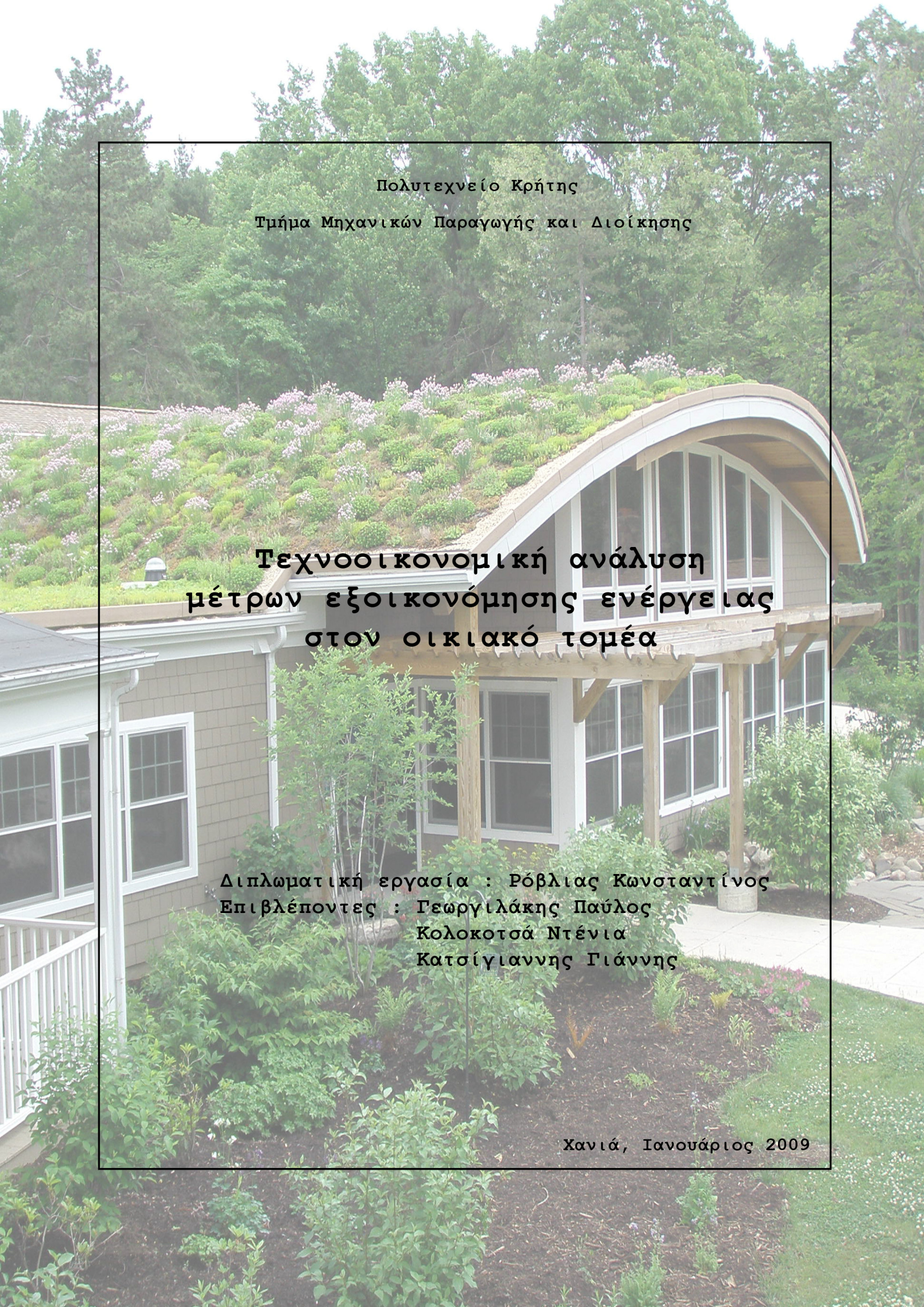




Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

**Τεχνοοικονομική ανάλυση
μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας
στον οικιακό τομέα**

Διπλωματική εργασία : Ρόβλιας Κωνσταντίνος
Επιβλέποντες : Γεωργιλάκης Παύλος
Κολοκοτσά Ντένια
Κατσιγιάννης Γιάννης

Χανιά, Ιανουάριος 2009

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εξάντληση των αποθεμάτων πετρελαίου, καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούνται από την παραγωγή και την κατανάλωση των συμβατικών καυσίμων έχουν αναδείξει ως πρώτη προτεραιότητα την εφαρμογή των τεχνικών που αποσκοπούν στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων. Ο κτιριακός τομέας αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας στην Ευρώπη και παράλληλα ευθύνεται για το 45 % των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Στον Ελλαδικό χώρο η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και ιδιαίτερα των κατοικιών, ανάγεται σε καίριο θέμα, λόγω της δημόσιας διαβούλευσης που πραγματοποιείται για την ολοκλήρωση των προβλεπόμενων από τον Νόμο 3661/2008 θεσμικών κειμένων του Κανονισμού Ενεργειακής αποδοτικότητας των Κτιρίων (KENAK).

Στην παρούσα εργασία αναλύεται η επίδραση διαφόρων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και δροσισμό των κτιρίων του οικιακού τομέα. Σχεδιάζεται μία βιοκλιματική κατοικία, θέτοντας ως προτεραιότητα την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών αναγκών της, και με την βοήθεια του λογισμικού TRNSYS, υπολογίζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις της σε θέρμανση και δροσισμό. Στη συνέχεια εξετάζονται διάφορα σενάρια βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης της κατοικίας, τα οποία αφορούν την δομή του κελύφους της και την ύπαρξη φυτεμένου δώματος. Με την βοήθεια του λογισμικού HOMER, μελετώνται τα οικονομικά οφέλη που σχετίζονται με την μείωση του κόστους θέρμανσης και του κόστους κλιματισμού της κατοικίας και προκύπτουν από την υλοποίηση των υπό μελέτη σεναρίων. Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας των οικονομικών μεγεθών για διαφορετικά κόστη ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου θέρμανσης. Με την βοήθεια του ίδιου λογισμικού μελετώνται και εξάγονται συμπεράσματα για τα περιβαλλοντικά οφέλη των υπό μελέτη σεναρίων.

Η υλοποίηση των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στον οικιακό τομέα προσφέρει σημαντική μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 12 % και 70 % περίπου ανάλογα με το μέτρο ή με τους συνδυασμούς των μέτρων. Παράλληλα παρατηρείται σημαντική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, ενώ τα οικονομικά οφέλη είναι ελάχιστα. Μάλιστα, σε πολλές περιπτώσεις η οικονομική επιβάρυνση είναι σημαντική.

Λέξεις Κλειδιά: Εξοικονόμηση ενέργειας κτιρίων, παθητικά συστήματα, Φυτεμένο δώμα, Θερμομόνωση κτιρίων, Θερμική μάζα, Μείωση εκπομπών CO₂, Οικονομικά οφέλη παθητικών συστημάτων.

ABSTRACT

The exhaustion of the oil supplies, as well as the environmental repercussions that are created by the production and consumption of the conventional combustibles, have elected the implementation of techniques that aim, as a first priority, at the reduction of the energy consumption in the buildings. The building sector constitutes the biggest consumer of energy in Europe and at the same time is responsible for the 45% of the emissions of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere. In Greece, the reduction of the energy consumption in the buildings and specifically the houses is developing into a crucial matter, due to the public deliberation that is being accomplished for the completion of the foreseen institutional texts of the Law 3661/2008 about the regulation of the energetic efficiency of the buildings.

In the present project, the effect of various measures that save energy in the energy demand for heating and cooling the buildings of the housing sector, is being analysed. A bioclimatic house is designed, setting as a priority the minimization of its energetic needs, and with the help of the TRNSYS software the energetic demand as far as heating and cooling go, is being calculated. Following, various scenarios for the improvement of the energetic efficiency of the house are being examined. These scenarios concern the structure of the building's shell and the existence of green roofs. With the help of the HOMER software, the economic benefits that are related to the reduction of the heating and cooling costs of the house are studied, and they arise from the realization of the scenarios that are being studied. An analysis of the sensitivity of the economic measurements about the different costs of electric energy and heating oil, is being realized. With the help of the same software, the extracted conclusions about the environmental benefits of the examined scenarios are studied.

The realization of the measures about saving energy in the housing sector offers an important reduction of the building's energetic demands which ranges from 12% to 70% approximately according to the meter or the combination of meters. At the same time, an important reduction of the emission of carbon dioxide (CO₂) is observed, while the economic benefits are at a minimum level. In particular, in many cases, the economic charge is important.

Key words: Saving building energy, passive systems, Green roofs, Building thermal insulation, Thermal mass, Reduction of CO₂ emissions, Economic benefits of passive systems.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:		ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΤΙΡΙΩΝ		
1.1	Εισαγωγή		1	
1.2	Βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού		2	
	1.2.1	Προσανατολισμός των ανοιγμάτων	2	
	1.2.2	Χωροθέτηση και μορφή του κτιρίου	3	
	1.2.3	Θερμική μάζα	3	
	1.2.4	Θερμική άνεση	4	
1.3	Παθητική ηλιακή θέρμανση		5	
	1.3.1	Συλλογή της ηλιακής ενέργειας	5	
	1.3.2	Αποθήκευση της θερμικής ενέργειας	6	
		1.3.2.1	Συστήματα άμεσης αποθήκευσης	6
		1.3.2.2	Συστήματα έμμεσης αποθήκευσης	7
	1.3.3	Διατήρηση της θερμότητας	8	
	1.3.4	Διανομή της θερμότητας	9	
1.4	Παθητικά συστήματα δροσισμού		9	
	1.4.1	Μικροκλίμα	11	
	1.4.2	Μορφή του κτιρίου	11	
	1.4.3	Σκίαση	11	
	1.4.4	Φυσικός αερισμός	12	
	1.4.5	Ο ρόλος της γεωμετρίας των ανοιγμάτων στην επίτευξη φυσικού αερισμού	13	
	1.4.6	Πλεονεκτήματα Ανοιγόμενων-Ανακλινόμενων παραθύρων	14	
	1.4.7	Άλλες τεχνικές φυσικού δροσισμού	14	
1.5	Φυσικός φωτισμός		16	
	1.5.1	Διατάξεις φυσικού φωτισμού	16	
1.6	Εξοικονόμηση ενέργειας κτιρίων με την κατασκευή φυτεμένου δώματος		17	
	1.6.1	Κατασκευή φυτεμένου δώματος	17	
1.7	Θερμομόνωση κτιρίων		18	
	1.7.1	Θερμογέφυρες	18	
	1.7.2	Βασικές αρχές της θερμομόνωσης	19	
	1.7.3	Θερμομονωτικά υλικά	19	
	1.7.4	Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας	20	
	1.7.5	Θερμομόνωση φυτεμένου δώματος	21	

1.7.6	Θερμομόνωση δαπέδου	22
1.7.7	Θερμομόνωση εξωτερικών ανοιγμάτων	22
Βιβλιογραφία		24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ		
2.1	Γενική περιγραφή	27
2.2	Εξωτερική και εσωτερική τοιχοποιία	29
2.3	Εξωτερικά ανοίγματα	31
2.4	Δάπεδο	31
2.5	Στέγη	32
2.6	Σύστημα θέρμανσης και σύστημα ψύξης	34
Βιβλιογραφία		36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ TRNSYS		
3.1	Εργαλεία υπολογισμού της θερμικής και ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων	37
3.2	Περιγραφή του λογισμικού TRNSYS	39
3.2.1	Περιβάλλον προσομοίωσης	39
3.2.2	Γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτιρίου (TRNBuild)	40
3.3	Περιγραφή της μοντελοποίησης κτιρίου στο λογισμικό TRNSYS	41
3.3.1	Πρόγραμμα προσομοίωσης κτιρίου	44
3.3.2	Εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου αναφοράς στο TRNBuild	46
3.3.3	Τροποποίηση των δεδομένων της εξωτερικής τοιχοποιίας του κτιρίου αναφοράς στο TRNBuild	52
3.3.4	Τροποποίηση των δεδομένων της στέγης του κτιρίου αναφοράς στο TRNBuild	53
3.3.5	Τροποποίηση των δεδομένων της στέγης και της εξωτερικής τοιχοποιίας του κτιρίου αναφοράς στο TRNBuild	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ		
4.1	Θερμικό και ψυκτικό φορτίο του κτιρίου αναφοράς	57
4.2	Επίδραση της πρόσθετης θερμικής μάζας και της θερμομόνωσης	59
4.3	Επίδραση του φυτεμένου δώματος	61
4.4	Θερμικό και ψυκτικό φορτίο παθητικού κτιρίου	63
4.5	Συμπεράσματα	66
4.5.1	Κτίριο αναφοράς	66
4.5.2	Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης	68

	4.5.3	Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	69
	4.5.4	Παθητικό κτίριο	70
4.6		Γενικά συμπεράσματα	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:		ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ HOMER	
5.1		Περιγραφή του λογισμικού HOMER	75
	5.1.1	Προσομοίωση	75
	5.1.2	Βελτιστοποίηση	77
	5.1.3	Ανάλυση ευαισθησίας	78
5.2		Περιγραφή των μοντέλων προσομοίωσης	78
	5.2.1	Πρόγραμμα προσομοίωσης	78
	5.2.2	Λέβητας θέρμανσης	79
	5.2.3	Θερμικό φορτίο	80
	5.2.4	Ηλεκτρικό φορτίο	81
	5.2.5	Δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος	83
	5.2.6	Κάυσμα	84
	5.2.7	Οικονομικοί παράμετροι	85
		5.2.7.1 Διαμόρφωση του κόστους κεφαλαίου για την περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και θερμομόνωση	86
		5.2.7.2 Διαμόρφωση του κόστους κεφαλαίου για την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα	88
		5.2.7.3 Διαμόρφωση κόστους κεφαλαίου για την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα, θερμομόνωση και προστίθεται θερμική μάζα	89
	5.2.8	Εκπομπές του συστήματος	90
		Βιβλιογραφία	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:		ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	
6.1		Κτίριο αναφοράς	93
6.2		Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης	94
6.3		Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	95
6.4		Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης και χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	97
6.5		Ανάλυση αποτελεσμάτων	98
	6.5.1	Κτίριο αναφοράς	98
		6.5.1.1 Λιγότερο πιθανό σενάριο	99
		6.5.1.2 Πιθανό σενάριο	100
		6.5.1.3 Αρκετά πιθανό σενάριο	100

	6.5.2	Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης		100
		6.5.2.1	Λιγότερο πιθανό σενάριο	101
		6.5.2.2	Πιθανό σενάριο	101
		6.5.2.3	Αρκετά πιθανό σενάριο	101
	6.5.3	Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος		101
		6.5.3.1	Λιγότερο πιθανό σενάριο	102
		6.5.3.2	Πιθανό σενάριο	102
		6.5.3.3	Αρκετά πιθανό σενάριο	102
	6.5.4	Παθητικό κτίριο		102
		6.5.4.1	Λιγότερο πιθανό σενάριο	103
		6.5.4.2	Πιθανό σενάριο	103
		6.5.4.3	Αρκετά πιθανό σενάριο	103
6.6	Γενικά συμπεράσματα			104
	6.6.1	Κατανάλωση πετρελαίου από τον λέβητα θέρμανσης		104
	6.6.2	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργεια από το κλιματιστικό		105
	6.6.3	Καθαρό παρόν κόστος		105
		6.6.3.1	Λιγότερο πιθανό σενάριο	106
		6.6.3.2	Πιθανό σενάριο	107
		6.6.3.3	Αρκετά πιθανό σενάριο	108
	6.6.4	Εκπομπές του συστήματος		109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:	Γενικά συμπεράσματα της εργασίας	111
--------------------	---	------------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΤΙΡΙΩΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο τομέας των κτιρίων απορροφά, κατά μέσο όρο, το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Στην Ελλάδα το ποσοστό αυτό κυμαίνεται γύρω στο 30% [1.1]. Τα κτίρια καταναλώνουν ενέργεια για την επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των χώρων, καθώς και για την χρήση ειδικών συσκευών. Η κατανάλωση αυτή, είτε σε μορφή θερμικής ενέργειας, είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα την οικονομική επιβάρυνση λόγω του υψηλού κόστους της ενέργειας. Επίσης από την κατανάλωση αυτή προκαλείται η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το τριφθοριούχο νάτριο (NF₃) που ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Με βάση τα παραπάνω ο κατάλληλος σχεδιασμός κτιρίων (βιοκλιματικός σχεδιασμός), που θα έχει ως στόχο την μείωση της ενεργειακής τους κατανάλωσης, με ταυτόχρονη διατήρηση των συνθηκών άνεσης κρίνεται απαραίτητος. Οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι οι εξής [1.2]:

- Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση τους χειμερινούς μήνες.
- Αξιοποίηση των δροσερών ανέμων για τον αερισμό και την ψύξη του κτιρίου τους θερινούς μήνες.
- Αξιοποίηση του φυσικού φωτός για τον φωτισμό του κτιρίου.
- Αξιοποίηση της βλάστησης για τον σκιασμό του κτιρίου.
- Μείωση των θερμικών απωλειών του κτιρίου.

Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι τα παθητικά συστήματα, τα οποία αποτελούν τα δομικά στοιχεία του κτιρίου και συνήθως είναι απλές κατασκευές, από κοινά οικοδομικά υλικά, ενσωματωμένες στο κτίριο. Τα συστήματα αυτά έχουν την δυνατότητα να θερμάνουν ή να ψύξουν τα κτίρια με φυσικό τρόπο, αξιοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία και τους δροσερούς ανέμους. Τα παθητικά συστήματα χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες [1.3]:

- Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης.
- Παθητικά συστήματα δροσισμού.
- Συστήματα φυσικού φωτισμού.

Μία άλλη κατηγορία συστημάτων που βρίσκουν εφαρμογή στον βιοκλιματικό σχεδιασμό είναι τα ενεργητικά συστήματα, τα οποία σε αντίθεση με τα παθητικά συστήματα, χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα για την θέρμανση ή τον δροσισμό των κτιρίων. Τα ενεργητικά συστήματα ταξινομούνται ανάλογα με το μέσο το οποίο χρησιμοποιείται για την συλλογή και αποθήκευση ενέργειας. Με βάση την ταξινόμηση αυτή, τα ενεργητικά συστήματα διακρίνονται σε συστήματα υγρού και σε συστήματα αέρος [1.3].

1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η εφαρμογή των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού έχει ως στόχο την δημιουργία κτιρίων που θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες των ενοίκων για θερμική και οπτική άνεση και ποιότητα εσωτερικού αέρα, αλλά επίσης θα χρειάζονται λιγότερη ενέργεια για τις ανάγκες τους. Κέλυφος ενός κτιρίου ονομάζεται το σύνολο των διαφανών και αδιαφανών δομικών στοιχείων, τα οποία καθορίζουν το εξωτερικό περίγραμμα του κτιρίου και διαχωρίζουν τον εσωτερικό από τον εξωτερικό χώρο. Είναι δηλαδή οι πόρτες και τα παράθυρα, ή και άλλα ανοίγματα στις όψεις του κτιρίου και η τοιχοποιία η οποία περιβάλλει το κτίριο. Ο τρόπος κατασκευής του κελύφους είναι καθοριστικός για την θερμική, και κατ' επέκταση ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου και είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνο για την διαμόρφωση του εσωτερικού κλίματος. Μέσω του κελύφους το κτίριο αλληλεπιδρά με το περιβάλλον. Η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου εξαρτάται άμεσα από τα χαρακτηριστικά του κελύφους του και ειδικότερα από [1.3] :

- Τον προσανατολισμό του κτιρίου και την χωροθέτησή του στο οικόπεδο.
- Την μορφή του κελύφους.
- Τα υλικά κατασκευής των διαφανών και αδιαφανών τμημάτων του κελύφους.
- Τον σχεδιασμό των ανοιγμάτων του κελύφους.

Βέβαια εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι ο Ελληνικός Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός (ΓΟΚ) λειτουργεί πολλές φορές περιοριστικά όσο αφορά τη γενική χωροθέτηση του κτιρίου. Παραδείγματος χάριν, στα οικόπεδα εκτός σχεδίου πόλεως υπάρχει ο περιορισμός το κτίριο να απέχει από τα όμορα οικόπεδα 15 μέτρα, γεγονός το οποίο σε πολλές περιπτώσεις λειτουργεί περιοριστικά τόσο στον προσανατολισμό όσο και στη σωστή χωροθέτηση του κτιρίου.



Εικόνα 1.1: Βιοκλιματικά σχεδιασμένο δημοτικό σχολείο στο Aufkirchen της Γερμανίας.

1.2.1 Προσανατολισμός των ανοιγμάτων

Η πρώτη προτεραιότητα κατά το σχεδιασμό ενός βιοκλιματικού κτιρίου, το οποίο βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο, είναι η κατασκευή νότιων ανοιγμάτων,

καθώς με αυτόν τον τρόπο γίνεται καλύτερη κατανομή των ηλιακών κερδών στο κτίριο, επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση, ενώ κατά την διάρκεια του καλοκαιριού μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά ηλιοπροστασία με χρήση απλών οριζοντίων σκιάστρων.

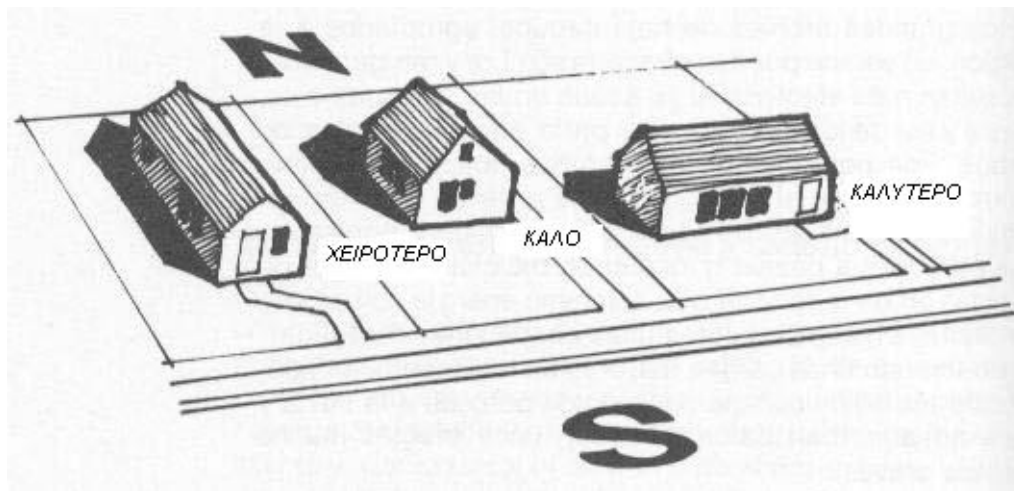
Τα βόρεια ανοίγματα χρησιμοποιούνται για την παροχή φυσικού φωτισμού καλής ποιότητας στο εσωτερικό του κτιρίου καθώς επιτρέπουν την είσοδο μόνο της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας και όχι της άμεσης.

Τα ανατολικά και τα δυτικά ανοίγματα δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα. Ειδικά τα δυτικά ανοίγματα αυξάνουν την θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων, καθώς επιτρέπουν την είσοδο της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας τις απογευματινές ώρες.

1.2.2 Χωροθέτηση και μορφή του κτιρίου

Η μείωση του αναπτύγματος της επιφάνειας του κελύφους του κτιρίου με τον εξωτερικό χώρο είναι άλλος ένας παράγοντας που βοηθάει στη μείωση των απωλειών θερμότητας. Για σπίτι δεδομένου όγκου, ένα συμπαγές σχήμα χωρίς εσοχές και εξοχές προσφέρει την μικρότερη δυνατή επιφάνεια επαφής.

Για την περίπτωση κτιρίων που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και σε ήπιο κλίμα προκύπτει ότι το ιδανικό σχήμα είναι ένα συμπαγές ορθογώνιο σπίτι με πολλά νότια ανοίγματα, του οποίου η μεγάλη πλευρά θα βρίσκεται στη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης και η μικρή του πλευρά στη διεύθυνση Βορρά-Νότου (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Σύγκριση κτιρίων με βιοκλιματικά κριτήρια για τον Ελληνικό χώρο.

1.2.3 Θερμική μάζα

Το κέλυφος ενός κτιρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως αποθήκη θερμότητας. Το δομικό στοιχείο στο οποίο αποθηκεύεται η θερμότητα, ονομάζεται θερμική μάζα. Το μέγεθος της θερμικής μάζας εξαρτάται από τη γεωμετρία και τη θερμοχωρητικότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται. Η διαθέσιμη ενέργεια από τα

αυξημένα ηλιακά κέρδη στην διάρκεια της ημέρας αποθηκεύεται και αργότερα απελευθερώνεται σταδιακά στο εσωτερικό του κτιρίου.

Στην διάρκεια του χειμώνα, η αποθηκευμένη θερμότητα απελευθερώνεται στο εσωτερικό του κτιρίου αργά το απόγευμα ή το βράδυ, όπου χρειάζεται περισσότερο, καλύπτοντας έτσι ένα μέρος των θερμικών αναγκών του κτιρίου. Με την ίδια διαδικασία, το καλοκαίρι, η θερμική μάζα καθυστερεί την απόδοση της θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου κατά την διάρκεια της μέρας. Η αποθηκευμένη θερμότητα απελευθερώνεται αργότερα και σταδιακά στο εσωτερικό του κτιρίου και στο εξωτερικό περιβάλλον όταν οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες [1.3].

Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμική μάζα των δομικών στοιχείων, τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται για την άνοδο της θερμοκρασίας τους και παράλληλα καθυστερεί η άνοδος της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου. Έτσι μειώνεται η μέγιστη θερμοκρασία κατά την διάρκεια της μέρας και κατ' επέκταση το ψυκτικό φορτίο του κτιρίου. Σημαντικό πλεονέκτημα της παραπάνω διαδικασίας είναι η καθυστέρηση του χρόνου κατά τον οποίο παρουσιάζεται το μέγιστο της θερμοκρασίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το μέγιστο ψυκτικό φορτίο να μην συμπίπτει χρονικά με την μέγιστη ζήτηση ενέργειας και έτσι να αποφεύγονται τα προβλήματα από την υπερφόρτωση του ηλεκτρικού δικτύου που παρουσιάζονται τους θερινούς μήνες σε θερμά κλίματα όπως αυτό της Κρήτης.

Τα δομικά υλικά που αποτελούν την θερμική μάζα στα σύγχρονα κτίρια είναι τα τούβλα, οι τσιμεντόλιθοι, το σκυρόδεμα και η πέτρα. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα, δηλαδή ικανότητα να αποθηκεύουν, κατά την θέρμανση τους, ποσότητες θερμότητας. Η θερμοχωρητικότητα ενός στοιχείου υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad 1.1$$

όπου m είναι η μάζα του στοιχείου, c η ειδική θερμότητα του και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας, και μετριέται σε kcal [1.4]. Επομένως, όσο αυξάνεται η μάζα ενός στοιχείου, αυξάνεται και η θερμοχωρητικότητά του και συνεπώς και η θερμική μάζα.

1.2.4 Θερμική άνεση

Ως θερμική άνεση ορίζονται οι συνθήκες στις οποίες ευρισκόμενο ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή. Η θερμική ουδετερότητα, όπου ο καθένας δεν επιθυμεί ούτε θερμότερο ούτε ψυχρότερο περιβάλλον, είναι μία αναγκαία συνθήκη για θερμική άνεση. Πάντως η επίτευξή της δεν εξασφαλίζει αναγκαστικά και την θερμική άνεση. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση διαχωρίζονται σε υποκείμενες μεταβλητές και σε περιβαλλοντικές μεταβλητές [1.5]. Οι υποκείμενες μεταβλητές είναι:

- Δραστηριότητα.
- Ένδυση.

Οι περιβαλλοντικές μεταβλητές εξαρτώνται άμεσα από τα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους και τα συστήματα ψύξης και θέρμανσής του και είναι οι εξής:

- Η θερμοκρασία του αέρα.
- Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.
- Η ταχύτητα του αέρα.
- Η υγρασία του αέρα.

1.3 ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα επιτρέπουν σημαντική μείωση του θερμικού φορτίου των κτιρίων και βελτιώνουν την θερμική άνεση των ενοίκων τους. Η θέρμανση των κτιρίων με παθητικά ηλιακά συστήματα επιτυγχάνεται μέσα από τις παρακάτω διαδικασίες [1.3]:

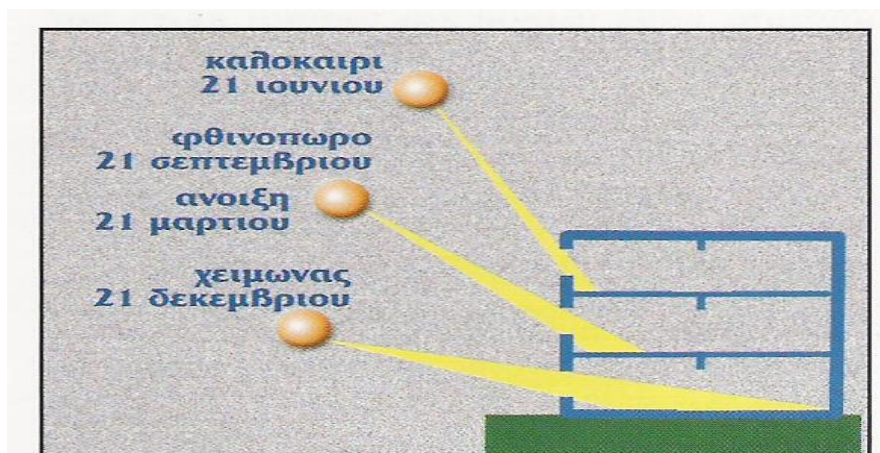
- Συλλογή της ηλιακής ενέργειας και μετατροπή της σε ωφέλιμη ενέργεια.
- Αποθήκευση της θερμικής ενέργειας.
- Διατήρηση της θερμότητας στο κτίριο.
- Διανομή της θερμότητας.

Οι διαδικασίες αυτές αν και εξετάζονται ξεχωριστά, στην πραγματικότητα συμβαίνουν ταυτόχρονα.

1.3.1 Συλλογή της ηλιακής ενέργειας

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στο υαλοστάσιο ενός κτιρίου, ένα ποσοστό ανακλάται προς το εξωτερικό περιβάλλον, ένα ποσοστό απορροφάται από το γυαλί και ένα ποσοστό διαπερνά το γυαλί και εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο. Η ηλιακή ακτινοβολία που τελικά εισέρχεται στον χώρο, απορροφάται από τα διάφορα υλικά αυξάνοντας την θερμοκρασία τους. Τα υλικά εκπέμπουν ακτινοβολία που αντιστοιχεί στην θερμοκρασία τους. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που συντελούν στην μεγιστοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι οι εξής [1.3]:

- Ο προσανατολισμός, το μέγεθος και η κλίση των παραθύρων.
- Η διαπερατότητα των διαφανών υλικών.



Σχήμα 1.2: Ηλιακά κέρδη από τα νότια ανοίγματα κατά τις διάφορες εποχές του χρόνου.

Η χρήση διαφανών επιφανειών, δηλαδή η πρόβλεψη ανοιγμάτων (παραθύρων) με υαλοπίνακα, στην νότια όψη του κτιρίου έχει τεράστια συμβολή στην επίτευξη παθητικής ηλιακής θέρμανσης σε ένα κτίριο. Τους χειμερινούς μήνες οι επιφάνειες με βόρειο προσανατολισμό προσλαμβάνουν ασήμαντα ποσά ηλιακής ενέργειας, ενώ αντίθετα οι επιφάνειες με νότιο προσανατολισμό προσλαμβάνουν τα μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ενέργειας (Σχήμα 1.2). Για την περίπτωση της νότιας Ευρώπης οι διάφανες επιφάνειες της νότιας όψης πρέπει να καταλαμβάνουν το 60% έως 70% του συνολικού εμβαδού των διαφανών επιφανειών του κτιρίου. Μια αύξηση του ποσοστού αυτού θα αποδώσει ελάχιστα [1.5]. Επίσης το ποσοστό της επιφάνειας που καταλαμβάνεται από υαλοπίνακες πρέπει να είναι της τάξεως του 20% για την νότια όψη και του 5% για την βόρεια όψη [1.6].

Το ποσόν της ακτινοβολίας που διαπερνά ένα υαλοπίνακα εξαρτάται από τα οπτικά χαρακτηριστικά, το πάχος και τα στρώματα του χρησιμοποιούμενου γυαλιού. Τους χειμερινούς μήνες η πολύτιμη εσωτερική θερμότητα τείνει να διαφύγει από τα παράθυρα. Για το λόγο αυτόν, έχουν κατασκευαστεί ειδικοί υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (Low Emission), οι οποίοι μπορούν να αντανakλούν αυτήν την θερμότητα πίσω στον εσωτερικό χώρο μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση του κτιρίου [1.7]. Οι υαλοπίνακες αυτοί εμφανίζουν πολύ υψηλή ανακλαστικότητα στη θερμότητα που εκπέμπεται προς αυτούς. Επίσης οι διπλοί υαλοπίνακες έχουν μικρότερη διαπερατότητα από τους απλούς που κατασκευάζονται από γυαλί με τα ίδια χαρακτηριστικά. Η χρήση των παραπάνω υαλοπινάκων αφενός μειώνει το ποσό της ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτίριο, αλλά αφετέρου δεν αφήνει την θερμική ενέργεια να διαφύγει από αυτό.

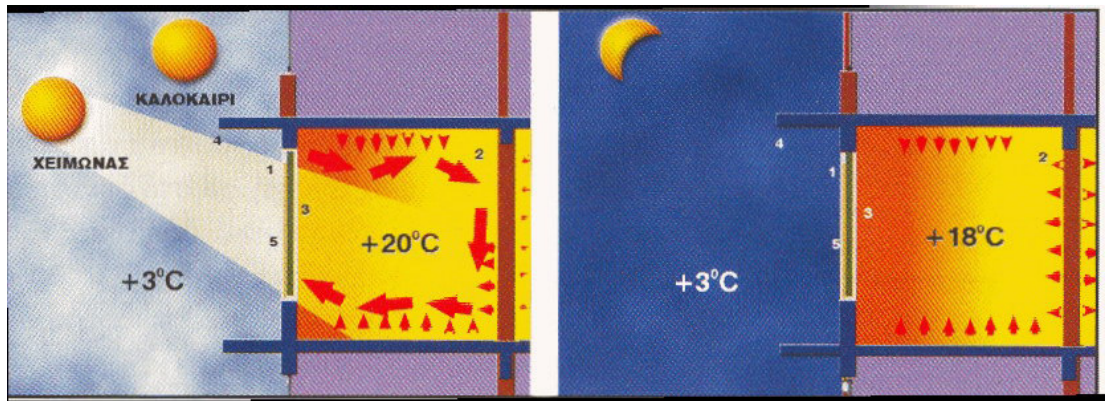
1.3.2 Αποθήκευση της θερμικής ενέργειας

Ο σκοπός της αποθήκευσης της θερμότητας που εισπράττει το κτίριο από τον ήλιο είναι η διατήρηση της πλεονάζουσας θερμότητας με σκοπό την απελευθέρωση και την χρησιμοποίηση της σε μεταγενέστερο χρόνο [1.3]. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επιτευχθεί είτε με την χρήση συστημάτων άμεσης αποθήκευσης, είτε με την χρήση συστημάτων έμμεσης αποθήκευσης.

1.3.2.1 Συστήματα άμεσης αποθήκευσης

Τα συστήματα άμεσης αποθήκευσης αποτελούνται από ένα καλά μονωμένο κτίριο με μία σχετικά μεγάλη νότια προσανατολισμένη επιφάνεια με τζάμι που δέχεται τις ακτίνες του χειμερινού ηλίου υπό μικρή γωνία. Το κτίριο χρειάζεται θερμική μάζα για να αποθηκεύσει θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας και να την επανεκπέμψει κατά την νύχτα. Η θερμική μάζα είναι συνήθως υπό την μορφή εξωτερικά μονωμένων χτισμένων τοίχων και με ένα συμπαγές πάτωμα. Ο ήλιος ακτινοβολεί κατευθείαν στην θερμική μάζα, η ενέργεια αποθηκεύεται και επιτυγχάνονται διακυμάνσεις στη θερμοκρασία των κατωτέρων στρωμάτων του αέρα [1.5] (Σχήμα 1.3).

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα ενός συστήματος άμεσης αποθήκευσης είναι ότι απαιτεί ελάχιστο επιπρόσθετο κόστος και ότι επιτρέπει την άμεση οπτική επαφή με το εξωτερικό του κτιρίου, ενώ μειονέκτημα αποτελεί η χρήση μεγάλων επιφανειών παραθύρων με νότιο προσανατολισμό, γεγονός που προϋποθέτει την εφαρμογή ηλιοπροστασίας για την αποφυγή θάμβωσης ή υπερθέρμανσης του κτιρίου κατά τους θερινούς μήνες [1.3].



Σχήμα 1.3: Άμεση αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας στα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Λειτουργία κατά την ημέρα και κατά την νύχτα.

(1): Υαλοπίνακας, (2): Θερμική μάζα, (3): Κινητά στοιχεία για νυχτερινή μόνωση, (4): Ηλιοπροστασία, (5): Μονωμένα παραθυρόφυλλα.

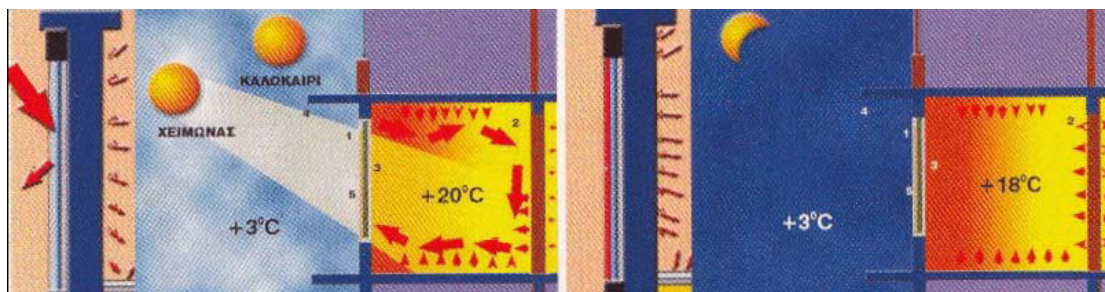
1.3.2.2 Συστήματα έμμεσης αποθήκευσης

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα έμμεσης αποθήκευσης θεωρούνται τα ακόλουθα [1.3]:

- Συστήματα τοίχου μάζας.
- Συστήματα τοίχου μάζας με αερισμό (Trombe wall)

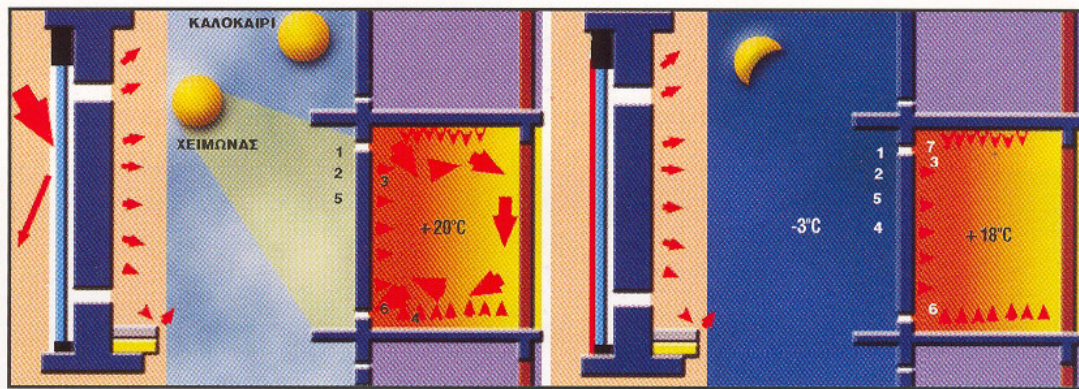
Ο τοίχος μάζας συνδυάζει συλλογή, αποθήκευση και μετάδοση της ηλιακής ενέργειας σε ένα υαλόφρακτο τοίχο. Κατασκευάζεται από υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα και τοποθετείται κυρίως στην νότια πλευρά του κτιρίου. Ένα υαλοστάσιο τοποθετημένο σε απόσταση 10-15 cm από αυτόν προς την εξωτερική του πλευρά, χρησιμεύει για την δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας (Σχήμα 1.4).

