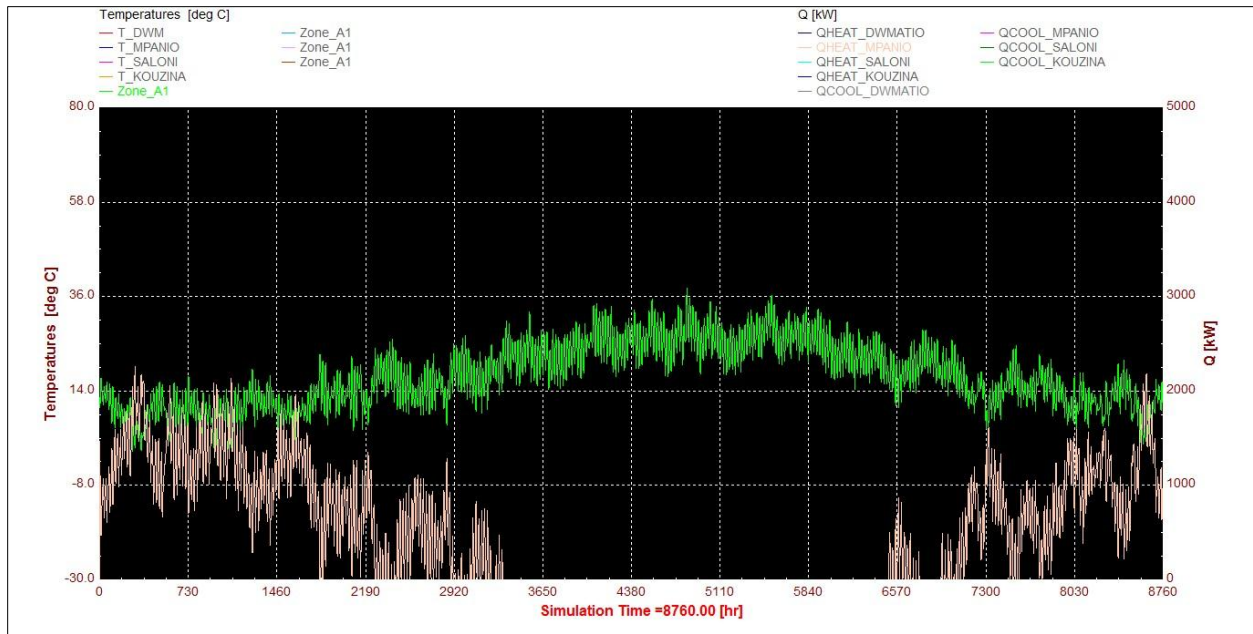
Εικόνα 12: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες σε κάθε δωμάτιο.



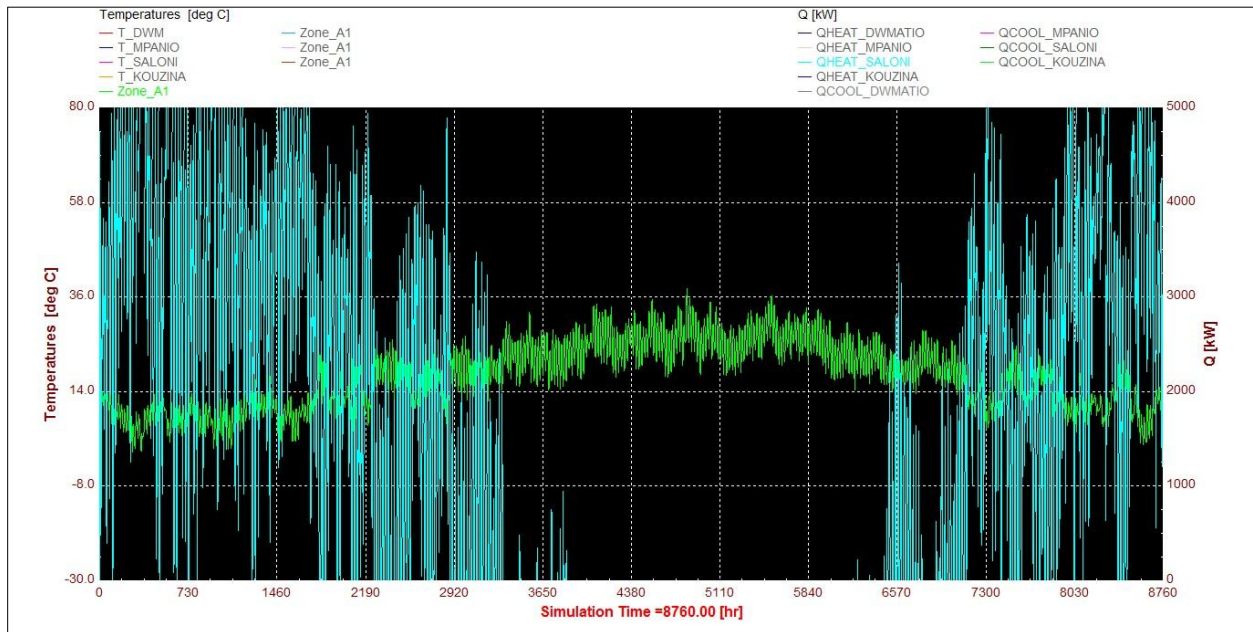
Εικόνα 13: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμότητα που απαιτείται για τη θέρμανση του δωματίου.



Εικόνα 35: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμότητα που απαιτείται για τη θέρμανση της κουζίνας.



Εικόνα 36: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμότητα που απαιτείται για τη θέρμανση του μπάνιου.



Εικόνα 37: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμότητα που απαιτείται για τη θέρμανση του σαλονιού.

Στο πρόγραμμα προσομοίωσης με την εισαγωγή μιας σειράς εξισώσεων υπολογίστηκαν τα συνολικά λίτρα πετρελαίου που χρειάζεται το σπίτι για ένα έτος. Η εξίσωση αυτή είναι:

$$\sum q_{heat} = \frac{(q_{KOYZINA} + q_{SALONI} + q_{MPANIO} + q_{\Delta\Omega\text{MATIO}})}{3600} [kWh]$$

Η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου από την βιβλιογραφία είναι: Κ.Θ.Δ.= 11.9 kW/kg [36]

Απο τα χαρακτηριστικά που δίνονται από τον κατασκευαστή υπολογίζεται ο βαθμός απόδοσης του καυστήρα:

- Παροχή = 3.06 kg/h
- Ισχύς = 36.3 kWh

Από την παροχή και την Κ.Θ.Δ. υπολογίζεται η δαπανώμενη ισχύς του καυστήρα:

$$11.9 \text{ kWh/kg} * 3.06 \text{ kg/h} = 36.9 \text{ kWh}$$

Άρα ο βαθμός απόδοσης του καυστήρα θα είναι:

$$B.A. = \frac{36.3 \text{ kWh}}{36.9 \text{ kWh}} \Rightarrow B.A. = 0.98$$

- Η πυκνότητα του πετρελαίου είναι: 0.827 kg/l [37]

Επομένως προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\text{Ενέργεια καυσίμου} = \frac{\Sigma q_{heat}}{B.A.}$$

και

$$lt = \left(\frac{\text{Ενέργεια καυσίμου}}{11.9} \right) * 0.827$$

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης υπολογίζεται ότι σε ένα έτος (8760 ώρες) καταναλώνονται **10112.738 kWh** και **717.96 lt** πετρελαίου.

Αντίστοιχα υπολογίζονται και τα ηλεκτρικά φορτία των ηλεκτρικών συσκευών που καταναλώνονται κατά τη διάρκεια του έτους λαμβάνοντας υπόψιν και την κατανάλωση του πετρελαίου. Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας από τις ηλεκτρικές συσκευές.

Χειμώνας	kW																								
Ωρες	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Ψυγείο	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
Πληντήριο ρούχων	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	1.6	1.6
Φωτισμός	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Κουζίνα	0	0	0	0	0	0	0.97	0	0	0	0	0	0	0.97	0	0	0	0	0	0	0	1.08	0	0	0
Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας	0	0	0	0	0	0	3.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.7	0	0	0
Ανεμιστήρας οροφής	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Τηλεόραση	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.22	0	0	0	0	0	0	0.22	0.22	0.22	0	0
Υπολογιστής	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	0	0	0.08	0.08	0	0	0
Σύνολο	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	5.47	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1.97	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	1.1	5.88	2.62	2.4	2.4	

Καλοκαίρι	kW																								
Ωρες	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Ψυγείο	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	
Πληντήριο ρούχων	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	1.6	1.6	
Φωτισμός	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Κουζίνα	0	0	0	0	0	0	0.97	0	0	0	0	0	0	0.97	0	0	0	0	0	0	0	1.08	0	0	0
Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ανεμιστήρας οροφής	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.06	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0
Τηλεόραση	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.22	0	0	0	0	0	0.22	0.22	0.22	0	0	
Υπολογιστής	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	0	0.08	0.08	0	0	0	
Σύνολο	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	3.47	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	3.67	2.46	2.46	2.46	2.5	2.5	2.8	3.88	4.32	4.1	4.1	

Επομένως, η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια ενός έτους από το συγκεκριμένο σπίτι είναι **14417.27 kWh**.

Τέλος, για την πρώτη περίπτωση υπολογίζεται και ο δείκτης θερμικής άνεσης (PMV) που, όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι δείκτης με μεγάλη σπουδαιότητα για την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Στην προσομοίωση δεν λαμβάνονται υπόψιν οι ακραίες τιμές ± 3 , αλλά οι τιμές ± 1 που είναι πιο αποδεκτές από τον άνθρωπο. Ο υπολογισμός της τιμής αυτής έγινε λαμβάνοντας υπόψιν το πλήθος των τιμών του PMV που είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες από το ± 1 . Σε αυτή την περίπτωση κατοικίας το ποσοστό των δυσαρεστημένων ανθρώπων (PPD) για κάθε θερμική ζώνη είναι:

Θερμική ζώνη	Ποσοστό PPD (%)
Δωμάτιο	19.95
Μπάνιο	0
Κουζίνα	19.82
Σαλόνι	17.74

$$PPD = (\text{Πλήθος} * 100) / \text{Σύνολο}$$

8.3 Περίπτωση Δεύτερη

Η δεύτερη περίπτωση μελέτης αφορά μία κατοικία με μέτριο κόστος κατασκευής. Είναι ένα κτίριο το οποίο δεν περιέχει κάποιο τύπο μόνωσης. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται τούβλα με κατακόρυφες οπές, τα οποία προσφέρουν στο κτίριο την απαιτούμενη μόνωση. Η θέρμανση που χρησιμοποιείται είναι με καυστήρα πέλλετ και για την ψύξη του κτιρίου χρησιμοποιούνται συμβατικά κλιματιστικά σε όλα τα δωμάτια εκτός από το μπάνιο.