Μια παραλλαγή του κοινού τοίχου μάζας είναι ο τοίχος μάζας με αερισμό (Trombe wall). Αποτελείται από ένα συμπαγή τοίχο μεγάλης θερμοχωρητικότητας από σκυρόδεμα πάχους 30-40 cm, μία απορροφητική επιφάνεια και ένα κάλυμμα από διαφανές μονωτικό υλικό. Η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά το διαφανές υλικό και απορροφάται από την επιφάνεια, με αποτέλεσμα η θερμότητα να αποθηκεύεται στον τοίχο κατά την διάρκεια της ημέρας και να ελευθερώνεται στο εσωτερικό του κτιρίου κατά την διάρκεια της νύχτας (Σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.4: Έμμεση αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας σε τοίχο μάζας. Λειτουργία κατά την ημέρα και κατά την νύχτα.

(1): Διπλός υαλοπίνακας, (2): 10-15 cm αέρα, (3): Τοίχος μάζας, (4): Θερμική ακτινοβολία, (5): Νυχτερινή μόνωση ή πρωινή ηλιοπροστασία κατά το θέρος.



Σχήμα 1.5: Έμμεση αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας σε τοίχο μάζας με αερισμό. Λειτουργία κατά την ημέρα και κατά την νύχτα.
 (1): Διπλός υαλοπίνακας, (2): 10-15 cm αέρα, (3): Τοίχος μάζας,
 (4): Θερμική ακτινοβολία, (5): Νυχτερινή μόνωση ή πρωινή ηλιοπροστασία κατά το θέρους, (6): Κάτω αγωγός, (7): Άνω αγωγός.

1.3.3 Διατήρηση της θερμότητας

Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου το κέλυφος του κτιρίου παρουσιάζει απώλειες θερμότητας μέσω των διαδικασιών της αγωγής και μεταφοράς θερμότητας και ακτινοβολίας ή εξαιτίας του αερισμού και της διείσδυσης του αέρα. Ο περιορισμός των απωλειών θερμότητας κρίνεται αναγκαίος ώστε να διατηρούνται όσο το δυνατό περισσότερο χρόνο τα θερμικά κέρδη από την ηλιακή ακτινοβολία και τα παθητικά συστήματα. Οι σημαντικότεροι τρόποι για την μείωση των απωλειών από το κέλυφος του κτιρίου είναι οι εξής [1.3]:

- Η θερμομόνωση του κελύφους.
- Ο σχεδιασμός ενός όσο το δυνατόν περισσότερο συμπαγούς κτιρίου.
- Η μείωση, όπου είναι δυνατόν, της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου με σκοπό την μείωση της θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στον εσωτερικό και τον εξωτερικό αέρα.
- Η χρήση κατάλληλων εμποδίων που δεν επιτρέπουν στην θερμότητα να διαφύγει με ακτινοβολία, όπως παραδείγματος χάριν, είναι οι υαλοπίνακες με μικρό συντελεστή εκπομπής.

Η απώλεια θερμότητας μέσω των υαλοπινάκων μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με χρήση διπλού τζαμιού με διάκενο πάχους μεγαλύτερου των 6 mm [1.5]. Η μείωση της απώλειας δεν οφείλεται τόσο στην πρόσθετη αντίσταση του επί πλέον φύλλου γυαλιού, αλλά στο στρώμα του ακίνητου αέρα που βρίσκεται ανάμεσά τους. Οι υαλοπίνακες αυτοί κατασκευάζονται από δύο συγκολλημένους μεταξύ τους υαλοπίνακες, παρεμβάλλοντας ένα περιμετρικό προφίλ αλουμινίου, ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη απόσταση ανάμεσά τους [1.7]. Επίσης το εξωτερικό τζάμι πρέπει να έχει ελάχιστο μεγαλύτερο πάχος από το εσωτερικό, ώστε να αποφεύγεται ο συντονισμός τους, ο οποίος θα είχε σαν αποτέλεσμα την θραύση τους.

Ένας παράγοντας ακόμα, που καθορίζει την μείωση των απωλειών των υαλοπινάκων, είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας. Ως συντελεστή θερμοπερατότητας ορίζεται η ποσότητα θερμότητας που διέρχεται σε μια ώρα από

επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου (1 m^2) στρώσης υλικού, όταν μεταξύ των επιφανειών της υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας $1 \text{ }^\circ\text{C}$ [1.4]. Μετρίεται σε μονάδες $\text{kcal/hm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ή $\text{W/m}^2\text{K}$ και συμβολίζεται με U . Από τον ορισμό του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας γίνεται αντιληπτό, ότι η κατασκευή υαλοπινάκων με μικρό U συνεισφέρει στην μείωση των απωλειών τους. Ενδεικτικά, τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας, ανάλογα με τον τύπο του υαλοπίνακα, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.1).

Πίνακας 1.1: Τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας ανάλογα με τον τύπο του υαλοπίνακα.

Τύπος υαλοπίνακα	U-value $\text{W/m}^2\text{K}$
Μονός υαλοπίνακας	5,4-5,8
Διπλός υαλοπίνακας	2,8-3,0
Διπλός υαλοπίνακας με επίστρωση Low-E	1,3-2,0

Σημαντικές απώλειες θερμότητας μπορεί να παρουσιαστούν στο δάπεδο του κτιρίου. Κατά την κατασκευή του δαπέδου πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην στεγάνωσή του, καθώς η θερμομονωτική ικανότητα των δομικών και των μονωτικών υλικών μειώνεται σημαντικά όταν οι πόροι τους καταληφθούν από νερό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της θερμομονωτικής ικανότητας του κελύφους του κτιρίου, γεγονός που επιβαρύνει την θερμική άνεση των χρηστών και αυξάνει το κόστος των δαπανών για θέρμανση. Η οριζόντια στεγάνωση του δαπέδου καθώς και η επιλογή δομικών στοιχείων που είναι κατά το δυνατό στεγανά στο νερό μπορούν να συντελέσουν στην αντιμετώπιση της υγρασίας που προέρχεται από το έδαφος [1.8].

1.3.4 Διανομή της θερμότητας

Μετά τη συλλογή και την αποθήκευση της θερμότητας απαιτείται η διανομή της, έτσι ώστε να φτάσει η ηλιακή θερμότητα στις θέσεις όπου χρειάζεται. Ένα ιδανικό παθητικό ηλιακό κτίριο οφείλει να παρέχει την θερμότητα απ' ευθείας στους χώρους όπου θα χρησιμοποιηθεί ώστε να μην απαιτείται σύστημα διανομής. Ωστόσο, αυτό δεν είναι πάντοτε εφικτό, όπως στην περίπτωση χώρων με βόρειο προσανατολισμό όπου η διανομή γίνεται με μηχανικά μέσα.

Στη φυσική διανομή της θερμότητας, η αποθηκευμένη θερμότητα μεταδίδεται με μεταφορά και ακτινοβολία. Όταν η εσωτερική πλευρά ενός τοίχου αποκτά υψηλότερη θερμοκρασία από αυτή του γειτονικού χώρου, ο αέρας θερμαίνεται με μεταφορά. Παράλληλα οι γειτονικές επιφάνειες προσλαμβάνουν την εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία προκαλώντας έτσι την διανομή της θερμότητας σε χώρους του κτιρίου που δεν μπορούν να επωφεληθούν από τα άμεσα ηλιακά κέρδη. Όταν απαιτείται μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων θερμότητας, χρησιμοποιούνται μηχανικοί τρόποι διανομής, όπως ανεμιστήρες και αντλίες που ωθούν τον ζεστό αέρα από τις θερμές προς τις ψυχρότερες περιοχές του κτιρίου.

1.4 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ

Όπως με την μελέτη των παθητικών ηλιακών κτιρίων, όπου η θέρμανση είναι το βασικό ζητούμενο, η συσχέτιση των τεχνικών μεθόδων δροσίσιμου είναι μια πολύπλευρη σειρά διαδικασιών που συνδέονται στενά με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτιρίου και του περιβάλλοντός του με πολυσύνθετες μορφές χρήσης.

Οι βασικοί σχεδιαστικοί άξονες για τα συστήματα παθητικού δροσισμού είναι οι εξής [1.3]:

- Προστασία του κτιρίου από τα θερμικά κέρδη.
- Απαγωγή της πλεονάζουσας θερμότητας σε περιβαλλοντικές δεξαμενές χαμηλότερης θερμοκρασίας από αυτήν του κτιρίου.

Οι τεχνικές προστασίας του κτιρίου από τα θερμικά κέρδη εμπεριέχουν παρεμβάσεις, όπως [1.3]:

- Παρέμβαση στο μικροκλίμα και κατάλληλη διαμόρφωση των εξωτερικών χώρων.
- Βελτιστοποίηση της μορφής του κτιρίου.
- Ηλιοπροστασία και σκιασμός των διαφανών και αδιαφανών στοιχείων του κελύφους.
- Έλεγχος των εσωτερικών φορτίων.

Οι τεχνικές που επιτρέπουν την απόσβεση και την απορρόφηση της θερμότητας που εισέρχεται σε ένα κτίριο σχετίζονται με την θερμοχωρητικότητα του κτιρίου και την ικανότητα του να αποθηκεύει την θερμότητα αυτή. Η ύπαρξη σημαντικής θερμικής μάζας επιτρέπει την απόσβεση των μέγιστων εσωτερικών θερμοκρασιών και την μείωση του θερμικού φορτίου του κτιρίου. Η αποθηκευμένη θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας αποδίδεται κατά την νύχτα.

Η απαγωγή της πλεονάζουσας θερμότητας του κτιρίου προϋποθέτει την ύπαρξη μιας θερμικής δεξαμενής με θερμοκρασία χαμηλότερη από αυτήν του κτιρίου. Οι χρησιμοποιούμενες θερμικές δεξαμενές καθώς και οι τρόποι απαγωγής της θερμότητας δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1.2: Χρησιμοποιούμενες πηγές δροσισμού και οι αντίστοιχοι τρόποι απαγωγής θερμότητας.

Τεχνική	Δεξαμενή	Τρόπος απαγωγής της θερμότητας
Δροσισμός με ακτινοβολία	Διάστημα	Ακτινοβολία
Δροσισμός με εξάτμιση	Αέρας-Νερό	Μεταφορά
Αερισμός	Αέρας	Μεταφορά
Δροσισμός από το έδαφος	Έδαφος	Αγωγή

Η χρήση τεχνικών και συστημάτων παθητικού και υβριδικού δροσισμού παρουσιάζει μία σειρά πλεονεκτημάτων, σημαντικότερα των οποίων είναι [1.3]:

- Περιβαλλοντικά οφέλη που σχετίζονται με την αποφυγή του CO₂, καθώς και την μειωμένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Βελτιωμένη ποιότητα εσωτερικού αέρα και υγιεινή διαβίωση.
- Οικονομικά οφέλη σε σχέση με το αρχικό κεφάλαιο, το κεφάλαιο συντήρησης και το κόστος λειτουργίας των συστημάτων δροσισμού.
- Σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.
- Μείωση έως εξάλειψη των προβλημάτων φορτίου αιχμής.

- Απλότητα και ευκολία στον χρήστη.

1.4.1 Μικροκλίμα

Το μικροκλίμα μιας κατοικημένης περιοχής είναι δυνατόν να διαμορφωθεί ή να τροποποιηθεί αν στις ελεύθερες δημόσιες εκτάσεις γίνουν οι κατάλληλες παρεμβάσεις, τόσο σε ότι αφορά την γεωμετρία τους όσο και σε ότι αφορά τα χρησιμοποιούμενα υλικά. Σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του μικροκλίματος έχουν η βλάστηση και οι υδάτινες επιφάνειες. Οι υδάτινες επιφάνειες τροποποιούν το μικροκλίμα μια περιοχής με δύο τρόπους [1.3]:

- Η εξάτμιση απορροφά θερμότητα από τον αέρα.
- Ο θερμός αέρα ψύχεται κατά την επαφή με την ψυχρότερη επιφάνεια του νερού.

Η βλάστηση επηρεάζει σημαντικά το μικροκλίμα μιας περιοχής γιατί παρουσιάζει τις παρακάτω δυνατότητες [1.2]:

- Προσφέρει ηλιοπροστασία στα κτίρια.
- Μειώνει την ταχύτητα του ανέμου.
- Μειώνει τον θόρυβο.
- Εμποδίζει την διάβρωση του εδάφους λόγω βροχοπτώσεων.
- Μειώνει την θερμοκρασία του περιβάλλοντος.
- Μειώνει την ατμοσφαιρική ρύπανση.

1.4.2 Μορφή του κτιρίου

Ένα συμπαγές κτίριο έχει περιορισμένο λόγο επιφάνειας προς όγκο. Το γεγονός αυτό μπορεί να παράσχει πλεονεκτήματα για τον έλεγχο των απωλειών και των ηλιακών κερδών δια του περιβλήματος του κτιρίου χωρίς κάποια αντίθεση μεταξύ των προτεραιοτήτων σχεδιασμού για τις συνθήκες θέρους και χειμώνα. Τα πιο σημαντικά αποτελέσματα της μορφής του κτιρίου είναι στα ρεύματα αέρα και στη διαμόρφωσή τους καθώς και στη δυνατότητα χρήσης του φυσικού φωτισμού [1.5].

1.4.3 Σκίαση

Ο περιορισμός της ηλιακής ακτινοβολίας πριν αυτή φτάσει στο κτίριο, περισσότερο στα υαλοστάσια και λιγότερα στις αδιαφανείς επιφάνειες και η ανάκλαση της αποτελούν θεμελιώδη αρχές για την πρόληψη του ηλιακού κέρδους. Τα συστήματα σκίασης πρέπει να παρέχουν καλή ηλιακή προστασία κατά τους θερινούς μήνες και ταυτόχρονα δεν πρέπει να περιορίζουν τα ηλιακά κέρδη το χειμώνα και το φυσικό φωτισμό [1.5].

Οι πιο συνήθεις τεχνικές σκίασης είναι οι εξής [1.3]:

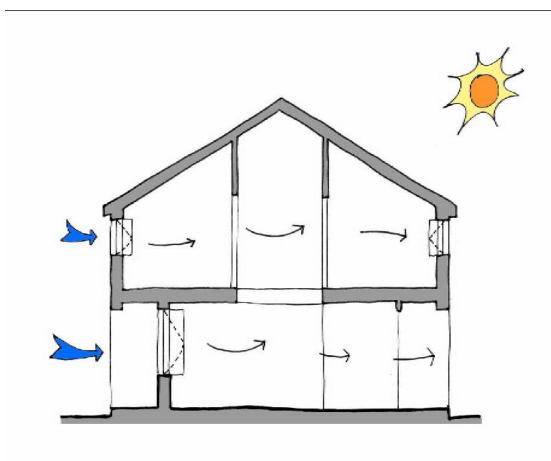
- Χρήση βλάστησης και δέντρων. Απαιτείται η επιλογή φυλλοβόλων φυτών ώστε να μην εμποδίζονται τα ηλιακά κέρδη το χειμώνα.
- Σταθερά οριζόντια σκίαστρα, τα οποία πολλές φορές παρέχονται από την ίδια την γεωμετρία του κτιρίου, παραδείγματος χάριν τις βεράντες.

- Σταθερά οι κινητά κατακόρυφα σκίαστρα, τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στην σκίαση των ανατολικών και δυτικών ανοιγμάτων.
- Εξωτερικές σταθερές ή κινητές οριζόντιες περσίδες, οι οποίες αλλάζουν την κλίση τους ανάλογα με την εποχή και την θέση του ηλίου.
- Κινητές ή σταθερές εξωτερικές τέντες.
- Εσωτερικές οριζόντιες περσίδες, κινητές ή σταθερές.
- Εσωτερικά ή εξωτερικά υφασμάτινα στοιχεία, τα οποία προτείνονται ιδιαίτερα για την σκίαση ανοιγμάτων οροφής.
- Προηγμένα συστήματα φυσικού φωτισμού.

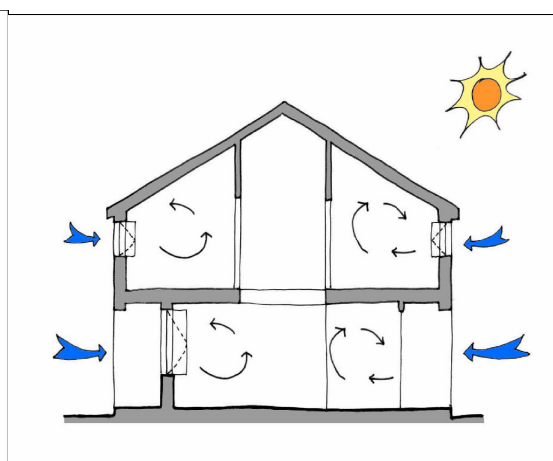
1.4.4 Φυσικός αερισμός

Ο φυσικός αερισμός πραγματοποιείται με την διείσδυση του εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων. Η είσοδος του εσωτερικού αέρα γίνεται μέσα από τα ανοίγματα και τις ρωγμές που υπάρχουν στο κέλυφος του κτιρίου. Υπό την προϋπόθεση ότι οι εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες είναι ευνοϊκές, η χρήση του φυσικού αερισμού είναι δυνατόν να ελαττώσει το ψυκτικό φορτίο, να αυξήσει την θερμική άνεση και να βελτιώσει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου. Η αποτελεσματικότητα των τεχνικών φυσικού αερισμού καθορίζεται από τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, από το μικροκλίμα, από τα χαρακτηριστικά του κελύφους του κτιρίου και την χωροταξία της περιοχής στην οποία βρίσκεται το κτίριο. Καθοριστικοί παράγοντες για την επιτυχή εφαρμογή των τεχνικών φυσικού αερισμού είναι η εξωτερική θερμοκρασία, η υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου. Οι βασικοί τύποι φυσικού αερισμού στα κτίρια είναι οι εξής [1.3]:

- Μονόπλευρος αερισμός με ανοίγματα από το ίδιο ύψος (Σχήμα 1.7).
- Αερισμός με ανοίγματα σε διαφορετικά επίπεδα.
- Διαμπερής αερισμός (Σχήμα 1.6).
- Φαινόμενο καμινάδας.

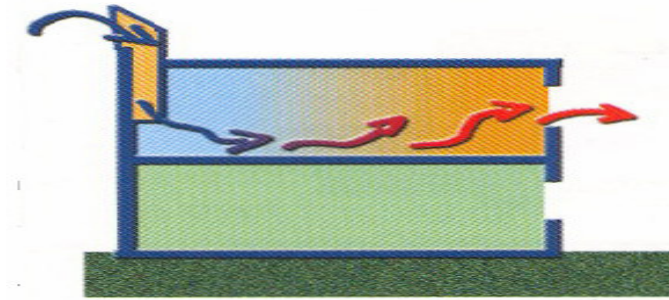


Σχήμα 1.6: Διαμπερής αερισμός

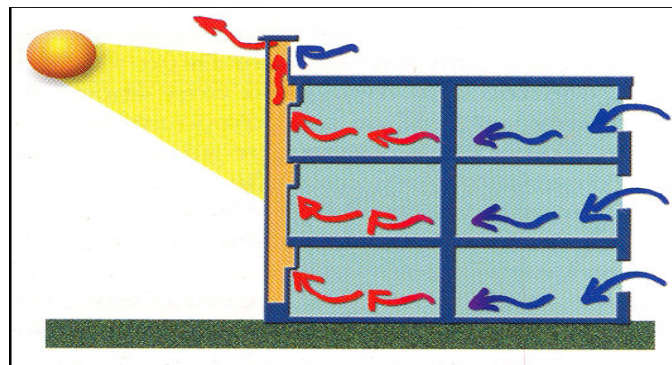


Σχήμα 1.7: Μονόπλευρος αερισμός

Ο φυσικός αερισμός σε ένα κτίριο ενισχύεται με την χρήση περισσότερο πολύπλοκων τεχνικών, όπως ο πύργος ανέμου (Σχήμα 1.8) και η ηλιακή καμινάδα (Σχήμα 1.9).



Σχήμα 1.8: Πύργος ανέμου

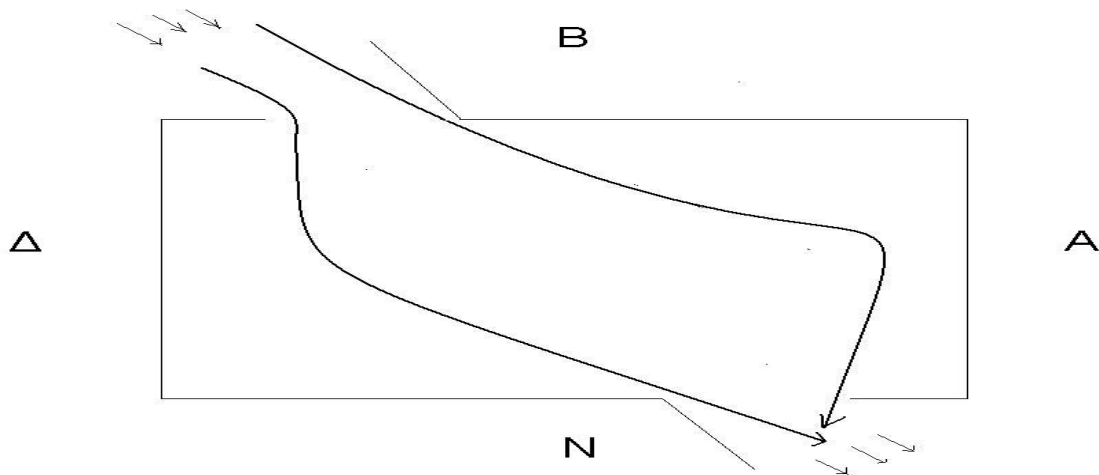


Σχήμα 1.9: Ηλιακή καμινάδα

Οι πύργοι ανέμου αξιοποιούν την ορμή του ανέμου για την διοχέτευση του εξωτερικού αέρα στον εσωτερικό χώρο (Σχήμα 1.8). Στις ηλιακές καμινάδες η θέρμανση του άνω άκρου από την ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί ανωστική ροή του εσωτερικού αέρα, ακόμα και σε συνθήκες άπνοιας (Σχήμα 1.9).

1.4.5 Ο ρόλος της γεωμετρίας των ανοιγμάτων στην επίτευξη φυσικού αερισμού

Η γεωμετρία των ανοιγμάτων του κτιρίου έχει ιδιαίτερο ρόλο στην μείωση του ψυκτικού φορτίου του κτιρίου, καθώς και στην αίσθηση της θερμικής άνεσης. Σημαντικός παράγοντας είναι τα παράθυρα να ανοίγουν προς τον εξωτερικό χώρο και όχι προς τον εσωτερικό και να έχουν την εξής γεωμετρία. Τα παράθυρα της νότιας επιφάνειας να βρίσκονται στο ανατολικό μέρος της επιφάνειας αυτής και τα παράθυρα της βόρειας επιφάνειας στο δυτικό μέρος της βόρειας επιφάνειας. Με τον τρόπο αυτόν ο εξωτερικός αέρας εισέρχεται και στην συνέχεια εξέρχεται από τον χώρο με την μέγιστη δυνατή ροή, γεγονός που συμβάλει στην ψύξη του χώρου αυτού. Ταυτόχρονα η ροή αέρα στο εσωτερικό του χώρου εκτονώνεται και είναι η ελάχιστη, το οποίο επιτείνει περαιτέρω βελτιστοποίηση της θερμικής άνεσης (Σχήμα 1.10) .



Σχήμα 1.10: Ροή αέρα στον εσωτερικό χώρο

1.4.6 Πλεονεκτήματα Ανοιγόμενων-Ανακλινόμενων παραθύρων

Οι τύποι των παραθύρων που χρησιμοποιούνται στα κτίρια είναι οι παρακάτω:

- Ανοιγόμενα παράθυρα.
- Συρόμενα παράθυρα.
- Ανακλινόμενα, ανοιγόμενα παράθυρα.

Τα ανοιγόμενα παράθυρα παρουσιάζουν περισσότερα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα συρόμενα. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι ότι χρήστης ενός εσωτερικού χώρου έχει την δυνατότητα να ρυθμίσει αποτελεσματικότερα τον αερισμό του χώρου αυτού ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον, καθώς υπάρχει η δυνατότητα μείωσης της ροής του εισερχόμενου αέρα, όταν αυτό είναι επιθυμητό. Όταν μάλιστα κατασκευαστούν παράθυρα τα οποία είναι ταυτόχρονα ανοιγόμενα και ανακλινόμενα τα αποτελέσματα είναι πολύ καλύτερα. Για παράδειγμα αν επικρατεί μια θερμή ημέρα με μεγάλες ταχύτητες ανέμου, με την ανάκλιση του παραθύρου αξιοποιούμε τον αέρα που εισέρχεται, ψύχοντας το κτίριο και ταυτόχρονα προστατεύουμε τον εσωτερικό χώρο από τους ισχυρούς στροβιλισμούς του αέρα, γεγονός που θα είχε ολέθριες συνέπειες για την αίσθηση της θερμικής άνεσης στον χώρο αυτόν. Με τη χρήση όμως συρόμενου παραθύρου δεν θα έχουμε τα παραπάνω θετικά αποτελέσματα.

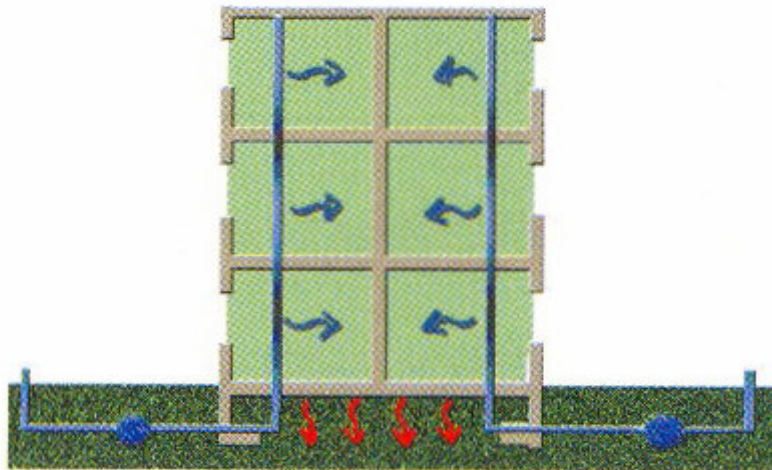
1.4.7 Άλλες τεχνικές φυσικού δροσισμού

Οι τεχνικές φυσικού δροσισμού που εφαρμόζονται στα κτίρια στηρίζονται στην απόρριψη της πλεονάζουσας θερμότητας σε μία ψυχρότερη περιβαλλοντική δεξαμενή πολύ υψηλής θερμοχωρητικότητας. Εκτός από αυτές που περιγράφηκαν παραπάνω, ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι εξής κατηγορίες [1.3]:

- Η εξατμιστική ψύξη (δεξαμενή το νερό).
- Η ψύξη μέσω του εδάφους (δεξαμενή το έδαφος).
- Η ψύξη με ακτινοβολία (δεξαμενή ο ουράνιος θόλος).

Η εξατμιστική ψύξη είναι μια διαδικασία η οποία χρησιμοποιεί το φαινόμενο της εξάτμισης για την απαγωγή της πλεονάζουσας θερμότητας από το εσωτερικό του κτιρίου στο περιβάλλον.

Η απαγωγή της θερμότητας προς το έδαφος γίνεται είτε με άμεση επαφή ενός σημαντικού μέρους του κτιριακού κελύφους με το έδαφος, είτε με την χρήση των εναλλακτών θερμότητας εδάφους-αέρα. Η αύξηση της επαφής του κτιρίου με το έδαφος μπορεί να παράσχει πρόσθετη ψύξη. Σε όλη τη διάρκεια του έτους οι θερμοκρασίες κάτω από την επιφάνεια του εδάφους είναι πιο σταθερές από τις θερμοκρασίες του αέρα ποικίλλοντας αμελητέα για αρκετά μέτρα βάθους, το οποίο είναι σημαντικά πιο ψυχρό από την επιφάνεια ή τις θερμοκρασίες του αέρα κατά το θέρος. Το έδαφος μπορεί να θεωρηθεί ως μια σχεδόν άπειρης χωρητικότητας δεξαμενή θερμότητας [1.5]. Όταν μέρος του περιβλήματος του κτιρίου βρίσκεται σε άμεση επαφή με το έδαφος, η διάχυση θερμότητας στο έδαφος μπορεί να επιτευχθεί με συναγωγή. Η κατασκευή πιλοτής σε κτίρια λειτουργεί αποτρεπτικά για την διαδικασία αυτή. Οι εναλλάκτες θερμότητας εδάφους-αέρα είναι σωλήνες τοποθετημένοι οριζόντια σε ορισμένο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Στο εσωτερικό τους κυκλοφορεί αέρας με την βοήθεια ηλεκτρικών ανεμιστήρων (Σχήμα 1.11).



Σχήμα 1.11: Σύστημα εναλλακτών θερμότητας εδάφους αέρα

Η αρχή λειτουργίας των συστημάτων δροσισμού με ακτινοβολία βασίζεται στις απώλειες θερμότητας λόγω εκπομπών μεγάλου κύματος ακτινοβολίας από ένα σώμα προς ένα άλλο γειτονικό του που έχει μικρότερη θερμοκρασία και παίζει ρόλο δεξαμενής θερμότητας. Στην περίπτωση των κτιρίων το ψυχόμενο σώμα είναι το κτίριο ενώ η δεξαμενή θερμότητας είναι το διάστημα (ο ουράνιος θόλος), αφού η θερμοκρασία της είναι μικρότερη από τις θερμοκρασίες των περισσότερων σωμάτων πάνω στη γη. Τα κυριότερα συστήματα ψύξης με ακτινοβολία είναι τα εξής [1.3]:

- Λευκή οροφή.
- Κινητή μόνωση.
- Κινητή θερμική μάζα.
- Ο επίπεδος μεταλλικός νυκτερινός ψύκτης ακτινοβολίας.

1.5 ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Ο φυσικός φωτισμός αποτελείται από το άμεσο ηλιακό φως, το διάχυτο ηλιακό φως και το ανακλώμενο φως [1.3]. Η χρήση φυσικού φωτισμού μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά πλεονεκτήματα εξοικονόμησης ενέργειας με τον περιορισμό του ψυκτικού φορτίου που δημιουργείται από τον τεχνητό φωτισμό, καθώς και την επακόλουθη ατμοσφαιρική ρύπανση, συμβάλλοντας έτσι σε ένα πιο υγιεινό περιβάλλον διαβίωσης και εργασίας. Ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων των κτιρίων πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να επιτρέπεται η είσοδος του φυσικού φωτός στους εσωτερικούς χώρους. Ο σχεδιασμός αυτός θα πρέπει να συμβάλλει [1.3]:

- Στη βελτίωση του φωτισμού στο εσωτερικό του κτιρίου και στην μεγαλύτερη οπτική άνεση.
- Στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για φωτισμό.
- Στην μείωση του ψυκτικού φορτίου.

Η κυριότερη παράμετρος, οι τιμές της οποίας δίνουν πληροφορίες τόσο για την ποσότητα όσο και για την ποιότητα του φυσικού φωτισμού σε ένα κλειστό χώρο, είναι ο παράγοντας φυσικού φωτισμού (ΠΦΦ) που ορίζεται ως το πηλίκο του επιπέδου φωτισμού στο εσωτερικό ενός κτιρίου, προς το επίπεδο φωτισμού στο εξωτερικό περιβάλλον την ίδια χρονική στιγμή [1.3].

1.5.1 Διατάξεις φυσικού φωτισμού

Η βελτιστοποίηση της οπτική συμπεριφοράς και η μεγιστοποίηση της χρήσης του φυσικού φωτός σε ένα κτίριο μπορεί να πραγματοποιηθεί με την μεταβολή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των διαφόρων διατάξεων και στοιχείων που μπορούν να ενσωματωθούν στο κέλυφος του. Οι διατάξεις αυτές είτε διαχέουν το άμεσο ηλιακό φως είτε το οδηγούν με την χρήση στοιχείων κατεύθυνσης όπως οι ανακλαστήρες. Οι σημαντικότερες διατάξεις φυσικού φωτισμού είναι οι εξής [1.5]:

- Φωταγωγός.
- Φεγγίτης οροφής.
- Φεγγίτης ανάκλασης.
- Εξωτερικοί ανακλαστήρες.
- Αίθριο.
- Ειδικοί φωταγωγοί.
- Ανακλαστικά στόρια.
- Πρισματικά στοιχεία.
- Κεκλιμένες Επιφάνειες.
- Οριζόντιες γρίλιες.
- Εξωτερικά στόρια σκίασης.
- Εσωτερικά στόρια σκίασης.

1.6 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ

Η κατασκευή κήπου στο δώμα ενός κτιρίου λειτουργεί ως πνεύμονας πρασίνου στο αστικό περιβάλλον και τα τελευταία χρόνια, τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό, παρουσιάζει μεγάλη αποδοχή. Έπειτα από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια, βγαίνει το συμπέρασμα ότι πέρα από αισθητική, περιβαλλοντική και οποιαδήποτε άλλη θετική επίδραση, η τοποθέτηση φυτεμένου δώματος είναι επίσης σημαντική λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας που οφείλεται κυρίως στην μείωση του φορτίου ψύξης. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα από την κατασκευή φυτεμένου δώματος είναι [1.2]:

- Μειώνονται τα φορτία ψύξης και θέρμανσης στον τελευταίο όροφο του κτιρίου σε ποσοστό 30% το καλοκαίρι και 10% τον χειμώνα αντίστοιχα.
- Μειώνεται η ατμοσφαιρική ρύπανση, λόγω της φωτοσύνθεσης.
- Δημιουργείται ασπίδα προστασίας με οξυγόνο για τους χρήστες του κτιρίου, καθώς ο οξυγονωμένος αέρας γίνεται βαρύτερος και κατεβαίνει προς τα κάτω.
- Τα φυτεμένα δώματα συγκρατούν και καθυστερούν την απορροή του βρόχινου νερού (από μισή έως 2,5 ώρες ανάλογα με την ένταση της βροχής και για πάχος χώματος 15 cm) μειώνοντας τα πλημμυρικά φαινόμενα.
- Τα φυτεμένα δώματα λειτουργούν σαν βάση για την μείωση του διοξειδίου του άνθρακα με αντίστοιχη παραγωγή οξυγόνου και παράλληλα εξαιτίας της ενεργειακής απορρόφησης με την παραπάνω διαδικασία και την δημιουργία υδρατμών, μειώνεται κατά την διάρκεια του καλοκαιριού η θερμοκρασία στην περιοχή της φύτευσης.

1.6.1 Κατασκευή φυτεμένου δώματος

Η εγκατάσταση κήπου στο δώμα ενός κτιρίου απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή τόσο κατά τον σχεδιασμό, όσο και στην κατασκευή του. Πριν τη κατασκευή απαιτείται έλεγχος της φέρουσας κατασκευής, που πρόκειται να δεχτεί τα πρόσθετα φορτία του κήπου. Στα περισσότερα νεόδμητα δεν απαιτούνται προσαρμογές καθώς το βάρος του τεχνητού κήπου είναι 70 kg/m^2 για πάχος χώματος 30 cm [1.2].

Η σειρά εργασιών σε μια νεόδμητη κατασκευή είναι η ακόλουθη [1.2]:

1. Καθαρισμός της επιφάνειας του δώματος.
2. Επάλειψη με ελαστικό στεγανωτικό ασφαλικό γαλάκτωμα ή με ελαστομερές στεγανωτικό τσιμεντοειδές κονίαμα.
3. Δημιουργία κλίσεων έως 1% με αφροπετόν (νερό, τσιμέντο και αφρογόνο), το οποίο διαβρέχεται μόλις περάσουν 4 ώρες από το τέλος των εργασιών.
4. Τοποθέτηση ειδικού πλαστικού τριγώνου περιμετρικά για εξομάλυνση της γωνίας συμβολής του δαπέδου με το στηθαίο.
5. Τοποθέτηση ασφαλικής μεμβράνης βάρους 5 kg/m^2 , η οποία αποτελείται από ασφαλικό λάστιχο οπλισμένο με μη υφαντό πολυεστερικό ύφασμα βάρους 220 g/m^2 .
6. Τοποθέτηση ασφαλικής μεμβράνης βάρους $4,2 \text{ kg/m}^2$ η οποία είναι ανθεκτική στις ρίζες και τους μύκητες λόγω της ειδικής ουσίας, που περιέχει στη χημική τους σύνθεση.

7. Μηχανική στερέωση στην επιφάνεια του στηθαίου με ειδικά διαμορφωμένες λάμες από γαλβανισμένη λαμαρίνα, η οποία θα σφραγιστεί με ασφαλική μαστίχη και θα πακτωθεί με ειδικά ανοξείδωτα βίσματα (Η εργασία αυτή κρίνεται προαιρετική).
8. Θερμομόνωση με φύλλα εξηλασμένης πολυστερίνης πάχους 5 cm (Η εργασία αυτή κρίνεται προαιρετική).
9. Προστασία των υδρορροών από φραγή τους με τοποθέτηση στρώσεων από κροκάλες και βότσαλα.
10. Τοποθέτηση αποστραγγιστικής μεμβράνης με επικάλυψη γεωφύλλου.
11. Τοποθέτηση υπογείου συστήματος άρδευσης με εκτοξευτήρες νερού ή σταλακτοφόρους σωλήνες.
12. Διάστρωση χώματος πάχους 30 cm.
13. Φύτεμα θάμνων, ευώνυμων, αγγελικών, τριανταφυλλιών, χλοοτάπητα κ.λ.π.

1.7 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

Με την θερμομόνωση του κτιρίου επιδιώκεται να μειωθεί η ταχύτητα ανταλλαγής θερμότητας μέσα από τα τοιχώματα που χωρίζουν περιοχές ή χώρους διαφορετικής θερμοκρασίας. Η θερμομόνωση συνίσταται από ένα σύνολο κατασκευαστικών στοιχείων (υλικών, μελετών, διαδικασιών και μεθόδων κατασκευής) και συνδέεται άμεσα με το κόστος κατασκευής και λειτουργίας των κτιρίων, τμημάτων θερμικών μηχανών και πολλών βιομηχανικών εγκαταστάσεων [1.4].

Η σωστή και πλήρης θερμομόνωση του κελύφους ενός κτιρίου έχει ως αποτέλεσμα [1.3]:

- Την μεγαλύτερη θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου.
- Την μείωση της πιθανότητας σχηματισμού υδρατμών στις επιφάνειες του κτιρίου, αφού εξαφανίζει τις θερμογέφυρες.
- Την αύξηση του κατασκευαστικού κόστους αλλά και μείωση των λειτουργικών εξόδων του κτιρίου χάρη στην αναμενόμενη εξοικονόμηση ενέργειας.
- Την διατήρηση των θερμικών ηλιακών κερδών επί μεγάλο χρονικό διάστημα στο εσωτερικό του κτιρίου.

1.7.1 Θερμογέφυρες

Θερμογέφυρα είναι το τμήμα ενός κατασκευαστικού στοιχείου του οποίου η ποιότητα θερμομόνωσης είναι σημαντικά κατώτερη από τη μέση τιμή της θερμομόνωσης του συνόλου του στοιχείου. Το πρόβλημα της θερμογέφυρας παρουσιάζεται συνήθως στις απολήξεις των πλακών, τα όρια της εξωτερικής τοιχοποιίας, της ποδιές των ανοιγμάτων, τα πρέκια κ.α. Στην περιοχή της θερμογέφυρας, λόγω της αυξημένης ροής της θερμότητας, παρουσιάζονται στις εσωτερικές πλευρές του τοιχώματος χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα τη συχνή εμφάνιση τοπικής υγρασίας [1.4]. Η μείωση των θερμογεφυρών όχι μόνο βελτιώνει την θερμική συμπεριφορά του κτιρίου, αλλά και μειώνει το κόστος θέρμανσης και ψύξης, ελαττώνοντας σε μεγάλο βαθμό το ψυκτικό και το θερμικό φορτίο του κτιρίου. Επίσης οι θερμογέφυρες συμβάλουν στην μείωση της θερμοκρασίας των εσωτερικών επιφανειών τον χειμώνα, αυξάνοντας έτσι την

πιθανότητα για την εμφάνιση μούχλας στις επιφάνειες αυτές. Ο περιορισμός των θερμογεφυρών μπορεί να επιτευχθεί αν ακολουθήσουμε ορισμένους σχεδιαστικούς κανόνες [1.6]:

- Να μην διακόπτεται η στρώση της θερμομόνωσης.
- Στη συμβολή δύο στοιχείων του κτιρίου, η στρώση της θερμομόνωσης δεν πρέπει να διακόπτεται σε κανένα σημείο.
- Αν είναι αναπόφευκτη η διακοπή της στρώσης της θερμομόνωσης, να χρησιμοποιείται ένα υλικό μεγάλης θερμικής αντίστασης.

1.7.2 Βασικές αρχές της θερμομόνωσης

Οι βασικές αρχές της θερμομόνωσης είναι, από τις οποίες εξαρτάται η μελέτη και η σωστή εφαρμογή της σε ένα κτίριο είναι [1.4]:

- Η θερμομονωτική ικανότητα, δηλαδή η αντίσταση θερμοδιαφυγής ($1/\lambda$) των στοιχείων κατασκευής. Η αντίσταση θερμοδιαφυγής είναι το αντίστροφο του συντελεστή θερμοδιαφυγής και μετριέται σε $\text{hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{kcal}$ ή $\text{m}^2\text{K/W}$. Αυτή εξαρτάται από τις ιδιότητες των υλικών που συνθέτουν μια κατασκευή θερμομόνωσης, όπως την περιεκτικότητα τους σε υγρασία, το πάχος τους και τη θερμική τους αγωγιμότητα (συντελεστής λ). Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ) ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας που ρέει σε μία ώρα μέσα από τη στρώση ομοιογενούς υλικού επιφάνειας ενός τετραγωνικού μέτρου (1 m^2), όταν η θερμοκρασιακή πτώση κατά την διεύθυνση ροής της θερμότητας είναι $1 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{μέτρο}$. Μετριέται σε $\text{kcal/hm}^2\text{ } ^\circ\text{C}$ ή W/mK .
- Η τιμή του βαθμού διαπερατότητας του αέρα των στοιχείων κατασκευής, ο οποίος εξαρτάται από το είδος της κατασκευής που διαμορφώνει το περίβλημα ενός χώρου και την επιφάνεια των κουφωμάτων και τον τρόπο συναρμογής τους.
- Η θερμοχωρητικότητα (Q) των στοιχείων της κατασκευής, που συμβάλλει στον περιορισμό της ταχύτητας μεταβολής της αρχικής κατάστασης της θερμοκρασίας.
- Οι τιμές των συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας και αντίσταση θερμοδιαφυγής των διαφόρων υλικών που συγκροτούν μια κατασκευή.
- Οι απαιτήσεις θερμομόνωσης που επιβάλλει ο Κανονισμός Θερμομόνωσης.

1.7.3 Θερμομονωτικά υλικά

Η μετάδοση θερμότητας στα δομικά υλικά γίνεται στο μεγαλύτερο ποσοστό με αγωγιμότητα. Γι' αυτό και το πιο σημαντικό κριτήριο αξιολόγησης των θερμομονωτικών υλικών είναι η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) [1.9].

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του ακίνητου αέρα παρουσιάζει την μικρότερη τιμή ($\lambda = 0,02 \text{ kcal/hm}^2\text{ } ^\circ\text{C}$). Τα θερμομονωτικά υλικά οφείλουν τη μονωτική τους ιδιότητα, κατά κύριο λόγο, στην ύπαρξη μεγάλου αριθμού κλειστών κυψελών στην μάζα τους, οι οποίες περιέχουν ακίνητο, με θερμομονωτικές ιδιότητες, αέρα. Το μέγεθος και ο αριθμός των κλειστών κυψελών που βρίσκονται στη μάζα των θερμομονωτικών υλικών επηρεάζουν τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας τους. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τον συντελεστή λ είναι η χημική σύσταση των

υλικών, η θερμοκρασία και η υγρασία τους. Ειδικά η υγρασία μπορεί να αποτελέσει σημαντικό πρόβλημα γιατί, εκτοπίζοντας τον αέρα, μπορεί να γεμίσει τους πόρους του υλικού του μονωτικού υλικού, καταστρέφοντας έτσι, προσωρινά ή οριστικά, τις μονωτικές του ιδιότητες.

Ανάλογα με την εφαρμογή, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλες φυσικές ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών, όπως η σταθερότητα του όγκου τους, η μηχανική αντοχή σε θλιπτικά φορτία, η ανθεκτικότητα τους στις μεταβολές της θερμοκρασίας και η διάρκεια ζωής τους. Επίσης η εκλογή ενός θερμομονωτικού υλικού σχετίζεται άμεσα και με παράγοντες που δεν αφορούν τις φυσικές τους ιδιότητες, όπως το κόστος κτήσης του και τοποθέτησης του και η επάρκεια του στην αγορά. Ιδιαίτερα το κόστος κτήσης είναι παράγοντας που θα πρέπει να εξεταστεί προσεχτικά, καθώς διατίθενται υλικά με ελάχιστες διαφορές, όσον αναφορά την θερμομονωτική τους ικανότητα, αλλά τεράστιες διαφορές στο κόστος κτήσης τους. Εκτός του κόστους κτήσης και τοποθέτησης και της διάρκειας ζωής των θερμομονωτικών υλικών υπάρχουν και άλλα σημαντικά οικονομικά κριτήρια, όπως οι πρόσθετες προστατευτικές στρώσεις που απαιτούνται για την κάλυψή τους (γεωφύσματα, ειδικά επιχρίσματα κ.λ.π.) και η εξοικονόμηση ενέργειας που εξασφαλίζουν. Συμπερασματικά η εκλογή και χρήση ενός θερμομονωτικού υλικού είναι από τη μία συνάρτηση των ιδιοτήτων του και του κόστους του και από την άλλη συνάρτηση των καταπονήσεων που θα υποστεί στο δομικό στοιχείο που θα χρησιμοποιηθεί.

Η κατάταξη των θερμομονωτικών υλικών σε ομάδες, δίνει διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την ταξινόμηση τους. Έτσι τα μονωτικά υλικά χαρακτηρίζονται ως [1.4]:

- Ανόργανα ή οργανικά ανάλογα με την προέλευση και τη σύστασή τους.
- Φυσικής προέλευσης ή τεχνητά, ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας που υφίστανται πριν διατεθούν στην κατανάλωση.
- Ανοικτών ή κλειστών κυψελών ή πόρων αέρα .
- Μεγάλου ή μικρού φαινομένου βάρους.

1.7.4 Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας

Η θερμική μόνωση των εξωτερικών τοίχων διακρίνεται κυρίως σε εσωτερική, εξωτερική, μόνωση στον πυρήνα του τοίχου και σε μόνωση που επιτυγχάνεται με χρησιμοποίηση υλικών τοιχοποιίας με μεγάλη μονωτική ικανότητα. Μια περεταίρω ανάλυση και σύγκριση τους μπορεί να μας δώσει μια καλή εικόνα για την καταλληλότητα της κάθε μεθόδου.

Η εσωτερική μόνωση προβλέπει την τοποθέτηση του θερμομονωτικού υλικού στη εσωτερική επιφάνεια του εξωτερικού τοίχου. Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η μη αναγκαιότητα για προστασία των θερμομονωτικών υλικών που ισοδυναμεί με μικρότερο κόστος κατασκευής. Όμως τα μειονεκτήματα είναι σημαντικά. Κυριότερο όλων ότι δεν αξιοποιείται η θερμοχωρητικότητα των εξωτερικών τοίχων, ελαττώνοντας σημαντικά τη θερμική μάζα του κελύφους του κτιρίου. Επίσης στα σημεία όπου οι εξωτερικοί τοίχοι συνδέονται με τους εσωτερικούς, σχηματίζονται ανεπιθύμητες θερμογέφυρες, που αυξάνουν τις απώλειες θερμότητας του κτιρίου, και επιπλέον δημιουργούνται περισσότερες πιθανότητες στον σχηματισμό επιφανειακής δρόσου [1.9].

Η μόνωση στον πυρήνα της τοιχοποιίας αποτελείται από ένα μονωτικό στρώμα και ένα στρώμα αέρα, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα σε δύο στρώματα από τούβλα ή άλλα υλικά με ικανή θερμική μάζα. Το μονωτικό υλικό θα πρέπει να τοποθετείται στην εξωτερική επιφάνεια του εσωτερικού τοίχου [1.3]. Όμως με την εφαρμογή αυτής της μεθόδου δεν αξιοποιείται η θερμοχωρητικότητα του εξωτερικού τοίχου, αλλά μόνο του εσωτερικού. Επίσης στην συμβολή του τοίχου με τα υποστηλώματα του κτιρίου η θερμομόνωση διακόπτεται, σχηματίζοντας θερμογέφυρες (στα σημεία αυτά χρησιμοποιείται εξωτερική μόνωση).

Η τοιχοποιία με υλικά που έχουν αυξημένες θερμομονωτικές ικανότητες θα πρέπει να έχει πάχος περίπου 30 cm, ώστε επιτυγχάνεται μια ικανοποιητική τιμή της αντίστασης θερμοδιαφυγής. Τα υλικά που έχουν αυτές τις ικανότητες (ελαφρόπετρα, κυψελομπετόν κ.α.) παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή σε θλίψη προς όφελος της θερμομόνωσης, γι' αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν μεμονωμένα φορτία. Η τοιχοποιία με αυτά τα υλικά παρουσιάζει μικρή αντίσταση σε διάχυση των υδρατμών, μικρότερες διαστολές, αλλά και μικρή θερμοχωρητικότητα με συνέπεια τον μικρό χρόνο ψύξης μετά τη διακοπή της θέρμανσης [1.9].

Η εξωτερική μόνωση αποτελεί μια αξιόπιστη και αποδοτική λύση. Κατά την μέθοδο αυτή, η τοιχοποιία του περιβλήματος βελτιώνεται θερμομονωτικά με εξωτερική επένδυση από μονωτικά στρώματα, δημιουργώντας ένα “μανδύα” θερμικής προστασίας του κτιρίου. Σε αυτή την περίπτωση τα μονωτικά υλικά είναι εκτεθειμένα και απαιτούν προστασία από τις διάφορες καιρικές μεταβολές, γεγονός που αυξάνει το κόστος κατασκευής. Τα ισχυρά πλεονεκτήματα της εξωτερικής θερμομόνωσης είναι τα εξής [1.9]:

- Τα φέροντα στοιχεία προστατεύονται από τις μεταβολές μορφής, που προκαλούνται από τις θερμοκρασιακές μεταβολές.
- Ορισμένα ευαίσθητα δομικά στοιχεία και υλικά κατασκευής προστατεύονται και παρουσιάζουν ομοιόμορφη θερμοπερατότητα με αποτέλεσμα να αποφεύγονται οι θερμογέφυρες.
- Σε περίπτωση επισκευής της μόνωσης δεν παρεμποδίζεται η ζωή στην κατοικία.
- Επιτυγχάνεται ορθή εκμετάλλευση της θερμοχωρητικότητας του τοίχου.
- Αποφεύγονται ζημιές από υγρασία και παγωνιά σε σωληνώσεις υδρεύσεως, αποχετεύσεως κ.λ.π.

1.7.5 Θερμομόνωση φυτεμένου δώματος

Η σωστή θερμομόνωση του δώματος του κτιρίου είναι σημαντική για την βέλτιστη ενεργειακή συμπεριφορά του. Οι απαιτήσεις που πρέπει να καλύπτει η στέγη, ώστε να αποφεύγεται η καταπόνηση του κτιρίου και να ρυθμίζονται βέλτιστα οι εσωτερικές κλιματικές συνθήκες, συνοψίζονται στα εξής [1.3]:

- Πρέπει να είναι υδατοστεγής ώστε να προστατεύεται το κτίριο από τη βροχή και την υγρασία.
- Πρέπει να έχει την απαραίτητη κλίση ώστε να ευνοείται η απομάκρυνση του νερού.
- Πρέπει να παρέχει την απαραίτητη θερμική προστασία στο εσωτερικό του κτιρίου.

Η θερμομόνωση του φυτεμένου δώματος κρίνεται προαιρετική λόγω της διάστρωσης χώματος. Το στεγνό χώμα έχει σχετικά χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και σε συνδυασμό με το μεγάλο πάχος της διάστρωσης (30 cm) λειτουργεί ως μονωτικό, έχοντας ικανή τιμή θερμικής αντίστασης. Η τοποθέτηση όμως θερμομονωτικού υλικού, όπως αυτή περιγράφεται στην ενότητα 1.6, επιτείνει την περεταίρω βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου. Με την προσθήκη αυτή, το κτίριο είναι σε θέση να εκμεταλλευτεί πλήρως την θερμική μάζα που βρίσκεται συγκεντρωμένη στο δώμα του και ταυτόχρονα αποτρέπεται ο σχηματισμός θερμογέφυρας σε κάποιο σημείο της περιοχής αυτής. Το θερμομονωτικό υλικό που τοποθετείται πρέπει να έχει μεγάλη μηχανική αντοχή στα θλιπτικά φορτία, έτσι ώστε να μην καταστραφεί από τα πρόσθετα φορτία του κήπου.

1.7.6 Θερμομόνωση δαπέδου

Στα θερμά κλίματα όπως αυτό της Κρήτης η έλλειψη μόνωσης στο δάπεδο βοηθά την απαγωγή θερμότητας στο έδαφος. Ωστόσο σε κάποια σημεία του δαπέδου ελλοχεύει ο κίνδυνος για τον σχηματισμό θερμογεφυρών. Τα σημεία αυτά βρίσκονται στα πλαϊνά του δαπέδου της εδαφόπλακας. Οι κατασκευάστρες λύσεις που προτείνονται είναι απλές στην εφαρμογή τους και δίνουν εξίσου καλά αποτελέσματα. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται εξωτερική θερμομόνωση, υπάρχει η δυνατότητα να συνεχιστεί η στρώση της ως τα σημεία αυτά. Σε κάθε άλλη περίπτωση, μπορεί να τοποθετηθεί ένα άλλο θερμομονωτικό υλικό με μεγάλη αντοχή σε θλιπτικά φορτία (συνήθως χρησιμοποιείται εξιλασμένη πολυστερίνη).

1.7.7 Θερμομόνωση εξωτερικών ανοιγμάτων

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον σχηματισμό θερμογέφυρας στα σημεία όπου κατασκευάζονται τα πρέκια. Μία αποδοτική λύση είναι η κατασκευή τους να γίνεται πάνω στην στρώση της θερμομόνωσης και όχι στον τοίχο του κτιρίου καλύπτοντας έτσι ένα μέρος τους [1.6]. Βέβαια σε αυτά τα σημεία λόγω της μείωσης του πάχους της θερμομόνωσης σχηματίζονται θερμογέφυρες, οι οποίες όμως προκαλούν κατά πολύ μικρότερες απώλειες θερμότητας σε σύγκριση με αυτές που προκαλούνται με την μη εφαρμογή της παραπάνω τεχνικής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

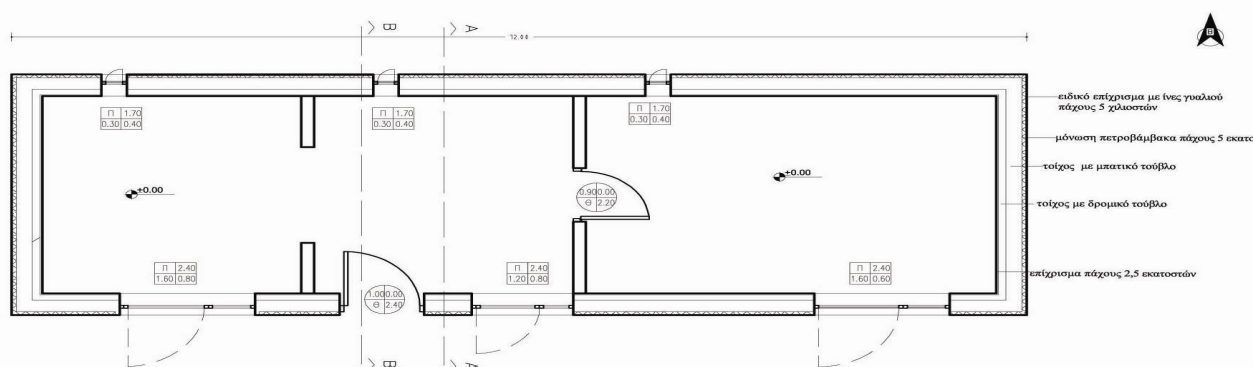
- [1.1] http://www.buildings.gr/greek/aiforos/exikonomisi/m_santamouris.htm ,
Μ. Σανταμούρης, “Ενέργεια και κτίριο” , 28/11/2007.
- [1.2] Σ.Δ. Περδίδος, “Ενεργειακή απόδοση κτιρίων και κατασκευή κήπων σε δώματα”,
Παρουσίαση στην έκθεση ΕΝΕΡΓΕΙΑ 2006, Αθήνα 25/11/2006.
- [1.3] Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών (ΔΙΠΕ),
“Οικολογική Δομηση” Εκδόσεις Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα 2000.
- [1.4] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), “Οδηγός εξοικονόμησης
ενέργειας μέσω θερμομόνωσης”, Αθήνα 1999.
- [1.5] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, “Ενέργεια στην αρχιτεκτονική” Εκδόσεις Α. Μάλλιαρης,
Βρυξέλες 1996.
- [1.6] <http://www.passive-on.org/en> “Marketable Passive Homes for Winter and Summer
Comfort”, 2007.
- [1.7] Κ. & Θ. Τσίππας, “Οικολογική Αρχιτεκτονική” Εκδόσεις Κέδρος, Αθήνα Ιούνιος
2006.
- [1.8] [http://www.ktirio.gr/gr/ dynoP/articles/arthra_det.asp?KATEGORY_CODE=6&ARTHRO
NAME=143-38.TXT](http://www.ktirio.gr/gr/ dynoP/articles/arthra_det.asp?KATEGORY_CODE=6&ARTHRO_NAME=143-38.TXT), Κ. Τριανταφύλλου, “Η υγρασία στα κτίρια”, τεύχος 143,
σελίδα 38.
- [1.9] Μ. Παπαδόπουλος, “Θερμομόνωση κτιρίων” Εκδόσεις Αδελφοί Κυριακίδη,
Θεσσαλονίκη 1994.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

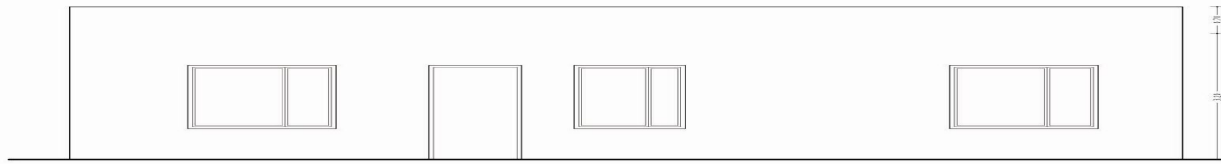
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

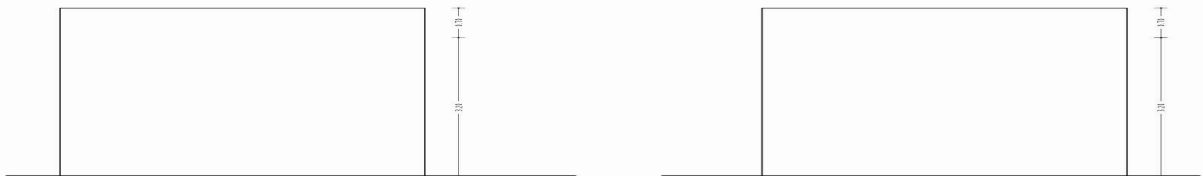
Με βάση τους παράγοντες που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 1 σχεδιάστηκε μία βιοκλιματική κατοικία, θέτοντας ως πρώτη προτεραιότητα την μείωση των απωλειών θερμότητας και κατ' επέκταση την εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη. Πρωταρχικός στόχος λοιπόν της σχεδίασης είναι η κατασκευή μίας κατοικίας με όσο το δυνατό μικρότερες ανάγκες για θέρμανση και κυρίως ψύξη, συνυπολογίζοντας όμως την οικονομική βιωσιμότητα της κατασκευής. Το οικόπεδο θεωρήθηκε ότι βρίσκεται στην περιοχή του Βορείου Ηρακλείου και έγινε η υπόθεση ότι δεν υπάρχουν σημαντικοί εξωτερικοί παράγοντες που θα επηρέαζαν την θερμική συμπεριφορά του κτιρίου και τον φυσικό φωτισμό στο εσωτερικό του (σκίαση από εξωτερική βλάστηση ή από άλλα στοιχεία του εξωτερικού περιβάλλοντος, π.χ. γειτονικά κτίρια, παρεμπόδιση του φυσικού αερισμού από εξωτερικά εμπόδια, μεταφορά θερμότητας από γειτονικά κτίρια ή εγκαταστάσεις, αντανάκλαση και απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από στοιχεία του εξωτερικού περιβάλλοντος, π.χ. χιόνι, άσφαλτος). Στα σχήματα 2.1-2.4 φαίνεται αντίστοιχα η κάτοψη, η βόρεια, η νότια, η δυτική και η ανατολική όψη του κτιρίου με τα αντίστοιχα ανοίγματα (πόρτες-παράθυρα).



Σχήμα 2.1: Κάτοψη ισογείου.



Σχήμα 2.2: Νότια όψη κτιρίου.



Σχήμα 2.3: Ανατολική και δυτική όψη του κτιρίου.



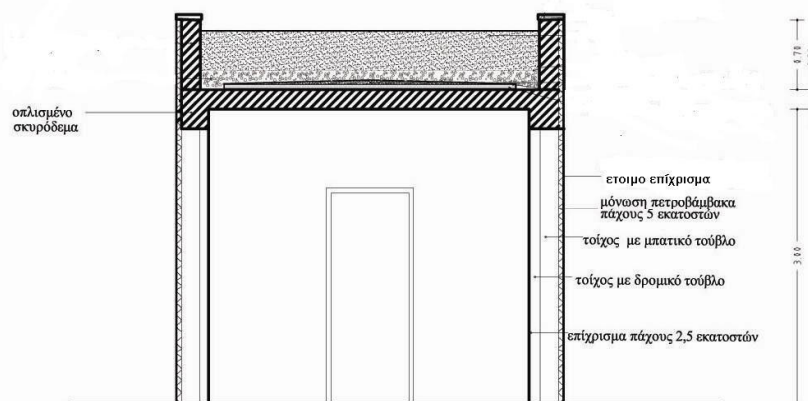
Σχήμα 2.4: Βόρεια όψη κτιρίου.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω σχέδια το κτίριο σχεδιάστηκε με καθαρό προσανατολισμό στον άξονα Βορρά-Νότου. Έχει σχήμα ορθογώνιου παραλληλόγραμμου, συμπαγή μορφή, μικρή επιφάνεια ανοιγμάτων και τοίχους μεγάλου πάχους. Η σχεδίαση της στέγης πραγματοποιήθηκε έτσι ώστε να είναι δυνατή η κατασκευή κήπου στο δώμα του κτιρίου (φυτεμένο δώμα). Η νότια και η βόρεια πλευρά του έχει μήκος 12 m, η ανατολική και η δυτική του πλευρά 4 m και συνολικά καταλαμβάνει εμβαδό 48 m². Το κτίριο έχει ύψος 3,90 m μαζί με το ύψος του στηθαίου (0,70 m). Έχουν σχεδιαστεί δύο εσωτερικά τοιχώματα, ένα που διαχωρίζει το ανατολικό δωμάτιο από τον υπόλοιπο εσωτερικό χώρο και ένα απλό τοίχιο που χρησιμοποιήθηκε κυρίως για τον εξωραϊσμό του, αλλά συμβάλει επίσης

στην θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Έχει τρία ανοίγματα στο βορρά, που το καθένα καταλαμβάνει εμβαδό $0,39 \text{ m}^2$, και τέσσερα ανοίγματα στο νότο. Τα νότια ανοίγματα αποτελούνται από τρία παράθυρα που καταλαμβάνουν επιφάνεια $7,36 \text{ m}^2$ συνολικά. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω δεν κατασκευάστηκαν ανατολικά και δυτικά ανοίγματα, δεδομένου ότι ο φυσικός φωτισμός στο εσωτερικό του κτιρίου καλύπτεται πλήρως από τα βόρεια και τα νότια ανοίγματα. Στην συνέχεια θα γίνει περεταίρω ανάλυση της σχεδίασης του κελύφους του κτιρίου (ανοίγματα, τοιχοποιία, δάπεδο, στέγη).

2.2 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

Η εξωτερική τοιχοποιία στο κτίριο σχεδιάστηκε έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η θερμική μάζα του. Με τον τρόπο αυτό το κτίριο εισπράττει με τον μέγιστο δυνατό τρόπο τα οφέλη της θερμικής μάζας όπως αυτά παρουσιάστηκαν παραπάνω. Η εξωτερική τοιχοποιία είναι ίδια για όλες τις όψεις του κτιρίου έχει ύψος $2,80 \text{ m}$ και πάχος 36 cm όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.5).



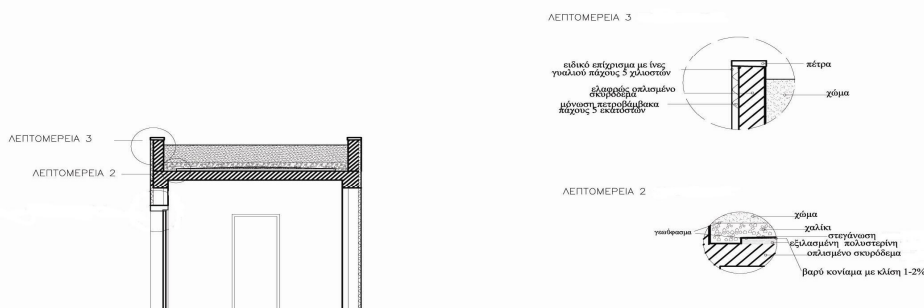
Σχήμα 2.5: Τομή Α-Α' κτιρίου.

Η εξωτερική τοιχοποιία αποτελείται (από το εσωτερικό στο εξωτερικό του κτιρίου):

- Εσωτερικό κοινό επίχρισμα, πάχους $2,5 \text{ cm}$.
- Μπατική τοιχοποιία, πάχους 19 cm .
- Δρομική τοιχοποιία, πάχους 9 cm .
- Εξωτερική μόνωση (μόνωση μανδύα) από πετροβάμβακα, πάχους 5 cm .
- Έτοιμο επίχρισμα, πάχους $0,5 \text{ cm}$.

Το εσωτερικό επίχρισμα είναι ένας απλό κονίαμα ασβεστούχας σύνθεσης. Το ανοιχτό χρώμα του συμβάλει στην αύξηση της ανακλαστικότητας των εσωτερικών επιφανειών. Όσο μεγαλύτερη είναι η ανακλαστικότητα των εσωτερικών επιφανειών, τόσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση του φυσικού φωτός στο βάθος του δωματίου και τόσο πιο ομοιογενής είναι η κατανομή του φωτός στο χώρο. Η μπατική τοιχοποιία αποτελείται από τούβλα διαστάσεων: 9 cm ύψος, 19 cm πλάτος και 19 cm μήκος. Η δρομική τοιχοποιία από τούβλα διαστάσεων: 9 cm ύψος, 9 cm πλάτος, 19 cm μήκος. Η δρομική και η μπατική τοιχοποιία συνθέτουν την υπερμπατική τοιχοποιία, πάχους 28 cm, η οποία αυξάνει σημαντικά την θερμική μάζα του κτιρίου, καθώς αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες θερμότητας.

Η εξωτερική μόνωση από πετροβάμβακα εμποδίζει την διέλευση της θερμότητας προς ή από το εξωτερικό περιβάλλον και από το στρώμα με μεγάλη θερμοχωρητικότητα το οποίο χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της θερμότητας (θερμική μάζα). Ο πετροβάμβακας αποτελεί ένα οικονομικό και ταυτόχρονα αποδοτικό θερμομονωτικό υλικό, έχει αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του είναι $\lambda = 0,0327 \text{ W/mK}$. Η θερμομόνωση έχει τοποθετηθεί σε ολόκληρη την επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων και δεν διακόπτεται σε κανένα σημείο, μηδενίζοντας έτσι τον αριθμό των θερμογεφύρων. Στην εξωτερική επιφάνεια του περιμετρικού δοκαριού, περιμετρικά της πλάκας που αποτελεί την στέγη και στην εξωτερική επιφάνεια του στηθαίου (Σχήμα 2.6-Λεπτομέρεια 3) η θερμομόνωση συνεχίζεται. Διακοπή της θερμομόνωσης σε οποιοδήποτε σημείο των δομικών αυτών στοιχείων θα οδηγούσε στον σχηματισμό θερμογέφυρας, μειώνοντας έτσι την απόδοση της θερμομόνωσης.



Σχήμα 2.6: Λεπτομέρειες τομής B-B'

Τα έτοιμα επιχρίσματα, όπως αυτό που χρησιμοποιήθηκε ως εξωτερικό επίχρισμα στο κτίριο, υπερέχουν συγκριτικά με τα εμπειρικά. Η σύνθεση των έτοιμων επιχρισμάτων επιτρέπει την εύκολη εφαρμογή τους σε οποιοδήποτε υπόστρωμα, γεγονός που καθιστά την χρήση τους ιδανική για την ευαίσθητη και εύκαμπτη επιφάνεια του πετροβάμβακα. Το αυξημένο κόστος κτήσης των έτοιμων κονιαμάτων, συγκριτικά με αυτό των εμπειρικών, εξισώνεται στο συνολικό κόστος κατασκευής

καθώς περιορίζεται σημαντικά ο απαιτούμενος ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας τοίχου χρόνος εργασίας του προσωπικού [2.1].

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5, από τα 2,80 m μέχρι τα 3 m ύψος, έχει σχεδιαστεί περιμετρικό δοκάρι από οπλισμένο σκυρόδεμα, διατομής 20 * 36 cm. Το περιμετρικό δοκάρι έχει κυρίως στατική σημασία, αλλά λόγω της μεγάλης μάζας του είναι ικανό να αποθηκεύει ποσότητες θερμότητας, αυξάνοντας την θερμική μάζα του κτιρίου.

Η σχεδίαση της εσωτερικής τοιχοποιίας στο κτίριο έχει σαν στόχο, εκτός από τον εξωραϊσμό του και τον διαχωρισμό των εσωτερικών χώρων σύμφωνα με την χρήση τους, στη βελτίωση του διαμπερούς αερισμού και της κατανομής και ομοιογένειας των εσωτερικών σταθμών φωτισμού. Η εσωτερική τοιχοποιία αποτελείται από δύο σειρές γυψοσανίδων που μεταξύ τους υπάρχει κενό 8 cm. Η κάθε γυψοσανίδα έχει πάχος 1 cm και το συνολικό πάχος του τοίχου είναι 10 cm.

2.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

Η ισορροπία μεταξύ θέρμανσης, ψύξης και φυσικού φωτισμού αποτελεί μια κρίσιμη θεώρηση για τον σχεδιασμό και την επιλογή του μεγέθους των ανοιγμάτων. Οι διάφανες επιφάνειες της νότια όψης καταλαμβάνουν το 85% του συνολικού εμβαδού των διαφανών επιφανειών του κτιρίου. Αυτό οφείλεται στην πρόσθετη ανάγκη για φυσικό φωτισμό στο εσωτερικό του που δημιουργεί η ανυπαρξία ανατολικών και δυτικών ανοιγμάτων. Επίσης το ποσοστό της επιφάνειας που καταλαμβάνεται από υαλοπίνακες για την νότια όψη είναι 22% και 3% για την βόρεια όψη. Οι διαστάσεις των παραθύρων φαίνονται στο σχήμα 2.1. Η επιλογή των υαλοπινάκων του προς εξέταση κτιρίου βασίστηκε στους παράγοντες που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 1. Επιλέχτηκε διπλός υαλοπίνακας χαμηλής εκπομπής (Low Emission), με διάκενο 16 mm, όπου το πάχος του εξωτερικού τζαμιού είναι 6 mm και του εσωτερικού 4 mm. Ο συνολική τιμή του συντελεστής διαπερατότητας το υαλοπίνακα είναι 1,4 W/m²K.

2.4 ΔΑΠΕΔΟ

Κατά την κατασκευή του δαπέδου ενός κτιρίου πρέπει να εκτιμηθούν παράγοντες όπως, το κλίμα που επικρατεί στο εξωτερικό περιβάλλον, η υγρασία και η θερμοκρασία του εδάφους και το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα. Το δάπεδο του κτιρίου κατασκευάστηκε έχοντας σαν δεδομένο ότι αυτό βρίσκεται σε θερμό κλίμα όπως αυτό της Κρήτης, με σχετικά μεγάλη θερμοκρασία και υγρασία εδάφους. Το δάπεδο αποτελείται (από το εσωτερικό στο εξωτερικό του κτιρίου):

- Επίστρωση κεραμικού πλακιδίου πάχους 1 cm.
- Υπόστρωμα δαπέδου από τσιμεντοκονίαμα πάχους 4 cm.
- Δάπεδο από σκυρόδεμα C20/25 πάχους 20 cm.
- Στεγανωτικό φύλλο νάιλον πάχους 0,7 mm για την προστασία από την ανερχόμενη υγρασία.
- Στρώση μπετόν C10/12 διατομής 60*60 cm που κατασκευάζεται περιμετρικά της επιφάνειας του δαπέδου και αποτελεί τα θεμέλια του κτιρίου.

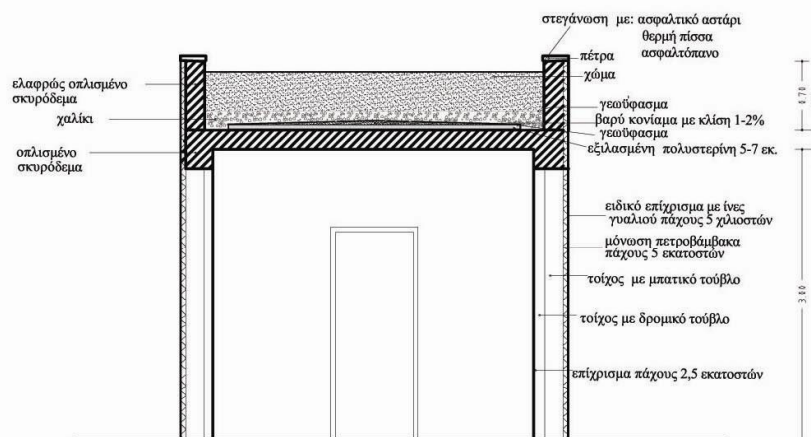
Στην περίπτωση που το κτίριο έχει ανάγκη από πρόσθετο φυσικό φωτισμό το χρώμα του κεραμικού πλακιδίου μπορεί να είναι ανοιχτό, ώστε να διαχέεται η ηλιακή

ακτινοβολία ευκολότερα, ενώ αν πρόθεση είναι η βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου, το χρώμα μπορεί να είναι σκούρο, ώστε να μεγιστοποιείται η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από την μάζα του δαπέδου. Η ύπαρξη του υποστρώματος έχει στόχο να κάνει επίπεδη την επιφάνεια του δαπέδου, έτσι ώστε να είναι δυνατή η τοποθέτηση των κεραμικών πλακιδίων. Το φύλλο νάιλον αποτελεί μία πολύ οικονομική αλλά και αποδοτική λύση για την προστασία του δαπέδου από τις ανερχόμενες υγρασίες και βρίσκει εφαρμογή σε αρκετά σύγχρονα κτίρια που βρίσκονται σε θερμά κλίματα. Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εξωτερική μόνωση συνεχίζεται μέχρι τα πλαϊνά του δαπέδου της εδαφόπλακας και σε συνδυασμό με το μεγάλο πάχος των θεμελίων (60 cm), μηδενίζεται η πιθανότητα για σχηματισμό θερμογέφυρας στα σημεία αυτά.

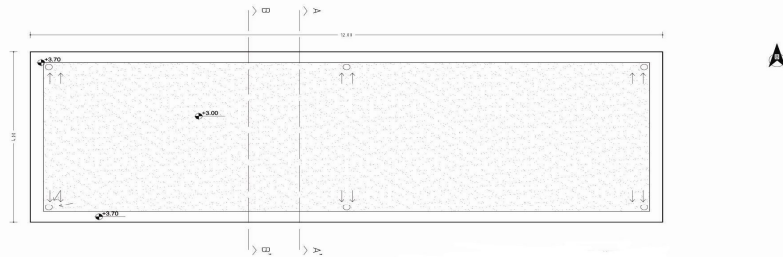
2.5 ΣΤΕΓΗ

Η κατασκευή της στέγης σε ένα βιοκλιματικό κτίριο είναι μια διαδικασία που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς είναι ένα από τα στοιχεία του κελύφους του κτιρίου που είναι άμεσα και συνεχώς εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία και συνεπώς αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας. Η σωστή θερμομόνωση και η στεγάνωση του δώματος είναι σημαντική για την βέλτιστη ενεργειακή συμπεριφορά όλου του κτιρίου.

Σε μία παραλλαγή της μεθόδου που αναφέρθηκε στην ενότητα 1.6, στηρίχθηκε η σχεδίαση του δώματος του κτιρίου. Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 2.7, Σχήμα 2.8) και στο Σχήμα 2.6 φαίνονται όλες οι λεπτομέρειες της σχεδίασης.



Σχήμα 2.7: Τομή A-A κτιρίου.



Σχήμα 2.8: Κάτοψη δώματος.

Η στέγη του κτιρίου αποτελείται από μία πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα, πάχους 20 cm και εμβαδού 48 m² (12 m * 4 m), πάνω στην οποία έχει κατασκευαστεί ο κήπος. Στην εσωτερική επιφάνεια της πλάκας υπάρχει στρώση από γυψοσανίδες πάχους 1 cm. Περιμετρικά της εξωτερικής επιφάνειας της πλάκας έχει σχεδιαστεί στηθαίο από ελαφρώς οπλισμένο σκυρόδεμα, πάχους 20 cm το οποίο έχει επενδυθεί εξωτερικά με θερμομόνωση από πλάκες πετροβάμβακα, πάχους 5 cm. Το συνολικό πάχους του στηθαίου είναι 25,5 cm (μαζί με το έτοιμο επίχρισμα) και το ύψος του 70 cm. Με το ύψος αυτό του στηθαίου και σε συνδυασμό με την σωστή στεγάνωση του δώματος και την προσεχτική σχεδίαση των υδρορροών, ο κήπος προστατεύεται από τα πλυμμηρικά φαινόμενα. Όπως και στην εξωτερική τοιχοποιία, έτσι και στο στηθαίο έχει χρησιμοποιηθεί έτοιμο επίχρισμα πάχους 0,5 cm. Η σειρά εργασιών που θα ακολουθηθεί για την κατασκευή του κήπου στο δώμα του κτιρίου είναι η ακόλουθη:

- Καθαρισμός της επιφάνειας του δώματος.
- Επάλειψη με ελαστικό στεγανωτικό ασφατικό γαλάκτωμα (φράγμα υδρατμών).
- Τοποθέτηση θερμομόνωσης από πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης (XPS) πάχους 5 cm.
- Τοποθέτηση γεωφάσματος.
- Δημιουργία κλίσεως 3 % με βαρύ κονίαμα. Στην περιοχή των υδρορροών η κλίση αυτή θα φτάνει έως και 3,7 %.
- Τοποθέτηση ειδικού πλαστικού τριγώνου περιμετρικά για εξομάλυνση της γωνίας συμβολής του δαπέδου με το στηθαίο.
- Καθαρισμός της επιφάνειας και επισκευή επιφανειακών αστοχιών.
- Επάλειψη της επιφάνειας με ασφατικό αστάρι.
- Τοποθέτηση στρώσης θερμής πίσσας.
- Τοποθέτηση αντιριζικής πλαστομερής ασφατικής μεμβράνης, βάρους 4,2 kg/m² με οπλισμό από πολυεστερικό ύφασμα και επικαλύψεις πολυαιθυλενίου, με αντιριζικό πρόσθετο σε όλη την μάζα του υλικού. Η

ασφαλτική μεμβράνη θα καλύπτει το συνολικό εμβαδό της ταράτσας και θα αναδιπλωθεί + 20 cm στην περίμετρο, ούτως ώστε να δημιουργηθεί μια στεγανή λεκάνη.