Η πλευρά της εξωτερικής τοιχοποιίας, καθώς και τα υλικά των υαλοπινάκων και των κουφωμάτων τα οποία εισήχθησαν στο πρόγραμμα προσομοίωσης TRNBUILD παρουσιάζονται παρακάτω:

Υλικό	Πάχος (m)	Αγωγιμότητα (kJ/hmK)	Ειδική θερμότητα (kJ/kgK)	Πυκνότητα (kg/m ³)
Σοβάς	0.03	1.26	0.84	1000
Ορθομπλοκ	0.3	0.3816	0.84	950
Σοβάς	0.03	1.26	0.84	1000

Υαλοπίνακας	U- Υαλοπίνακα (W/m ² K)
Διπλός με αργό	1.27

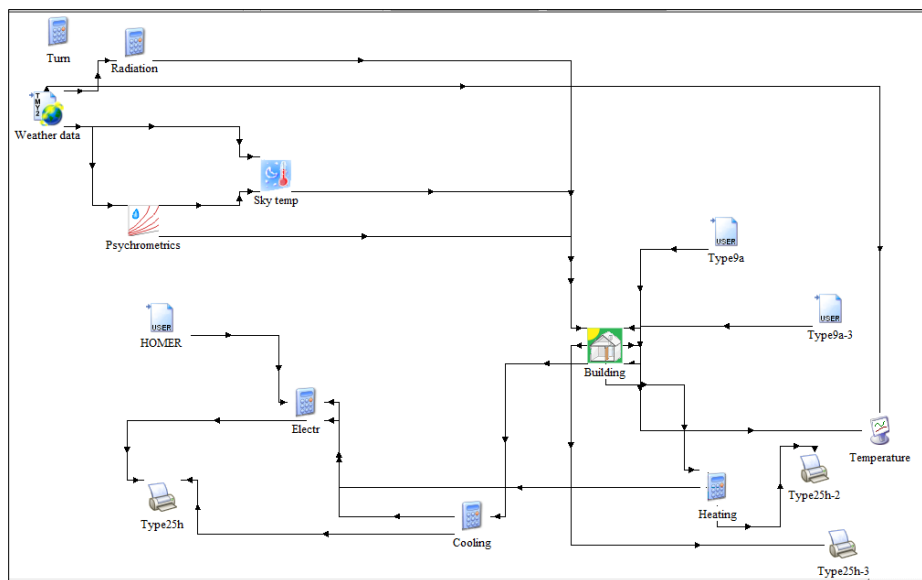
Στη συνέχεια ακολουθήθηκε η απαιτούμενη διαδικασία, για την είσοδο των δεδομένων στο πρόγραμμα TRNSYS. Επίσης εισήχθησαν τα δεδομένα από την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας των ηλεκτρικών συσκευών με τη βοήθεια του προγράμματος HOMER.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι ηλεκτρικές συσκευές που επιλέχθηκαν για το συγκεκριμένο σπίτι με την αντίστοιχη ονομαστική ισχύ τους. Περισσότερες πληροφορίες για τις συσκευές αυτές παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

Πίνακας 30: Ονομαστική ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών

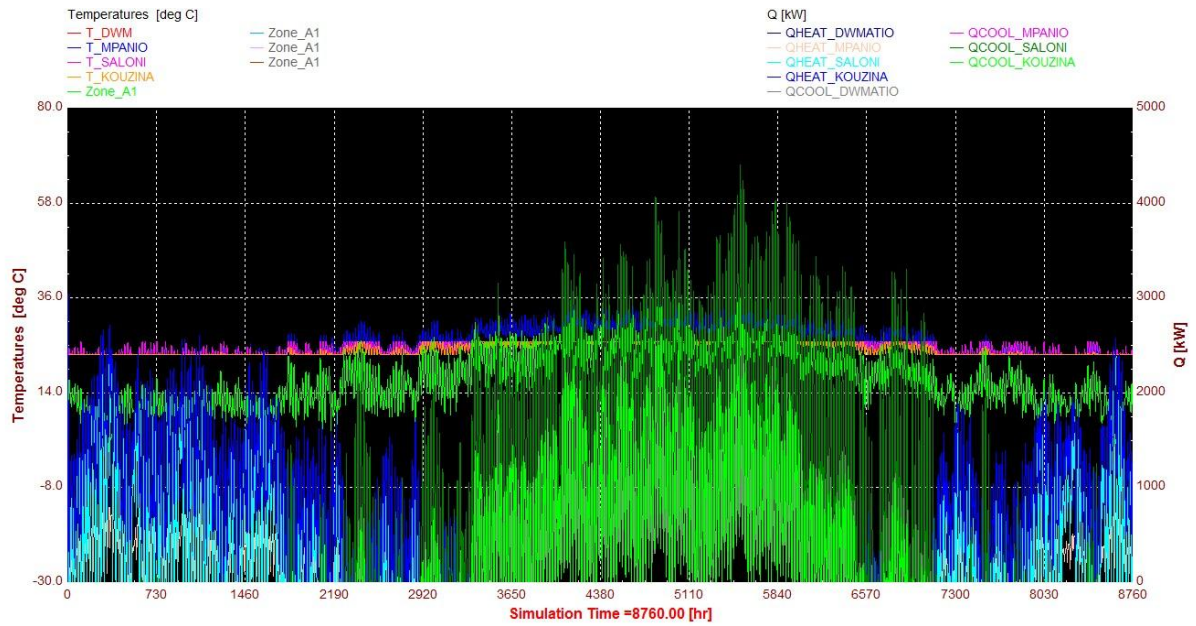
Ηλεκτρικές συσκευές	Ονομαστική ισχύς (kW)
Ψυγείο	0.035
Κουζίνα	0.85-0.95
Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας	3.7
Φωτισμός	0.02
Πληντύριο ρούχων	0.0225
Υπολογιστής	0.022
Τηλεόραση	0.12
Ψύξη	
Συμβατικό Κλιματιστικό	1.055

Το κτίριο που προσομοιώθηκε εισάγεται στο Simulation Studio όπου προκύπτει το παρακάτω πλέγμα:

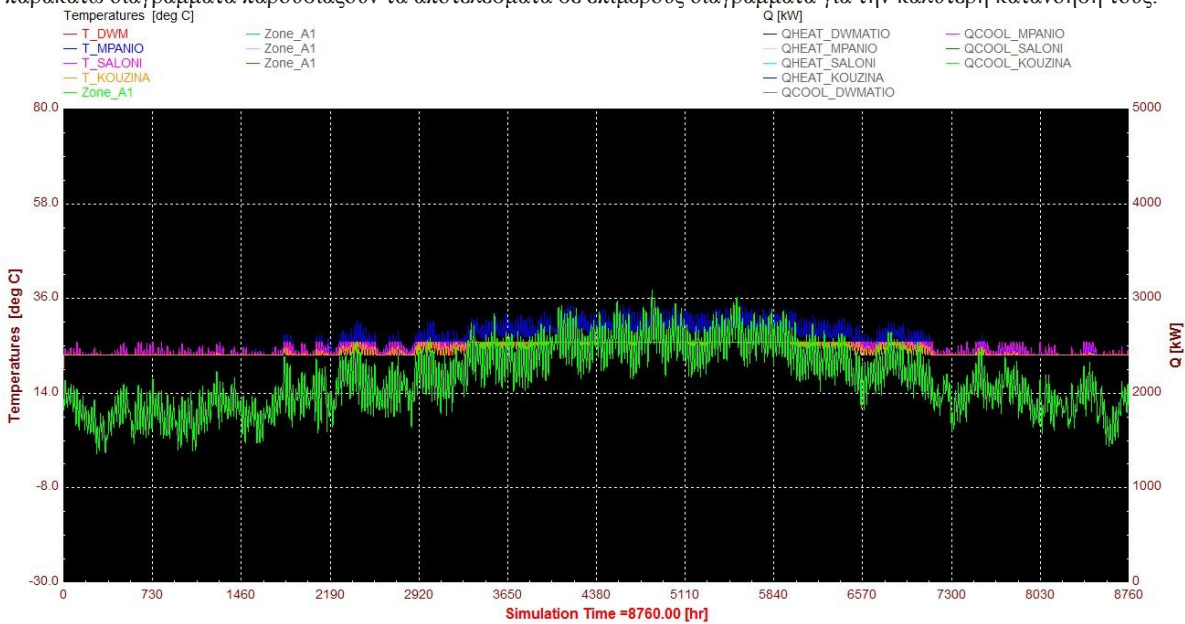


8.3.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων

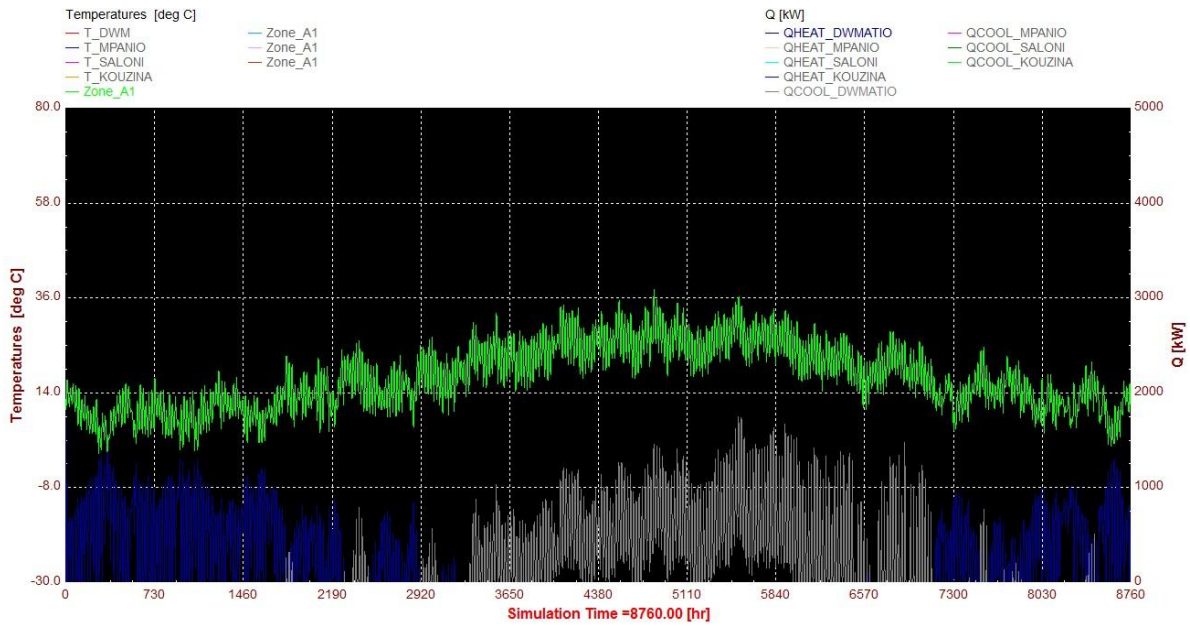
Αντίστοιχα στην περίπτωση αυτή προκύπτει το διάγραμμα το οποίο παρουσιάζει τις θερμοκρασίες της κάθε ζώνης του κτιρίου, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος καθώς και τα αντίστοιχα ποσά θερμότητας που απαιτούνται για την θέρμανση της κάθε ζώνης. Συνολικά για το σπίτι αυτό χρειάζονται 45000 kJ/h ώστε να διατηρείται και η θερμική άνεση των κατοίκων όσο γίνεται στα επιτρεπτά όρια.



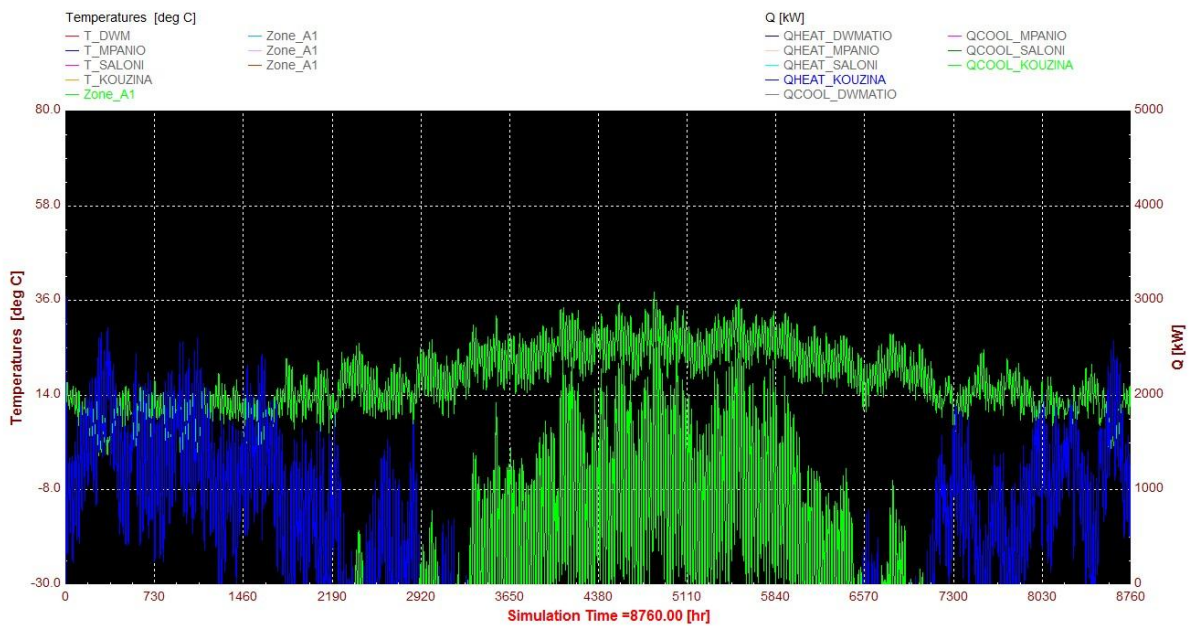
Τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν τα αποτελέσματα σε επιμέρους διαγράμματα για την καλύτερη κατανόησή τους.