- Διάστρωση χαλικιού πάχους 10 cm.
- Τοποθέτηση νέου γεωφάσματος.
- Διάστρωση χώματος 30 cm.

Φράγμα υδρατμών είναι ένα λεπτό στρώμα υλικού μεγάλης αντίστασης υδατοδιαφυγής που τοποθετείται στη θερμότερη πλευρά των χώρων αυξημένης υγρασίας για να εμποδίσει τους υδρατμούς να εισχωρήσουν και να ψυχθούν στο εσωτερικό του δομικού στοιχείου ή του τοιχώματος [2.2]. Στην περίπτωση αυτή το φράγμα υδρατμών είναι το ελαστικό ασφαλικό γαλάκτωμα και το δομικό στοιχείο που προστατεύεται είναι η πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Λόγω του μικρού εμβαδού της επιφάνειας του δώματος, η κλίση που δημιουργείται με την κατασκευή του κονιάματος, δεν μπορεί να είναι μικρότερη του 3%, καθώς με μικρότερες τιμές της κλίσης αυτής, θα ήταν λιγότερο αποτελεσματική η απορροή των υδάτων που συγκεντρώνονται στο δώμα του κτιρίου. Η χρησιμοποίηση ενός κονιάματος με μεγάλο βάρος, που θα εξασφαλίζει την σταθερότητα της κατασκευής, γίνεται επιτακτική, λόγω της εύκαμπτης επιφάνειας των πλακών της εξιλασμένης πολυστερίνης. Επιλέχτηκε να τοποθετηθεί στρώση από πλάκες εξιλασμένης πολυστερίνης, με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$, πάχους 5 cm και με μεγάλη αντοχή σε θλιπτικά φορτία.

Τα γεωφάσματα χρησιμοποιούνται για να αποτρέψουν την ανάμιξη δύο εδαφικών στρώσεων με διαφορετική κοκκομετρία ή διαφορετικές ιδιότητες, για να συγκεντρώσουν το ανεπιθύμητο νερό μιας κατασκευής και να το αποβάλουν και για να συγκρατήσουν τους κόκκους του διηθούμενου εδάφους, επιτρέποντας ταυτόχρονα την διέλευση του νερού από την επιφάνειά τους. Σε αυτή την κατασκευή, μετά την τοποθέτηση του γεωφάσματος πάνω στις πλάκες της εξιλασμένης πολυστερίνης, μπορεί να πραγματοποιηθεί με ασφάλεια η δημιουργία κλίσεως, καθώς εμποδίζεται η εισχώρηση της πάστας του κονιάματος στο εσωτερικό των πλακών. Σε αντίθετη περίπτωση οι συνέπιες θα ήταν καταστροφικές για την θερμομονωτική ικανότητα της εξιλασμένης πολυστερίνης. Με την τοποθέτηση του δεύτερου γεωφάσματος και της διάστρωσης χαλικιού δημιουργείται ένα στραγγιστήρι, δηλαδή ένα σύστημα φιλτραρίσματος των υδάτων, τα οποία στην συνέχεια οδηγούνται στις υδρορροές. Κατά την διαδικασία αυτή, το νερό που βρίσκεται στο δώμα του κτιρίου, όταν διαφεύγει από αυτό, δεν παρασύρει ποσότητες χώματος ή άλλων στοιχείων, τα οποία θα μπορούσαν να φράξουν τις υδρορροές και να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στο σύστημα.

Η στεγάνωση που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί μία αποδοτική αλλά και οικονομική λύση και βρίσκει εφαρμογή σε αρκετά φυτεμένα δώματα. Το ασφαλικό αστάρι είναι ένα ασφαλικό γαλάκτωμα ανιονικής βάσης, σε υγρή μορφή και προσφέρει υψηλή προστασία και στεγάνωση. Η στρώση πίσσας και η ασφαλική μεμβράνη δημιουργούν μια στεγανή λεκάνη, προστατεύοντας πλήρως το σύστημα. Η ασφαλική μεμβράνη έχει οπλισμό πολυεστέρα και αντιριζικό πρόσθετο, καθιστώντας αδύνατη την διείσδυση των ριζών των φυτών στα διάφορα δομικά στοιχεία.

Τέλος ο σχεδιασμός των υδρορροών πρέπει να εξασφαλίζει την ομαλή απορροή των υδάτων που βρίσκονται συγκεντρωμένα στο δώμα του κτιρίου. Η γεωμετρία, η μορφή και το εμβαδό της επιφάνειας του δώματος είναι παράγοντες που

πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8 έχουν σχεδιαστεί έξι υδρορροές, τρεις στην νότια και τρεις στην βόρεια πλευρά του δώματος.

2.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ

Το σύστημα θέρμανσης που επιλέχτηκε, αποτελείται από ένα χαλύβδινο λέβητα πετρελαίου χαμηλών θερμοκρασιών, τα χαρακτηριστικά του οποίου αναφέρονται παρακάτω:

- Ονομαστική θερμική ισχύς (kW): 17-21.
- Ονομαστική θερμική ισχύς (kcal/h): 14620-18060.
- Βαθμός απόδοσης: 90%.

Το σύστημα ψύξης αποτελείται από ένα συμβατικό μικρό κλιματιστικό, το οποίο έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Απόδοση ψύξης: 9900 Btu/h
- Ροή αέρα (m^3/h): 600
- Συντελεστής ενεργειακής απόδοσης (COP): 3
- Βαθμός ενεργειακής απόδοσης (EER): 2,7

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [2.1] <http://www.ktirio.gr/gr/ dynoP/articles/arthra det.asp?KATEGORY CODE=7&ARTHRO NAME=122-81.TXT>, Π. Σκαρλάτος, “Η νέα τεχνολογία στα επιχρίσματα κτιρίων: Έτοιμα Επιχρίσματα”, τεύχος 122, σελίδα 81.
- [2.2] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), “Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας μέσω θερμομόνωσης”, Αθήνα 1999.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ TRNSYS

3.1 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Το κάθε εργαλείο υπολογισμού της θερμικής και ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων που υπάρχει σήμερα στην αγορά παρουσιάζει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η γνώση των δυνατοτήτων και των περιορισμών που παρουσιάζει το καθένα από αυτά, πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά για την επιλογή του κατάλληλου υπολογιστικού εργαλείου για την κάθε εφαρμογή. Οι κατηγορίες των εργαλείων υπολογισμού της θερμικής και ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων είναι οι εξής:

- Ειδικά υπολογιστικά εργαλεία.
- Γενικά υπολογιστικά εργαλεία.
- Απλοποιημένα υπολογιστικά εργαλεία.

Τα ειδικά υπολογιστικά εργαλεία βασίζονται σε αλγόριθμους και μοντέλα σχεδιασμού και υπολογισμού της απόδοσης και της θερμικής συμπεριφοράς συγκεκριμένων στοιχείων του κελύφους των κτιρίων, συγκεκριμένων τεχνικών ή μέρος του δομημένου περιβάλλοντος. Τα εργαλεία αυτά βοηθούν τον χρήστη να αξιολογήσει την απόδοση των διαφόρων συστημάτων και τεχνικών υπό διαφορετικές συνθήκες και να μελετήσει σε βάθος την επίδραση συγκεκριμένων παραμέτρων στο κτίριο, όχι όμως και την επίδραση μιας δεδομένης τεχνικής στη συνολική συμπεριφορά του κτιρίου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα σημαντικότερα διαθέσιμα ειδικά υπολογιστικά εργαλεία ανά χρήση:

Πίνακας 3.1: Ειδικά υπολογιστικά εργαλεία.

ΧΡΗΣΗ	ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ
Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης: Απόδοση συστημάτων	• Μέθοδος SLR • Μέθοδος 5000
Παθητικός και φυσικός δροσισμός: Απόδοση τεχνικών φυσικού, παθητικού και υβριδικού δροσισμού	• SINK • SUMMER-TECHNIQUES
Ηλιοπροστασία: Τεχνικές ηλιοπροστασίας και σκιάστρων	• SHADOWPACK • SUMMER-TECHNIQUES • LAMAS • PEM
Φυσικός φωτισμός στα κτίρια: Απόδοση τεχνικών φυσικού φωτισμού	• Μέθοδος LT • SUPERLITE • RADIANCE • PASSPORT-LIGHT • GENELUX

Θερμική άνεση: Δείκτες θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων	• COMFORT • SUMMER-TECHNIQUES
Ποιότητα εσωτερικού αέρα	• AIR
Μικροκλίμα: Απόδοση τεχνικών και παραγόντων διαμόρφωσης μικροκλίματος	• CPCALC (χαρακτηριστικά ανέμου) • CANYON (χαρακτηριστικά φαινόμενου αστικής χαράδρας)
Κλιματικά δεδομένα: Κλιματικά στοιχεία και δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας	• TRY • SOLRAD
Φαινόμενα μεταφοράς σε διαφανή δομικά στοιχεία: Θερμικές και οπτικές ιδιότητες διαφανών δομικών στοιχείων	• WINDOWS-LBL • WIS
Φαινόμενα μεταφοράς μάζας: Απόδοση των τεχνικών φυσικού αερισμού	• CFD (PHOENICS) • COMIS • AIRNET • BREEZE • AIOLOS • PASSPORT-AIR
Μηχανικά συστήματα θέρμανσης, δροσίσμου και αερισμού: Απόδοση-χαρακτηριστικά λειτουργίας	• DOE II • HVACSIM
Αξιολόγηση ενεργειακού επανασχεδιασμού κτιρίων: Τεχνική και οικονομική απόδοση μέτρων ενεργειακού επανασχεδιασμού	• PRISM

Τα γενικά υπολογιστικά εργαλεία παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την δυναμική της θερμικής συμπεριφοράς, τόσο κάθε επιμέρους στοιχείου του κτιρίου, όσο και ολόκληρου του κτηριακού κελύφους και των ενεργειακών του συστημάτων. Τα εργαλεία αυτά βασίζονται σε λεπτομερή μοντέλα προσομοίωσης ή σε απλοποιημένες μεθόδους και επιτρέπουν την αξιολόγηση της συνολικής ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου και των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να υπολογίσουν τις τιμές διαφόρων μεταβλητών όπως η εσωτερική θερμοκρασία, η κατανάλωση ενέργειας, η θερμική άνεση, η ροή αέρα, κ.λ.π., επιλύοντας διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν την μεταφορά μάζας και θερμότητας στα κτίρια. Τα πιο απλοποιημένα μοντέλα παρέχουν αποτελέσματα κατά τον προκαταρκτικό και τον αρχικό σχεδιασμό ενός κτιρίου. Μειονεκτήματα των γενικών υπολογιστικών εργαλείων αποτελούν οι υψηλές τους απαιτήσεις σε υπολογιστική δύναμη, το μεγάλο κόστος κτήσης τους, οι εξειδικευμένες γνώσεις που συχνά απαιτείται να έχει ο χρήστης τους και η συνήθως δύσκολη χρήση τους. Τα σημαντικότερα και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα ολοκληρωμένα υπολογιστικά εργαλεία για την προσομοίωση των κτιρίων, έχουν επαληθευθεί με σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με τα πειραματικά δεδομένα, οπότε τυγχάνουν και διεθνούς

επιτυχίας και πιστοποίησης. Τα σημαντικότερα γενικά υπολογιστικά εργαλεία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.2: Γενικά υπολογιστικά εργαλεία.

Γενικά υπολογιστικά εργαλεία	• TRNSYS • ESP-r • PASSPORT-PLUS • ADELIN • SPIEL • TAS
Πιο απλοποιημένα γενικά υπολογιστικά εργαλεία	• SUMMER-BUILDING • FIT • COMFIE

Τα απλοποιημένα υπολογιστικά εργαλεία βασίζονται σε εμπειρικούς και στατιστικούς αλγορίθμους, οι οποίοι ισχύουν υπό συγκεκριμένες οριακές συνθήκες, οπότε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αυστηρά μέσα στα όρια της ακρίβειας τους.

3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ TRNSYS

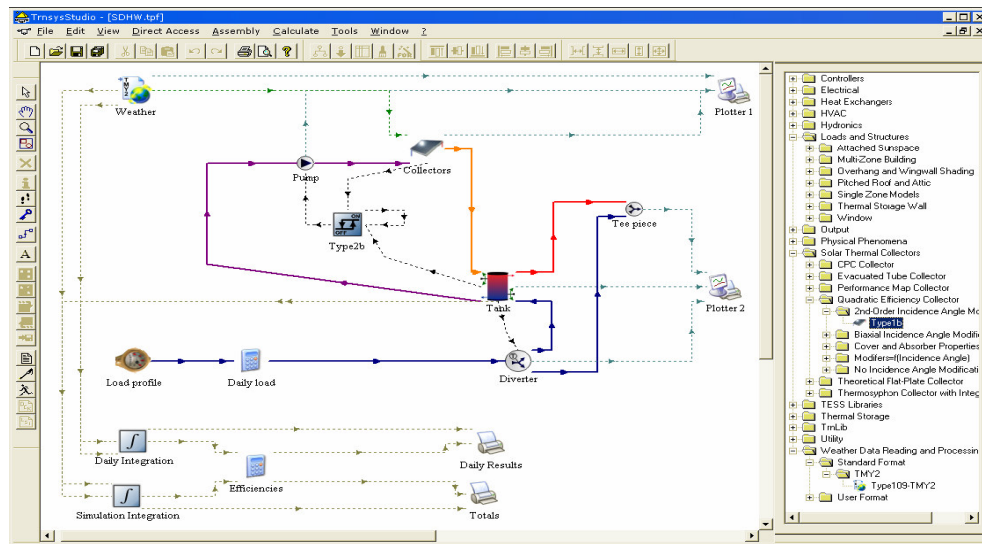
Το λογισμικό TRNSYS είναι ένα υπολογιστικό περιβάλλον για την προσομοίωση μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο. Η χρήση του βρίσκει εφαρμογή σε ένα τεράστιο πλήθος συστημάτων, σημαντικότερα των οποίων είναι τα εξής:

- Ηλιακά συστήματα (θερμικά, ηλιακά και φωτοβολταϊκά).
- Συστήματα ψύξης, θέρμανσης και αερισμού των κτιρίων.
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Κυψέλες καυσίμων.

Το TRNSYS αποτελείται από το στούντιο προσομοίωσης (TRNSYS simulation studio), το γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτιρίων (TRNBuild) και τον επεξεργαστή, με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα (TRNSD).

3.2.1 Περιβάλλον προσομοίωσης

Το κεντρικό περιβάλλον του TRNSYS αποτελείται από το εργαλείο προσομοίωσης, στο οποίο πραγματοποιείται η επιλογή των μοντέλων που θα χρησιμοποιηθούν, η μεταξύ τους σύνδεση και η εισαγωγή των μεταβλητών της προσομοίωσης. Τα μοντέλα παριστάνονται με το εικονίδιά τους στο παράθυρο εργασίας (Σχήμα 3.1).

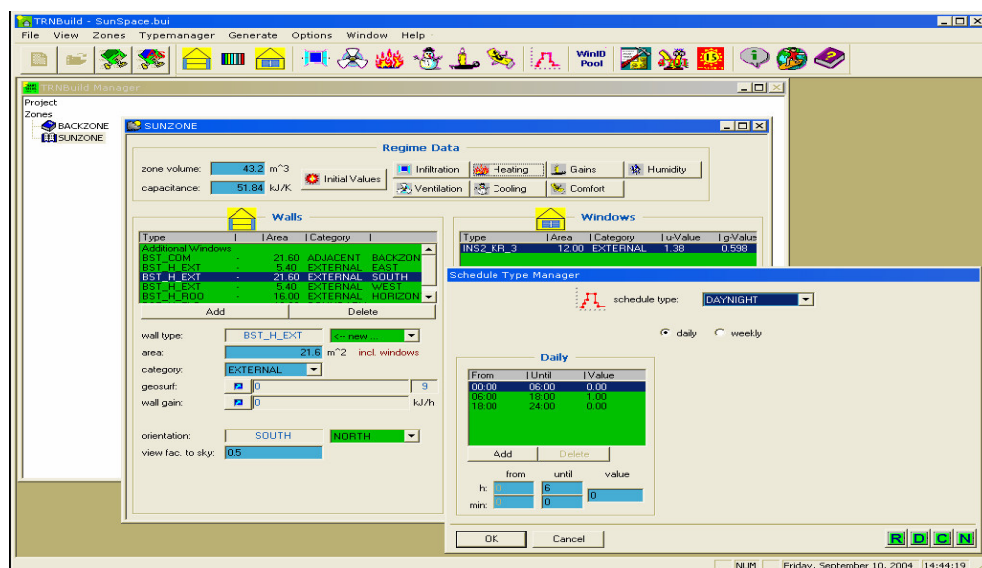


Σχήμα 3.1: Στούντιο προσομοίωσης του TRNSYS.

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

3.2.2 Γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτιρίου (TRNBuild)

Το TRNBuild είναι το πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων ενός πολυζωνικού κτιρίου. Στον χρήστη του επιτρέπεται ο λεπτομερής καθορισμός των κατασκευαστικών στοιχείων του κτιρίου καθώς και των στοιχείων που αφορούν την θερμική του συμπεριφορά.



Σχήμα 3.2: Γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτιρίου.

Οι γενικές παράμετροι όπως οι τιμές διαφόρων σταθερών, η πυκνότητα του αέρα, οι επιτρεπτοί προσανατολισμοί για τις επιφάνειες, οι είσοδοι και οι επιθυμητοί

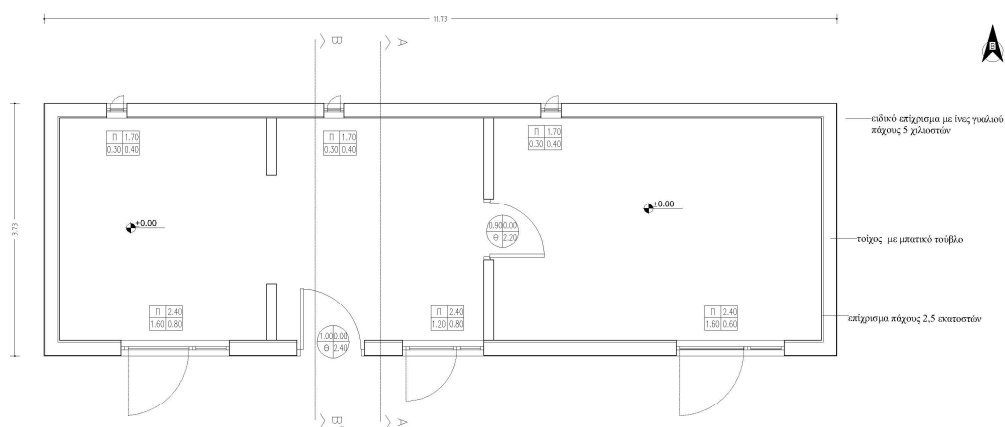
έξοδοι του προγράμματος καθορίζονται στην καρτέλα "Project". Στην καρτέλα "zones" ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επεξεργαστεί τις θερμικές ζώνες του κτιρίου. Στη καρτέλα αυτή καθορίζονται τα εξής για κάθε ζώνη:

- Τα δεδομένα των επιφανειών
- Τα δεδομένα των παραθύρων
- Τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού
- Η διείσδυση του αέρα
- Τα εσωτερικά φορτία
- Η θερμική άνεση

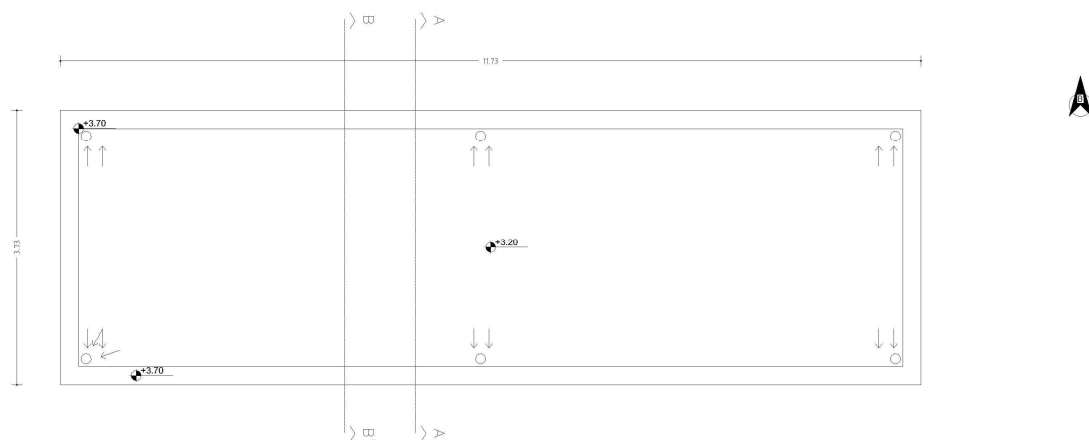
Στο κεντρικό παράθυρο του προγράμματος υπάρχουν τα εικονίδια των διαχειριστών θέρμανσης, ψύξης, αερισμού, διείσδυσης αέρα, εσωτερικών φορτίων, θερμικής άνεσης, τοίχων, παραθύρων και στρώσεων υλικών των τοίχων.

3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ TRNSYS

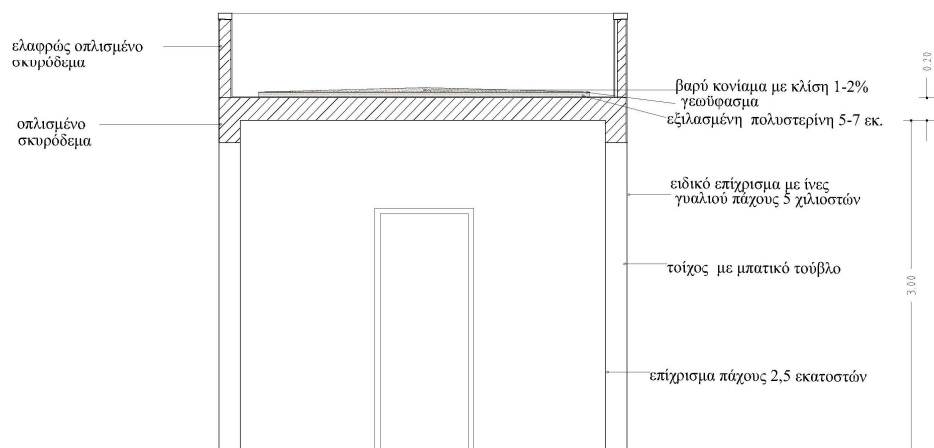
Στην ενότητα αυτή θα μελετηθεί η επίδραση της πρόσθετης θερμικής μάζας, της θερμομόνωσης και του φυτεμένου δώματος στο θερμικό και ψυκτικό φορτίο μίας κατοικίας. Το κτίριο αναφοράς που θα μοντελοποιηθεί αρχικά θα έχει τον ίδιο σχεδιασμό με αυτόν που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2, αλλά διαφορετική εξωτερική τοιχοποιία και στέγη. Ειδικότερα στον σχεδιασμό του κτιρίου αναφοράς δεν προβλέπεται θερμομόνωση, δρομική τοιχοποιία καθώς και δημιουργία κήπου στο δώμα του. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η κάτοψη ισογείου, η κάτοψη δώματος και η τομή του κτιρίου αναφοράς (Σχήματα 3.3, 3.4 και 3.5).



Σχήμα 3.3: Κάτοψη ισογείου κτιρίου αναφοράς.



Σχήμα 3.4: Κάτοψη δώματος κτιρίου αναφοράς.



Σχήμα 3.5: Τομή Α κτιρίου αναφοράς.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διαστάσεις και τα υλικά που αποτελούν τα δομικά στοιχεία του κτιρίου αναφοράς (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3: Δομικά στοιχεία κτιρίου αναφοράς.

Δομικά στοιχεία	Διαστάσεις-Υλικά
Εξωτερική τοιχοποιία	- Εσωτερικό κοινό επίχρισμα, πάχους 2,5 cm. - Μπατική τοιχοποιία, πάχους 19 cm. - Έτοιμο επίχρισμα, πάχους 0,5 cm.
Δάπεδο	- Επίστρωση κεραμικού πλακιδίου πάχους 1 cm. - Υπόστρωμα δαπέδου από τσιμεντοκονίαμα πάχους 4 cm. - Δάπεδο από σκυρόδεμα C20/25 πάχους 20 cm. - Στεγανωτικό φύλλο νάilon πάχους 0,7 mm για την προστασία από την ανερχόμενη υγρασία. - Στρώση μπετόν C10/12 διατομής 60*60 cm που κατασκευάζεται περιμετρικά της επιφάνειας του δαπέδου και αποτελεί τα θεμέλια του κτιρίου.
Στέγη	- οπλισμένο σκυρόδεμα, πάχους 20 cm. - Στεγανωτικό ασφατικό γαλάκτωμα. - Εξηλασμένη πολυστερίνη, πάχους 5 cm. - Γεώφασμα. - Βαρύ κονίαμα για δημιουργία κλίσεως 3,7 %.
Υαλοπίνακες	Διπλοί υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (Low Emission), με διάκενο 16 mm, όπου το πάχος του εξωτερικού τζαμιού είναι 6 mm και του εσωτερικού 4 mm.
Εσωτερική τοιχοποιία	Δύο σειρές γυψοσανίδων που μεταξύ τους υπάρχει κενό 8 cm. Η κάθε γυψοσανίδα έχει πάχος 1 cm και το συνολικό πάχος του τοίχου είναι 10 cm.
Στηθαίο	- Έτοιμο επίχρισμα πάχους 0,5 cm. - Ελαφρώς οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 20,5 cm. - Έτοιμο επίχρισμα πάχους 0,5 cm.

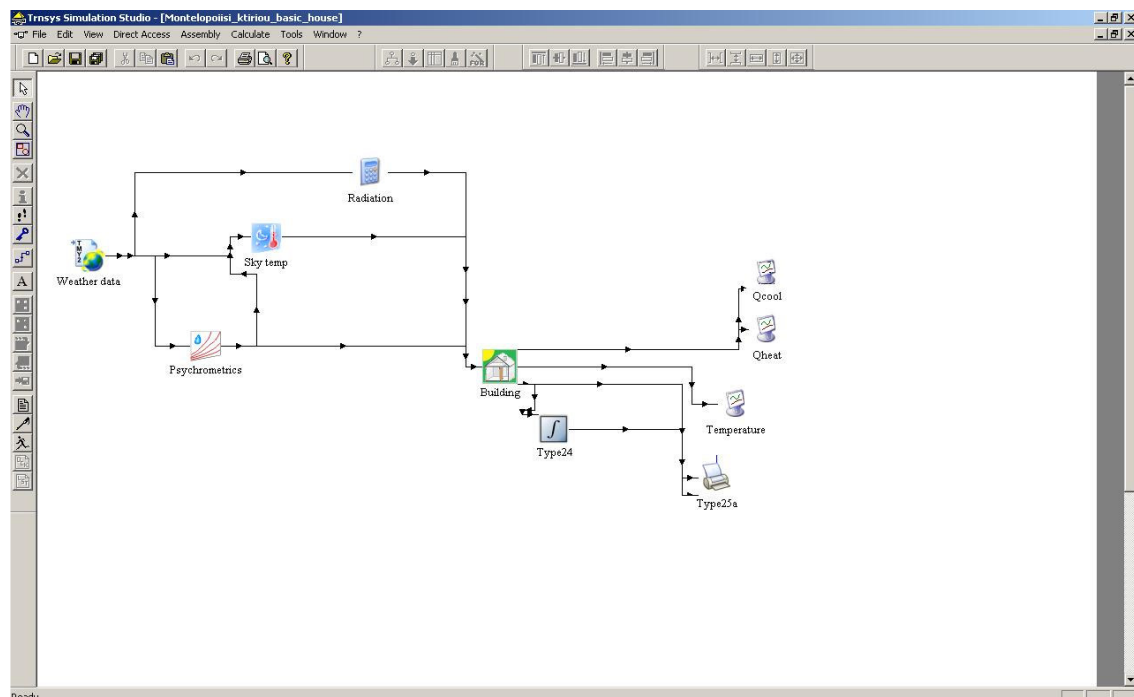
Στην συνέχεια θα μελετηθούν ξεχωριστά οι περιπτώσεις όπου μεταβάλλονται τα εξής δομικά του στοιχεία:

- Η εξωτερική τοιχοποιία. Θα χρησιμοποιηθεί η εξωτερική τοιχοποιία που παρουσιάστηκε στην ενότητα 2.2. Στην περίπτωση αυτή μελετάται η επίδραση της πρόσθετης θερμικής μάζας και της θερμομόνωσης στο θερμικό και στο ψυκτικό φορτίο του κτιρίου.
- Η στέγη. Θα χρησιμοποιηθεί το φυτεμένο δώμα που παρουσιάστηκε στην ενότητα 2.5. Μελετάται η επίδραση του φυτεμένου δώματος στο θερμικό και στο ψυκτικό φορτίο του κτιρίου.
- Η εξωτερική τοιχοποιία και η στέγη. Στη ουσία πραγματοποιούνται οι δύο παραπάνω μεταβολές μαζί. Μελετάται η επίδραση που θα έχει η συνύπαρξη των παραπάνω συστημάτων στο θερμικό και στο ψυκτικό φορτίο του κτιρίου και ουσιαστικά υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2.

Για τις ανάγκες αυτής της εργασίας δημιουργήθηκαν τέσσερα προγράμματα, τα οποία προέκυψαν από τροποποίηση του πρώτου προγράμματος που δημιουργήθηκε για την μοντελοποίηση του κτιρίου αναφοράς. Τα προγράμματα που δημιουργήθηκαν περιγράφονται παρακάτω.

3.3.1 Πρόγραμμα προσομοίωσης κτιρίου.

Τα τέσσερα προγράμματα που δημιουργήθηκαν είναι πανομοιότυπα, γι' αυτό και εξετάζονται μαζί. Διαφέρουν μόνο ως προς την επεξεργασία τους στο πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων κτιρίου (TRNBuild). Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται το πρόγραμμα:



Σχήμα 3.6: Πρόγραμμα προσομοίωσης κτιρίου, όπως αυτό φαίνεται στο στούντιο προσομοίωσης του TRNSYS.

Στο πρόγραμμα αυτό τα μετεωρολογικά δεδομένα βρίσκονται στο αρχείο Irachour.tm2 και διαβάζονται από το μοντέλο 109 (Weather data στο Σχήμα 3.6). Το αρχείο Irachour.tm2 περιέχει μετεωρολογικά δεδομένα σε ωριαία βάση από την περιοχή το Βορείου Ηρακλείου. Στο μοντέλο 109 εισέρχονται από τον χρήστη οι γωνίες αζιμούθιου των τεσσάρων εξωτερικών επιφανειών. Οι τιμές των γωνιών για τον βόρειο, νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό είναι 180, 0, 270 και 90 αντίστοιχα. Οι έξοδοι του μοντέλου 109 είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, καθώς και η άμεση και η διάχυτη ακτινοβολία που δέχεται η κάθε εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου.

Το μοντέλο 33 (Psychrometrics στο Σχήμα 3.6) δέχεται ως είσοδο την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία και σε αυτό υπολογίζονται οι θερμοκρασίες ξηρού βολβού και σημείου δρόσου με την παραδοχή ότι η πίεση παραμένει σταθερή και ίση με 1 atm. Οι τιμές αυτές εισάγονται στο μοντέλο 69 (Sky temp στο Σχήμα 3.3) για τον υπολογισμό της αντιπροσωπευτικής θερμοκρασίας ουρανού. Επίσης εισάγεται από τον χρήστη το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται το κτίριο, που στην παρούσα μελέτη θεωρείτε ότι έχει την τιμή μηδέν.

Στην εξίσωση Radiation εισάγονται οι τιμές της διάχυτης και της άμεσης ακτινοβολίας για κάθε επιφάνεια του κτιρίου. Η εξίσωση αυτή επιτρέπει στον χρήστη να μεταβάλει τις παραπάνω τιμές ανάλογα με τις ανάγκες της μελέτης. Στην παρούσα μελέτη, η εξίσωση Radiation απλά μεταφέρει τις τιμές, χωρίς να μεταβάλλεται καμία από αυτές.

Τελικά στο μοντέλο του κτιρίου (μοντέλο 56) εισάγονται:

- Η άμεση και η διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο και στο κάθετο επίπεδο για καθένα από τους τέσσερις προσανατολισμούς, μαζί με τις αντίστοιχες γωνίες αζιμούθιου από το μοντέλο 109.
- Η θερμοκρασία ουρανού από το μοντέλο 69.
- Η ροή εναλλαγών αέρα από τον φυσικό αερισμό.
- Η εξωτερική θερμοκρασία και η σχετική υγρασία από το μοντέλο 33.

Ως έξοδοι από το μοντέλο 56 ορίζονται οι εξής μεταβλητές:

- Η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου για κάθε ώρα του έτους (σε °C).
- Η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση του κτιρίου για κάθε ώρα του έτους (σε kJ/h).
- Η απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη του κτιρίου για κάθε ώρα του έτους (σε kJ/h).

Το μοντέλο 56 διαβάζει τα αρχεία περιγραφής κτιρίου (*.bui), τα οποία προκύπτουν από το πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων κτιρίων TRNBuild. Οι μεταβλητές που ορίζονται ως έξοδοι στο πρόγραμμα TRNBuild αποτελούν και τις εξόδους του μοντέλου 56. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκαν τα παρακάτω τέσσερα αρχεία περιγραφής κτιρίου, τα οποία χρησιμοποιούνται ανάλογα με την περίπτωση που εξετάζεται:

- basic_house.bui. Προκύπτει από την εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου αναφοράς στο πρόγραμμα TRNBuild.
- Thermal_mass-insulation.bui. Προκύπτει από την εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου αναφοράς στην περίπτωση που μεταβάλλεται η εξωτερική του

τοιχοποιία. Χρησιμοποιείται η εξωτερική τοιχοποιία που περιγράφεται στην ενότητα 2.2.

- Green_roof.bui. Προκύπτει από την εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου αναφοράς στην περίπτωση που μεταβάλλεται η στέγη του. Χρησιμοποιείται το φυτεμένο δώμα που περιγράφεται στην ενότητα 2.5.
- Passive_house.bui. Προκύπτει από την εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2.

Η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και για ψύξη του κτιρίου εισάγονται στον αριθμητικό ολοκληρωτή (μοντέλο 24) και υπολογίζεται η συνολική απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και για ψύξη για ολόκληρο το έτος. Στο μοντέλο 25 εισέρχονται και στην συνέχεια τυπώνονται σε καθορισμένο αρχείο (*.out), η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου, η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και για ψύξη για κάθε ώρα του έτους, καθώς και η συνολική απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και για ψύξη για ολόκληρο το έτος. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν τέσσερα αρχεία, τα basic_house.out, Thermal_mass-insulation.out, Green_roof.out και Passive_house.out, τα οποία έχουν ονομαστεί ανάλογα με την περίπτωση που εξετάζεται και περιέχουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Επίσης, για λόγους εποπτείας προστέθηκαν τρεις online plotters (μοντέλο 65), οι οποίοι δημιουργούν διαγράμματα των εξαγόμενων μεταβλητών από τις ωριαίες τιμές τους. Τα μοντέλα έχουν ονομαστεί αναλόγως με τα δεδομένα που εισέρχονται σε αυτά. Έτσι ο online plotter με την ονομασία Temperature απεικονίζει την εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου, ο online plotter με την ονομασία Qheat απεικονίζει την απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ο online plotter με την ονομασία Qcool την απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη.

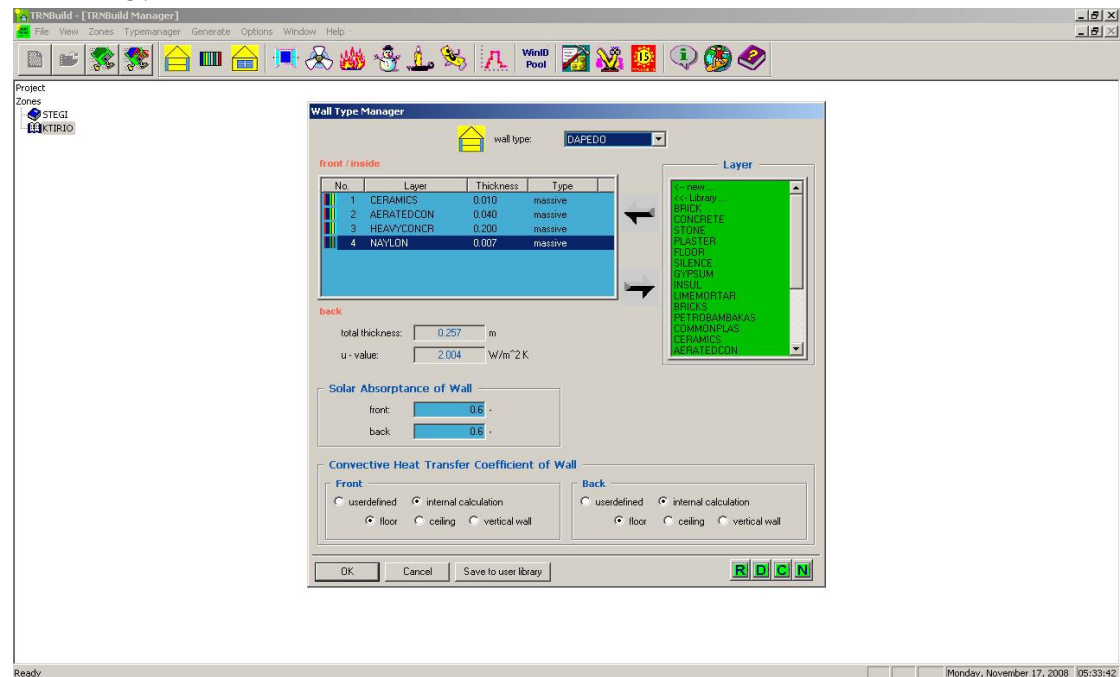
3.3.2 Εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου αναφοράς στο TRNBuild

Στο πρόγραμμα TRNBuild εισάγονται τα δεδομένα που αφορούν τα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους. Από την εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου αναφοράς στο TRNBuild προκύπτει το αρχείο basic_house.bui, το οποίο διαβάζεται από το μοντέλο 56. Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων για το κτίριο αναφοράς.