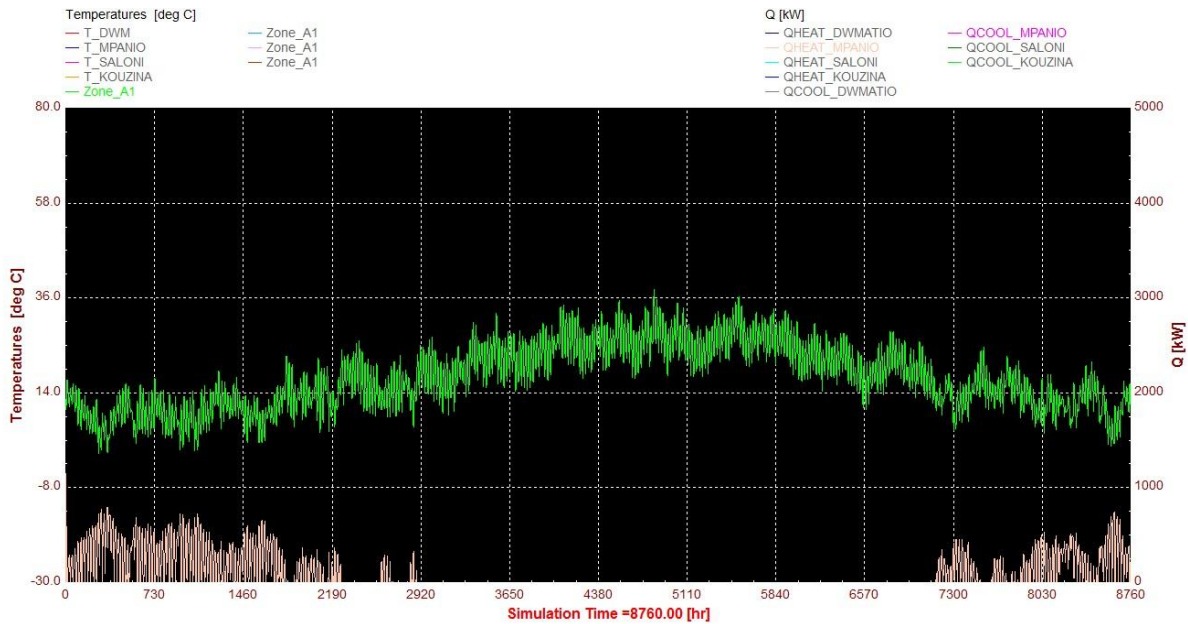
Εικόνα 38: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες σε κάθε δωμάτιο.



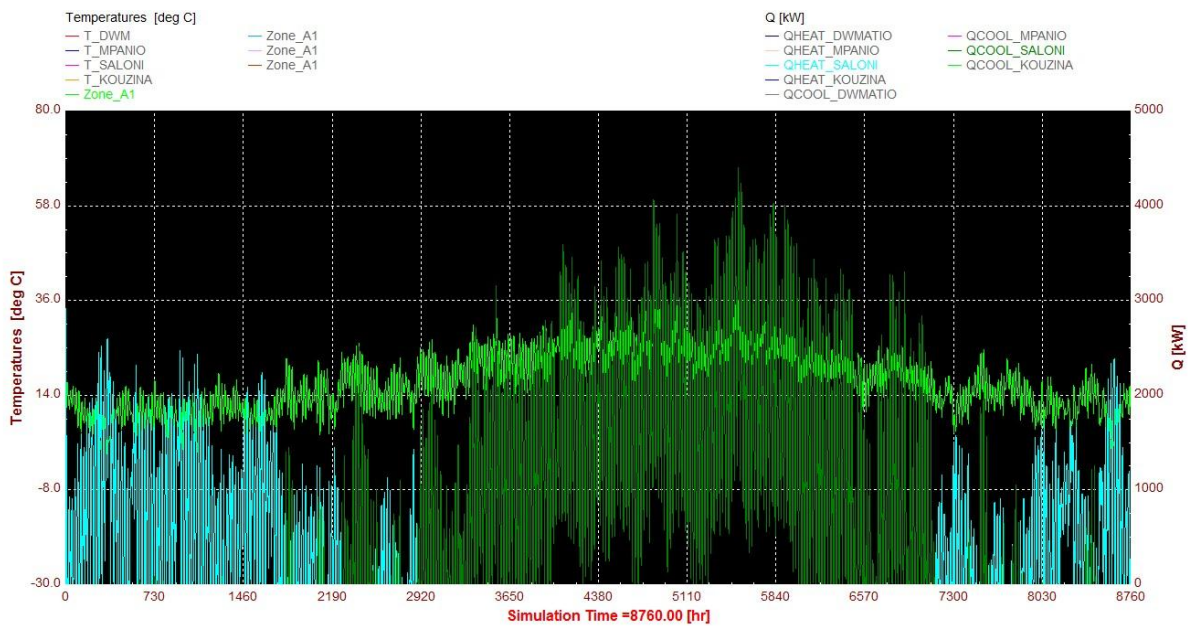
Εικόνα 39: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμότητα που απαιτείται για τη θέρμανση και ψύξη του δωματίου.



Εικόνα 40: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμότητα που απαιτείται για τη θέρμανση και ψύξη της κουζίνας.



Εικόνα 41: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμότητα που απαιτείται για τη θέρμανση του μπάνιου.



Εικόνα 42: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμότητα που απαιτείται για τη θέρμανση και ψύξη του σαλονιού.

Στο πρόγραμμα προσομοίωσης με την εισαγωγή μιας σειράς εξισώσεων υπολογίστηκαν τα συνολικά κιλά πέλλετς που χρειάζεται το σπίτι για ένα έτος. Η εξίσωση αυτή είναι:

$$\sum q_{heat} = \frac{(q_{KOYZINA} + q_{ΣΑΛΟΝΙ} + q_{ΜΠΑΝΙΟ} + q_{ΔΩΜΑΤΙΟ})}{3600} [kWh]$$

Η κατώτερη θερμογόνο δύναμη των πέλλετς από την βιβλιογραφία είναι: Κ.Θ.Δ.= 4.66 kW/kg [36]

Από τον κατασκευαστή δίνεται ο βαθμός απόδοσης του καυστήρα ο οποίος είναι:

$$B.A. = 94\%$$

Επομένως προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\text{Ενέργεια καυσίμου} = \frac{\Sigma q_{heat}}{B.A.}$$

και

$$kg = \left(\frac{\text{Ενέργεια καυσίμου}}{4.66} \right)$$

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης υπολογίζεται ότι σε ένα έτος (8760 ώρες) καταναλώνονται για τη θέρμανση 2639.33 kWh και 608.23 kg πέλλετς. Αντίστοιχα για την ψύξη καταναλώνονται 2229.04 kWh.

Τέλος, υπολογίζονται και τα ηλεκτρικά φορτία των ηλεκτρικών συσκευών που καταναλώνονται κατά τη διάρκεια του έτους λαμβάνοντας υπόψιν και την κατανάλωση από τα πέλλετς. Ο παρακάτω πίνακας περιέχει την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας από τις ηλεκτρικές συσκευές.

Χειμώνας	kW																							
Ώρες	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ψυγείο	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
Πληντήριο ρούχων	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.025	0.025	0.025
Φωτισμός	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Κουζίνα	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0
Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας	0	0	0	0	0	0	3.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.7	0	0	0
Τηλεόραση	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0	0	0	0	0	0.12	0.12	0.12	0	0
Υπολογιστής	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.022	0	0	0	0	0	0.022	0.022	0	0	0
Σύνολο	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	4.455	0.055	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	1.077	0.035	0.035	0.035	0.055	0.055	0.197	4.797	0.2	0.08	0.08

Καλοκαίρι	kW																								
Ώρες	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Ψυγείο	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Πληντήριο ρούχων	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.025	0.025	0.025	
Φωτισμός	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
Κουζίνα	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	
Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Τηλεόραση	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0	0	0	0	0	0.12	0.12	0.12	0	0	
Υπολογιστής	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.022	0	0	0	0	0	0.022	0.022	0	0	0	
Σύνολο	1	1	1	1	1	1	1.72	1.02	1	1	1	1	1	1	2.042	1	1	1	1.02	1.02	1.162	2.062	1.165	1.045	1.045

Επομένως, η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια ενός έτους από το συγκεκριμένο σπίτι είναι **7665.101 kWh**.

Στη συνέχεια υπολογίζεται και ο δείκτης θερμικής άνεσης (PMV). Στην προσομοίωση δεν λαμβάνονται υπόψιν οι ακραίες τιμές ± 3 αλλά οι τιμές ± 1 που είναι πιο αποδεκτές από τον άνθρωπο. Σε αυτή την περίπτωση κατοικίας το ποσοστό των δυσαρεστημένων ανθρώπων (PPD) για κάθε ζώνη είναι:

Θερμική ζώνη	Ποσοστό PPD (%)
Δωμάτιο	0
Μπάνιο	24.2
Κουζίνα	0
Σαλόνι	0

Ο υπολογισμός της τιμής για το μπάνιο έγινε λαμβάνοντας υπόψιν το πλήθος των τιμών του PMV που είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες από το ± 1 .

- Πλήθος = 2119
- Σύνολο = 8760

Επομένως είναι:

$$PPD = (2119 \cdot 100) / 8760 = 24.2\%$$

Η τιμή αυτή είναι λογική καθώς στο μπάνιο δεν εγκαταστάθηκε κάποιος τύπος ψύξης για τους θερινούς μήνες.

8.4 Περίπτωση Τρίτη

Η τρίτη περίπτωση μελέτης αφορά την πιο ακριβή ως προς το κόστος κατασκευής, αλλά όπως αποδεικνύεται στη συνέχεια, την πιο οικονομική όσον αφορά την συντήρησή του. Η μόνωση που χρησιμοποιείται είναι η εξηλασμένη πολυστερίνη (DOW). Η θέρμανση και η ψύξη που χρησιμοποιείται είναι με κλιματιστικό με τεχνολογία INVERTER.

Η πλευρά της εξωτερικής τοιχοποιίας, καθώς και τα υλικά των υαλοπινάκων και των κουφωμάτων τα οποία εισήχθησαν στο πρόγραμμα προσομοίωσης TRNBUILD παρουσιάζονται παρακάτω:

Υλικό	Πάχος (m)	Αγωγιμότητα (kJ/hmK)	Ειδική θερμότητα (kJ/kgK)	Πυκνότητα (kg/m ³)
Σοβάς	0.03	1.26	0.84	1000
Τούβλο	0.09	1.692	0.84	893
Αέρας	0.02	0.09	1.012	1.204
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0.05	0.126	1.3	20
Τούβλο	0.12	1.692	0.84	885
Σοβάς	0.03	1.26	0.84	1000

Υαλοπίνακας	U- Υαλοπίνακα (W/m ² K)
Τριπλός με ξένο	0.4

Στη συνέχεια ακολουθήθηκε η απαιτούμενη διαδικασία, όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, για την είσοδο των δεδομένων στο πρόγραμμα TRNSYS. Επίσης εισήχθησαν και τα δεδομένα από την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας των ηλεκτρικών συσκευών με τη βοήθεια του προγράμματος HOMER και στη συνέχεια αθροίστηκαν με την κατανάλωση της ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση και την ψύξη.

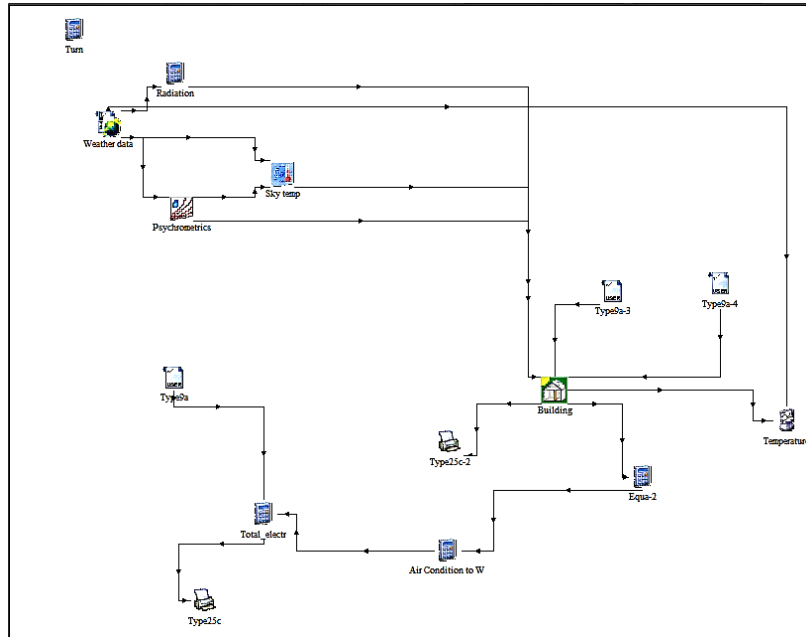
Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι ηλεκτρικές συσκευές που επιλέχθηκαν για το συγκεκριμένο σπίτι με τις αντίστοιχες καταναλώσεις τους. Περισσότερες πληροφορίες για τις συσκευές αυτές παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

Ηλεκτρικές συσκευές	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)
Ψυγείο	0.03
Κουζίνα	0.79 – 0.89
Φωτισμός	0.02
Πληντύριο ρούχων	0.021
Υπολογιστής	0.018
Τηλεόραση	0.057

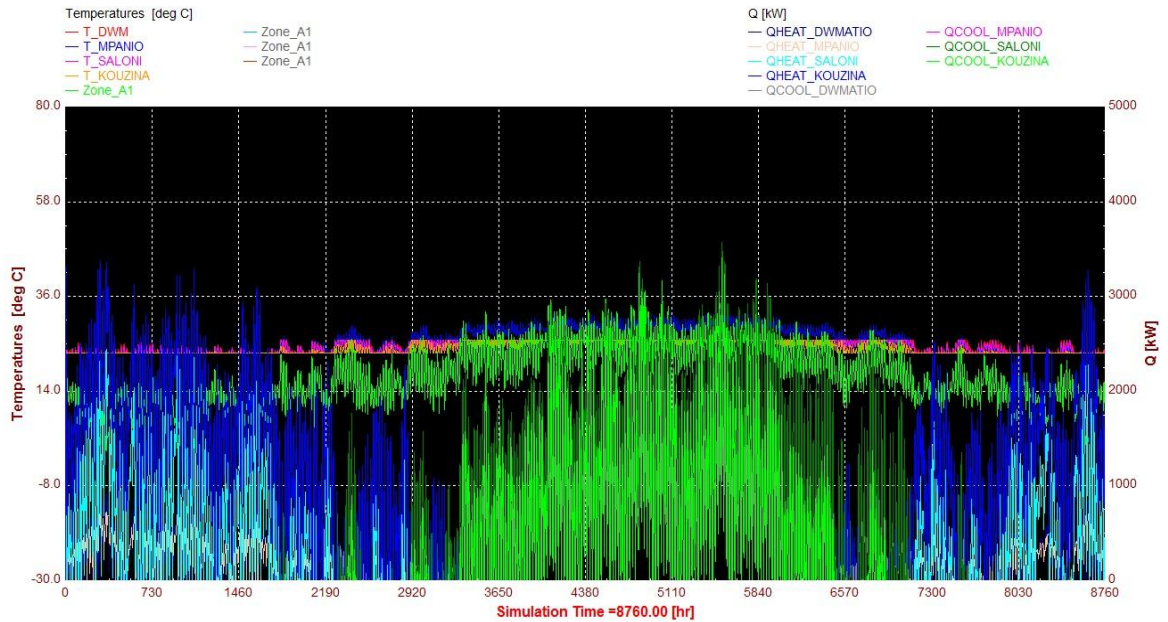
Στην περίπτωση αυτή δεν χρησιμοποιείται ηλεκτρικός θερμοσίφοντας αλλά ηλιακός. Έτσι, δεν υπάρχει κατανάλωση ενέργειας από την χρήση του. Τέλος, θεωρείται σκόπιμη η μη αναφορά στην παροχή ζεστού νερού χρήσης, καθώς δεν είναι ο σκοπός της παρούσας εργασίας. Λαμβάνεται υπόψιν ότι ο ηλιακός θερμοσίφοντας που χρησιμοποιείται είναι υπερδιαστασιολογημένος για να καλύπτονται οι ανάγκες των κατοίκων ακόμα και τους χειμερινούς μήνες που δεν επαρκεί η ηλιακή ακτινοβολία.

8.4.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων

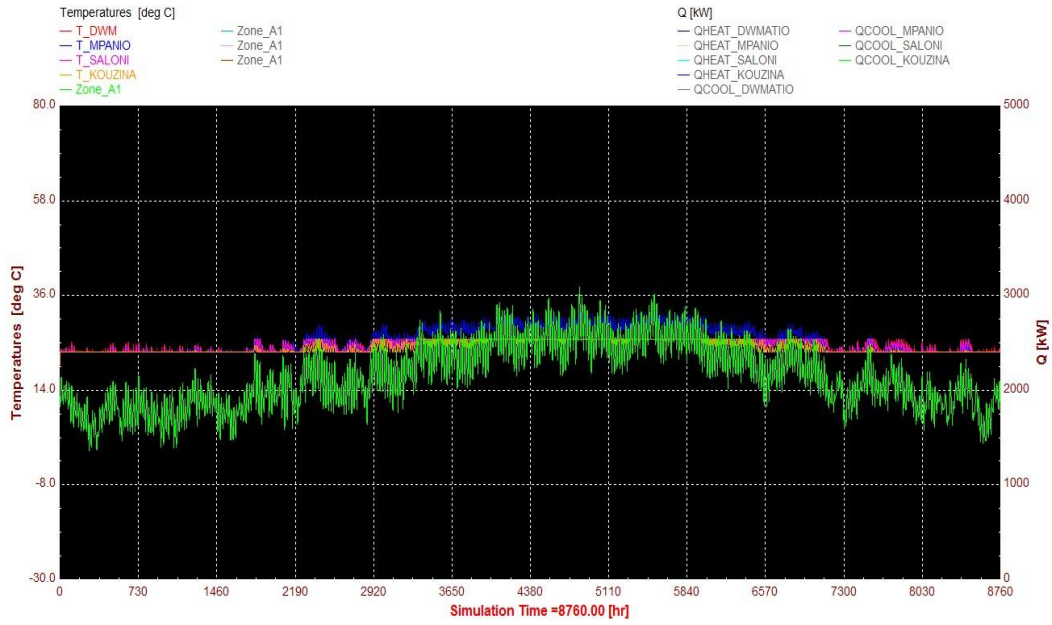
Το κτίριο που προσομοιώθηκε εισάγεται στο Simulation Studio όπου προκύπτει το παρακάτω πλέγμα:



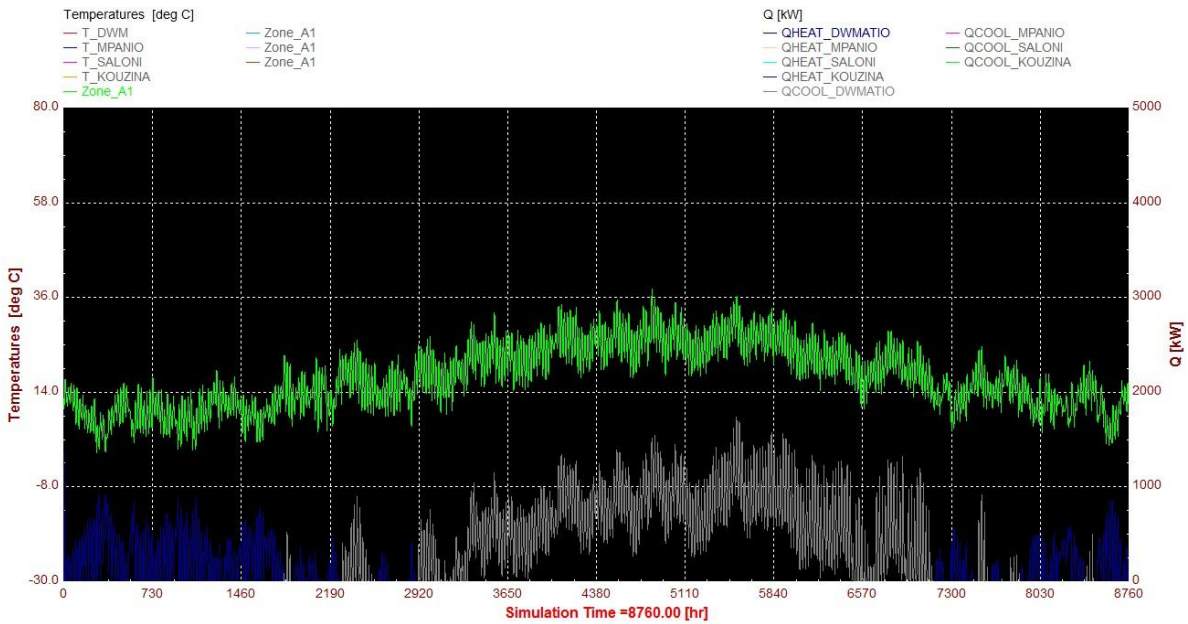
Αντίστοιχα στην περίπτωση αυτή προκύπτει το διάγραμμα το οποίο παρουσιάζει τις θερμοκρασίες της κάθε ζώνης του κτιρίου, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος καθώς και τα αντίστοιχα ποσά θερμότητας που απαιτούνται για την θέρμανση της κάθε ζώνης. Συνολικά για το σπίτι αυτό χρειάζονται 32000 kJ/h ώστε να διατηρείται και η θερμική άνεση των κατοίκων όσο γίνεται στα επιτρεπτά όρια.



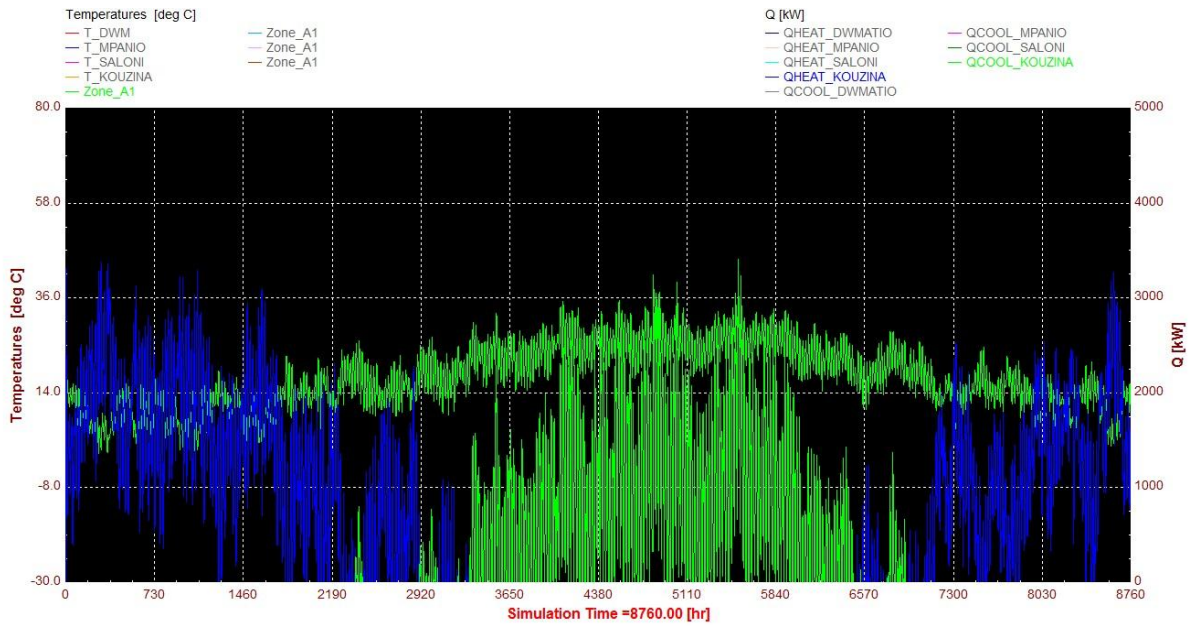
Τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν τα αποτελέσματα σε επιμέρους διαγράμματα για την καλύτερη κατανόησή τους.