Αρχικά, στον διαχειριστή στρώσεων υλικών δημιουργούνται νέες στρώσεις υλικών, οι οποίες δεν υπάρχουν στις βιβλιοθήκες του TRNBuild και θα χρειαστούν για την περιγραφή των επιφανειών. Οι στρώσεις υλικών που δημιουργήθηκαν είναι το νάιλον, το χρώμα, και ο πετροβάμβακας. Στην συνέχεια στο διαχειριστή τοίχων δημιουργούνται οι νέοι τύποι τοίχων οι οποίοι αποτελούν τις επιφάνειες του κελύφους. Για να οριστεί ένας νέος τοίχος δίνονται οι στρώσεις των υλικών και το πάχος τους, ο συντελεστής απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου. Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας επιλέγεται να υπολογιστεί από το πρόγραμμα. Έτσι ορίζονται οι παρακάτω πέντε νέοι τύποι τοίχων:

- EKSOTERIKOS. Αποτελεί την εξωτερική τοιχοποιία του κτιρίου αναφοράς.
- DOMA. Αποτελεί την στέγη του κτιρίου αναφοράς.
- DAPEDO. Αποτελεί το δάπεδο του κτιρίου αναφοράς.
- STITHAIO. Αποτελεί το σθηθίο του κτιρίου αναφοράς.
- ESOTERIKOS. Αποτελεί της εσωτερική τοιχοποιία του κτιρίου αναφοράς.

Στο σχήμα 3.7 φαίνεται το παράθυρο εισαγωγής των δεδομένων του τοίχου DAPEDO.



Σχήμα 3.7: Εισαγωγή των δεδομένων του τοίχου DAPEDO.

Στην καρτέλα zones δημιουργούνται δύο ζώνες, η ζώνη KTIRIO και η ζώνη STEGI. Στην ζώνη KTIRIO εμπεριέχονται οι τέσσερις κάθετες επιφάνειες και το δάπεδο του κτιρίου και στην ζώνη STEGI η στέγη μαζί με το στηθαίο. Ο διαχωρισμός του κτιρίου στις παραπάνω ζώνες πραγματοποιείται, διότι σε μία ζώνη θα ήταν αδύνατο να συμπεριληφθούν όλα τα δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους, με σημαντικότερο όλων το στηθαίο του κτιρίου. Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί ότι η ζώνη STEGI βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο του κτιρίου και λόγω αυτού, δεν προβλέπονται παράμετροι που αφορούν την θέρμανση, την ψύξη, τον φυσικό αερισμό και την διείσδυση του αέρα στην ζώνη αυτή. Αυτό που μελετάται είναι η θερμική της αλληλεπίδραση με την ζώνη KTIRIO. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα δεδομένα των επιφανειών και των παραθύρων που εισάγονται σε κάθε ζώνη.

Πίνακας 3.4: Δεδομένα επιφανειών και παραθύρων της ζώνης KTIRIO του κτιρίου αναφοράς.

Τύπος τοίχου	Εμβαδό επιφάνειας (m ²)	Κατηγορία επιφάνειας	Προσανατολισμός Επιφάνειας	Τύπος παραθύρου	Εμβαδό επιφάνειας παραθύρων (m ²)
EKSOTERIKOS	36	Εξωτερική	Βόρειος	DOUBLE	1,27
EKSOTERIKOS	36	Εξωτερική	Νότιος	DOUBLE	7,36
EKSOTERIKOS	12	Εξωτερική	Ανατολικός	—	—
EKSOTERIKOS	12	Εξωτερική	Δυτικός	—	—

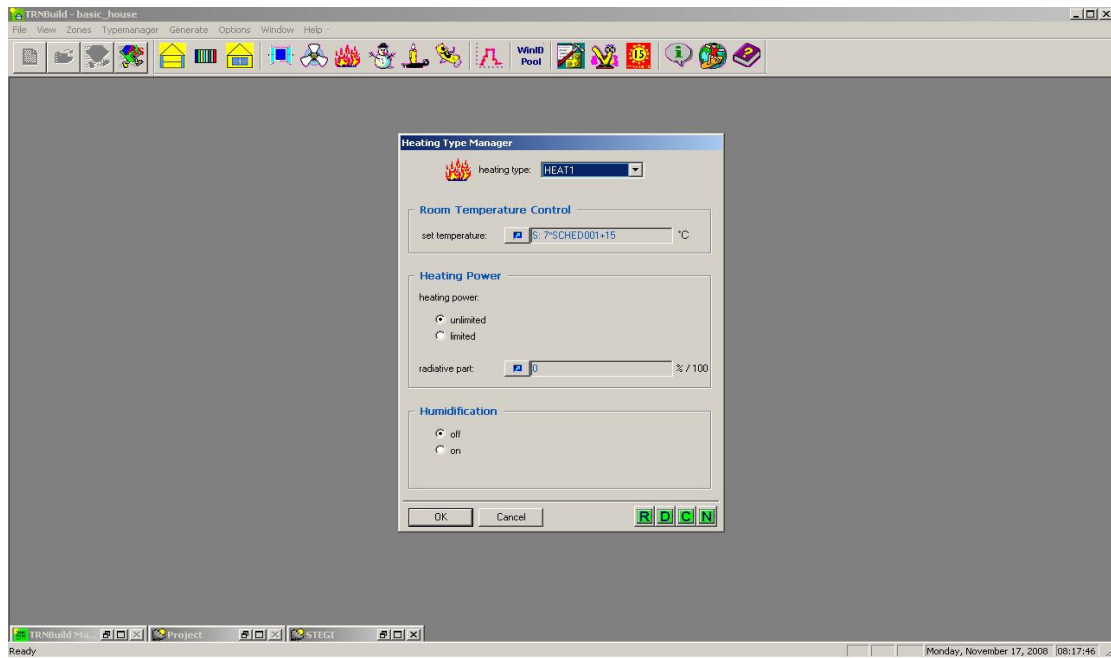
DAPEDO	48	Με οριακές συνθήκες	—	—	—
ESOTERIKOS	12,96	Εσωτερική	—	—	—
DOMA	48	Παρακείμενη στη ζώνη STEGI	—	—	—

Πίνακας 3.5: Δεδομένα επιφανειών και παραθύρων της ζώνης STEGI του κτιρίου αναφοράς.

Τύπος τοίχου	Εμβαδό επιφάνειας (m ²)	Κατηγορία επιφάνειας	Προσανατολισμός Επιφάνειας	Τύπος παραθύρου	Εμβαδό επιφάνειας παραθύρων (m ²)
STITHAIO	8,4	Εξωτερική	Βόρειος	—	—
STITHAIO	8,4	Εξωτερική	Νότιος	—	—
STITHAIO	2,8	Εξωτερική	Ανατολικός	—	—
STITHAIO	2,8	Εξωτερική	Δυτικός	—	—
DOMA	48	Παρακείμενη στη ζώνη ΚΤΙΡΙΟ	—	—	—

Ο τύπος παραθύρου DOUBLE επιλέχτηκε από τις βιβλιοθήκες του TRNSYS και είναι αυτός που περιγράφεται στην ενότητα 2.3.

Στην συνέχεια επιλέγεται η στρατηγική θέρμανσης της ζώνης ΚΤΙΡΙΟ. Στον διαχειριστή θέρμανσης καθορίζεται νέα στρατηγική θέρμανσης με την ονομασία HEAT1 (Σχήμα 3.8) και η οποία αποτελεί την στρατηγική θέρμανσης της ζώνης ΚΤΙΡΙΟ.



Σχήμα 3.8: Καθορισμός της στρατηγικής θέρμανσης HEAT1.

Η θερμοκρασία για την οποία εκκινεί το συστήματος θέρμανσης δίδεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Temperature} - \text{cooling} = 27 \cdot \text{SCHE002} \quad \begin{matrix} 3. \\ 1 \end{matrix}$$

$$\text{Temperature} - \text{heating} = 7 \cdot \text{SCHE001} + 15$$

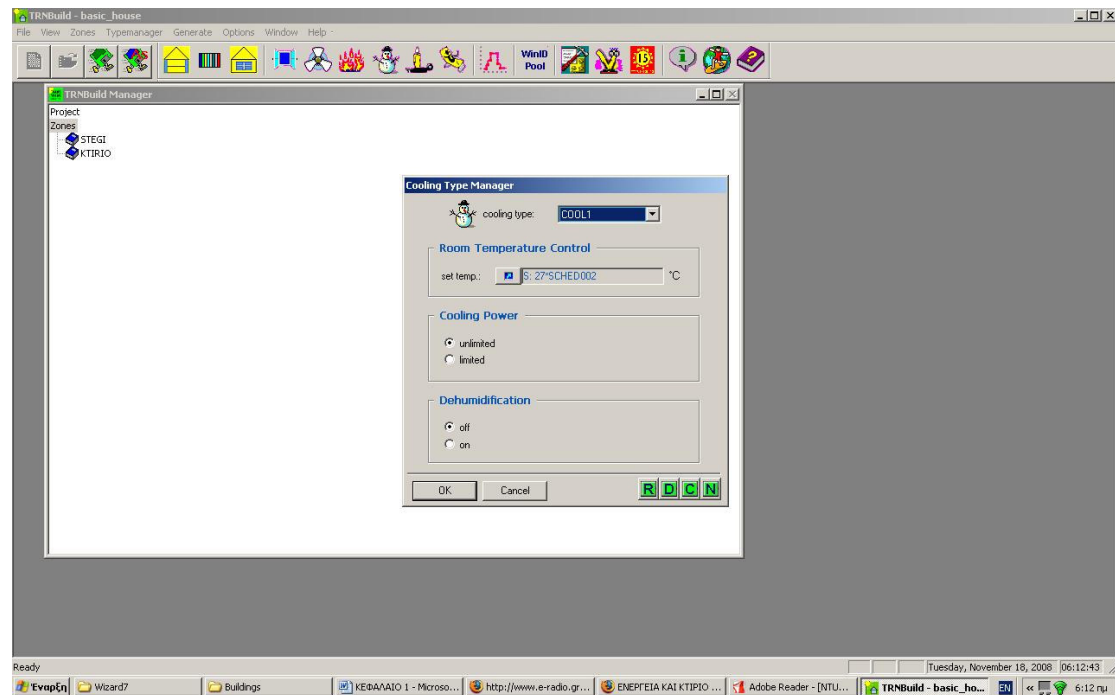
Το αρχείο SCHE001 δημιουργήθηκε στον διαχειριστή χρονοδιαγραμμάτων και επιστρέφει τις τιμές 0 ή 1 για κάθε ώρα της εβδομάδας (η χρονική επανάληψη είναι 168 ώρες). Ειδικότερα, τις καθημερινές από 00:00 π.μ. μέχρι 06:00 π.μ., δηλαδή κατά την διάρκεια της νύχτας επιστρέφει την τιμή 0 και το σύστημα θέρμανσης εκκινεί στους 15 °C. Από 06:00 π.μ. μέχρι 08:00 π.μ. επιστρέφει την τιμή 1 και το σύστημα εκκινεί στους 22 °C. Από 08:00 μέχρι 16:00 μ.μ., ώρες κατά τις οποίες οι χρήστες της κατοικίας βρίσκονται στο χώρο εργασίας τους, επιστρέφει την τιμή 0. Από 16:00 μ.μ. μέχρι 24:00 μ.μ. επιστρέφει την τιμή 1. Το Σάββατο και την Κυριακή από 00:00 π.μ. μέχρι 06:00 π.μ. επιστρέφει την τιμή 0 και όλες τις άλλες ώρες επιστρέφει την τιμή 1. Επίσης, θεωρείται ότι η ισχύς που μπορεί να παραχθεί για θέρμανση είναι μη πεπερασμένη.

Στην συνέχεια στον διαχειριστή ψύξης καθορίζεται νέα στρατηγική ψύξης με την ονομασία COOL1 (Σχήμα 3.9), η οποία αποτελεί την στρατηγική ψύξης της ζώνης ΚΤΙΡΙΟ. Η θερμοκρασία για την οποία εκκινεί το σύστημα ψύξης δίδεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Temperature} - \text{cooling} = 27 \cdot \text{SCHE002} \quad 3.2$$

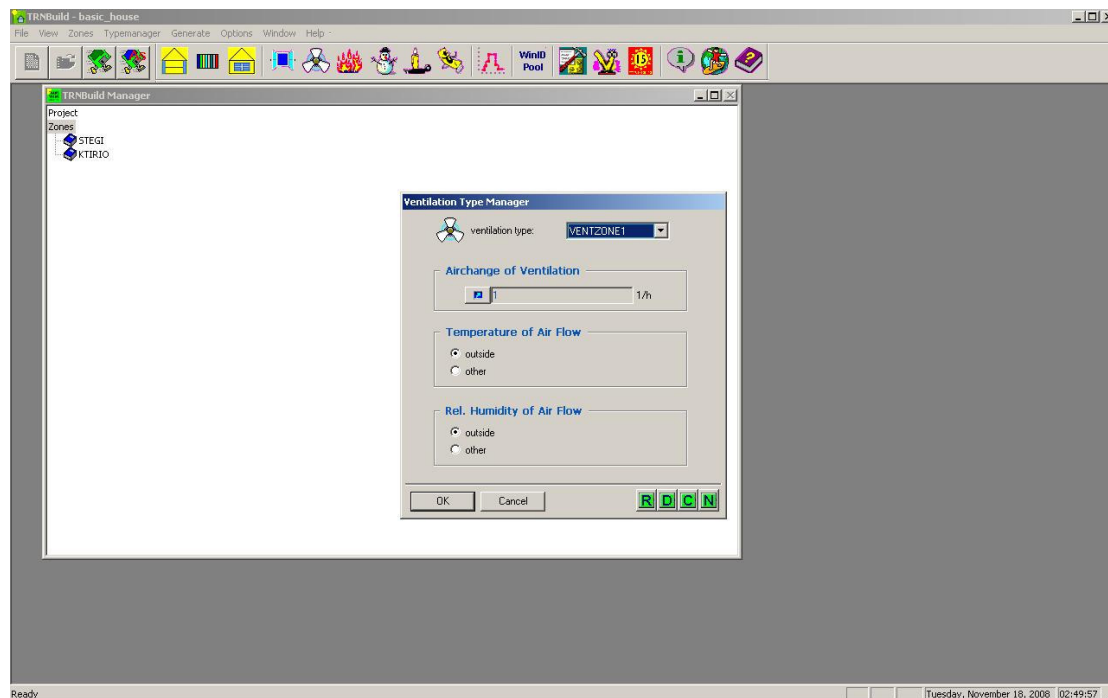
Το αρχείο SCHE002 δημιουργήθηκε στον διαχειριστή χρονοδιαγραμμάτων και επιστρέφει τις τιμές 0 ή 1 ή 4 για κάθε ώρα της εβδομάδας (η χρονική επανάληψη

είναι 168 ώρες). Τις καθημερινές από 00:00 π.μ. μέχρι 08:00 π.μ. και από 16:00 μ.μ. μέχρι 24:00 μ.μ. επιστρέφει την τιμή 1 και το σύστημα ψύξης εκκινεί στους 27 °C. Από 08:00 π.μ. μέχρι 16:00 μ.μ., ώρες κατά τις οποίες οι χρήστες της κατοικίας βρίσκονται στον χώρο εργασίας τους, επιστρέφει την τιμή 4 και η θερμοκρασία εκκίνησης παίρνει την τιμή 108 °C με αποτέλεσμα να μην ενεργοποιείται ποτέ. Το Σάββατο και την Κυριακή για όλες τις ώρες επιστρέφει την τιμή 1. Ακόμα, θεωρείται ότι η ισχύς που μπορεί να παραχθεί για ψύξη είναι μη πεπερασμένη.



Σχήμα 3.9: Καθορισμός της στρατηγικής ψύξης COOL1.

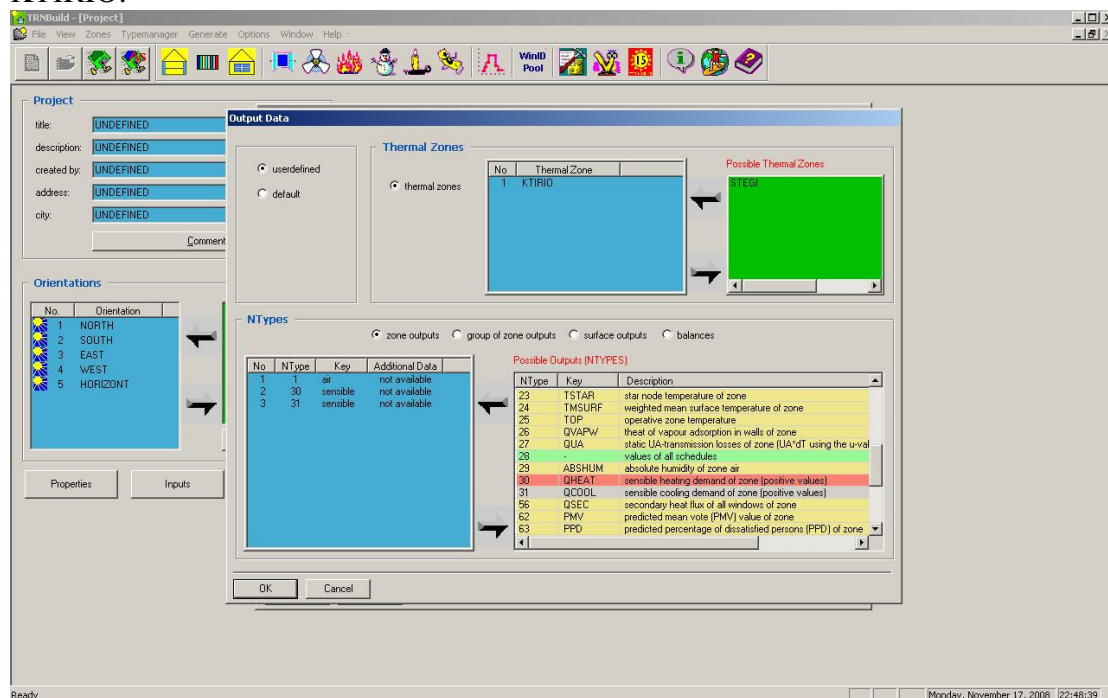
Στον διαχειριστή αερισμού καθορίζεται νέα μέθοδος αερισμού με την ονομασία VENTZONE1 (Σχήμα 3.10) και η οποία αποτελεί την μέθοδο αερισμού της ζώνης KTIRIO. Η ροή εναλλαγών αέρα από τον αερισμό της ζώνης KTIRIO ορίζεται σταθερή για όλες τις ώρες του έτους και έχει την τιμή 1 εναλλαγή/h. Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του εισερχόμενου αέρα καθορίστηκε ότι έχουν τις ίδιες τιμές με αυτές του αέρα που βρίσκεται στο εξωτερικό περιβάλλον.



Σχήμα 3.10: Καθορισμός της μεθόδου αερισμού VENTZONE1.

Επίσης, καθορίζεται η ροή εναλλαγών του αέρα που διεισδύει στο εσωτερικό μέσα από τα διάφορα δομικά στοιχεία και τις ρωγμές του κτιριακού κελύφους για την ζώνη KTIRIO. Η μέθοδος που επιλέγεται έχει την ονομασία LEAKY. Με αυτόν τον τρόπο η ροή εναλλαγών του αέρα που διεισδύει στην ζώνη KTIRIO ορίζεται σταθερή για όλες τις ώρες του έτους και έχει την τιμή 0,5 εναλλαγές/h.

Τέλος στην καρτέλα project καθορίζονται οι μεταβλητές εξόδου που θα υπολογιστούν από το πρόγραμμα (Σχήμα 3.11) και αποτελούν τις μεταβλητές εξόδου του μοντέλου 56. Οι μεταβλητές εξόδου που καθορίζονται είναι η θερμοκρασία, η ενεργειακή απαίτηση για θέρμανση και η ενεργειακή απαίτηση για ψύξη της ζώνης KTIRIO.



Σχήμα 3.11: Καθορισμός των μεταβλητών εξόδου.

3.3.3 Τροποποίηση των δεδομένων της εξωτερικής τοιχοποιίας του κτιρίου αναφοράς στο TRNBuild

Από την τροποποίηση των δεδομένων που αφορούν την εξωτερική τοιχοποιία του κτιρίου αναφοράς στο TRNBuild προκύπτει το αρχείο Thermal_mass-insulation.bui. Αρχικά, στον διαχειριστή τοίχων ορίζονται οι παρακάτω δύο νέοι τύποι τοίχων:

- EKSOTERIKOS2. Αποτελεί την εξωτερική τοιχοποιία του κτιρίου που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2.
- STITHAIO2. Αποτελεί το στηθαίο του κτιρίου που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2.

Στην συνέχεια, σε όποια ζώνη εμφανίζονται οι τοίχοι EKSOTERIKOS και STITHAIO αντικαθίστανται από τον τοίχο EKSOTERIKOS2 και τον τοίχο STITHAIO2 αντίστοιχα. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα νέα δεδομένα των επιφανειών και των παραθύρων που εισάγονται σε κάθε ζώνη και προκύπτουν από την μεταβολή της εξωτερικής τοιχοποιίας του κτιρίου αναφοράς.

Πίνακας 3.6: Δεδομένα επιφανειών και παραθύρων της ζώνης ΚΤΙΡΙΟ του κτιρίου αναφοράς για την περίπτωση που μεταβάλλεται η εξωτερική του τοιχοποιία.

Τύπος τοίχου	Εμβαδό επιφάνειας (m ²)	Κατηγορία επιφάνειας	Προσανατολισμός Επιφάνειας	Τύπος παραθύρου	Εμβαδό επιφάνειας παραθύρων (m ²)
EKSOTERIKOS2	36	Εξωτερική	Βόρειος	DOUBLE	1,27
EKSOTERIKOS2	36	Εξωτερική	Νότιος	DOUBLE	7,36
EKSOTERIKOS2	12	Εξωτερική	Ανατολικός	—	—
EKSOTERIKOS2	12	Εξωτερική	Δυτικός	—	—
DAPEDO	48	Με οριακές συνθήκες	—	—	—
ESOTERIKOS	12,96	Εσωτερική	—	—	—
DOMA	48	Παρακείμενη στη ζώνη STEGI	—	—	—

Πίνακας 3.7: Δεδομένα επιφανειών και παραθύρων της ζώνης STEGI του κτιρίου αναφοράς για την περίπτωση που μεταβάλλεται η εξωτερική του τοιχοποιία.

Τύπος τοίχου	Εμβαδό επιφάνειας (m ²)	Κατηγορία επιφάνειας	Προσανατολισμός Επιφάνειας	Τύπος παραθύρου	Εμβαδό επιφάνειας παραθύρων (m ²)
STITHAIO2	8,4	Εξωτερική	Βόρειος	—	—

STITHAIO2	8,4	Εξωτερική	Νότιος	—	—
STITHAIO2	2,8	Εξωτερική	Ανατολικός	—	—
STITHAIO2	2,8	Εξωτερική	Δυτικός	—	—
DOMA	48	Παρακείμενη στη ζώνη ΚΤΙΡΙΟ	—	—	—

3.3.4 Τροποποίηση των δεδομένων της στέγης του κτιρίου αναφοράς στο TRNBuild

Από την τροποποίηση των δεδομένων που αφορούν την στέγη του κτιρίου αναφοράς στο TRNBuild προκύπτει το αρχείο Green_roof.bui. Στον διαχειριστή τοίχων ορίζεται νέος τύπος τοίχος με την ονομασία DOMA2 και ο οποίος αντικαθιστά τον τοίχο DOMA. Ο τοίχος DOMA2 αποτελεί το φυτεμένο δώμα, η περιγραφή του οποίου πραγματοποιήθηκε στην ενότητα 2.5. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα νέα δεδομένα των επιφανειών και των παραθύρων που εισάγονται σε κάθε ζώνη και προκύπτουν από την μεταβολή της στέγης του κτιρίου αναφοράς.

Πίνακας 3.8: Δεδομένα επιφανειών και παραθύρων της ζώνης ΚΤΙΡΙΟ του κτιρίου αναφοράς για την περίπτωση που μεταβάλλεται η στέγη του.

Τύπος τοίχου	Εμβαδό επιφάνειας (m ²)	Κατηγορία επιφάνειας	Προσανατολισμός Επιφάνειας	Τύπος παραθύρου	Εμβαδό επιφάνειας παραθύρων (m ²)
EKSOTERIKOS	36	Εξωτερική	Βόρειος	DOUBLE	1,27
EKSOTERIKOS	36	Εξωτερική	Νότιος	DOUBLE	7,36
EKSOTERIKOS	12	Εξωτερική	Ανατολικός	—	—
EKSOTERIKOS	12	Εξωτερική	Δυτικός	—	—
DAPEDO	48	Με οριακές συνθήκες	—	—	—
ESOTERIKOS	12,96	Εσωτερική	—	—	—
DOMA2	48	Παρακείμενη στη ζώνη STEGI	—	—	—

Πίνακας 3.9: Δεδομένα επιφανειών και παραθύρων της ζώνης STEGI του κτιρίου αναφοράς για την περίπτωση που μεταβάλλεται η στέγη του.

Τύπος τοίχου	Εμβαδό επιφάνειας (m ²)	Κατηγορία επιφάνειας	Προσανατολισμός Επιφάνειας	Τύπος παραθύρου	Εμβαδό επιφάνειας παραθύρων (m ²)
STITHAIO	8,4	Εξωτερική	Βόρειος	—	—
STITHAIO	8,4	Εξωτερική	Νότιος	—	—
STITHAIO	2,8	Εξωτερική	Ανατολικός	—	—
STITHAIO	2,8	Εξωτερική	Δυτικός	—	—
DOMA2	48	Παρακείμενη στη ζώνη ΚΤΙΡΙΟ	—	—	—

3.3.5 Τροποποίηση των δεδομένων της στέγης και της εξωτερικής τοιχοποιίας του κτιρίου αναφοράς στο TRNBuild

Το αρχείο Passive_house.bui προκύπτει από την τροποποίηση των δεδομένων που αφορούν την στέγη και την εξωτερική τοιχοποιία του κτιρίου αναφοράς. Ουσιαστικά εισάγονται τα δεδομένα του κτιρίου που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2. Στην περίπτωση αυτή, οι τοίχοι EKSOTERIKOS2, STITHAIO2 και DOMA2 αντικαθιστούν τους τοίχους EKSOTERIKOS, STITHAIO και DOMA αντίστοιχα. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα νέα δεδομένα των επιφανειών και των παραθύρων που εισάγονται σε κάθε ζώνη και προκύπτουν από την μεταβολή της στέγης και της εξωτερικής τοιχοποιίας του κτιρίου αναφοράς.

Πίνακας 3.10: Δεδομένα επιφανειών και παραθύρων της ζώνης ΚΤΙΡΙΟ του κτιρίου αναφοράς για την περίπτωση που μεταβάλλεται η στέγη και η εξωτερική τοιχοποιία του.

Τύπος τοίχου	Εμβαδό επιφάνειας (m ²)	Κατηγορία επιφάνειας	Προσανατολισμός Επιφάνειας	Τύπος παραθύρου	Εμβαδό επιφάνειας παραθύρων (m ²)
EKSOTERIKOS2	36	Εξωτερική	Βόρειος	DOUBLE	1,27
EKSOTERIKOS2	36	Εξωτερική	Νότιος	DOUBLE	7,36
EKSOTERIKOS2	12	Εξωτερική	Ανατολικός	—	—
EKSOTERIKOS2	12	Εξωτερική	Δυτικός	—	—
DAPEDO	48	Με οριακές συνθήκες	—	—	—
ESOTERIKOS	12,96	Εσωτερική	—	—	—

DOMA2	48	Παρακείμενη στη ζώνη STEGI	—	—	—
-------	----	----------------------------------	---	---	---

Πίνακας 3.11: Δεδομένα επιφανειών και παραθύρων της ζώνης STEGI του κτιρίου αναφοράς για την περίπτωση που μεταβάλλεται η στέγη και η εξωτερική τοιχοποιία του.

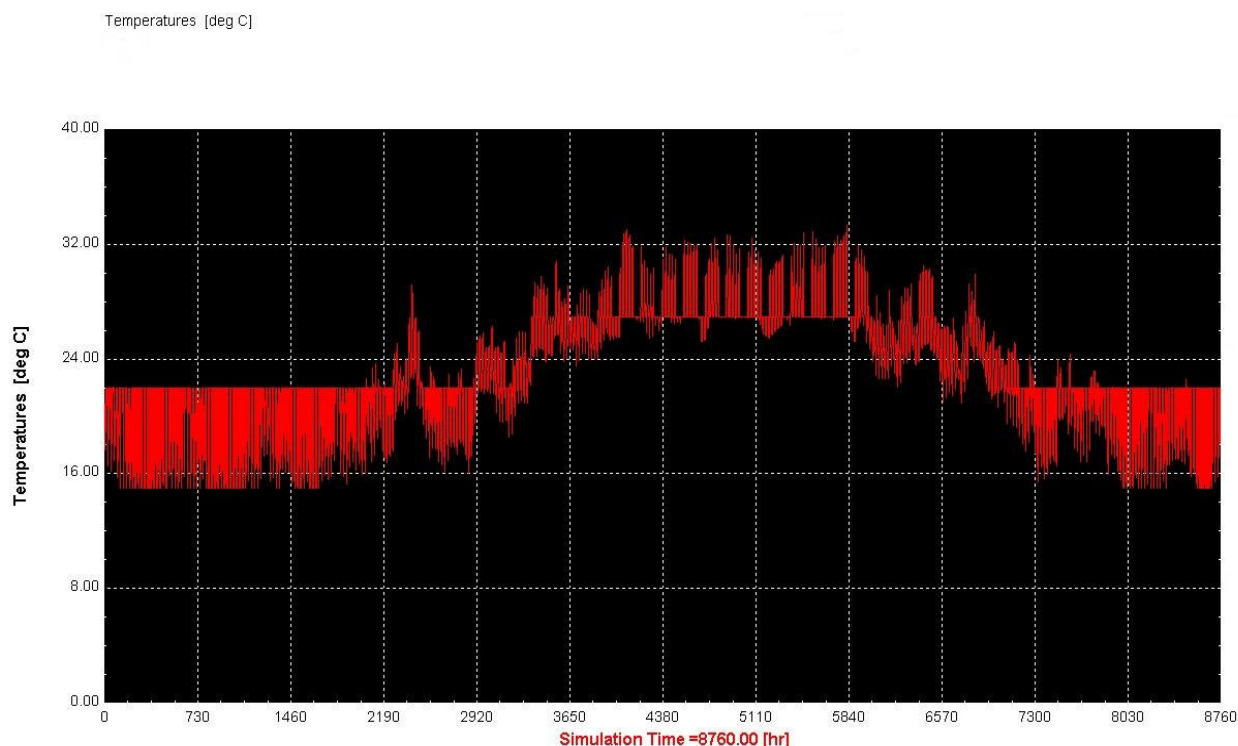
Τύπος τοίχου	Εμβαδό επιφάνειας (m ²)	Κατηγορία επιφάνειας	Προσανατολισμός Επιφάνειας	Τύπος παραθύρου	Εμβαδό επιφάνειας παραθύρων (m ²)
STITHAIO2	8,4	Εξωτερική	Βόρειος	—	—
STITHAIO2	8,4	Εξωτερική	Νότιος	—	—
STITHAIO2	2,8	Εξωτερική	Ανατολικός	—	—
STITHAIO2	2,8	Εξωτερική	Δυτικός	—	—
DOMA2	48	Παρακείμενη στη ζώνη ΚΤΙΡΙΟ	—	—	—

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

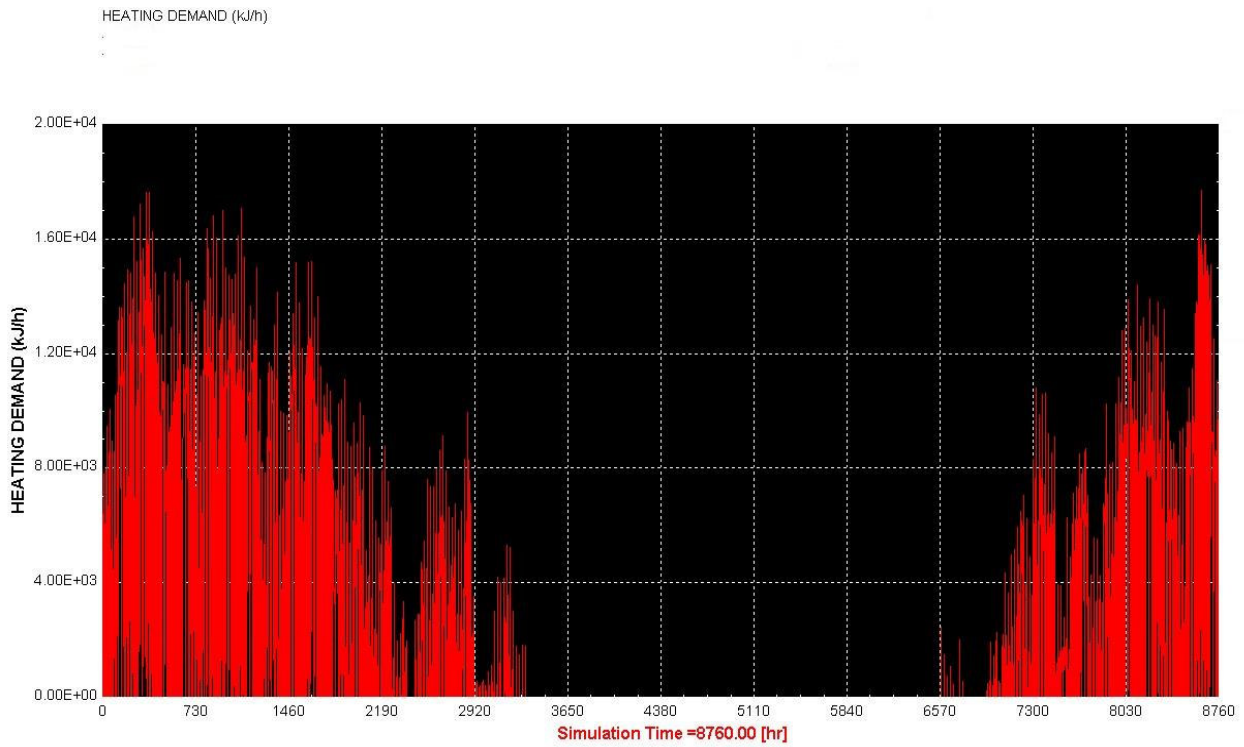
ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 ΘΕΡΜΙΚΟ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

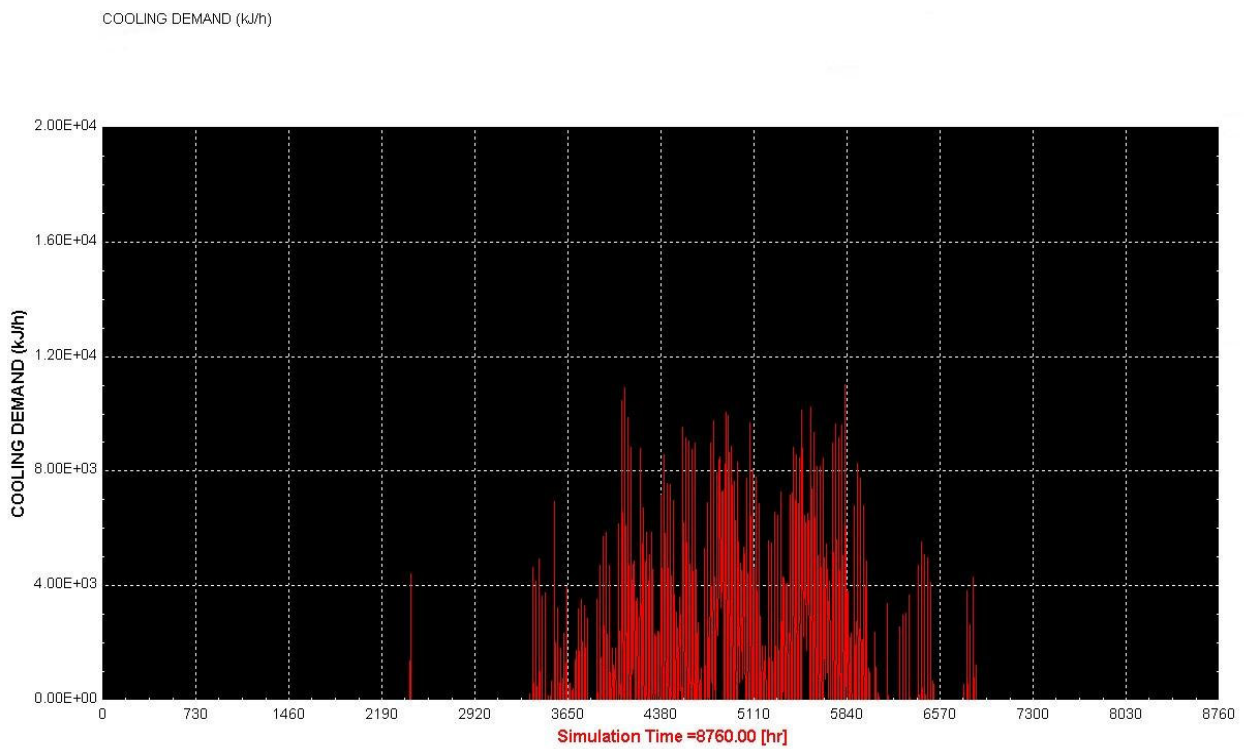
Στην ενότητα αυτή γίνεται αναλυτικός προσδιορισμός της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη και της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου αναφοράς, το οποίο περιγράφεται στην ενότητα 3.3. Προσδιορίζονται οι ωριαίες τιμές των παραπάνω μεταβλητών και από αυτές υπολογίζονται οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη για ολόκληρη την διάρκεια του έτους. Επίσης, υπολογίζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις ανά μονάδα επιφάνειας. Οι ωριαίες τιμές της εσωτερικής θερμοκρασίας, της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και της απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη δίδονται στα διαγράμματα 4.1, 4.2 και 4.3 αντίστοιχα, δεδομένου ότι λειτουργούν τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης με τις αντίστοιχες στρατηγικές τους, οι οποίες περιγράφονται στην ενότητα 3.3.



Σχήμα 4.1: Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου αναφοράς.



Σχήμα 4.2: Θερμικό φορτίο κτιρίου αναφοράς.



Σχήμα 4.3: Ψυκτικό φορτίο κτιρίου αναφοράς.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1) δίδονται οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για όλη την διάρκεια τους και πραγματοποιείται η αναγωγή τους ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου.

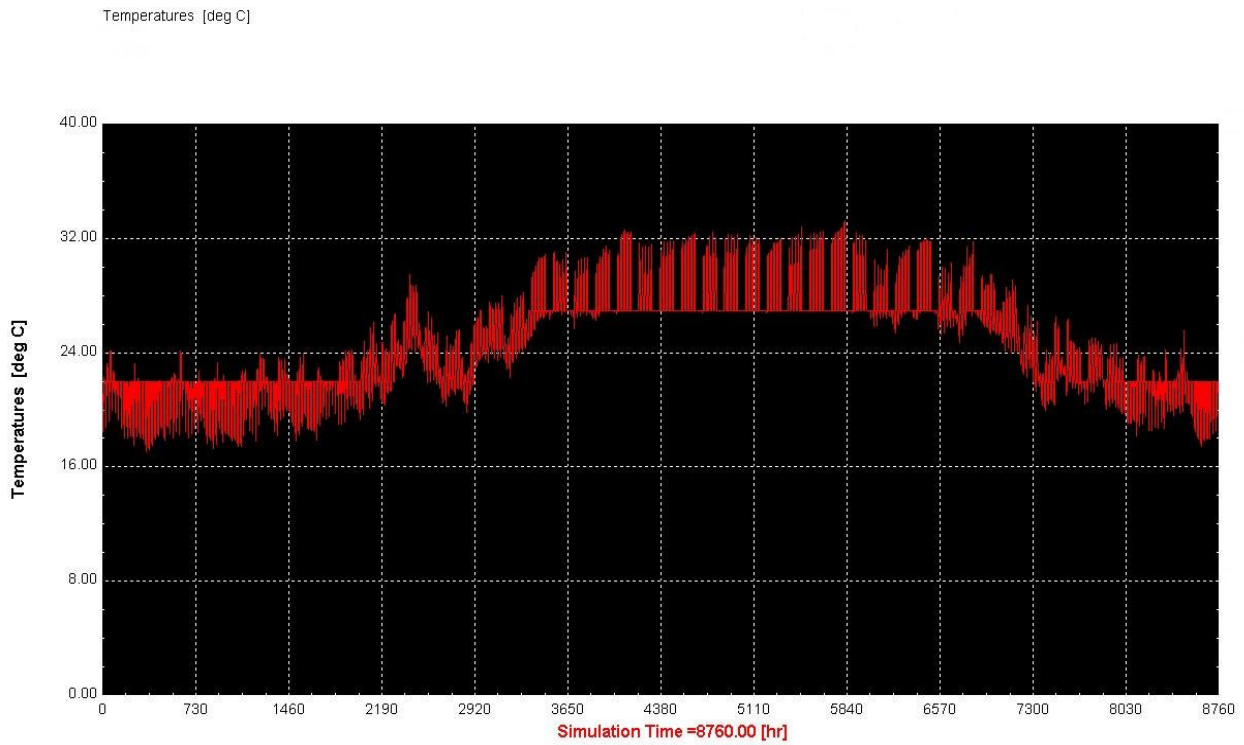
Πίνακας 4.1: Συνολικό θερμικό και ψυκτικό φορτίο κτιρίου αναφοράς.