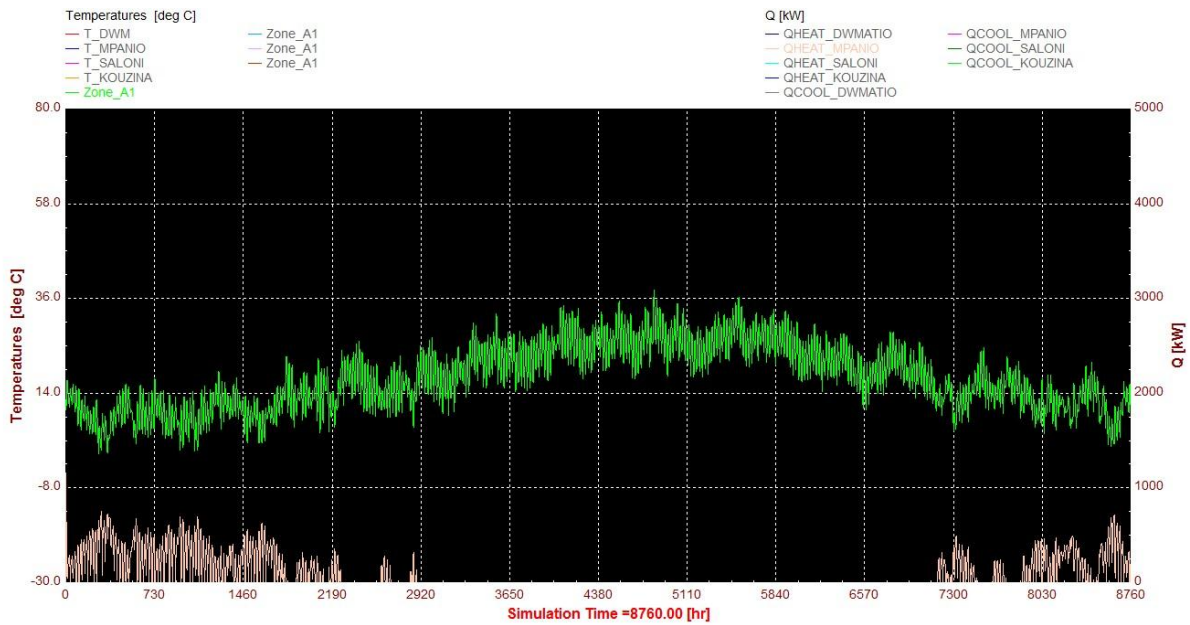
Εικόνα 43: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες σε κάθε δωμάτιο.



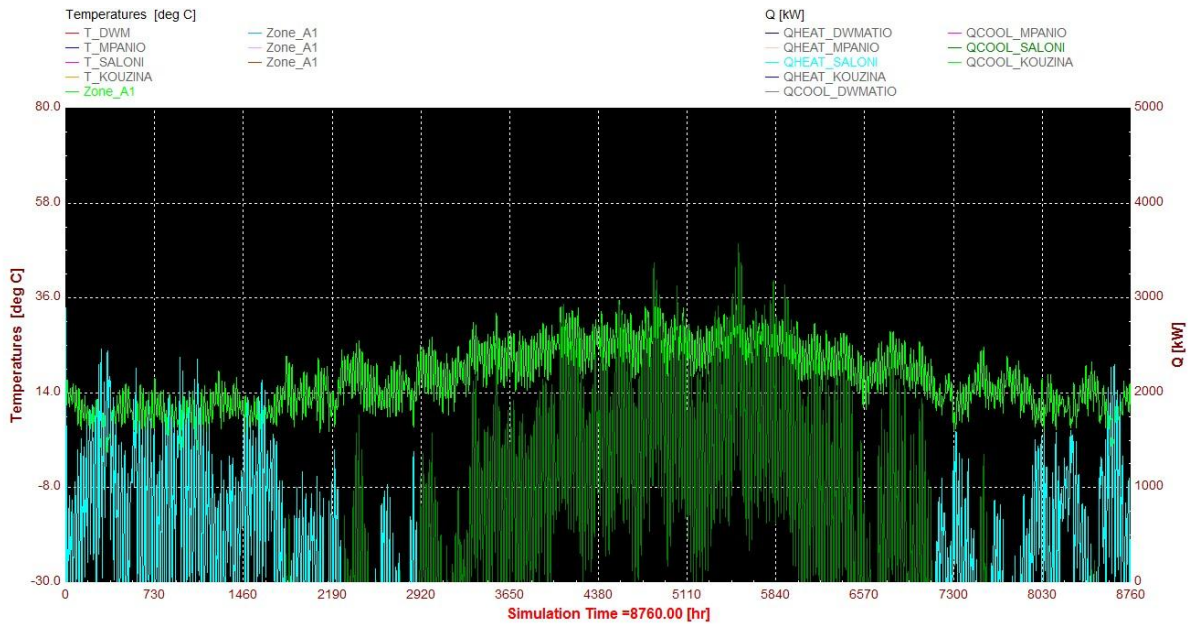
Εικόνα 44: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμότητα που απαιτείται για τη θέρμανση και ψύξη του δωματίου.



Εικόνα 45: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμότητα που απαιτείται για τη θέρμανση και τη ψύξη της κουζίνας.



Εικόνα 46: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμότητα που απαιτείται για τη θέρμανση του μπάνιου.

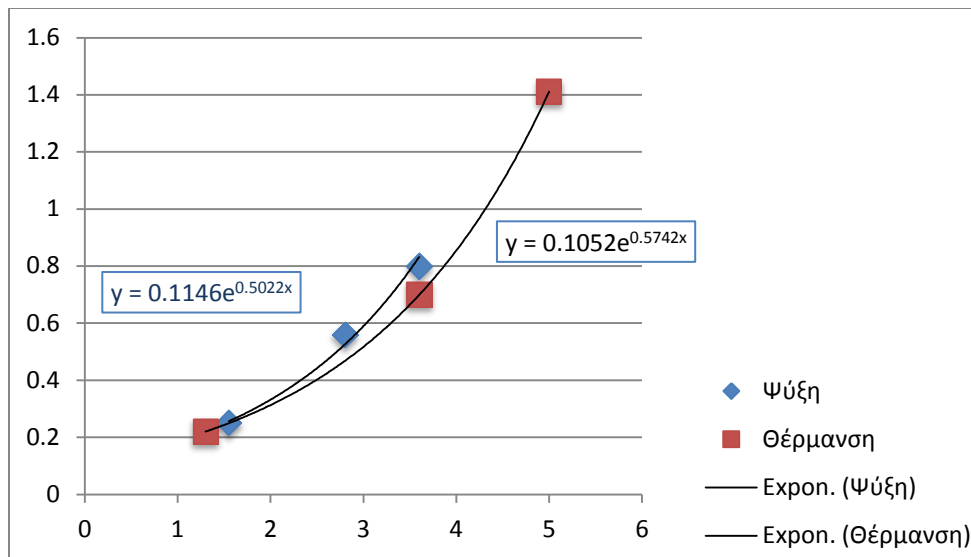


Εικόνα 47: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμότητα που απαιτείται για τη θέρμανση και ψύξη του σαλονιού.

Στο πρόγραμμα προσομοίωσης με την εισαγωγή μιας σειράς εξισώσεων υπολογίστηκαν η συνολική κατανάλωση για τη θέρμανση και την ψύξη. Επειδή χρησιμοποιείται κλιματιστικό με τεχνολογία INVERTER οι εξισώσεις για τον υπολογισμό της κατανάλωσης προέκυψαν από τις τιμές του κατασκευαστή.

Ψύξη	Κατανάλωση
	0.25
	0.56
	0.8
Θέρμανση	0.22
	0.7
	1.41

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα αυτά στο Excel προκύπτουν οι παρακάτω εκθετικές συναρτήσεις και το αντίστοιχο διάγραμμα:



Οι συναρτήσεις αυτές εισήχθησαν στο Simulation Studio. Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης υπολογίζεται ότι σε ένα έτος (8760 ώρες) καταναλώνονται από το κλιματιστικό συνολικά **1382.38 kWh**, από τα οποία τα 688.1 kWh αποτελούν την ψύξη και τα υπόλοιπα 694.28 kWh τη θέρμανση.

Αντίστοιχα υπολογίζονται και τα ηλεκτρικά φορτία των ηλεκτρικών συσκευών που καταναλώνονται κατά τη διάρκεια του έτους λαμβάνοντας υπόψιν και την κατανάλωση του κλιματιστικού. Ο παρακάτω πίνακας περιέχει την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας από τις ηλεκτρικές συσκευές.

Χειμώνας	kW																							
Ωρες	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ψυγείο	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Πληντήριο ρούχων	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.021	0.021
Φωτισμός	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Κουζίνα	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0
Τηλεόραση	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.057	0	0	0	0	0	0.057	0.057	0.057	0	0
Υπολογιστής	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.018	0	0	0	0	0	0.018	0.018	0	0	0
Ηλιακός	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.75	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.905	0.03	0.03	0.03	0.05	0.95	0.125	0.125	0.128	0.071	0.071

Καλοκαίρι	kW																							
Ωρες	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ψυγείο	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Πληντήριο ρούχων	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.021	0.021
Φωτισμός	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Κουζίνα	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0
Τηλεόραση	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.057	0	0	0	0	0	0.057	0.057	0.057	0	0
Υπολογιστής	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.018	0	0	0	0	0	0.018	0.018	0	0	0
Ηλιακός	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.82	0.12	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.975	0.1	0.1	0.1	0.12	1.02	0.195	0.195	0.198	0.141	0.141

Επομένως, η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια ενός έτους από το συγκεκριμένο σπίτι είναι **2687.32 kWh**.

Τέλος, υπολογίζεται και ο δείκτης θερμικής άνεσης (PMV). Στην προσομοίωση δεν λαμβάνονται υπόψη οι ακραίες τιμές ± 3 , αλλά οι τιμές ± 1 που είναι πιο αποδεκτές από τον άνθρωπο. Σε αυτή την περίπτωση κατοικίας το ποσοστό των δυσαρεστημένων ανθρώπων (PPD) είναι:

Θερμική ζώνη	Ποσοστό PPD (%)
Δωμάτιο	0
Μπάνιο	19.1
Κουζίνα	0
Σαλόνι	0

Ο υπολογισμός της τιμής για το μπάνιο έγινε λαμβάνοντας υπόψη το πλήθος των τιμών του PMV που είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες από το ± 1 .

$$PPD = (\text{Πλήθος} * 100) / \text{Σύνολο}$$

Στο παρακάτω υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η αυτονόμηση της κατοικίας αυτής με χρήση φωτοβολταϊκών. Παρακάτω αναλύονται τα οικονομικά στοιχεία κάθε κατοικίας και γίνεται και η αντίστοιχη σύγκριση μεταξύ αυτών ως προς την κατανάλωση της ενέργειας. Στη συνέχεια γίνεται μελέτη για το καθαρό παρόν κόστος σε βάθος 25ετίας καθώς και σε 50 χρόνια.

8.4.2 Αυτονόμηση με χρήση φωτοβολταϊκών

Το πρόγραμμα βελτιστοποίησης, HOMER, είναι ένα μοντέλο που αναπτύσσεται με σκοπό το σχεδιασμό συστημάτων παραγωγής ενέργειας και για τη σύγκριση των τεχνολογιών ηλεκτρικής ενέργειας. Με το HOMER μπορούν να διαμορφωθούν τα συνδεδεμένα στο δίκτυο και τα αυτόνομα συστήματα που εξυπηρετούν τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία και που περιλαμβάνουν οποιονδήποτε συνδυασμό φωτοβολταϊκών πλαισίων, ανεμογεννητριών, υδροστροβίλων, ενέργεια από βιομάζα, κελιών καυσίμου, αποθήκευσης υδρογόνου κ.α.

Το Homer εξετάζει την τεχνοοικονομική βιωσιμότητα ενός συστήματος, παρουσιάζει τους βέλτιστους συνδυασμούς υπό το πρίσμα οικονομικών και άλλων περιορισμών και βελτιστοποιεί το σχεδιασμό αυτόνομων ηλεκτρικά συστημάτων. Το Homer υπολογίζει το συνδυασμό ελάχιστου κόστους των στοιχείων που εισάγονται, έτσι ώστε να καλύπτονται τα ηλεκτρικά και τα θερμικά φορτία. Πραγματοποιείται μεγάλος αριθμός προσομοιώσεων και παρουσιάζεται το βέλτιστο υβριδικό σύστημα. Προσομοιώνει τη λειτουργία ενός συστήματος, υπολογίζοντας το φορτίο που απαιτεί η κατοικία με αυτό που μπορεί να παρέχει το σύστημα στο ίδιο διάστημα. Για συστήματα που περιέχουν μπαταρίες ή ντιζελογεννήτριες το πρόγραμμα αποφασίζει πως γίνεται η χρήση των γεννητριών και η φόρτιση- αποφόρτιση των μπαταριών. Εάν το σύστημα καλύπτει επαρκώς το φορτίο για όλο το έτος, υπολογίζεται το συνολικό κόστος, προσμετρώντας το κόστος αγοράς, το κόστος εγκατάστασης, το κόστος αντικατάστασης, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης καθώς και το κόστος του καυσίμου. Τα αποτελέσματα δείχνουν τις ωριαίες ροές της ενέργειας από κάθε στοιχείο του συστήματος καθώς και τα ετήσια κόστη αυτών.

Το Homer διαμορφώνει τη ΦΒ συστοιχία ως συσκευή που παράγει τη συνεχή ηλεκτρική ενέργεια ευθέως ανάλογα με τη παγκόσμια διεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας επάνω σε αυτό, ανεξαρτήτως της θερμοκρασίας του. Τέλος, υπολογίζει την παραγωγή ενέργειας της ΦΒ συστοιχίας χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$P_{pv} = F_{pv} Y_{pv} \frac{I_t}{I_s}$$

όπου

- F_{pv} είναι ο παράγοντας παρέκκλισης από τις ιδανικές τιμές της ΦΒ συστοιχίας (kW),
- Y_{pv} η εκτιμημένη ικανότητα της ΦΒ συστοιχίας (kW)
- I_t η παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της συστοιχίας (kW/m²) και
- I_s είναι 1 kW/m² το οποίο είναι το τυποποιημένο ποσό ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει την ικανότητα της ΦΒ συστοιχίας. [44]

8.4.3 Περιγραφή του υπό μελέτη συστήματος

Η επιλογή της κατοικίας έγινε με βάση την ηλεκτρική κατανάλωση που έχει όλη την διάρκεια του χρόνου. Όπως αποδείχθηκε η τρίτη περίπτωση μελέτης είναι αυτή με την μικρότερη ηλεκτρική κατανάλωση και επομένως η πιο κατάλληλη περίπτωση για αυτονομία με κάποια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Επιλέχθηκε η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με φωτοβολταϊκό σύστημα, καθώς η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην Αθήνα και είναι η πιο κατάλληλη για αστική περιοχή.

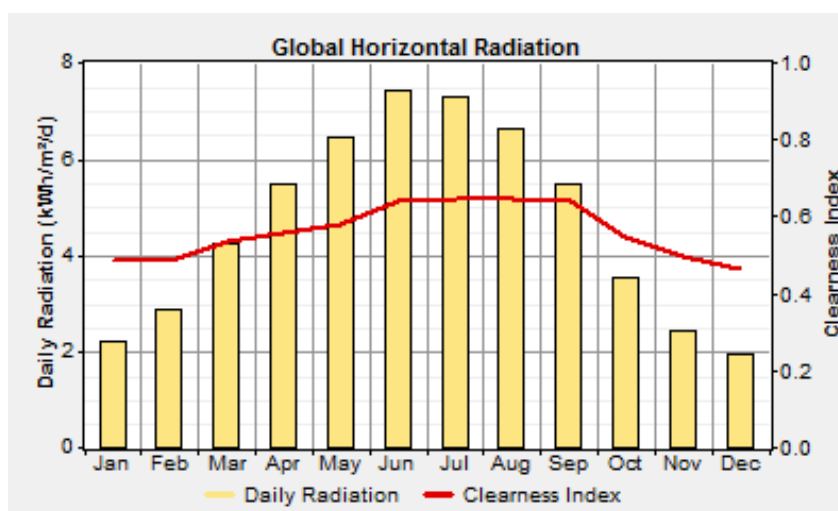
Αρχικά εισήχθησαν στο Homer δεδομένα των κλιματικών συνθηκών, για το πάνελ που χρησιμοποιήθηκε καθώς και της μπαταρίας. Η μπαταρία επιλέχθηκε ώστε το κτήριο να έχει το απαιτούμενο ρεύμα τις περιόδους που η ηλιακή ακτινοβολία δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών. Η μπαταρία που χρησιμοποιείται είναι η Horpecke 6 OPzS 600. Το κόστος της μπαταρίας ανέρχεται περίπου στα 450 €. Επίσης χρησιμοποιήθηκε μετατροπέας (converter) για την μετατροπή του ρεύματος που λαμβάνεται από το δίκτυο.

Οι παράμετροι που λήφθηκαν υπόψιν για την επιλογή του πάνελ είναι οι εξής:

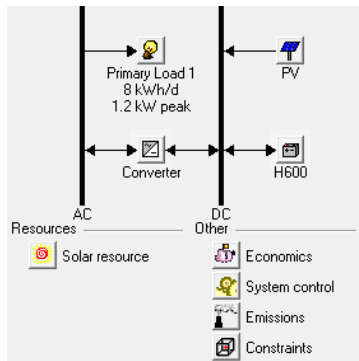
- Ο χρόνος ζωής του πάνελ είναι 25 χρόνια
- Ο συντελεστής υποβάθμισης της εγκατάστασης ορίστηκε ίσος με 80%
- Η γωνία κλίσης του ΦΒ ορίστηκε στις 37° όπου είναι η απαιτούμενη για αστική περιοχή,
- Το κόστος εγκατάστασης του ΦΒ είναι 10000 € με αντικατάστασή της στα 25 χρόνια.

Πίνακας 31: Οικονομικοί παράμετροι βελτιστοποίησης

	Ισχύς	Κόστος €
Φωτοβολταϊκό πάνελ	1 kWp	2000
Αναστροφέας τάσης	1.2 kW	800
Συσσωρευτής (Horpecke 6 OPzS 600)	-	450

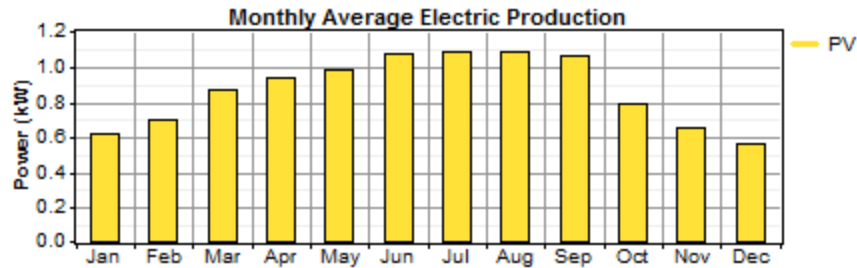


Εικόνα 48: Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία για την περιοχή της Αθήνας.

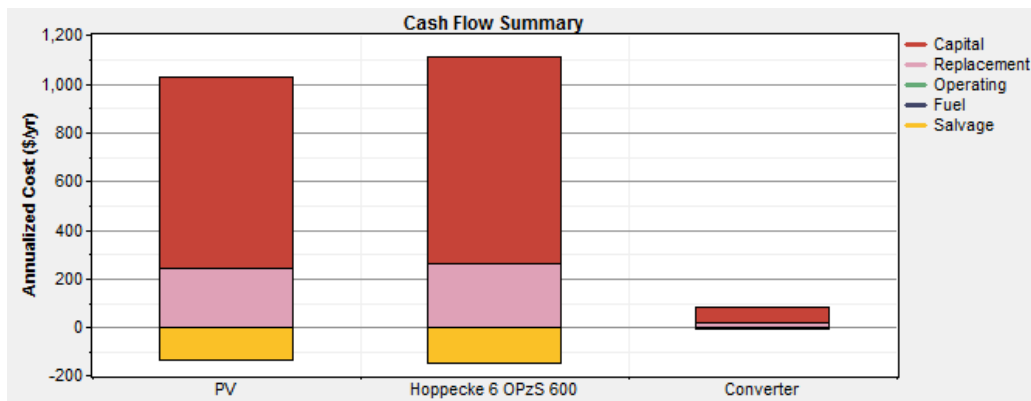


Εικόνα 49: Σχηματική απεικόνιση του εξοπλισμού για την αυτονομία της κατοικίας

Όπως παρατηρείται στην παρακάτω εικόνα η μέση ετήσια παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη τους καλοκαιρινούς μήνες σε σύγκριση με τους χειμερινούς που υπάρχει λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία. Με τη χρήση της μπαταρίας το πρόβλημα αυτό επιλύεται καθώς μέρος της ενέργειας αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση.



Εικόνα 50: Μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 51: Συνολική ροή εξόδων.

Πίνακας 32: Ετήσια κόστη όπως παρουσιάζονται στην προσομοίωση του Homer

Component	Capital (\$/yr)	Replacement (\$/yr)	O&M (\$/yr)	Fuel (\$/yr)	Salvage (\$/yr)	Total (\$/yr)
PV	782	244	0	0	-137	889
Hoppecke 6 OPzS 600	845	263	0	0	-148	961
Converter	63	20	0	0	-11	71
System	1,690	527	0	0	-295	1,921

Πίνακας 33: Καθαρό κόστος για κάθε υποσύστημα που χρησιμοποιήθηκε στο Homer

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	10,000	3,118	0	0	-1,747	11,371
Hoppecke 6 OPzS 600	10,800	3,367	0	0	-1,887	12,280
Converter	800	249	0	0	-140	910
System	21,600	6,735	0	0	-3,775	24,560

Το καθαρό παρόν κόστος της τρίτης περίπτωσης, αφαιρώντας το κόστος κατασκευής του κτιρίου, υπολογίστηκε ότι είναι 4691.86, θεωρώντας το κόστος σύνδεσης στη ΔΕΗ 130 ευρώ για την περιοχή της Αθήνας. Με την αυτονομία της περίπτωσης αυτής το καθαρό παρόν κόστος με την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών, χωρίς σύνδεση στη ΔΕΗ υπολογίστηκε από το HOMER ότι είναι 24560. Συγκρίνοντας τις τιμές αυτές προκύπτει ότι η αυτονομία σε βάθος 25-ετίας κοστίζει περίπου 424% περισσότερο. Άρα στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν ενδείκνυται η αυτονομία με τη χρήση των φωτοβολταϊκών.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά την προσομοίωση. Όπως παρατηρείται, τελικά απαιτείται συστοιχία πάνελ 5 kWp και αντίστοιχα 24 μπαταρίες για την πλήρη αυτονομία της κατοικίας.

Πίνακας 34: Αποτελέσματα αναγκών για την αυτονομία

Απαιτούμενη ισχύς των φωτοβολταϊκών	Απαιτούμενος αριθμός συσσωρευτών
5 kWp	24

8.5 Οικονομική ανάλυση

Μετά την ανάλυση των θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων της κάθε κατοικίας, στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται τα κόστη για την κατασκευή και την συντήρηση της κάθε περίπτωσης. Πιο συγκεκριμένα, παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικοί πίνακες κόστους για κάθε στοιχείο κάθε κατοικίας.

Αρχικά θεωρείται ότι το κόστος της οικοδομής, των υδραυλικών εγκαταστάσεων και των επιμέρους στοιχείων κατασκευής, πέραν των υλικών της τοιχοποιίας και των ηλεκτρικών συσκευών, είναι ίδιο σε όλες τις περιπτώσεις και ίσο με 71080 €.