ΦΟΡΤΙΟ	kJ	GJ	kWh	kWh/m ²
Θερμικό	17605599,369	17,606	4890,444	101,884
Ψυκτικό	4534020,033	4,534	1259,450	26,239

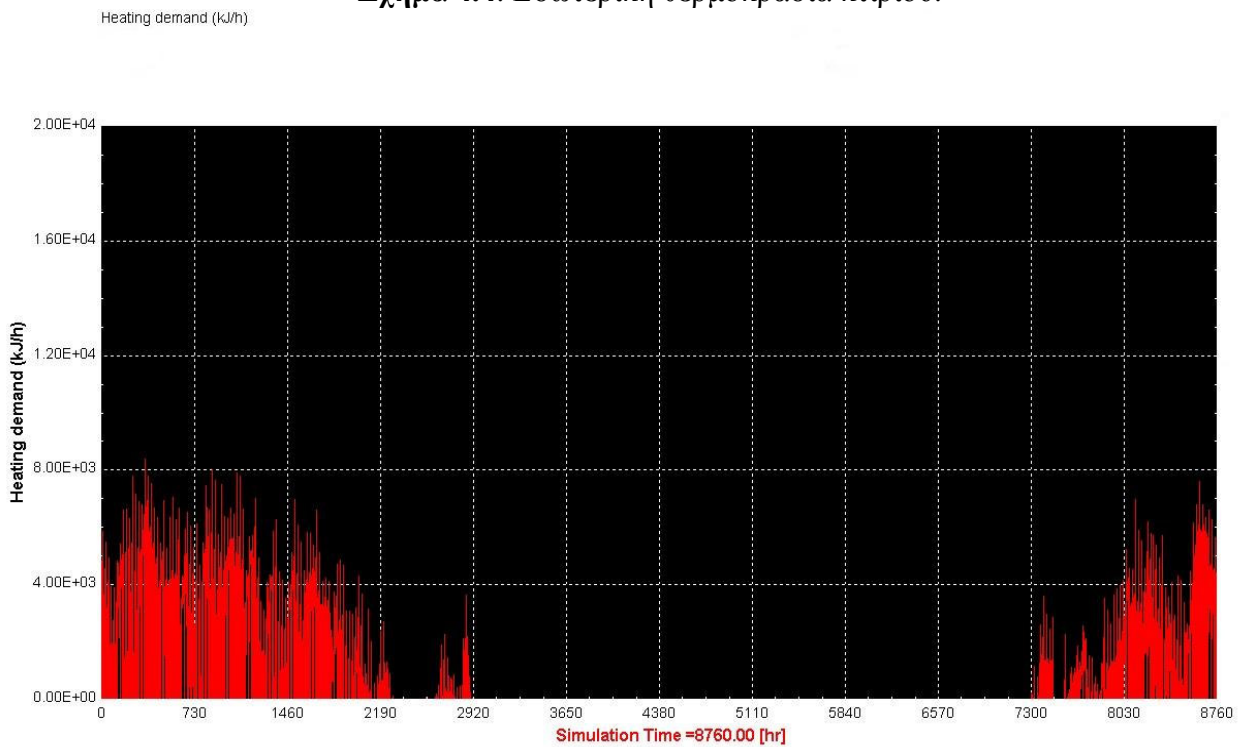
Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι οι ετήσιες απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου αναφοράς είναι 17,606 GJ και 4,534 GJ αντίστοιχα. Με αναγωγή τους ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου (συνολική επιφάνεια δαπέδου 48 m²) υπολογίζονται οι τιμές 101,884 kWh/m² και 26,239 kWh/m² ετησίως για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα.

4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ

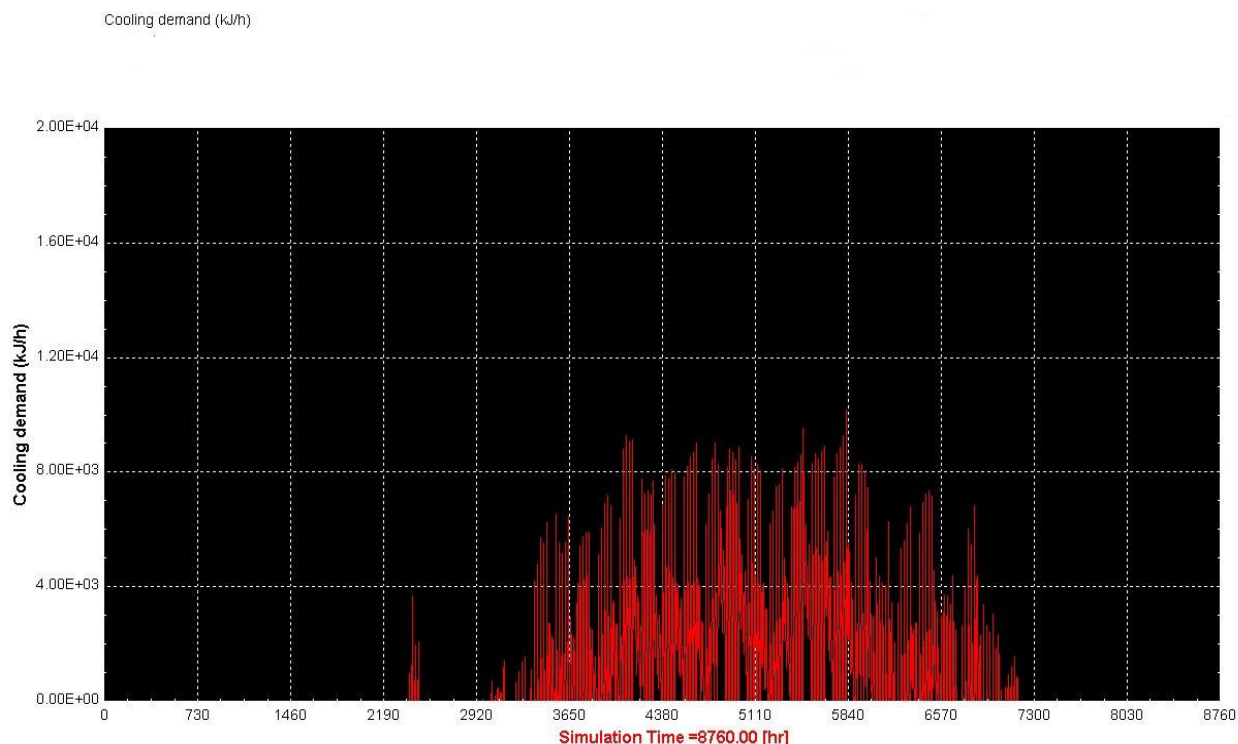
Μελετάται η επίδραση της πρόσθετης θερμικής μάζας, καθώς και της θερμομόνωσης του κτιριακού κελύφους, στο θερμικό και ψυκτικό φορτίο του κτιρίου. Προσδιορίζονται η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη και η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου αναφοράς στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται η εξωτερική τοιχοποιία και η θερμομόνωση που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2. Ανακεφαλαιώνοντας η εξωτερική τοιχοποιία αποτελείται από την υπερμπατική τοιχοποιία συνολικού πάχους 36 cm και χρησιμοποιείται εξωτερική θερμομόνωση από πετροβάμβακα (θερμομόνωση μανδύα) πάχους 5 cm. Οι ωριαίες τιμές της εσωτερικής θερμοκρασίας, της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και της απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη δίδονται στα διαγράμματα 4.4, 4.5 και 4.6 αντίστοιχα, δεδομένου ότι λειτουργούν τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης με τις αντίστοιχες στρατηγικές τους, οι οποίες περιγράφονται στην ενότητα 3.3.



Σχήμα 4.4: Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου.



Σχήμα 4.5: Θερμικό φορτίο κτιρίου.



Σχήμα 4.6: Ψυκτικό φορτίο κτιρίου.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.2) δίδονται οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για όλη την διάρκεια τους και πραγματοποιείται η αναγωγή τους ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου.

Πίνακας 4.2: Συνολικό θερμικό και ψυκτικό φορτίο κτιρίου.

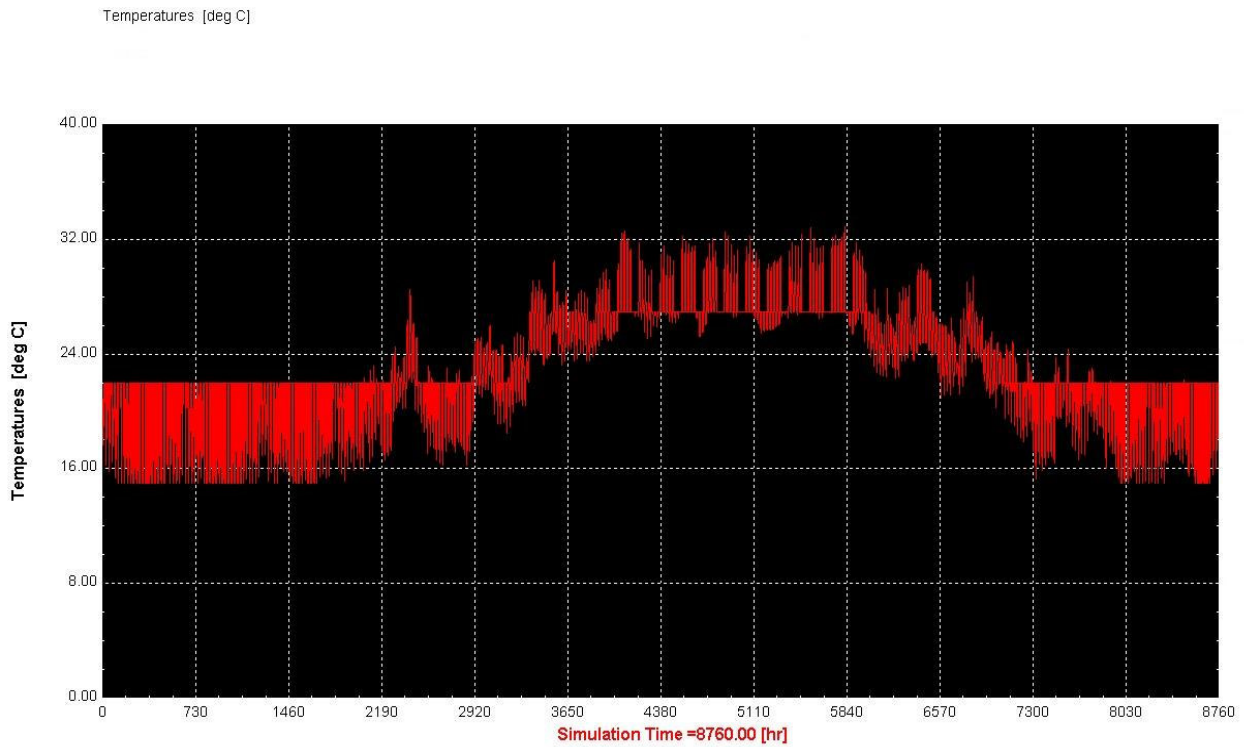
ΦΟΡΤΙΟ	kJ	GJ	kWh	kWh/m ²
Θερμικό	5260867,490	5,261	1461,352	30,445
Ψυκτικό	6311327,266	6,311	1753,146	36,524

Οι ετήσιες απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου είναι 5,261 GJ και 6,311 GJ αντίστοιχα. Με αναγωγή τους ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου υπολογίζονται οι τιμές 30,445 kWh/m² και 36,524 kWh/m² ετησίως για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα.

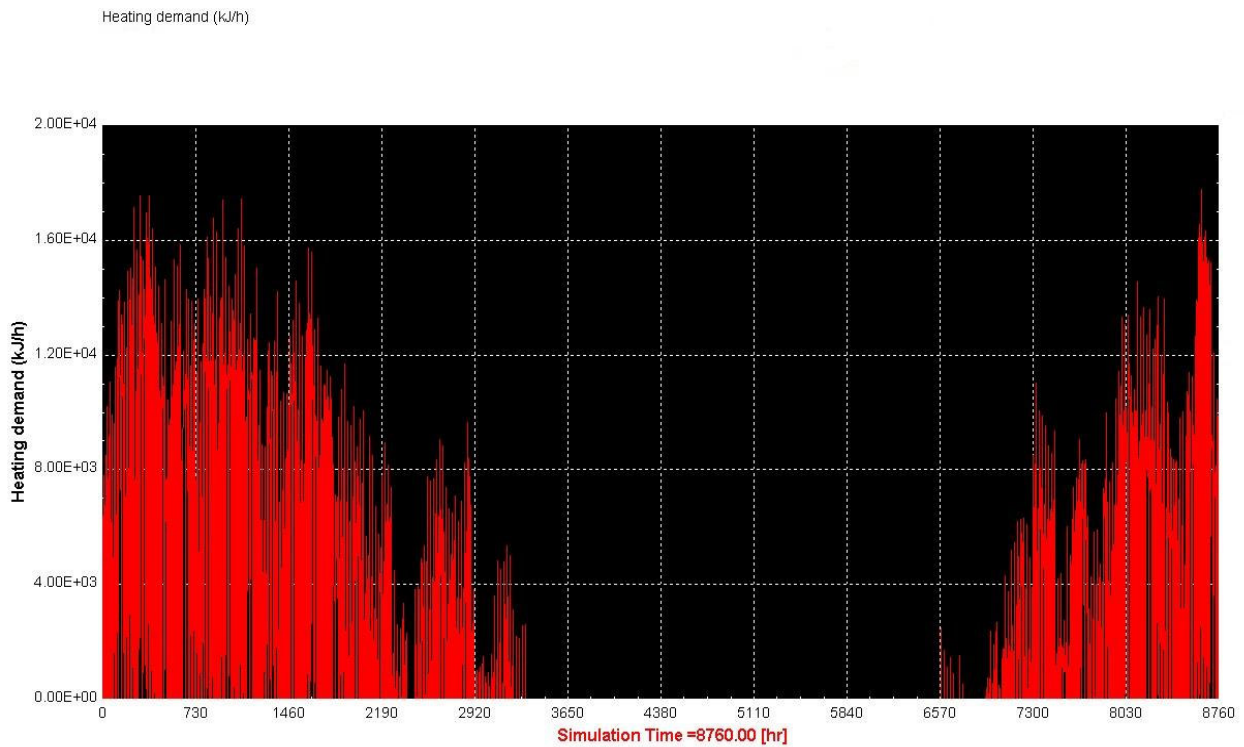
4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΛΩΜΑΤΟΣ

Μελετάται η επίδραση του φυτεμένου δώματος στο θερμικό και στο ψυκτικό φορτίο του κτιρίου. Προσδιορίζονται η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη και η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου αναφοράς, στην περίπτωση όπου αντικατασταθεί το συμβατικό δώμα με το φυτεμένο δώμα που περιγράφεται στην ενότητα 2.5. Οι ωριαίες τιμές της εσωτερικής θερμοκρασίας, της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και της απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη δίδονται στα διαγράμματα 4.7, 4.8 και 4.9 αντίστοιχα, δεδομένου ότι λειτουργούν τα συστήματα

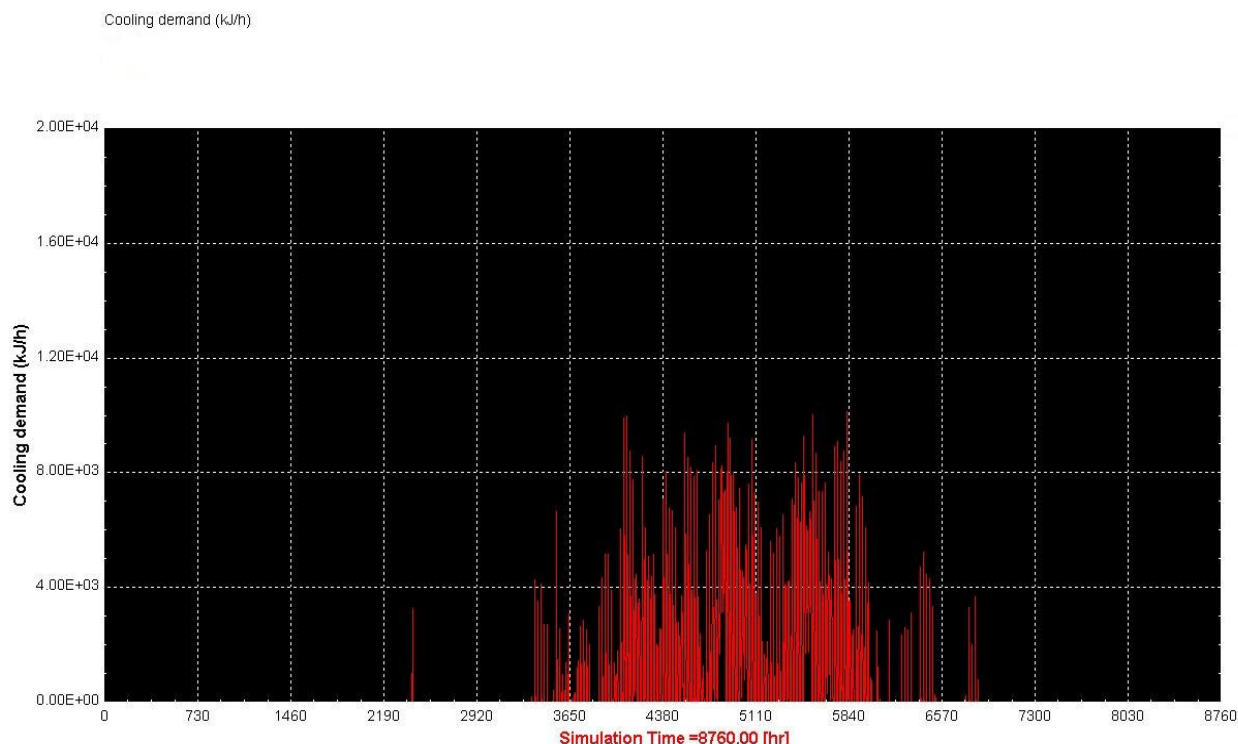
θέρμανσης και ψύξης με τις αντίστοιχες στρατηγικές τους, οι οποίες περιγράφονται στην ενότητα 3.3.



Σχήμα 4.7: Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου.



Σχήμα 4.8: Θερμικό φορτίο κτιρίου.



Σχήμα 4.9: Ψυκτικό φορτίο κτιρίου.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.3) περιέχονται οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για όλη την διάρκεια τους και πραγματοποιείται η αναγωγή τους ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου.

Πίνακας 4.3: Συνολικό θερμικό και ψυκτικό φορτίο κτιρίου.

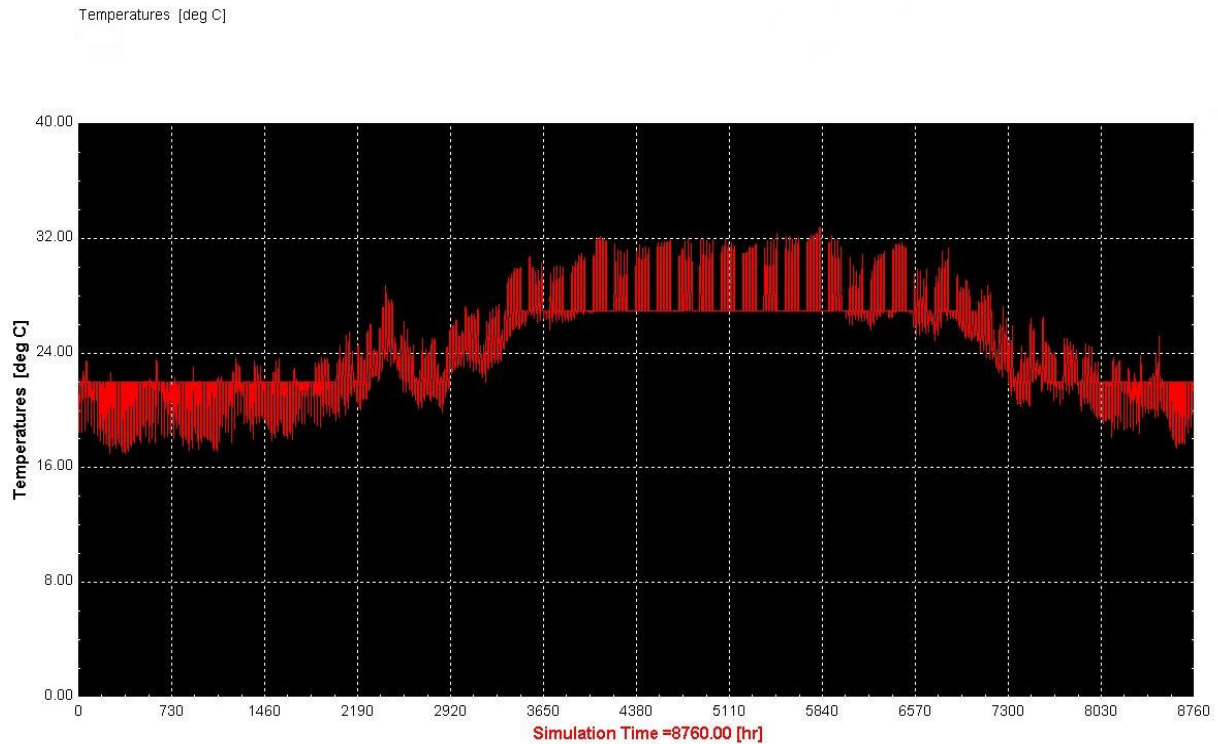
ΦΟΡΤΙΟ	kJ	GJ	kWh	kWh/m ²
Θερμικό	18242594,091	18,243	5067,387	105,571
Ψυκτικό	3931315,377	3,931	1092,032	22,751

Οι ετήσιες απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου είναι 18,243 GJ και 3,931 GJ αντίστοιχα. Με αναγωγή τους ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου υπολογίζονται οι τιμές 105,571 kWh/m² και 22,751 kWh/m² ετησίως για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα.

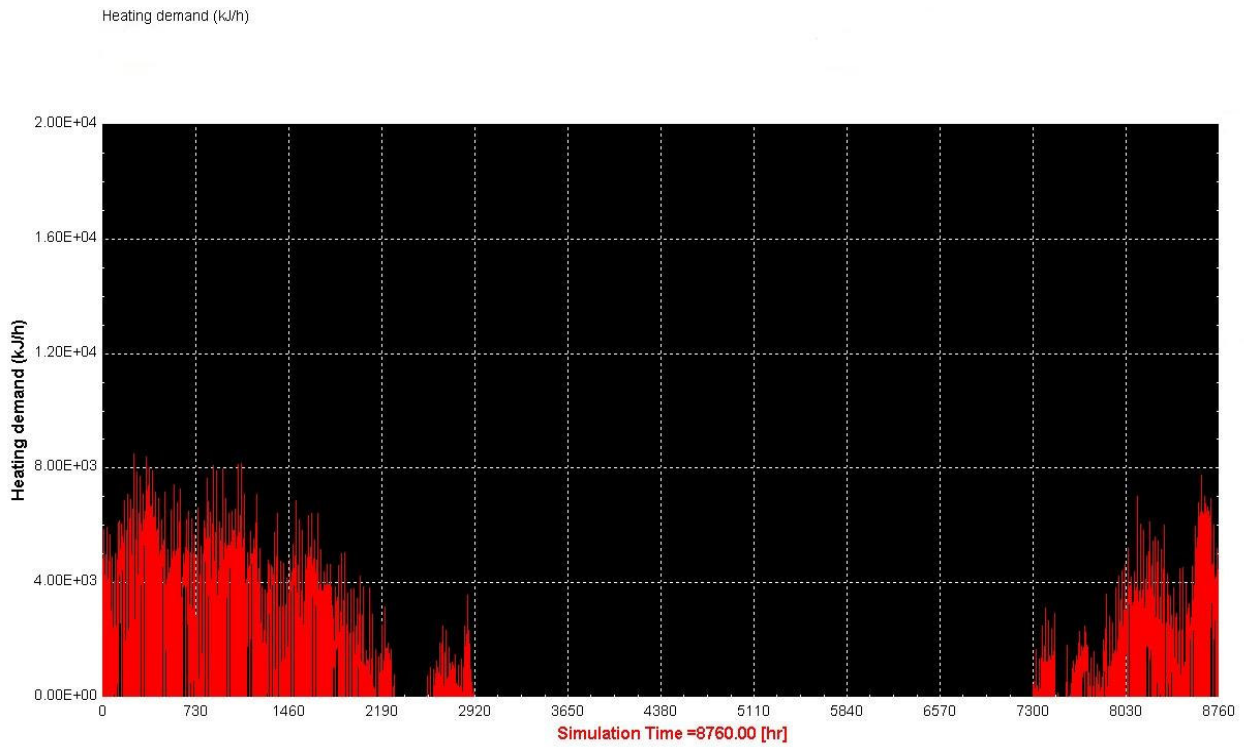
4.4 ΘΕΡΜΙΚΟ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Πραγματοποιείται αναλυτικός προσδιορισμός της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, καθώς και της εσωτερικής θερμοκρασίας της κατοικίας που

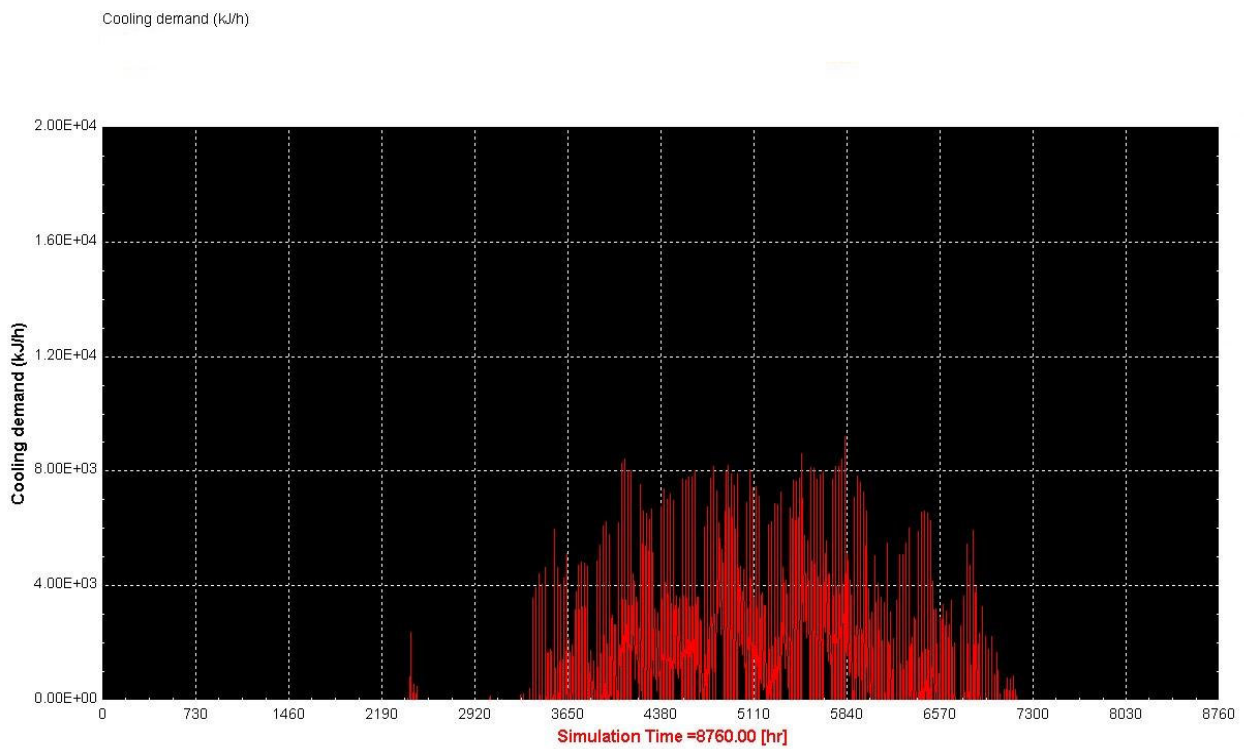
περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2. Μελετάται η περίπτωση όπου τα συστήματα της θερμομόνωσης, θερμικής μάζας και του φυτεμένου δώματος συνυπάρχουν στην ίδια κατασκευή. Οι ωριαίες τιμές της εσωτερικής θερμοκρασίας, της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και της απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη δίδονται στα διαγράμματα 4.10, 4.11 και 4.12 αντίστοιχα, δεδομένου ότι λειτουργούν τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης με τις αντίστοιχες στρατηγικές τους, οι οποίες περιγράφονται στην ενότητα 3.3.



Σχήμα 4.10: Εσωτερική θερμοκρασία παθητικού κτιρίου.



Σχήμα 4.11: Θερμικό φορτίο παθητικού κτιρίου.



Σχήμα 4.12: Ψυκτικό φορτίο παθητικού κτιρίου.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.4) δίδονται οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για όλη την διάρκεια τους και πραγματοποιείται η αναγωγή τους ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου.

Πίνακας 4.4: Συνολικό θερμικό και ψυκτικό φορτίο παθητικού κτιρίου.

ΦΟΡΤΙΟ	kJ	GJ	kWh	kWh/m ²
Θερμικό	5932639,939	5,933	1647,955	34,332
Ψυκτικό	5311879,321	5,312	1475,522	30,740

Οι ετήσιες απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου είναι 5,933 GJ και 5,312 GJ αντίστοιχα. Με αναγωγή τους ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου υπολογίζονται οι τιμές 34,332 kWh/m² και 30,740 kWh/m² ετησίως για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα.

4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.5.1 Κτίριο αναφοράς

Σημαντικά συμπεράσματα προκύπτουν από την μελέτη του θερμικού και του ψυκτικού φορτίου και της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου αναφοράς. Στην ενότητα αυτή θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση του κτιρίου αναφοράς το οποίο περιγράφεται στην ενότητα 3.3.

Η στρατηγική θέρμανσης και η στρατηγική ψύξης που επιλέχτηκε έχει επιδράσει σημαντικά, στην διακύμανση των τιμών της εσωτερικής θερμοκρασίας όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1. Κατά τους χειμερινούς μήνες του έτους (Γενάρης, Φλεβάρης, Μάρτης, Νοέμβρης, Δεκέμβρης) παρατηρούνται χαμηλές τιμές θερμοκρασίας, όπως αναμενόταν. Σε αυτούς τους μήνες η θερμοκρασία κυμαίνεται ανάμεσα στους 15 °C και τους 22 °C, ανάλογα με την λειτουργία του συστήματος θέρμανσης. Ειδικότερα, τις καθημερινές από τις 08:00 π.μ. μέχρι τις 16:00 μ.μ., αλλά και κατά την διάρκεια της νύχτας όπου το σύστημα εκκινεί στους 15 °C, εμφανίζονται τιμές ανάμεσα στους 15 °C και τους 20 °C και η θερμοκρασία σταθεροποιείται συχνά στους 15 °C. Τις υπόλοιπες ώρες που το σύστημα εκκινεί στους 22 °C, η θερμοκρασία παρουσιάζει ελαφρώς αυξημένες τιμές (ανάμεσα στους 18 °C με 22 °C) και σταθεροποιείται συχνά στους 22 °C. Κατά τους θερινούς μήνες (Μάιος, Ιούνιος, Ιούλης, Αύγουστος, Σεπτέμβρης) η εσωτερική θερμοκρασία λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές. Τις ώρες που λειτουργεί το σύστημα ψύξης παρουσιάζονται τιμές κοντά στους 27 °C, ενώ τις ώρες που δεν λειτουργεί παρουσιάζονται πολλές τιμές ανάμεσα στο 27 °C και τους 33 °C. Στους περισσότερους θερμούς μήνες (Ιούλιος, Αύγουστος) εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα τιμές ανάμεσα στους 27 °C και τους 33,3 °C που είναι η μέγιστη τιμή που λαμβάνει η εσωτερική θερμοκρασία. Ο Απρίλης και ο Οκτώβρης είναι οι μήνες που παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ των τιμών της θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία σε αυτούς τους μήνες παρουσιάζει αυξημένες και μειωμένες τιμές, με περίπου την ίδια συχνότητα.

Από τα αποτελέσματα των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση (Σχήμα 4.2) προκύπτει ότι στους χειμερινούς μήνες του έτους, όπως αναμενόταν, παρατηρούνται και τα υψηλότερα φορτία. Συγκεκριμένα στους μήνες Γενάρη, Φλεβάρη, Μάρτη, Νοέμβρη, και Δεκέμβρη, εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα

υψηλά φορτία, με το υψηλότερο να ανέρχεται στα 17654,519 kJ (15 Γενάρη). Αντίθετα στους περισσότερο θερμούς μήνες (Ιούνης, Ιούλης, Αύγουστος) το θερμικό φορτίο, όπως είναι λογικό, μηδενίζεται. Επίσης, ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση εμφανίζονται στον Μάιο και στον Νοέμβρη. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση καθορίζονται από την στρατηγική θέρμανσης που χρησιμοποιήθηκε. Κατά την προσομοίωση το σύστημα θέρμανσης ενεργοποιείται όταν η θερμοκρασία του κτιρίου είναι μικρότερη από την θερμοκρασία εκκίνησης της θέρμανσης, χωρίς να ελέγχεται η εποχή του χρόνου στην οποία βρίσκεται. Στην πραγματικότητα όμως, κατά τους θερμούς μήνες οι απαιτήσεις για θέρμανση είναι μηδενικές, καθώς οι χρήστες μίας κατοικίας δεν ενεργοποιούν ποτέ το σύστημα θέρμανσης έστω και αν η θερμοκρασία λαμβάνει τιμές μικρότερες από 22 °C. Με βάση τα παραπάνω, αν μηδενιστούν οι απαιτήσεις για θέρμανση που εμφανίζονται από την 1 Μαΐου και μετά, καθώς και αυτές πριν τις 15 Οκτώβρη, προκύπτουν οι συνολικές απαιτήσεις για θέρμανση που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.5).

Πίνακας 4.5: Συνολικό θερμικό φορτίο πριν και μετά την διόρθωση.

	kJ	GJ	kWh	kWh/m²
Πριν την διόρθωση	17605599,369	17,606	4890,444	101,884
Μετά την διόρθωση	17443262,362	17,443	4845,351	100,945

Οι υψηλές συνολικές απαιτήσεις για θέρμανση που υπολογίστηκαν, οφείλονται στην αυστηρή στρατηγική θέρμανσης που επιλέχτηκε. Η εσωτερική θερμοκρασία δεν εμφανίζει τιμές χαμηλότερες από 15 °C ακόμα και τις ώρες που οι χρήστες της κατοικίας βρίσκονται στον χώρο εργασίας τους. Επίσης το κτίριο αναφοράς εκτός από τον προσανατολισμό και τον σχεδιασμό των ανοιγμάτων του, δεν εμπεριέχει άλλα στοιχεία ηλιακού παθητικού σχεδιασμού. Για όλους τους παραπάνω λόγους, το συνολικό θερμικό φορτίο υπολογίζεται στις 100,945 kWh/m², τιμή που απέχει πολύ από αυτήν ενός παθητικού κτιρίου (15 kWh/m²).

Οι υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη του κτιρίου αναφοράς παρατηρούνται τους περισσότερο θερμούς μήνες (Ιούνης, Ιούλης, Αύγουστος), όπου και εμφανίζεται η υψηλότερη τιμή (11034,793 kJ). Μικρότερα ψυκτικά φορτία εμφανίζονται κατά την διάρκεια του Μαΐου, του Σεπτεμβρίου και του πρώτου δεκαπενθήμερου του Οκτώβρη. Ελάχιστα ψυκτικά φορτία εμφανίζονται κατά την διάρκεια του Απρίλη, τα οποία και μηδενίζονται για τους ίδιους λόγους που μηδενίζονται τα θερμικά φορτία που εμφανίζονται μετά την 1 Μαΐου και πριν τις 15 Οκτώβρη. Στον παρακάτω πίνακα δίδονται οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη που προκύπτουν αν μηδενιστούν οι τιμές που εμφανίζονται πριν την 1 Μαΐου (Πίνακας 4.6).

Πίνακας 4.6: Συνολικό ψυκτικό φορτίο πριν και μετά την διόρθωση.

	kJ	GJ	kWh	kWh/m²
Πριν την διόρθωση	4534020,033	4,534	1259,450	26,239
Μετά την διόρθωση	4523675,838	4,524	1256,577	26,179

Οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη του κτιρίου αναφοράς, μετά την διόρθωση, ανέρχονται πλέον σε 26,179 kWh/m². Στην διαμόρφωση της τιμής αυτής, φαίνεται να έχει συμβάλει σημαντικά ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων του κτιρίου όπως περιγράφεται στην ενότητα 2.3. Ειδικότερα, με την ανυπαρξία δυτικών ανοιγμάτων αποφεύγεται η είσοδος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας τις απογευματινές ώρες, γεγονός το οποίο οδηγεί στην μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου και κατ' επέκταση στην μείωση των ενεργειακών του απαιτήσεων για ψύξη.

4.5.2 Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης

Από τον υπολογισμό του ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου αναφοράς, στην περίπτωση όπου προστίθεται σε αυτό θερμική μάζα (Δρομική τοιχοποιία) και θερμομόνωση (πετροβάμβακας), προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα για τα πλεονεκτήματα της χρήσης αυτών των συστημάτων. Πρώτα πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο και για τους ίδιους λόγους, η διόρθωση των αποτελεσμάτων όπως στην προηγούμενη ενότητα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον μηδενισμό των θερμικών φορτίων που εμφανίζονται μετά την 1 Μαΐου και πριν τις 15 Οκτώβρη, καθώς και των ψυκτικών φορτίων που εμφανίζονται πριν την 1 Μαΐου και μετά τις 15 Οκτώβρη δίδονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 4.7, 4.8).

Πίνακας 4.7: Συνολικό θερμικό φορτίο πριν και μετά την διόρθωση.

	kJ	GJ	kWh	KWh/m²
Πριν την διόρθωση	5260867,490	5,261	1461,352	30,445
Μετά την διόρθωση	5258995,831	5,259	1460,823	30,434

Πίνακας 4.8: Συνολικό ψυκτικό φορτίο πριν και μετά την διόρθωση.

	kJ	GJ	kWh	kWh/m²
Πριν την διόρθωση	6311327,266	6,311	1753,146	36,524
Μετά την διόρθωση	6257120,022	6,257	1738,089	36,210

Οι νέες τιμές για το συνολικό θερμικό και ψυκτικό φορτίο του κτιρίου ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου είναι 30,434 kWh/m² και 36,210 kWh/m² αντίστοιχα.

Οι ωριαίες τιμές του θερμικού φορτίου (Σχήμα 4.5) εμφανίζονται κατά πολύ μειωμένες από αυτές του κτιρίου αναφοράς. Τα υψηλότερα φορτία παρατηρούνται

στους μήνες Γενάρη, Φλεβάρη, Μάρτη και Δεκέμβρη, όπου εμφανίζεται και η υψηλότερη τιμή (8397,374 kJ), ενώ μικρότερα φορτία παρατηρούνται τους μήνες Απρίλη και Νοέμβρη. Αντίθετα οι ωριαίες τιμές του ψυκτικού φορτίου (Σχήμα 4.6) εμφανίζονται αυξημένες από αυτές του κτιρίου αναφοράς. Τα υψηλότερα φορτία παρατηρούνται στους μήνες Ιούνη, Ιούλη, Αύγουστο και Σεπτέμβρη, όπου εμφανίζεται και το μέγιστο φορτίο (10179,025 kJ). Σημαντική αύξηση παρουσιάζουν τα ψυκτικά φορτία κατά την διάρκεια του Μαΐου και του Οκτωβρίου. Σε αυτούς τους μήνες εμφανίζονται με μεγαλύτερο μέγεθος και συχνότητα οι ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη του κτιρίου, συγκριτικά με αυτές που εμφανίστηκαν κατά την μελέτη του κτίριο αναφοράς.

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι η πρόσθεση θερμικής μάζας (κατασκευή υπερμπατικής τοιχοποιίας), με ταυτόχρονη χρήση εξωτερικής θερμομόνωσης πετροβάμβακα, πάχους 5 cm, μειώνει σημαντικά τις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση, όπως αναμενόταν, αλλά παράλληλα αυξάνει τις ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό του κτιρίου. Συγκεκριμένα, μειώνεται το συνολικό θερμικό φορτίο κατά 69,850 % και αυξάνεται το συνολικό ψυκτικό φορτίο κατά 38,319 %. Αυτό, οφείλεται στην αύξηση της θερμότητας που αποθηκεύεται στο κτιριακό κέλυφος, λόγω της μεγάλης θερμικής μάζας του, αλλά και στην μείωση των απωλειών του, λόγω της θερμομόνωσης. Οι ποσότητες θερμότητας που αποθηκεύονται στα δομικά στοιχεία του κτιρίου, διανέμονται στο εσωτερικό του και παράλληλα, λόγω της θερμομόνωσης, μειώνεται το ποσοστό της θερμότητας που χάνεται στο εξωτερικό περιβάλλον, αυξάνοντας τελικά την θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτιρίου. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, όπως είναι λογικό, μειώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση, αλλά αυξάνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται ξεκάθαρη η αναγκαιότητα για σκίαση του κτιρίου κατά τους θερινούς μήνες, ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανσή του και να μειωθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό.

4.5.3 Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος

Στην περίπτωση αυτή, μελετάται η επίδραση του φυτεμένου δώματος στο θερμικό και ψυκτικό φορτίο του κτιρίου αναφοράς. Χρησιμοποιείται το φυτεμένο δώμα, του οποίου η περιγραφή πραγματοποιήθηκε στην ενότητα 2.5. Αρχικά πραγματοποιείται η διόρθωση των αποτελεσμάτων όπως στις προηγούμενες ενότητες. Οι νέες τιμές του συνολικού θερμικού και ψυκτικού φορτίου δίδονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 4.9, 4.10).

Πίνακας 4.9: Συνολικό θερμικό φορτίο πριν και μετά την διόρθωση.

	kJ	GJ	kWh	kWh/m²
Πριν την διόρθωση	18242594,091	18,243	5067,387	105,571
Μετά την διόρθωση	18043481,108	18,043	5012,078	104,418

Πίνακας 4.10: Συνολικό ψυκτικό φορτίο πριν και μετά την διόρθωση.

	kJ	GJ	kWh	kWh/m²
Πριν την διόρθωση	3931315,377	3,931	1092,032	22,751
Μετά την διόρθωση	3925609,599	3,926	1090,447	22,718

Με παρατήρηση των ωριαίων τιμών του θερμικού και ψυκτικού φορτίου για την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα (Σχήματα 4.8-4.9), διαπιστώνεται ότι τα φορτία εμφανίζονται με τη ίδια συχνότητα, αλλά με διαφορετικό μέγεθος. Τα θερμικά φορτία εμφανίζονται ελαφρώς αυξημένα, με την μέγιστη τιμή να ανέρχεται στα 17774,863 kJ και τα ψυκτικά φορτία μειωμένα, με την μέγιστη τιμή να ανέρχεται στα 10132,512 kJ.

Συγκρίνοντας τις τιμές των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου αναφοράς, όπου χρησιμοποιείται συμβατικό δώμα, με αυτές που προκύπτουν από την χρησιμοποίηση του φυτεμένου δώματος, διαπιστώνεται ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση αυξάνονται κατά 3,441 % και οι ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό μειώνονται κατά 13,221 %. Η χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος έχει σαν αποτέλεσμα, την εμφάνιση μειωμένων τιμών θερμοκρασίας, καθ' όλη την διάρκεια του έτους, γεγονός που οδηγεί στην μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για δροσισμό του κτιρίου. Παράλληλα όμως, η πτώση της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου, δημιουργεί περισσότερες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση του κτιρίου. Έτσι, παρόλο που αυξάνεται η θερμική μάζα, αλλά και μειώνεται ο συνολικός βαθμός διαπερατότητας του δώματος, οι συνολικές απαιτήσεις για θέρμανση του κτιρίου εμφανίζονται ελαφρώς αυξημένες.

4.5.4 Παθητικό κτίριο

Στην ενότητα αυτή γίνεται αναλυτικός προσδιορισμός των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη της κατοικίας που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2. Στο κέλυφος της κατοικίας έχει προστεθεί θερμική μάζα (υπερμπατική τοιχοποιία), εξωτερική θερμομόνωση (πετροβάμβακας, πάχους 5 cm), και έχει πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός φυτεμένου δώματος. Με αυτόν τον τρόπο, μελετάται το θερμικό και ψυκτικό φορτίο του κτιρίου στην περίπτωση όπου τα παραπάνω συστήματα συνυπάρχουν στο κέλυφος του. Αρχικά πραγματοποιείται η διόρθωση όπως στις προηγούμενες ενότητες. Τα αποτελέσματα δίδονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 4.11, 4.12).

Πίνακας 4.11: Συνολικό θερμικό φορτίο πριν και μετά την διόρθωση.

	kJ	GJ	kWh	kWh/m²
Πριν την διόρθωση	5932639,939	5,933	1647,955	34,332
Μετά την διόρθωση	5929541,298	5,929	1647,095	34,314

Πίνακας 4.12: Συνολικό ψυκτικό φορτίο πριν και μετά την διόρθωση.

	kJ	GJ	kWh	kWh/m²
Πριν την διόρθωση	5311879,321	5,312	1475,522	30,740
Μετά την διόρθωση	5279835,675	5,280	1466,621	30,555

Παρατηρώντας τις ωριαίες τιμές του θερμικού και του ψυκτικού φορτίου (Σχήματα 4.11-4.12) διαπιστώνεται σημαντική μείωση των θερμικών φορτίων και ελαφρά αύξηση του ψυκτικών φορτίων. Συγκεκριμένα, τα υψηλότερα θερμικά φορτία εμφανίζονται στους μήνες Γενάρη, Φλεβάρη, Μάρτη και Δεκέμβρη, όπου παρατηρείται και το μέγιστο φορτίο (8509,005 kJ), ενώ κάποιες μικρότερες τιμές εμφανίζονται τον Απρίλη και τον Νοέμβρη. Τα υψηλότερα ψυκτικά φορτία εμφανίζονται τους περισσότερους θερμούς μήνες (Ιούνη, Ιούλη, Αύγουστο, Σεπτέμβρη), όπου εμφανίζεται και το μέγιστο φορτίο (9238,671 kJ). Μικρότερα φορτία εμφανίζονται στον Μάιο και στο πρώτο δεκαπενθήμερο του Οκτώβρη. Τα φορτία αυτά παρουσιάζουν σημαντική αύξηση σε σύγκριση με τα αντίστοιχα φορτία του κτιρίου αναφοράς.

Από τα αποτελέσματα των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και δροσισμό του κτιρίου, προκύπτει ότι ο σχεδιασμός φυτεμένου δώματος σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμικής μάζας και τον σχεδιασμό εξωτερικής θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου, μειώνει κατά 66,006 % τις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ταυτόχρονα αυξάνει κατά 16,716 % τις ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό. Διαπιστώνεται ότι η αύξηση της θερμικής μάζας σε συνδυασμό με τον σχεδιασμό εξωτερικής θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου, προκαλεί αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας και συνεπώς σημαντική μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση. Όμως παράλληλα, οι αυξημένες θερμοκρασίες στο εσωτερικό του κτιρίου προκαλούν αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων για δροσισμό. Με την χρησιμοποίηση του φυτεμένου δώματος, επιχειρείται να περιοριστεί η αυξητική τάση των ενεργειακών απαιτήσεων για δροσισμό του κτιρίου, που σε αντίθετη περίπτωση θα ήταν πολύ μεγαλύτερες. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται σημαντικά οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση, χωρίς όμως να προκαλείται σημαντική αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων για δροσισμό. Και σε αυτήν την περίπτωση, γίνεται ξεκάθαρη η αναγκαιότητα για σκίαση του κτιρίου κατά τους θερινούς μήνες, ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανσή του και να μειωθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό.

4.6 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όλα τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι, η μεγαλύτερη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση παρατηρείται στην περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και εξωτερική θερμομόνωση στο κέλυφος του κτιρίου (κατά 69,850 %), ενώ ελαφρώς μικρότερη μείωση παρατηρείται στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και φυτεμένο δώμα (κατά 66 %). Αντίθετα στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται μόνο φυτεμένο δώμα, οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση αυξάνονται (κατά 3,441 %), όπου και αποτελεί την μόνη περίπτωση όπου μειώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό (κατά 13,221 %). Η μεγαλύτερη αύξηση του ψυκτικού φορτίου παρατηρείται στην περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και εξωτερική θερμομόνωση στο κέλυφος του κτιρίου (κατά 38,319

%), ενώ μικρότερη αύξηση παρατηρείται στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και φυτεμένο δώμα (κατά 16,716 %). Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται όλες οι μεταβολές του θερμικού και του ψυκτικού φορτίου που προέκυψαν από την τροποποίηση των δομικών του στοιχείων (Πίνακας 4.13, 4.14).

Πίνακας 4.13: Μεταβολή των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση του κτιρίου.

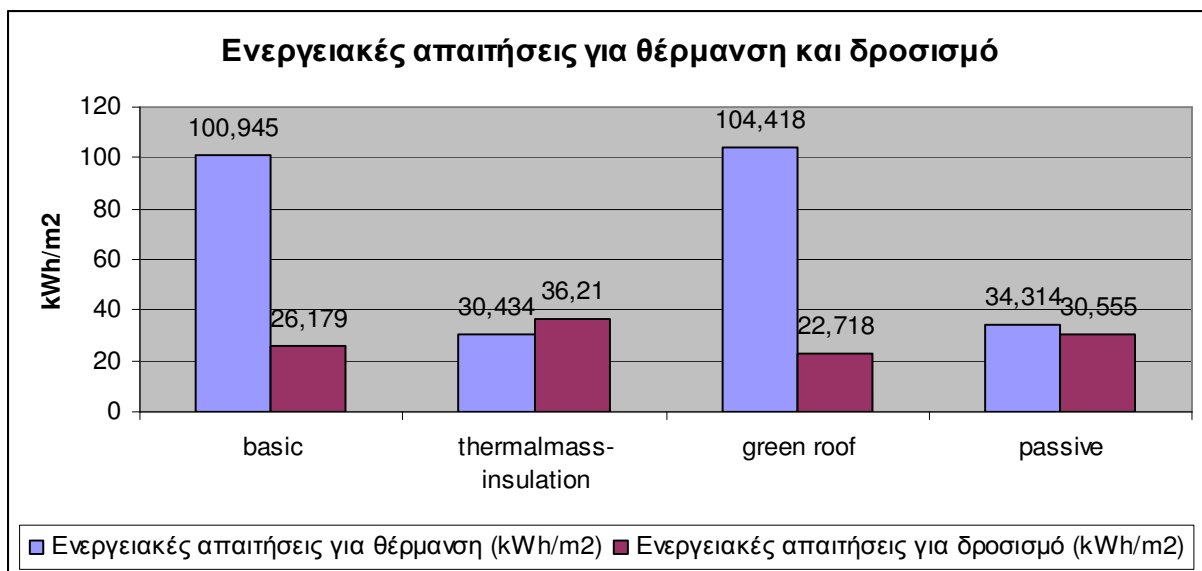
Τροποποίηση που πραγματοποιείται στο κέλυφος	Συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση (kWh/m ²)	Μεταβολή των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση (%)
Κτίριο αναφοράς (καμία τροποποίηση)	100,945	0
Πρόσθεση θερμικής μάζας, χρησιμοποίηση εξωτερικής θερμομόνωσης	30,434	Μείωση κατά 69,850 %
Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	104,418	Αύξηση κατά 3,441 %
Πρόσθεση θερμικής μάζας, χρησιμοποίηση εξωτερικής θερμομόνωσης και φυτεμένου δώματος	34,314	Μείωση κατά 66,006 %

Πίνακας 4.14: Μεταβολή των ενεργειακών απαιτήσεων για δροσισμό του κτιρίου.

Τροποποίηση που πραγματοποιείται στο κέλυφος	Συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό (kWh/m ²)	Μεταβολή των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων για δροσισμό (%)
Κτίριο αναφοράς (καμία τροποποίηση)	26,179	0
Πρόσθεση θερμικής μάζας, χρησιμοποίηση εξωτερικής θερμομόνωσης	36,210	Αύξηση κατά 38,319 %
Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	22,718	Μείωση κατά 13,221 %

Πρόσθεση θερμικής μάζας, χρησιμοποίηση εξωτερικής θερμομόνωσης και φυτεμένου δώματος	30,555	Αύξηση κατά 16,716 %
--	---------------	-----------------------------

Τα αποτελέσματα των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και δροσισμό για την κάθε περίπτωση που εξετάζεται, παρουσιάζονται συγκεντρωμένα στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 4.13). Οι τιμές με την ονομασία “basic” αφορούν την περίπτωση του κτιρίου αναφοράς. Αυτές με την ονομασία “thermamass-insulation” αφορούν τις τιμές που υπολογίστηκαν για την περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και θερμομόνωση. Οι τιμές με την ονομασία “green roof” αφορούν την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα, ενώ αυτές με την ονομασία “passive” αφορούν την περίπτωση του κτιρίου που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2.



Σχήμα 4.13: Ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και δροσισμό για την κάθε περίπτωση που εξετάζεται.

Με βάση τα παραπάνω, αν ο σχεδιασμός του κτιρίου πραγματοποιείται με μοναδικό κριτήριο την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών του απαιτήσεων για θέρμανση, η βέλτιστη λύση προκύπτει στην περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και θερμομόνωση στο κέλυφος του (30,434 kWh/m²). Αν μοναδικό κριτήριο αποτελεί η ελαχιστοποίηση των ενεργειακών του απαιτήσεων για δροσισμό, η βέλτιστη λύση προκύπτει στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα (22,718 kWh/m²). Στην πραγματικότητα όμως, ο ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων αποτελεί αντικείμενο της πολυκριτήριας ανάλυσης, καθώς χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα περισσότερα κριτήρια, πολλά από τα οποία είναι ανταγωνιστικά μεταξύ τους. Παραδείγματος χάριν η ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής και η ελαχιστοποίηση του θερμικού φορτίου. Στα επόμενα κεφάλαια εισάγεται ένα ακόμα κριτήριο, η ελαχιστοποίηση του καθαρού παρόντος κόστους. Με αυτόν τον τρόπο επιχειρείται η λήψη της βέλτιστης απόφασης για τον σχεδιασμό της κατοικίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ HOMER

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ HOMER

Το λογισμικό βελτιστοποίησης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας HOMER αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τον σχεδιασμό συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας, καθώς και για τη σύγκριση των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενός μεγάλου εύρους εφαρμογών. Το λογισμικό HOMER μοντελοποιεί τη φυσική συμπεριφορά ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και το κόστος του κύκλου ζωής του, το οποίο είναι το συνολικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του.

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας παράγει ηλεκτρική ενέργεια, και πιθανόν θερμότητα, για την ικανοποίηση ενός φορτίου που βρίσκεται πλησίον αυτού. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει οποιονδήποτε συνδυασμό συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και μπορεί να είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ή αυτόνομο. Το HOMER μπορεί να μοντελοποιήσει οποιαδήποτε από τα παρακάτω συστήματα, που μπορούν να αποτελούνται από:

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια.
- Ανεμογεννήτριες.
- Μικρά υδροηλεκτρικά έργα.
- Γεννήτριες βιομάζας.
- Παλινδρομικούς κινητήρες.
- Μικρογεννήτριες.
- Κυψέλες καυσίμου.
- Μπαταρίες.
-
- Αποθήκευση υδρογόνου.

Οι τρεις βασικές εργασίες που εκτελεί το HOMER και θα αναλυθούν παρακάτω, είναι η προσομοίωση, η βελτιστοποίηση και η ανάλυση ευαισθησίας.

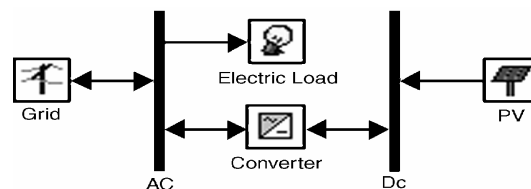
5.1.1 Προσομοίωση

Κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης, το HOMER μοντελοποιεί τη λειτουργία ενός συστήματος χρησιμοποιώντας όλους τους ενεργειακούς υπολογισμούς που έχουν γίνει για κάθε μια από τις 8.760 ώρες ενός έτους. Για κάθε ώρα, το HOMER πραγματοποιεί την σύγκριση της ωριαίας ζήτησης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με την αντίστοιχη ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Για τα συστήματα που περιλαμβάνουν μπαταρίες ή γεννήτριες (πετρελαιοκινητήρες, γεννήτριες βιομάζας, κλπ) το HOMER αποφασίζει επίσης για κάθε ώρα του έτους πώς θα ενεργοποιηθούν οι γεννήτριες ή πώς θα φορτιστούν και

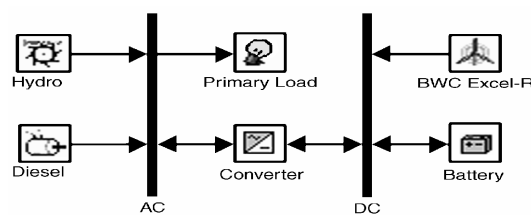
θα εκφορτιστούν οι μπαταρίες. Το HOMER εκτελεί αυτούς τους υπολογισμούς ενεργειακής ισορροπίας για κάθε συνδυασμό συστημάτων. Έπειτα καθορίζει εάν ένας συνδυασμός είναι εφικτός, δηλαδή εάν μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και εφόσον μπορεί, τότε υπολογίζει το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος αυτού καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του. Οι δαπάνες που λαμβάνοντας υπόψη για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους των συστημάτων είναι οι εξής :

- Το κόστος κεφαλαίου.
- Το κόστος αντικατάστασης και λειτουργίας.
- Το κόστος συντήρησης.

Στα Σχήματα 5.1 και 5.2 παρατίθενται ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα συστημάτων που μπορούν να προσομοιωθούν με το λογισμικό HOMER.



Σχήμα 5.1 : Σύστημα διασυνδεδεμένο με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που αποτελείται από φωτοβολταϊκό πλαίσιο, μπαταρία και μετατροπέα.



Σχήμα 5.2 : Απομονωμένο σύστημα που αποτελείται από ανεμογεννήτρια, νηξελογεννήτρια, μπαταρία, μικρό υδροηλεκτρικό σύστημα και μετατροπέα.

5.1.2 Βελτιστοποίηση

Μετά τη διαδικασία προσομοίωσης όλων των πιθανών συνδυασμών των συστημάτων ενέργειας, ακολουθεί η διαδικασία της βελτιστοποίησης κατά την οποία το HOMER επιδεικνύει έναν κατάλογο συνδυασμών που ταξινομούνται σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος. Ο κατάλογος αυτός δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να συγκρίνει τις επιλογές που έχουν γίνει προκειμένου να υιοθετηθεί το κατάλληλο σύστημα ενέργειας. Στον Πίνακα 5.1 φαίνονται τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης όλων των πιθανών συνδυασμών ενός συστήματος ενέργειας, τα οποία έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος.

Πίνακας 5.1 : Παράδειγμα αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης του HOMER. Τα αποτελέσματα είναι ταξινομημένα σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος (TotalNPC).

   	FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Diesel (L)	Gen (hrs)
   	1	135	64	30	\$ 216,500	\$ 849,905	0.273	75,107	4,528
   	2	135	64	30	\$ 346,500	\$ 854,660	0.274	54,434	3,350
   	1	135	48	30	\$ 200,500	\$ 855,733	0.275	78,061	4,910
   	2	135	48	30	\$ 330,500	\$ 856,335	0.275	57,654	3,685
   	2	135	32	30	\$ 314,500	\$ 873,322	0.280	62,394	4,139
   	2	135	96	60	\$ 401,000	\$ 878,370	0.282	48,139	2,603
   	2	135	64	60	\$ 369,000	\$ 880,421	0.282	52,999	3,195
  		135	64	30	\$ 86,500	\$ 885,175	0.284	101,290	5,528
   	1	135	96	30	\$ 248,500	\$ 887,379	0.285	74,193	4,346
  		135	48	30	\$ 70,500	\$ 888,528	0.285	104,009	6,067
   	1	135	32	30	\$ 184,500	\$ 889,688	0.285	85,310	5,615
   	2	135	96	30	\$ 378,500	\$ 890,504	0.286	52,442	3,136
   	2	135	48	60	\$ 353,000	\$ 891,896	0.286	57,316	3,615
   	2	135	32	60	\$ 337,000	\$ 905,959	0.291	62,312	4,080
   	2	135	128	60	\$ 433,000	\$ 907,508	0.291	45,596	2,226
   	1	135	64	60	\$ 239,000	\$ 911,667	0.292	77,753	4,613
  		135	96	30	\$ 118,500	\$ 912,410	0.293	101,003	5,330

Επίσης άλλος ένας χρήσιμος κατάλογος συνδυασμών που επιδεικνύει το HOMER είναι αυτός του Πίνακα 5.2, όπου παρουσιάζεται ο φθηνότερος οικονομικά συνδυασμός από κάθε ομάδα συνδυασμών συστημάτων ενέργειας.

Πίνακας 5.2 : Κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα βελτιστοποίησης του HOMER

   	FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Diesel (L)	Gen (hrs)
   	1	135	64	30	\$ 216,500	\$ 849,905	0.273	75,107	4,528
  		135	64	30	\$ 86,500	\$ 885,175	0.284	101,290	5,528
 		135			\$ 0	\$ 996,273	0.320	132,357	8,760
 	1	135			\$ 130,000	\$ 1,130,637	0.363	127,679	8,740

5.1.3 Ανάλυση ευαισθησίας

Κατά την ανάλυση ευαισθησίας το HOMER εκτελεί πολλαπλές προσομοιώσεις, όπου σε κάθε μία χρησιμοποιείται και διαφορετική τιμή μίας μεταβλητής εισόδου, η οποία ονομάζεται μεταβλητή ευαισθησίας. Σχεδόν κάθε αριθμητική μεταβλητή εισόδου στο HOMER που δεν είναι μεταβλητή απόφασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μεταβλητή ευαισθησίας. Επίσης ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εισάγει περισσότερες από μία μεταβλητές ευαισθησίας.

5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στην ενότητα αυτή εξετάζεται το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, σε βάθος σαράντα ετών, για το σύστημα που περιλαμβάνει τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, που περιγράφονται στην ενότητα 2.7 και παρουσιάζει τις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη που υπολογίστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Για την κάθε περίπτωση που εξετάστηκε στα Κεφάλαια 3 και 4, μελετάται η επίδραση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη, καθώς και του κόστους κεφαλαίου στην διαμόρφωση του καθαρού παρόντος κόστους. Ανακεφαλαιώνοντας οι περιπτώσεις που εξετάζονται είναι οι εξής:

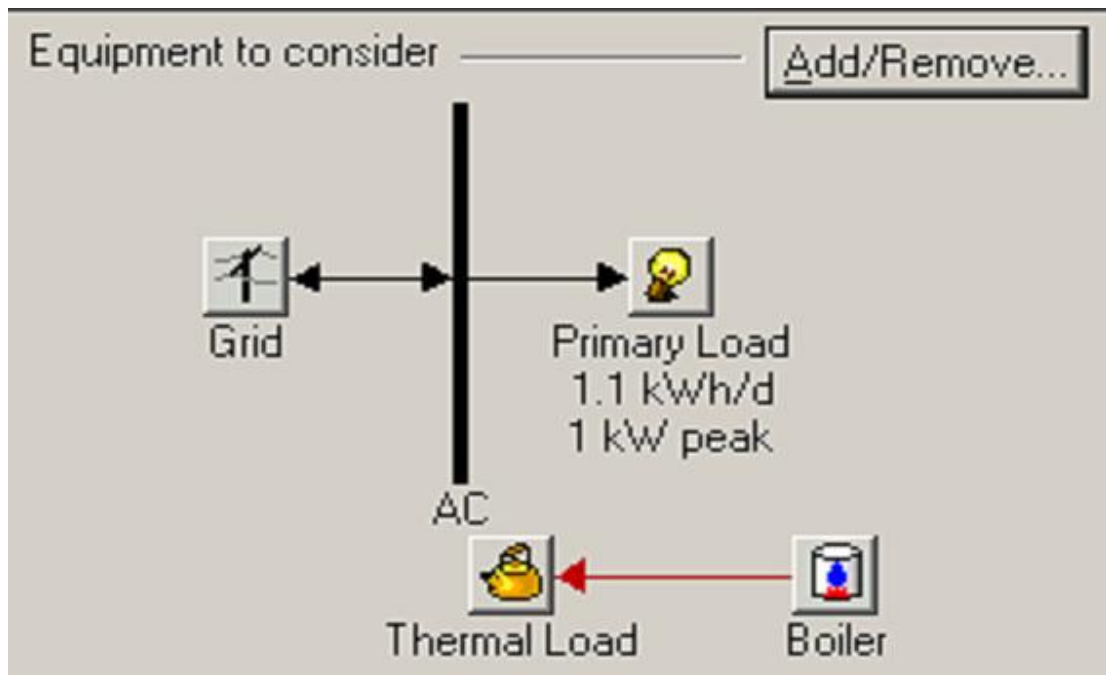
- Χρησιμοποιούνται οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου αναφοράς, όπως υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στις ενότητες 4.1 και 4.5.1.
- Χρησιμοποιούνται οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου αναφοράς, στην περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και χρησιμοποιείται θερμομόνωση, όπως υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στις ενότητες 4.2 και 4.5.2.
- Χρησιμοποιούνται οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου αναφοράς, στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα, όπως υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στις ενότητες 4.3 και 4.5.3.
- Χρησιμοποιούνται οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2, όπως υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στις ενότητες 4.4 και 4.5.4.

Για τις ανάγκες αυτής της εργασίας δημιουργήθηκαν τέσσερα προγράμματα στο λογισμικό HOMER, τα οποία προέκυψαν από τροποποίηση του πρώτου προγράμματος που δημιουργήθηκε για την μοντελοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου αναφοράς. Τα προγράμματα που δημιουργήθηκαν περιγράφονται παρακάτω.

5.2.1 Πρόγραμμα προσομοίωσης

Τα τέσσερα προγράμματα που δημιουργήθηκαν είναι πανομοιότυπα γι' αυτό και περιγράφονται μαζί. Όπως θα φανεί παρακάτω διαφέρουν μόνο ως προς την δεδομένα που εισάγονται στο κόστος κεφαλαίου και στα ηλεκτρικά και θερμικά

φορτία. Το σύστημα που δημιουργήθηκε στο HOMER αποτελείται από ένα λέβητα θέρμανσης που ικανοποιεί το θερμικό φορτίο και ένα ηλεκτρικό φορτίο που αναπαριστά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κλιματιστικού και ικανοποιείται από το δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (Σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3: Το σύστημα που δημιουργήθηκε στο HOMER.

Παρακάτω θα πραγματοποιηθεί η αναλυτική περιγραφή των στοιχείων που αποτελούν το σύστημα του σχήματος 5.3.

5.2.2 Λέβητας θέρμανσης

Ο λέβητας θέρμανσης (Boiler στο Σχήμα 5.3) ουσιαστικά αποτελεί αυτόν που περιγράφεται στην ενότητα 2.6. Τα δεδομένα που εισάγονται αφορούν το καύσιμο που χρησιμοποιείται και τον βαθμό θερμικής απόδοσης του λέβητα (Σχήμα 5.4). Το καύσιμο που επιλέγεται είναι το πετρέλαιο θέρμανσης (Diesel) και ο βαθμός θερμικής απόδοσης καθορίζεται στο 90 % που είναι και ο βαθμός απόδοσης του λέβητα που περιγράφεται στην ενότητα 2.6.

Boiler Inputs
File Edit Help

The boiler is an idealized component that can serve an unlimited thermal load at only the cost of fuel. Waste heat recovered from a generator reduces the fuel consumption of the boiler. Choose the fuel that is consumed by the boiler.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Fuel: Diesel Details... New... Delete

Efficiency (%): 90 {.}

Emissions factors

Carbon monoxide (g/L of fuel)	0 {.}
Unburned hydrocarbons (g/L of fuel)	0 {.}
Particulate matter (g/L of fuel)	0 {.}
Proportion of fuel sulfur converted to PM (%)	0 {.}
Nitrogen oxides (g/L of fuel)	0 {.}

Help Cancel OK

Σχήμα 5.4: Εισαγωγή των δεδομένων για τον λέβητα θέρμανσης.

5.2.3 Θερμικό φορτίο

Οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση που υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 4 εισάγονται στον διαχειριστή θερμικού φορτίου (Σχήμα 5.5).

Thermal Load Inputs
File Edit Help

Enter 24 hourly values and a scaled annual average value. To serve the thermal load with waste heat from a generator, open the Generator Inputs window and enter a nonzero value for the heat recovery ratio.

Each of the 24 values in the load table is the average thermal demand for a single hour of the day. The values in the table also appear on the graph. HOMER replicates this profile throughout the year unless you define different load profiles for different months or day types. For calculations, HOMER uses scaled data: baseline data scaled up or down to the scaled annual average value.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Label: Thermal Load Data source: ☐ Enter daily load profile(s) ☒ Import hourly data file Import File...

Baseline data

Hour	Load (kW)
00:00 - 01:00	1.092
01:00 - 02:00	0.219
02:00 - 03:00	0.015
03:00 - 04:00	0.037
04:00 - 05:00	0.045
05:00 - 06:00	0.070
06:00 - 07:00	0.089
07:00 - 08:00	1.037
08:00 - 09:00	1.544
09:00 - 10:00	0.595
10:00 - 11:00	0.402
11:00 - 12:00	0.374

Month: January Day type: Weekday

Load Profile (from basic_heat.txt)

Daily: 176 %
Hourly: 79.3 %

Scaled data for simulation

Annual average: 13.4 kWh/d
Annual peak: 4.92 kW
Load factor: 0.114

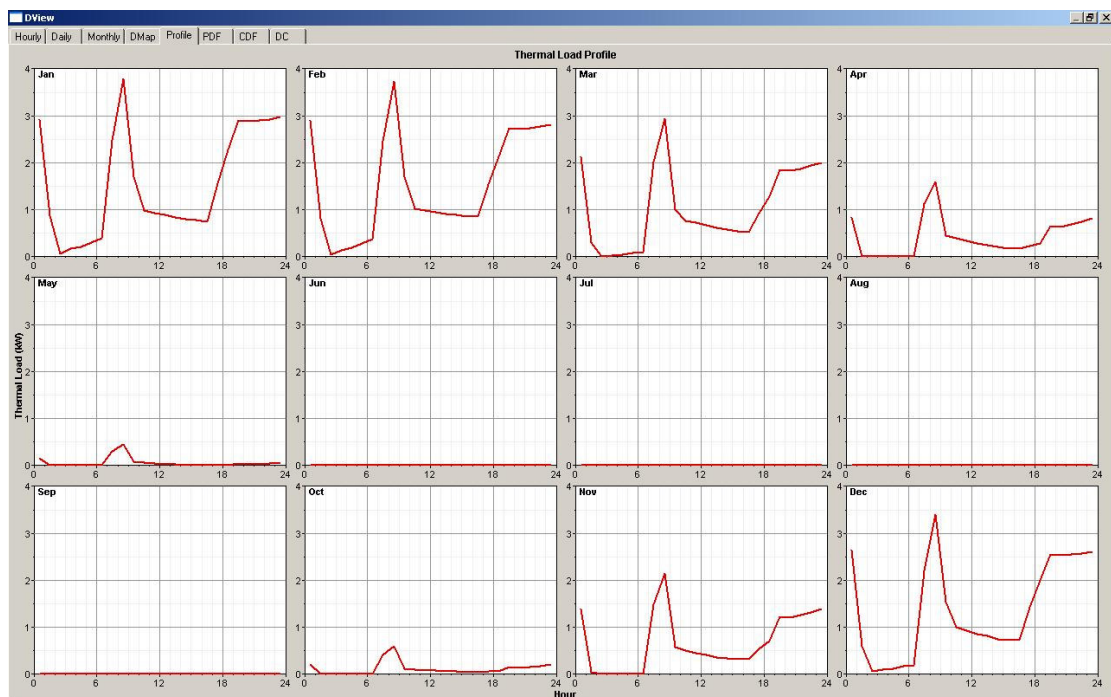
Scaled annual average (kWh/d): 13.4 {.}
Scaled peak: 4.92 kW

☐ Excess electricity can serve thermal load

Plot... Export... Help Cancel OK

Σχήμα 5.5: Εισαγωγή των δεδομένων για το θερμικό φορτίο.

Ανάλογα με την περίπτωση που εξετάζεται εισάγεται και το αντίστοιχο αρχείο, που περιέχει τα αποτελέσματα για το θερμικό φορτίο που προέκυψαν για την περίπτωση αυτή, από την μοντελοποίηση στο TRNSYS. Συγκεκριμένα για την περίπτωση όπου εξετάζεται το κτίριο αναφοράς, εισάγεται το αρχείο με την ονομασία `basic_heat.txt` που περιέχει τις ωριαίες τιμές του θερμικού φορτίου για όλη την διάρκεια του έτους που προέκυψαν από την προσομοίωση του κτιρίου αναφοράς στο TRNSYS (Ενότητες 4.1 και 4.5.1). Ομοίως αν εξετάζεται το κτίριο αναφοράς, στην περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και χρησιμοποιείται θερμομόνωση, εισάγεται το αρχείο με την ονομασία `thermalmass-insulation_heat.txt.`, αν εξετάζεται το κτίριο αναφοράς, στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα, εισάγεται το αρχείο με την ονομασία `greenroof_heat.txt` και τέλος στην περίπτωση όπου εξετάζεται το κτίριο που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2, εισάγεται το αρχείο με την ονομασία `passive_heat.txt`. Το HOMER επεξεργάζεται τις ωριαίες τιμές του θερμικού φορτίου που εισάγονται και δημιουργεί το αντίστοιχο προφίλ (Σχήμα 5.6).



Σχήμα 5.6: Προφίλ του θερμικού φορτίου για κάθε μήνα του έτους που δημιουργείται στο HOMER, στην περίπτωση που εισάγονται οι τιμές που υπολογίστηκαν για το κτίριο αναφοράς.

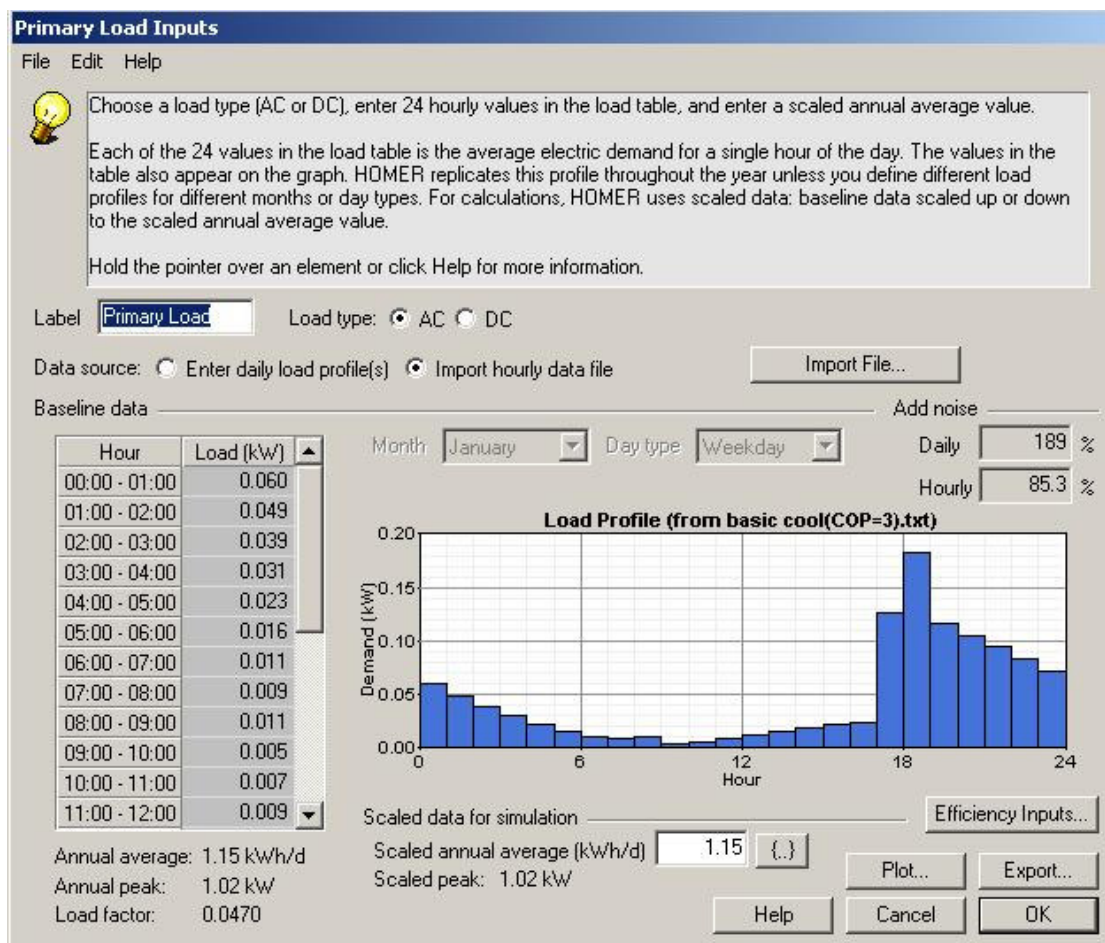
5.2.4 Ηλεκτρικό φορτίο

Το ηλεκτρικό φορτίο (Primary Load στο Σχήμα 5.3) αναπαριστά την ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κλιματιστικού για όλη την διάρκεια του έτους. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κλιματιστικού συσχετίζεται με τις ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό του κτιρίου μέσω της εξίσωσης [5.1]:

$$COP = Q_{ext} / W_{in}$$

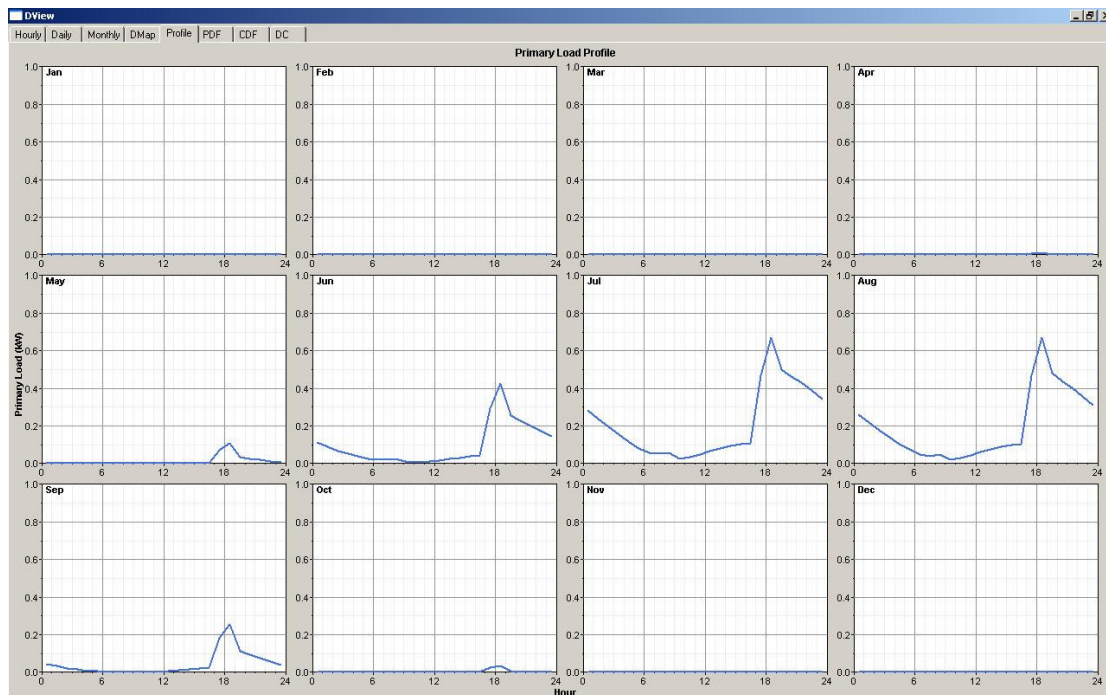
5.1

Όπου COP ο συντελεστής ενεργειακής απόδοσης του κλιματιστικού, Q_{ext} οι ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό του κτιρίου σε kWh και W_{in} η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κλιματιστικού σε kWh. Ο συντελεστής ενεργειακής απόδοσης είναι αδιάστατο μέγεθος και για το συγκεκριμένο κλιματιστικό που επιλέχτηκε έχει την τιμή 3 (Ενότητα 2.6). Με βάση τα παραπάνω, διαιρώντας τις ωριαίες τιμές του ψυκτικού φορτίου με τον αριθμό 3, που υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 4, προκύπτουν οι ωριαίες τιμές της ηλεκτρικής κατανάλωσης του κλιματιστικού για όλη την διάρκεια του έτους. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται τέσσερα αρχεία, ένα για την κάθε περίπτωση που εξετάζεται, τα οποία περιέχουν τις αντίστοιχες ωριαίες τιμές της ηλεκτρικής κατανάλωσης και εισάγονται στον διαχειριστή ηλεκτρικού φορτίου στο HOMER (Σχήμα 5.7). Το αρχείο με την ονομασία `basic_cool(COP=3).txt` περιέχει τις ωριαίες τιμές της ηλεκτρικής κατανάλωσης του κλιματιστικού για την περίπτωση του κτιρίου αναφοράς. Ομοίως, το αρχείο με την ονομασία `thermalmass-insulation_cool(COP=3).txt` περιέχει τις αντίστοιχες τιμές για την περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και θερμομόνωση, το αρχείο με την ονομασία `greenroof_cool(COP=3).txt` περιέχει τις αντίστοιχες τιμές για την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα και τέλος το αρχείο με την ονομασία `passive_cool(COP=3).txt` περιέχει τις αντίστοιχες τιμές για την περίπτωση του κτιρίου που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2.