Σε κάθε έναν από τους παρακάτω πίνακες υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ της πρώτης περίπτωσης με τις άλλες δύο, με σκοπό την σύγκριση του κόστους για κάθε επιμέρους τμήματα.

Πίνακας 35: Εξωτερικές και εσωτερικές Τοιχοποιίες.

Εξωτερική τοιχοποιία	Κόστος €			Τιμή μονάδας/ m ²
	Πρώτη	Δεύτερη	Τρίτη	
Σοβάς	381.48	381.48	381.48	4€/m ²
Τούβλο (12οπο/6οπο)	343.332	-	333.795	3.6€/m ²
Πετροβάμβακας	296.6007	-	-	2.57 €/m ²
Τούβλο (12οπο/6οπο)	343.332	-	333.795	3.6€/m ²
Εξηλασμένη πολυστερίνη	-	-	667.59	7 €/m ²
Orthoblock	-	1305.6	-	13.6 €/m ²
Σοβάς	381.48	381.48	381.48	4€/m ²
Εσωτερική τοιχοποιία	-	-	-	
Σοβάς	151.2	151.2	151.2	4€/m ²
Τούβλο (6 οπο)	132.3	132.3	132.3	3.4€/m ²
Σοβάς	151.2	151.2	151.2	4€/m ²
Κόστος οικοδομής	71080	71080	71080	-
Υαλοπίνακες + Κουφώματα				
Μονός + Ξύλο	2213.19			25 €/m ²
Διπλός με αργό + Αλουμίνιο		4930.28		40 €/m ²
Τριπλός με ξένον + Ξύλο			6282.51	70 €/m ²
Σύνολο	75474.115	78513.55	79895.35	
<u>Διαφορές</u>		3039.435	4421.235	

Πίνακας 36: Ηλεκτρικές συσκευές.

Ηλεκτρικές συσκευές	Κόστος €		
	Πρώτη	Δεύτερη	Τρίτη
Ψυγείο	409	645	1760
Κουζίνα	490	720	1090
Ηλεκτρικός θερμοσίφοντας	129	129	
Ηλιακός θερμοσίφοντας			2660
Φωτισμός	3.8	20.68	20.68
Ανεμιστήρας οροφής	94	0	
Πληντύριο ρούχων	370	500	1000
Υπολογιστής	350	600	1200
Τηλεόραση	250	300	465
Σύνολο	2095.8	2914.68	8195.68
Διαφορές		818.88	6099.88

Πίνακας 37: Κόστος εγκατάστασης της θέρμανσης.

Θέρμανση	Κόστος €		
	Πρώτη	Δεύτερη	Τρίτη
Καυστήρας Πετρελαίου	505	-	-
Σώματα καλοριφέρ	23*4=92	-	-
Λέβητας	590	-	-
Λέβητας Pellet	-	4000	-
Ψύξη			
Κλιματιστικό	-	2*440=880	-
Θέρμανση και ψύξη	-	-	3*900=2700
Σύνολο	1187	4880	5360
Διαφορές		3693	4173

Αφού υπολογίστηκαν όλα τα κόστη και οι διαφορές της πρώτης κατοικίας με τις υπόλοιπες κρίνεται απαραίτητος ο υπολογισμός της τιμής για το καθαρό παρόν κόστος (Net Present Cost- NPC). Ο υπολογισμός θα γίνει για 25 και για 50 χρόνια.

Γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

- Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές αντικαθίστανται μετά από 10 χρόνια.
- Η τιμή του ηλεκτρισμού λαμβάνεται ότι είναι 0.075 € /kWh
- Η τιμή του πετρελαίου είναι 1.5€/lt
- Το κόστος των pellets είναι 0.25 €/kg

Αρχικά υπολογίζεται το παρόν κόστος χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$PV = \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

όπου t – Η χρονική στιγμή που μελετάται

I - Το επιτόκιο (i= 0.6)

R_t - Η καθαρή ταμειακή ροή τη χρονική στιγμή t

Τελικά το Καθαρό Παρόν Κόστος είναι το άθροισμα των τιμών του παρόντος κόστους:

$$NPV(i) = \sum_{t=0}^N \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα για κάθε περίπτωση:

Κόστος €			
	Πρώτη	Δεύτερη	Τρίτη
Κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας το χρόνο	$14417.27 * 0.1553 = 2239$	$7665.101 * 0.075 = 1190.39$	$2687.32 * 0.1553 = 417.34$
Κόστος κατανάλωσης θέρμανσης	$716.96 * 1.5 = 1075.44$	$608.23 * 0.25 = 152.058$	
Ετήσιο λειτουργικό κόστος	3314.44	1342.45	417.34
Αρχικό κεφάλαιο κίνησης	78756.95	86308.22	90791.03
Καθαρό παρόν κόστος (NPC) 25 γρ	122950.41	104242.34	103551.65
Καθαρό παρόν κόστος (NPC) 50 γρ	133521.6	111331.23	107829.1

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι η δεύτερη με την τρίτη περίπτωση δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά ως προς το καθαρό παρόν κόστος στα 25 και 50 χρόνια.

Στη συνέχεια συγκρίνοντας τα καθαρά παρόντα κόστη για το χρονικό διάστημα των 25 και των 50 χρόνων υπολογίζονται τα αντίστοιχα ποσοστά. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Περίπτώσεις	25 Χρόνια	50 Χρόνια
Πρώτη – Δεύτερη	32%	34%
Πρώτη- Τρίτη	34%	43%

Κεφάλαιο 9. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η μελέτη και η ανάλυση τριων περιπτώσεων κατοικίας στην περιοχή της Αθήνας. Η κάθε κατοικία είναι συνολικού εμβαδού 88 m² με ύψος 3 m. Αποτελείται από 4 δωμάτια (ζώνες): το υπνοδωμάτιο, το μπάνιο, το σαλόνι και την κουζίνα. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS, υπολογίζοντας την απαιτούμενη θερμότητα για την θέρμανση και ψύξη κατά την διάρκεια όλου του χρόνου. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Homer για τον υπολογισμό των ηλεκτρικών φορτίων για το χειμώνα και το καλοκαίρι με μία απόκλιση 15-20%. Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά υλικά κατασκευής, διαφορετικοί τρόποι θέρμανσης και ψύξης, καθώς και διαφορετικές οικιακές συσκευές με σκοπό την ανάλυση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας σε 25 και 50 χρόνια. Ως εσωτερική τοιχοποιία χρησιμοποιήθηκε η ίδια σε όλες τις περιπτώσεις και αποτελείται μόνο από τούβλο και σοβά.

Η πρώτη περίπτωση αφορά την πιο ενεργοβόρα ως προς την κατανάλωση της ενέργειας. Η εξωτερική τοιχοποιία αποτελείται από σοβά και τούβλο, χρησιμοποιώντας θερμομονωτικό υλικό πετροβάμβακα, η θέρμανση πραγματοποιείται με πετρέλαιο και η ψύξη με ανεμιστήρα οροφής. Η εξωτερική τοιχοποιία για την δεύτερη περίπτωση αποτελείται από σοβά και ορθομπλόκ, που λειτουργεί και ως θερμομονωτικό υλικό, η θέρμανση πραγματοποιείται με καυστήρα πέλλετς και η ψύξη με συμβατικό κλιματιστικό. Αντίστοιχα, η εξωτερική τοιχοποιία της τρίτης περίπτωσης αποτελείται από σοβά και τούβλο, με εξηλασμένη πολυστερίνη ως θερμομονωτικό υλικό και η θέρμανση και η ψύξη γίνεται με κλιματιστικό όπου χρησιμοποιεί την λειτουργία Inverter.

Με την ανάλυση της προσομοίωσης από το TRNSYS διαπιστώνεται ότι η θερμότητα που απαιτείται συνολικά ώστε να διατηρείται η θερμοκή άνεση σε επιτρεπτά όρια είναι:

- 60000 kJ/h για την 1^η περίπτωση,
- 45000 kJ/h για την 2^η περίπτωση,
- 32000 kJ/h για την 3^η περίπτωση.

Ανάλογα υπολογίστηκε ότι σε ένα χρόνο η κατανάλωση πετρελαίου για την πρώτη περίπτωση είναι 717.96 lt ή 10112.738 kWh, για την δεύτερη περίπτωση η κατανάλωση των πέλλετς είναι 608.23 kg ή 2639.33 kWh και για την τρίτη η κατανάλωση είναι 2909.28 kWh.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μελέτη για την αυτονόμηση της τρίτης περίπτωσης με τη χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ. Από το πρόγραμμα προσομοίωσης Homer υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 5 συστοιχίες πάνελ των 1kWp με συνολικό κόστος 10000 €. Για την απαιτούμενη αυτονόμηση θεωρήθηκε ότι όλες οι ανάγκες καλύπτονται από τη χρήση των φωτοβολταϊκών με τη χρήση συσσωρευτών. Το κόστος αυτών ανέρχεται στα 10800 €. Το καθαρό παρόν κόστος της τρίτης περίπτωσης, υπολογίστηκε ότι είναι 4691.86, θεωρώντας το κόστος σύνδεσης στη ΔΕΗ 130 ευρώ για την περιοχή της Αθήνας. Με την αυτονόμηση της περίπτωσης αυτής το καθαρό παρόν κόστος με την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών, χωρίς σύνδεση στη ΔΕΗ υπολογίστηκε από το HOMER ότι είναι 24560. Συγκρίνοντας τις τιμές αυτές προκύπτει ότι η αυτονόμηση σε βάθος 25-ετίας κοστίζει περίπου 424% περισσότερο. Άρα στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν ενδείκνυται η αυτονόμηση με τη χρήση των φωτοβολταϊκών. Θα μπορούσε να γίνει εκμετάλλευση του ρεύματος που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά με τη

σύνδεση αυτών στο δίκτυο και την μεταπώληση του ρεύματος στη ΔΕΗ, με σκοπό τη μείωση/μηδενισμό του λειτουργικού κόστους. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται μελέτη η οποία δεν αποτελεί σκοπό της παρούσας εργασίας.

Τέλος, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας και το καθαρό παρόν κόστος για όλες τις περιπτώσεις.

Πίνακας 38: Συγκεντρωτικός πίνακας κοστολογίου περιπτώσεων (€)

	1 ^η Περίπτωση (€)	2 ^η Περίπτωση (€)	3 ^η Περίπτωση (€)
Τοιχοποιία και λοιπών εγκαταστάσεων	78756.95	86308.22	90791.03
Ηλεκτρικές συσκευές	2095.8	2914.68	8195.68
Συσκευές Θέρμανσης	1187	4880	5360
Κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας	2339	1190.39	417.34
Ετήσιο λειτουργικό κόστος	3314.44	1342.45	417.34
Καθαρό παρόν κόστος (25yr)	122950.41	104242.34	103551.65
Καθαρό παρόν κόστος (50yr)	133521.6	111331.23	107829.1

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα στη δεύτερη περίπτωση εξοικονομείται ως προς το κόστος λειτουργίας το 32% στα 25 χρόνια και το 34% στα 50 χρόνια, συγκρινόμενο με την πρώτη περίπτωση. Αντίστοιχα παρατηρείται για την τρίτη περίπτωση, όπου εξοικονομείται το 34% στα 25 χρόνια και 43% στα 50 χρόνια.

Βιβλιογραφία

1. **I. Sartori, A.G. Hestnes.** *Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article.* Norway : Elsevier, Energy and Buildings 39 (2007) 249–257, 2006.
2. **Πολυζωγόπουλος, Χριστόφορος Γ.** *Ενεργειακή κατανάλωση στον οικιστικό τομέα, κριτική ανασκόπηση της κατάστασης στην Ελλάδα.* Μυτιλήνη : Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση, Τμήμα Περιβάλλοντος, 2000. Μεταπτυχιακή διατριβή.
3. **Α.Ευγενία, Λάζαρη.** *Βιοκλιματικός σχεδιασμός στην Ελλάδα: Ενεργειακή απόδοση και κατευθύνσεις εφαρμογής.* Αθήνα : ΚΑΠΕ, 2002.
4. **Ξενάκης, Μενέλαος.** *Παθητικά Ηλιακά Συστήματα.* Αθήνα : www.ecoarchitects.gr, 2008.
5. **Ε., Πετσάβα.** *Εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της βιοκλιματικής δόμησης στην Αττική.* Αθήνα : Τμήμα οικιακής οικονομίας και οικολογίας, 2006.
6. **Ι., Γιαννακόπουλος.** *Ανάλυση της λειτουργίας του τοίχου TROMBE με την χρήση μεθόδων πεπερασμένων διαφορών.* Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2006.
7. http://alpha6.gr/wp/?page_id=171. <http://alpha6.gr>. [Ηλεκτρονικό] 2012. [Παραπομπή: 22 01 2012.]
8. **Κανελλόπουλος.** *Θερμομόνωση με Polyblock εξωτερικών τοίχων με διάκενο με συρόμενο κούφωμα.* 2004.
9. **Υπηρεσία ενέργειας, Υπουργείο εμπορίου, βιομηχανίας και τουρισμού.** *Οδηγός θερμομόνωσης κτιρίων.* s.l. : Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών, 2010. ISBN 978-9963-38-760-1.
10. **Σινάνης Θ., Τσατσάρης Γ.** *Ανάλυση- βελτιστοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίου, λαμβανομένης υπόψη της θερμικής μάζας του.* Θεσσαλονίκη : Τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών, 2008.
11. **Κορωναίος Γ., Πουλάκος Γ.Ι.** *Τεχνικά υλικά, Τόμος 4.* Αθήνα : s.n., 2004.
12. **Lawrence Berkeley National Laboratory, a DOE national laboratory.** *What's New in Building Energy Efficiency.* Merrifield : DOE's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 1999.
13. **Richard J. de Dear, Gail S. Brager.** *Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55.* s.l. : by Elsevier Science B.V., 2002.
14. **Orosa, José A.** *Research on General Thermal Comfort Models.* s.l. : EuroJournals Publishing, Inc., 2009. ISSN 1450-216X Vol.27 No.2.
15. **Olesen, Bjarne W.** *International standards for the indoor environment. Where are we do they apply worldwide?* Denmark : Technical University of Denmark, International Centre for Indoor Environment and Energy, 2005.
16. **Παπαδόπουλος, Άγις Μ.** *Προδιαγραφές ιδιοτήτων θερμομονωτικών υλικών.* Θεσσαλονίκη : Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας του Υπουργείου Ανάπτυξης, 2006.

17. **Insulation, Knauf.** <http://www.knaufinsulation.gr/el/ti-einai-petrovamvakas>. [Ηλεκτρονικό] 2012.
18. **Insulation, Rockwool.** *Rockwool insulation products are probably the most sustainable solution.* 2010.
19. **Eco, Fibran.** *Πλάκες Εξηλασμένης Πολυστερίνης Fibran Eco.* 2005.
20. **Πατρινός, Χ.** *Το γυαλί.* 2008.
21. http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/kentriki_thermansi.pdf. *Κεντρική θέρμανση.* 2005.
22. **Thermovent.** <http://www.thermovent.gr/detail.php?productid=1&subcategid=310>. [Ηλεκτρονικό] 19 Ιανουαρίου 2012.
23. <http://clima-energy-gas.skrouzstore.gr>. <http://clima-energy-gas.skrouzstore.gr/p.CHAPPEE-CG500-PAROCHI-FYSIKOU-AERIOU-NG-1-47-4-89-20mbar-m3-h-PAROCHI-YGRAERIOU-LPG-1-18-3-95-37mbar-Kgr-h-EYROS-ISCHYS-15-40-KW-MADE-IN-FRANCE-KAYSTIRAS-AERIOU.356355.html>. [Ηλεκτρονικό] 20 Ιανουαρίου 2012.
24. **LG.** www.lg.com/gr. www.lg.com/gr/air-conditioner/split/LG-inverter-E24SQ.jsp. [Ηλεκτρονικό] Ιανουάριος 2012.
25. Κατάρτιση ενεργειακών επιθεωρητών, Εκπαιδευτικό υλικό. *Τεχνολογίες εξοικονόμησης και διαχείρισης ενέργειας ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων.* Αθήνα : Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας, 2011.
26. **J.Reeb.** *Home Heating Fuels.* Oregon : Oregon State University, June 2009.
27. **Olsson, Maria.** *Residential biomass combustion of organic compounds to air from wood pellets and other new alternatives.* Göteborg, Sweden : CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Department of chemical and biological engineering, 2006.
28. **Γιώργος, Παπαδογιωργάκης.** *Τεχνοοικονομική μελέτη μονάδας παραγωγής καύσιμων προϊόντων.* Ηράκλειο : Τ.Ε.Ι Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, 2010.
29. **Προκόπης, Αθανάσιος Άγις-.** *Διείσδυση στην αγορά μιας τεχνολογίας ΑΠΕ. Εφαρμογή των συσσωματωμάτων ξύλου.* Κρήτη : ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα φυσικών πόρων και περιβάλλοντος, 2005.
30. **Κων/νος, Κουτελιδάκης.** *Εφαρμογή ΑΠΕ σε στρατόπεδο.* Αθήνα : ΕΜΠ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2010.
31. **Hearth, Patio & Barbecue Association.** *Pellet Stoves.* www.hpba.org. [Ηλεκτρονικό] 2010.
32. **Χρήστος, Δρίτσουλας-Μουσιάδης.** *Το Πετρέλαιο.* Πυλαία : 2ο Γυμνάσιο Πυλαίας, 2007.
33. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%AC%CE%B6%CE%B1#.CE.A0.CE.BB.CE.B5.CE.BF.CE.BD.CE.B5.CE.BA.CF.84.CE.AE.CE.BC.CE.B1.CF.84.CE.B1>. [Ηλεκτρονικό] Wikipedia, 8 Nov 2011.

34. *Fuels and Combustion. Efficiency, Bureau of Energy*. 2005, Τόμ. Boilers and Furnaces.
35. **Scheider, John Clinton**. *Fuel Composition and Quality Sensing for Diesel Engines*. Illinois : University of Illinois, 2011.
36. **Παπαδόπουλος, Άγης Μ.** *Θερμική Άνεση στα Κτίρια. Νέα Πρότυπα και Βελτίωση Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια*. Ιωάννινα : Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2006.
37. http://www.monopan.gr/view_cat.php?cat_id=67. [Ηλεκτρονικό] ΜΟΝΩΠΑΝ, 04 08 2012.
38. <http://www.kotsovolos.gr/site/product.jsp?catid=10101686>. <http://www.kotsovolos.gr>. [Ηλεκτρονικό] 2012.
39. <http://www.kotsovolos.gr/site/product.jsp?catid=10101848>. <http://www.kotsovolos.gr>. [Ηλεκτρονικό] 2012.
40. <http://www.kotsovolos.gr/site/product.jsp?catid=10102659>. <http://www.kotsovolos.gr>. [Ηλεκτρονικό] 2012.
41. *Residential Catalogue. Daikin*. Belgium : Daikin Europe N.V., 2012.
42. **Τεχνικό, Επιμελητήριο Ελλάδας**. *Θεσμικό πλαίσιο - Μεθοδολογία ενεργειακής απόδοσης κτηρίων*. Αθήνα : s.n., 2011.
43. *Micropower system Modeling with Homer*. **Lambert T., Gilman P., Lilienthal P.** Farret F.A. : Simoes M.G., 2006.
44. **S.A., Klein**. *TRNSYS program manual*. 2004.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Το παράρτημα αυτό περιέχει συγκεντρωτικά όλες τις ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν με τα αντίστοιχα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Ψυγείο	1 ^η	2 ^η	3 ^η
	Candy CFD3450/1E 12ΚΠ [40]	LG GT5135TIES1 Titanium [41]	BOSCH KGN49SM30 [42]
Διάσταση	60 CM	60 CM	70
Ύψος σε (m)	1.70	1.70	2
Χρώμα	Λευκό	Titanium	Inox
Ενεργειακή Κλάση	A+	A+	A++
Χωρητικότητα σε lt (Μικτή)	327	346	440
Χωρητικότητα σε lt (συντήρηση)	241	237	92
Χωρητικότητα σε lt (κατάψυξη)	79	84	303
Μοτέρ	1	1	1
Τύπος Ψύξης	Συμβατικός	No Frost	Full No Frost
Οθόνη Ενδείξεων	X	X	X
Αντιβακτηριδιακό	√	√	√
Ζώνη Κλίματος	N(16ο - 32ο C)	T	SN-T
Ηλεκτρονικός Θερμοστάτης	X		√
Αριθμός Ραφιών (συντήρηση)	3	3	4
Ράφια για Μπουκάλια	X		√
Δυνατότητα Αλλαγής Φοράς Πόρτας	√		√
Κατανάλωση Ενέργειας σε kwh	0.7	0.035	0.0282
Μηχανισμός για Παγάκια	X	X	√
Παγομηχανή	X	X	X
Επίπεδο Θορύβου σε db	40	43	43
Επιπλέον	Αφαιρούμενα λάστιχα στις πόρτες		
Βάρος σε Kg	65	65	91
Διαστάσεις σε cm (Υ x Π x Β)	1.70 x 60 x 60	1.71 x 60.8 x 70.7	200 x 70 x 65
Εγγύηση Προμηθευτή	2 έτη	2 έτη	2 έτη
Ιστοσελίδα Κατασκευαστή	http://www.candy.gr	http://www.lg.com/gr	http://www.bosch-home.gr

Κουζίνα	1 ^η	2 ^η	3 ^η
Μοντέλο	Pitsos P1HSB31322	Pitsos PHCB154124	Pitsos PHCB595550
Διάσταση (cm)	85x50x60	85x60x60	85x60x60
Ενεργειακή Κλάση	B	A	A+
Χωρητικότητα σε lt	50	67	60
Κατανάλωση Ενέργειας σε συμβατική λειτουργία (kW)	1.08	0.95	0.89
Κατανάλωση ενέργειας σε λειτουργία θερμού αέρα (kW)	0.97	0.85	0.79
Ιστοσελίδα Κατασκευαστή	http://www.pitsos.gr	http://www.pitsos.gr	http://www.pitsos.gr

Πλυντήριο ρούχων	1 ^η	2 ^η	3 ^η
Μοντέλο	Pitsos WXP805B6	Bosch WAE20164	Bosch WAY28740
Μέγιστη χωρητικότητα (kg)	6	7	8
Ενεργειακή Κλάση	A+	A++	A+++
Κατανάλωση Ενέργειας (kW)	0.3	0.02	0.02
Ιστοσελίδα Κατασκευαστή	http://www.pitsos.gr	http://www.bosch-home.gr	http://www.bosch-home.gr

Μονοβάθμιος καυστήρας Bentone	Τύπος	Ισχύς καυστήρα		Παροχή	Τάση	Μήκος μπούκας	Τιμή
		kW	Mcal/h	kg/h	V/Hz	mm	€
110-115-110	B1 FUL	14.2-36.3	12.2-31.3	1.20-3.06	1x230/50	73	505,00

Τεχνικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας του ΦΒ συστήματος:

The properties of this battery appear below. Once a battery is created you cannot edit its properties. To change a battery's properties, create a copy (click New in the Battery Inputs window) and modify the properties of the copy. Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

General

Description: Hoppecke 6 OPzS 600
 Abbreviation: H600
 Manufacturer: Hoppecke
 Website: www.hoppecke.com
 Notes: Vented lead-acid, tubular-plate, deep-cycle battery.

Nominal capacity: 600 Ah
 Nominal voltage: 2 V
 Round trip efficiency: 86 %
 Min. state of charge: 30 %
 Float life: 20 yrs
 Max. charge rate: 1 A/Ah
 Max. charge current: 122 A
 Lifetime throughput: 2,083 kWh
 Suggested value: 2,082 kWh

Capacity curve

Current (A)	Capacity (Ah)
61.00	610.00
104.60	523.00
151.00	453.00
324.00	324.00

Lifetime curve

Depth of Discharge (%)	Cycles to Failure
20	7,820
30	4,960
40	3,600
50	2,780
60	2,270
70	1,930
80	1,640

Export XML Help Close