Σχήμα 5.7: Εισαγωγή των δεδομένων για το ηλεκτρικό φορτίο.

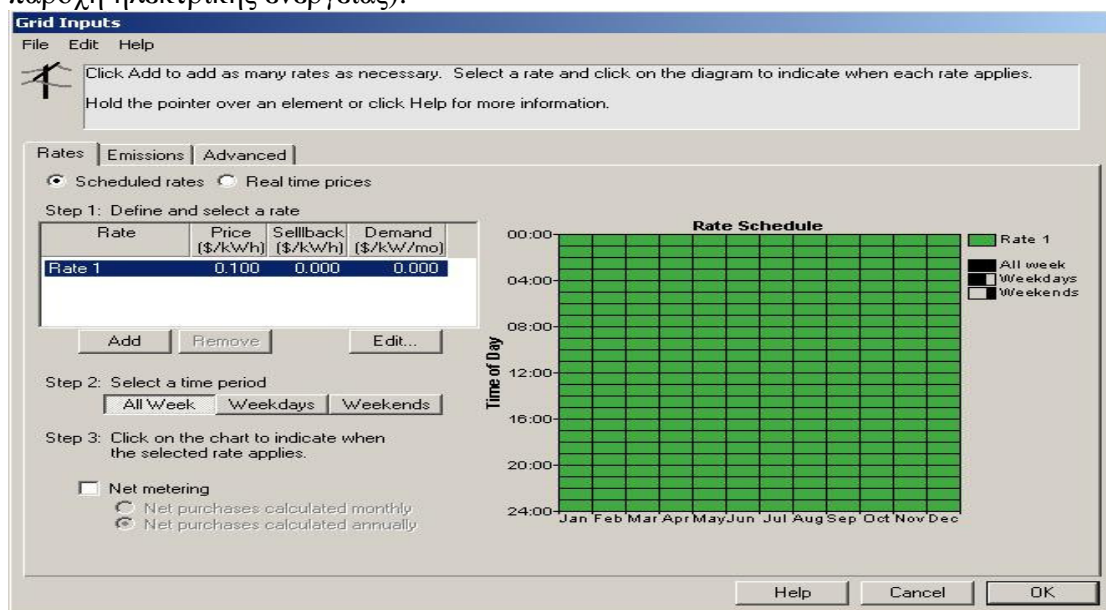
Όπως με το θερμικό φορτίο έτσι και με το ηλεκτρικό φορτίο το HOMER επεξεργάζεται τις ωριαίες τιμές που εισάγονται και δημιουργεί το αντίστοιχο προφίλ (Σχήμα 5.8).



Σχήμα 5.8: Προφίλ του ηλεκτρικού φορτίου για κάθε μήνα του έτους που δημιουργείται στο HOMER, στην περίπτωση που εισάγονται οι τιμές που υπολογίστηκαν για το κτίριο αναφοράς.

5.2.5 Δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος

Στον διαχειριστή του δικτύου παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (Σχήμα 5.9) καθορίζεται το κόστος της κιλοβατώρας (kWh) που παρέχεται από το δίκτυο για την ικανοποίηση του ηλεκτρικού φορτίου, καθώς και η μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να ικανοποιηθεί (αφορά δίκτυα περιορισμένης δυνατότητας για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας).



Σχήμα 5.9: Εισαγωγή των δεδομένων του δικτύου παροχής ηλεκτρικού ρεύματος στο HOMER.

Το κόστος της κιλοβατώρας ορίζεται ως μεταβλητή ευαισθησίας (Ενότητα 5.1.3). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές που εισάγονται για το κόστος της κιλοβατώρας και χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση ξεχωριστών προσομοιώσεων (Πίνακας 5.3).

Πίνακας 5.3: Οι τιμές που εισάγονται για την μεταβλητή ευαισθησίας (κόστος κιλοβατώρας).

Προσομοίωση	Κόστος κιλοβατώρας (Ευρώ/kWh)
1	0,10
2	0,15
3	0,20

Το κόστος της κιλοβατώρας αποτελεί μία μεταβλητή που παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις κατά την πάροδο του χρόνου. Δεδομένου ότι μελετάται το σύστημα με διάρκεια ζωής σαράντα ετών, που είναι περίπου και η διάρκεια ζωής του κτιρίου, ο ορισμός του κόστους της κιλοβατώρας ως μεταβλητή ευαισθησίας πραγματοποιείται ώστε να είναι δυνατή η μελέτη του συστήματος σε μία ενδεχόμενη αύξηση του. Με αυτόν τον τρόπο, εξετάζεται η περίπτωση όπου η τιμή της κιλοβατώρας αυξάνεται κατά 50 %, καθώς και η ακραία περίπτωση όπου αυξάνεται κατά 100 %.

5.2.6 Καύσιμα

Στον διαχειριστή πόρων περιέχονται όλες οι ρυθμίσεις που αφορούν τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στο σύστημα. Στο παρόν σύστημα το μόνο καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι το πετρέλαιο θέρμανσης (Diesel) και η μεταβλητή που καθορίζεται από τον χρήστη είναι το κόστος του σε ευρώ/λίτρο (Σχήμα 5.10).

Σχήμα 5.10: Εισαγωγή των δεδομένων για το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης

Όπως και το κόστος της κιλοβατώρας, το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης αποτελεί μία μεταβλητή που παρουσιάζει τεράστιες μεταβολές κατά την πάροδο του χρόνου. Ο καθορισμός του κόστους του πετρελαίου θέρμανσης ως μεταβλητή ευαισθησίας,

κρίνεται απαραίτητος για την ορθολογική μελέτη του συστήματος. Ο παρακάτω πίνακας περιέχει τις τιμές που εισάγονται για το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης (Πίνακας 5.4).

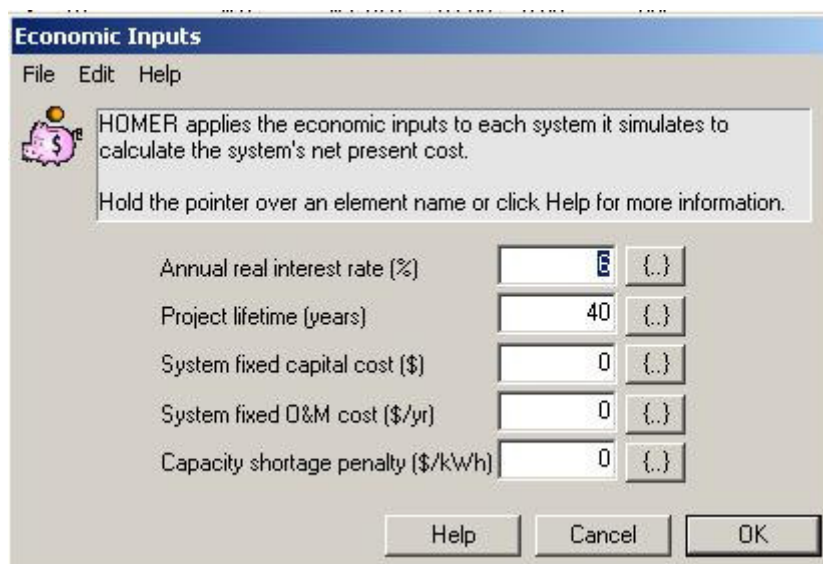
Πίνακας 5.4: Οι τιμές που εισάγονται για την μεταβλητή ευαισθησίας (κόστος πετρελαίου θέρμανσης).

Προσομοίωση	Κόστος πετρελαίου θέρμανσης (Ευρώ/Λίτρο)
1	0,70
2	0,85
3	1,00
4	1,40

Αρχικά εξετάζεται η περίπτωση όπου το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης είναι αυτό που παρουσιάζεται, κατά μέσο όρο, στο δεύτερο εξάμηνο του 2008 (0,70 ευρώ/λίτρο). Στην συνέχεια μελετώνται οι περιπτώσεις όπου το κόστος αυξάνεται και εμφανίζει τις τιμές 0,85 και 1,00 ευρώ/λίτρο. Τέλος εξετάζεται η ακραία περίπτωση, αλλά όχι και ουτοπική, δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής του συστήματος είναι τα 40 έτη, όπου το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης αυξάνεται κατά 100 % (1,4 ευρώ/λίτρο).

5.2.7 Οικονομικές παράμετροι

Οι υπόλοιπες οικονομικές παράμετροι που αφορούν το σύστημα εισάγονται στον διαχειριστή οικονομικών δαπανών (Σχήμα 5.11). Συγκεκριμένα, εισάγονται το κόστος κεφαλαίου του συστήματος, το κόστος συντήρησης, η διάρκεια ζωής του συστήματος και το επιτόκιο προεξόφλησης. Η διάρκεια ζωής του συστήματος καθορίζεται στα 40 έτη και το επιτόκιο προεξόφληση στο 6 %.



Σχήμα 5.11: Εισαγωγή οικονομικών δαπανών.

Στην παρούσα εργασία μελετάται η διαφορά του καθαρού παρόντος κόστους μεταξύ των συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας σε βάθος σαράντα ετών. Γι' αυτόν τον λόγο, δεν υπολογίζονται κόστη, είτε αρχικά κόστη (κόστη κεφαλαίου), είτε κόστη λειτουργίας ή συντήρησης σε ετήσια βάση, τα οποία είναι κοινά σε όλα τα σενάρια

(π.χ. κόστος για τα μπετά, κλπ). Λαμβάνεται υπόψη μόνο η διαφοροποίηση στο καθαρό παρόν κόστος που μπορεί να προκύψει από τα εναλλακτικά σενάρια. Αυτή η διαφοροποίηση μπορεί να οφείλεται σε διαφορετικά αρχικά κόστη (κόστη κεφαλαίου) συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που διαφοροποιούνται στα εναλλακτικά σενάρια (π.χ. ύπαρξη ή όχι φυτεμένου δώματος), καθώς και σε διαφορετικά ετήσια κόστη λειτουργίας καθ' όλη τη διάρκεια του έργου (π.χ. απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου λέβητα για σπίτια με διαφορετικό θερμικό φορτίο, κόστος ηλεκτρικού ρεύματος για κλιματισμό σε σενάρια που το ψυκτικό φορτίο είναι διαφορετικό, κλπ). Με βάση τα παραπάνω θεωρείται ότι το κτίριο αναφοράς έχει μηδενικό κόστος κεφαλαίου. Στην περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και θερμομόνωση, το κόστος κεφαλαίου του συστήματος είναι ίσο με το κόστος κατασκευής της δρομικής τοιχοποιίας και της θερμομόνωσης. Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα, το κόστος κεφαλαίου του συστήματος είναι ίσο με το κόστος κατασκευής του φυτεμένου δώματος. Το κόστος κεφαλαίου του κτιρίου, το οποίο περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2, θεωρείται ότι είναι ίσο με το κόστος κατασκευής του φυτεμένου δώματος, της δρομικής τοιχοποιίας και της θερμομόνωσης μαζί. Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα κόστη που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό του κόστους κεφαλαίου του κάθε συστήματος.

5.2.7.1 Διαμόρφωση του κόστους κεφαλαίου για την περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και θερμομόνωση

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το κόστος κεφαλαίου που εισάγεται στον διαχειριστή οικονομικών δαπανών για την περίπτωση αυτή, ισούται με το συνολικό κόστος κατασκευής της δρομικής τοιχοποιίας και της θερμομόνωσης. Το συνολικό κόστος κατασκευής προκύπτει από το άθροισμα του κόστους κτήσης των υλικών, από τα οποία αποτελείται, και του κόστους εργασίας που απαιτείται για την κατασκευή του. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται όλα τα προαναφερθέντα κόστη (Πίνακες 5.5-5.9).

Πίνακας 5.5: Κόστος υλικών της θερμομόνωσης.

	Εμβαδό επιφάνειας που χρησιμοποιείται το υλικό (m²)	Κόστος υλικών συν Φ.Π.Α. (Ευρώ/m²)	Συνολικό κόστος υλικών (Ευρώ)
Θερμομόνωση	118,4	4,36	516,224

Πίνακας 5.6: Κόστος εργασίας που απαιτείται για την τοποθέτηση της θερμομόνωσης.

	Εμβαδό επιφάνειας (m²)	Απαιτούμενες εργατοώρες για την τοποθέτηση ενός m²	Κόστος εργατοώρας (Ευρώ)	Κόστος εργασίας (Ευρώ)
Θερμομόνωση	118,4	1,4	10	1657,6

Πίνακας 5.7: Κόστος υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή της δρομικής τοιχοποιίας.

	Εμβαδό επιφάνειας που χρησιμοποιείται το υλικό (m ²)	Κόστος υλικών συν Φ.Π.Α. (Ευρώ/m ²)	Συνολικό κόστος υλικών (Ευρώ)
Δρομική τοιχοποιία	89,6	13,5	1209,6

Πίνακας 5.8: Κόστος εργασίας που απαιτείται για την κατασκευή της δρομικής τοιχοποιίας.

	Εμβαδό επιφάνειας (m ²)	Απαιτούμενες εργατοώρες για την κατασκευή ενός m ²	Κόστος εργατοώρας (Ευρώ)	Κόστος εργασίας (Ευρώ)
Δρομική τοιχοποιία	89,6	1,9	10	1702,4

Πίνακας 5.9: Συνολικό κόστος κατασκευής της δρομικής τοιχοποιίας και της θερμομόνωσης.

	Κόστος εργασίας (Ευρώ)	Συνολικό κόστος υλικών (Ευρώ)	Συνολικό κόστος κατασκευής (Ευρώ)
Δρομική τοιχοποιία	1702,4	1209,6	2912
Θερμομόνωση	1657,6	516,224	2173,824
ΣΥΝΟΛΟ			5085,24

Με βάση τους παραπάνω πίνακες το κόστος κεφαλαίου που εισάγεται στο HOMER για την περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και θερμομόνωση διαμορφώνεται στα 5085,24 ευρώ.

5.2.7.2 Διαμόρφωση του κόστους κεφαλαίου για την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται το συνολικό κόστος κατασκευής του φυτεμένου δώματος, το οποίο αποτελεί το κόστος κεφαλαίου για την περίπτωση αυτή. Οι παρακάτω πίνακες περιέχουν τα κόστη εργασίας και υλικών και το συνολικό κόστος κατασκευής του φυτεμένου δώματος (Πίνακες 5.10, 5.11 και 5.12).

Πίνακας 5.10: Κόστος υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή του φυτεμένου δώματος.

Υλικό	Εμβαδό επιφάνειας που χρησιμοποιείται το υλικό (m ²)	Κόστος υλικών συν Φ.Π.Α. (Ευρώ/m ²)	Συνολικό κόστος υλικών (Ευρώ)
Εξηλασμένη πολυστερίνη	48	8,75	420
Γεώφασμα	96	0,5	48
Πίσσα	48	2,55	122,4
Αντιριζική μεμβράνη	54,4	8,5	462,4
Ασφαλτικό αστάρι	48	0,56	26,88
ΣΥΝΟΛΟ			1079,68

Υλικό	Όγκος που χρησιμοποιείται το υλικό (m ³)	Κόστος υλικών συν Φ.Π.Α. (ευρώ/m ³)	Συνολικό κόστος υλικών (Ευρώ)
Χώμα	14,4	14	201,6
Χαλίκι	4,8	40	192
ΣΥΝΟΛΟ			393,6

Πίνακας 5.11: Κόστος εργασίας που απαιτείται για την κατασκευή του φυτεμένου δώματος.

	Εμβαδό επιφάνειας (m ²)	Απαιτούμενες εργατοώρες για την κατασκευή ενός m ²	Κόστος εργατοώρας (Ευρώ)	Κόστος εργασίας (Ευρώ)
Φυτεμένο δώμα	48	1,5	10	720

Πίνακας 5.12: Συνολικό κόστος κατασκευής του φυτεμένου δώματος.

	Κόστος εργασίας (Ευρώ)	Συνολικό κόστος υλικών (Ευρώ)	Συνολικό κόστος κατασκευής (Ευρώ)
Φυτεμένο δώμα	720	1473,28	2193,28

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι στο κόστος του χαλικιού και στο κόστος του χώματος συμπεριλαμβάνεται το κόστος τοποθέτησης τους στο δώμα του κτιρίου (σάκιασμα σκύρων, κόστος γερανού κ.λ.π.). Από τον παραπάνω πίνακες προκύπτει το συνολικό κόστος κατασκευής του φυτεμένου δώματος διαμορφώνεται στα 2193,28 ευρώ και το οποίο αποτελεί το κόστος κεφαλαίου που εισάγεται στο HOMER για την περίπτωση αυτή.

5.2.7.3 Διαμόρφωση κόστους κεφαλαίου για την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα, θερμομόνωση και προστίθεται θερμική μάζα

Το συνολικό κόστος κατασκευής σε αυτήν την περίπτωση αποτελείται από το άθροισμα του κόστους κατασκευής των δύο παραπάνω περιπτώσεων. Ο παρακάτω πίνακας περιέχει το συνολικό κόστος κατασκευής για την περίπτωση αυτή (Πίνακας 5.13).

Πίνακας 5.13: Συνολικό κόστος κατασκευής για την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα, θερμομόνωση και προστίθεται θερμική μάζα.

	Συνολικό κόστος κατασκευής (Ευρώ)
Φυτεμένο δώμα	2193,28
Δρομική τοιχοποιία	2912
Θερμομόνωση	2173,824
ΣΥΝΟΛΟ	7278,52

Το κόστος κεφαλαίου που εισάγεται στο HOMER, για την περίπτωση που μελετάται το κτίριο που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2, διαμορφώνεται στα 7278,52 ευρώ.

Συνοψίζοντας, το κόστος κεφαλαίου που εισάγεται στο HOMER για την κάθε περίπτωση, παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.14).

Πίνακας 5.14: Κόστος κεφαλαίου ανάλογα με την περίπτωση που εξετάζεται.

Περίπτωση που εξετάζεται	Κόστος κεφαλαίου (Ευρώ)
Κτίριο αναφοράς	0
Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης	5085,24
Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	2193,28
Πρόσθεση θερμικής μάζας, θερμομόνωσης και χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	7278,52

5.2.8 Εκπομπές του συστήματος

Στον διαχειριστή εκπομπών εισάγονται όλοι οι αέριοι ρύποι που λειτουργούν επιβαρυντικά για το περιβάλλον. Οι εκπομπές αυτές είναι απόρροια της καύσης του πετρελαίου από τον λέβητα θέρμανσης και της καύσης που πραγματοποιείται στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή της απαιτούμενης από το κλιματιστικό ηλεκτρικής ενέργειας. Στην πλειονότητά τους, οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται στην περιοχή της Κρήτης χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη το πετρέλαιο και με βάση το γεγονός αυτό, εισάγονται και οι αντίστοιχες εκπομπές. Επίσης, στο HOMER οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες προέρχονται από την καύση του πετρελαίου, υπολογίζονται από την αφαίρεση των εκπομπών του μονοξειδίου του άνθρακα και των άκαυστων υδρογονανθράκων από τις συνολικές εκπομπές που οφείλονται στην καύση του άνθρακα που περιέχεται σε αυτό. Ακολούθως εμφανίζονται οι πίνακες, στους οποίους παρουσιάζονται όλες οι εκπομπές του λέβητα θέρμανσης (Πίνακας 5.15) και του δικτύου (Πίνακας 5.16) που εισάγονται.

Πίνακας 5.15: Εκπομπές του λέβητα θέρμανσης.

Εκπομπές	Ποσότητα (g/L)
Μονοξείδιο του άνθρακα	6,5
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες	0,72
Αιωρούμενα σωματίδια	0,49
Οξείδια του αζώτου	58

Πίνακας 5.16: Εκπομπές του δικτύου.

Εκπομπές	Ποσότητα (g/kWh)
Διοξείδιο του άνθρακα	632
Διοξείδιο του θείου	2,74
Διοξείδιο του αζώτου	1,34

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο HOMER πραγματοποιείται η θεώρηση ότι ο άνθρακας στο πετρέλαιο παρουσιάζει την εξής κατανομή:

- Διοξείδιο του άνθρακα: 99,5 %.
- Μονοξείδιο του άνθρακα: 0,4 %.
- Άκαυστοι υδρογονάνθρακες: 0,1 %.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 5^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [5.1] Moncef Krarti, ‘‘Energy Audit Of Building Systems’’ CRC Press, LLC, 2000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Στην ενότητα αυτή πραγματοποιείται αναλυτικός προσδιορισμός του καθαρού παρόντος κόστους του συστήματος που αποτελείται από τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου αναφοράς (περιγράφεται στην ενότητα 3.3), σε βάθος σαράντα ετών. Εισάγονται οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και δροσισμό του κτιρίου όπως αυτές υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στις ενότητες 4.1 και 4.5.1. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης, καθώς και οι τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές ευαισθησίας για κάθε προσομοίωση που πραγματοποιείται (Πίνακας 6.1).

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα βελτιστοποίησης που προκύπτουν από την μοντελοποίηση με το λογισμικό HOMER, για την περίπτωση του κτιρίου αναφοράς.

Κόστος πετρελαίου θέρμανσης (Ευρώ/Λίτρο)	Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης (Λίτρα)	Κόστος κιλοβατώρας (Ευρώ/kWh)	Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Κόστος κεφαλαίου (Ευρώ)	Καθαρό παρόν κόστος (Ευρώ)
0,7	552	0,10	632	0	6446
0,7	552	0,15	632	0	6762
0,7	552	0,20	632	0	7078
0,85	552	0,10	632	0	7692
0,85	552	0,15	632	0	8008
0,85	552	0,20	632	0	8323
1,00	552	0,10	632	0	8938
1,00	552	0,15	632	0	9254
1,00	552	0,20	632	0	9569
1,40	552	0,10	632	0	12260
1,40	552	0,15	632	0	12576
1,40	552	0,20	632	0	12892

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο το κόστος κεφαλαίου για την περίπτωση του κτιρίου αναφοράς θεωρείται μηδενικό. Οι τιμές που υπολογίζονται για

το καθαρό παρόν κόστος προκύπτουν από την κατανάλωση πετρελαίου από τον λέβητα θέρμανσης και από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό. Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης από τον λέβητα θέρμανσης είναι 552 λίτρα και η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό είναι 632 kWh.

Επίσης υπολογίζονται οι ετήσιες οι εκπομπές του συστήματος σε αυτήν την περίπτωση, οι οποίες παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 6.2).

Πίνακας 6.2: Ετήσιες εκπομπές του συστήματος

Εκπομπές	Ποσότητα (kg/έτος)
Διοξείδιο του άνθρακα	1719
Μονοξείδιο του άνθρακα	3,59
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες	0,397
Διοξείδιο του θείου	4,07
Οξείδια του αζώτου	32,6

6.2 ΠΡΟΣΘΕΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ

Στην περίπτωση αυτή προστίθεται η δομική τοιχοποιία και η θερμομόνωση στο κέλυφος του κτιρίου, όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2. Πραγματοποιείται αναλυτικός προσδιορισμός του καθαρού παρόντος κόστους του συστήματος, σε βάθος σαράντα ετών, που προκύπτει από την εισαγωγή των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου, οι οποίες παρουσιάζονται στις ενότητες 4.2 και 4.5.2. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης, καθώς και οι τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές ευαισθησίας για κάθε προσομοίωση που πραγματοποιείται (Πίνακας 6.3).

Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα βελτιστοποίησης που προκύπτουν από την μοντελοποίηση με το λογισμικό HOMER, για την περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και θερμομόνωση.

Κόστος πετρελαίου θέρμανσης (Ευρώ/Λίτρο)	Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης (Λίτρα)	Κόστος κιλοβατώρας (Ευρώ/kWh)	Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Κόστος κεφαλαίου (Ευρώ)	Καθαρό παρόν κόστος (Ευρώ)
0,7	165	0,10	873	5085,24	7694
0,7	165	0,15	873	5085,24	8130
0,7	165	0,20	873	5085,24	8567
0,85	165	0,10	873	5085,24	8065
0,85	165	0,15	873	5085,24	8502

0,85	165	0,20	873	5085,24	8939
1,00	165	0,10	873	5085,24	8437
1,00	165	0,15	873	5085,24	8874
1,00	165	0,20	873	5085,24	9310
1,40	165	0,10	873	5085,24	9429
1,40	165	0,15	873	5085,24	9865
1,40	165	0,20	873	5085,24	10302

Το κόστος κεφαλαίου σε αυτήν την περίπτωση θεωρείται ίσο με το κόστος κατασκευής της δρομικής τοιχοποιίας και της θερμομόνωσης (5985,24 ευρώ, ενότητα 5.2.7.1). Οι τιμές που υπολογίζονται για το καθαρό παρόν κόστος προκύπτουν από την κατανάλωση πετρελαίου από τον λέβητα θέρμανσης, από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό και από το κόστος κεφαλαίου που εισάχθηκε για αυτήν την περίπτωση. Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης από τον λέβητα θέρμανσης είναι 165 λίτρα και η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό είναι 873 kWh. Επίσης υπολογίζονται οι ετήσιες οι εκπομπές του συστήματος σε αυτήν την περίπτωση, οι οποίες παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 6.4).

Πίνακας 6.4: Ετήσιες εκπομπές του συστήματος

Εκπομπές	Ποσότητα (kg/έτος)
Διοξείδιο του άνθρακα	801
Μονοξείδιο του άνθρακα	1,07
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες	0,119
Διοξείδιο του θείου	2,46
Οξείδια του αζώτου	10,3

6.3 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ

Χρησιμοποιείται το φυτεμένο δώμα που περιγράφεται στην ενότητα 2.5. Πραγματοποιείται αναλυτικός προσδιορισμός του καθαρού παρόντος κόστους του συστήματος, σε βάθος σαράντα ετών, που προκύπτει από την εισαγωγή των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και δροσισμό του κτιρίου όπως αυτές παρουσιάζονται στις ενότητες 4.3 και 4.5.3. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης, καθώς και οι τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές ευαισθησίας για κάθε προσομοίωση που πραγματοποιείται (Πίνακας 6.5).

Πίνακας 6.5: Αποτελέσματα βελτιστοποίησης που προκύπτουν από την μοντελοποίηση με το λογισμικό HOMER, για την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα.

Κόστος πετρελαίου θέρμανσης (Ευρώ/Λίτρο)	Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης (Λίτρα)	Κόστος κιλοβατώρας (Ευρώ/kWh)	Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Κόστος κεφαλαίου (Ευρώ)	Καθαρό παρόν κόστος (Ευρώ)
0,7	573	0,10	548	2193,28	8772
0,7	573	0,15	548	2193,28	9046
0,7	573	0,20	548	2193,28	9320
0,85	573	0,10	548	2193,28	10065
0,85	573	0,15	548	2193,28	10338
0,85	573	0,20	548	2193,28	10612
1,00	573	0,10	548	2193,28	11357
1,00	573	0,15	548	2193,28	11631
1,00	573	0,20	548	2193,28	11905
1,40	573	0,10	548	2193,28	14803
1,40	573	0,15	548	2193,28	15077
1,40	573	0,20	548	2193,28	15351

Το κόστος κεφαλαίου θεωρείται ίσο με το κόστος κατασκευής του φυτεμένου δώματος (2193,28 ευρώ, ενότητα 5.2.7.2). Οι τιμές που υπολογίζονται για το καθαρό παρόν κόστος προκύπτουν από την κατανάλωση πετρελαίου από τον λέβητα θέρμανσης, από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό και από το κόστος κεφαλαίου που εισάχθηκε για αυτήν την περίπτωση. Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης από τον λέβητα θέρμανσης είναι 573 λίτρα και η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό είναι 548 kWh. Επίσης υπολογίζονται οι ετήσιες οι εκπομπές του συστήματος σε αυτήν την περίπτωση, οι οποίες παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 6.6).

Πίνακας 6.6: Ετήσιες εκπομπές του συστήματος

Εκπομπές	Ποσότητα (kg/έτος)
Διοξείδιο του άνθρακα	1738
Μονοξείδιο του άνθρακα	3,72
Ακαυστοι υδρογονάνθρακες	0,412

Διοξείδιο του θείου	4,03
Οξείδια του αζώτου	33,7

6.4 ΠΡΟΣΘΕΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ

Σε αυτήν την περίπτωση μελετάται η κατοικία, η οποία περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2. Συγκεκριμένα, προστίθεται η δρομική τοιχοποιία και η θερμομόνωση, καθώς και χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα. Πραγματοποιείται υπολογισμός του καθαρού παρόντος κόστους του συστήματος, σε βάθος σαράντα ετών, που προκύπτει από την εισαγωγή των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και δροσισμό του κτιρίου, οι οποίες παρουσιάζονται στις ενότητες 4.4 και 4.5.4. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης, καθώς και οι τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές ευαισθησίας για κάθε προσομοίωση που πραγματοποιείται (Πίνακας 6.7).

Πίνακας 6.7: Αποτελέσματα βελτιστοποίησης που προκύπτουν από την μοντελοποίηση με το λογισμικό HOMER, για την περίπτωση της κατοικίας που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2.

Κόστος πετρελαίου θέρμανσης (Ευρώ/Λίτρο)	Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης (Λίτρα)	Κόστος κιλοβατώρας (Ευρώ/kWh)	Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Κόστος κεφαλαίου (Ευρώ)	Καθαρό παρόν κόστος (Ευρώ)
0,7	186	0,10	742	7278,52	9977
0,7	186	0,15	742	7278,52	10348
0,7	186	0,20	742	7278,52	10719
0,85	186	0,10	742	7278,52	10396
0,85	186	0,15	742	7278,52	10767
0,85	186	0,20	742	7278,52	11138
1,00	186	0,10	742	7278,52	10816
1,00	186	0,15	742	7278,52	11186
1,00	186	0,20	742	7278,52	11557
1,40	186	0,10	742	7278,52	11934
1,40	186	0,15	742	7278,52	12304
1,40	186	0,20	742	7278,52	12675

Στην περίπτωση αυτή το κόστος κεφαλαίου θεωρείται ίσο με το κόστος κατασκευής του φυτεμένου δώματος, της δομικής τοιχοποιίας και της θερμομόνωσης (7278,52 ευρώ, ενότητα 5.2.7.3). Οι τιμές που υπολογίζονται για το καθαρό παρόν κόστος προκύπτουν από την κατανάλωση πετρελαίου από τον λέβητα θέρμανσης, από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό και από το κόστος κεφαλαίου που εισάχθηκε για αυτήν την περίπτωση. Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης από τον λέβητα θέρμανσης είναι 186 λίτρα και η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό είναι 742 kWh. Επίσης υπολογίζονται οι ετήσιες οι εκπομπές του συστήματος σε αυτήν την περίπτωση, οι οποίες παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 6.8).

Πίνακας 6.8: Ετήσιες εκπομπές του συστήματος

Εκπομπές	Ποσότητα (kg/έτος)
Διοξείδιο του άνθρακα	801
Μονοξείδιο του άνθρακα	1,21
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες	0,134
Διοξείδιο του θείου	2,33
Οξείδια του αζώτου	1,74

6.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.5.1 Κτίριο αναφοράς

Από την μοντελοποίηση του κτιρίου αναφοράς, το οποίο περιγράφεται στην ενότητα 3.3, προκύπτουν σημαντικά αποτελέσματα για το κόστος θέρμανσης και το κόστος δροσισμού του. Οι αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση που εμφανίζει το κτίριο αναφοράς (Ενότητες 4.1 και 4.5.1) έχουν σαν αποτέλεσμα την υψηλή κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης, το οποίο αποτελεί το καύσιμο του λέβητα θέρμανσης. Η ετήσια κατανάλωση του λέβητα θέρμανσης ανέρχεται στα 552 λίτρα πετρελαίου (Πίνακας 6.1). Αντίθετα το κτίριο αναφοράς παρουσιάζει μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις για τον δροσισμό του (26,179 kWh/m²), γεγονός που οδηγεί σε χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό, το οποίο και αποτελεί το σύστημα ψύξης του. Η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό ανέρχεται στις 632 kWh. Το κόστος κεφαλαίου για την περίπτωση του κτιρίου αναφοράς θεωρείται ότι είναι μηδενικό (Ενότητα 5.2.7) και λόγω αυτού, η διαμόρφωση του καθαρού παρόντος κόστους εξαρτάται αποκλειστικά από τις τιμές που εισάγονται σε κάθε προσομοίωση για τις δύο μεταβλητές ευαισθησίας, το κόστος της κιλοβατώρας και το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης. Για την καλύτερη ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται ο διαχωρισμός τους ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές ευαισθησίας. Στον παρακάτω πίνακα περιγράφεται ο τρόπος που πραγματοποιείται αυτός ο διαχωρισμός (Πίνακας 6.9).

Πίνακας 6.9: Διαχωρισμός των αποτελεσμάτων ανάλογα με τις τιμές των μεταβλητών ευαισθησίας που εισάγονται.

<u>Λιγότερο πιθανό σενάριο</u>		<u>Πιθανό σενάριο</u>		<u>Αρκετά πιθανό σενάριο</u>	
Κόστος κιλοβατώρας (Ευρώ)	Κόστος Πετρελαίου (Ευρώ/λίτρο)	Κόστος κιλοβατώρας (Ευρώ)	Κόστος Πετρελαίου (Ευρώ/λίτρο)	Κόστος κιλοβατώρας (Ευρώ)	Κόστος Πετρελαίου (Ευρώ/λίτρο)
0,10	0,70	0,10	0,85	0,15	0,85
0,10	1,40	0,10	1,00	0,15	1,00
0,20	0,70	0,15	0,70		
0,20	1,40	0,15	1,40		
		0,20	0,85		
		0,20	1,00		

Λόγω της εξάντλησης των αποθεμάτων πετρελαίου, τα επόμενα χρόνια αναμένεται αύξηση της τιμής του, γεγονός που συνεπάγεται στην αύξηση της τιμής της κιλοβατώρας. Τα ζεύγη των τιμών που κατατάσσονται στο λιγότερο πιθανό σενάριο, είτε δεν προβλέπουν την αύξηση αυτή (0,10-0,70), είτε θεωρούνται ακραίες αυξήσεις (0,20-1,40), είτε προβλέπουν την ακραία αύξηση μίας μόνο τιμής, χωρίς να αυξάνεται η άλλη (0,10-1,40 και 0,20-0,70). Τα ζεύγη των τιμών που κατατάσσονται στο πιθανό σενάριο, είτε προβλέπουν χαμηλές αυξήσεις της μίας τιμής, χωρίς να αυξάνεται η άλλη (0,10-0,85, 0,10-1,00 και 0,15-0,70), είτε προβλέπουν ακραίες αυξήσεις της μίας μεταβλητής, με χαμηλή αύξηση της άλλης (0,15-1,40, 0,20-0,85 και 0,20-1,00). Τέλος τα ζεύγη των τιμών που κατατάσσονται στο αρκετά πιθανό σενάριο προβλέπουν αυξήσεις που συγκεντρώνουν τις μεγαλύτερες πιθανότητες να συμβούν (0,15-0,85 και 0,15-1,00). Παρακάτω μελετώνται τα αποτελέσματα για το καθαρό παρόν κόστος, που προκύπτουν από την μοντελοποίηση του κτιρίου αναφοράς, ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές ευαισθησίας και περιέχονται στον πίνακα 6.1.

6.5.1.1 Λιγότερο πιθανό σενάριο

Αρχικά εξετάζεται η περίπτωση όπου το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης και το κόστος της κιλοβατώρας λαμβάνουν τις τιμές που έχουν κατά μέσω όρο το δεύτερο εξάμηνο του 2008 (0,70 ευρώ/λίτρο και 0,10 ευρώ/kWh αντίστοιχα). Σε αυτήν την περίπτωση το καθαρό παρόν κόστος παρουσιάζεται ιδιαίτερα χαμηλό, καθώς ανέρχεται στα 6446 ευρώ. Στην περίπτωση όπου παρουσιάζεται ακραία αύξηση της τιμής της κιλοβατώρας (0,20 ευρώ/kWh), χωρίς να εμφανίζει αύξηση η τιμή του πετρελαίου (0,70 ευρώ/λίτρο), το καθαρό παρόν κόστος παρουσιάζει χαμηλή αύξηση (7078 ευρώ), καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη του κτιρίου εμφανίζονται αρκετά μειωμένες. Η ακραία αύξηση της τιμής του πετρελαίου (1,40 ευρώ/λίτρο) προκαλεί σημαντική αύξηση του καθαρού παρόντος κόστους (12260 ευρώ), λόγω των υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση του κτιρίου

(100,945 kWh/m²), έστω και αν η τιμή της κιλοβατώρας παραμένει σταθερή στις 0,10 ευρώ/kWh. Η υψηλότερη τιμή του καθαρού παρόντος κόστους (12892 ευρώ), όπως αναμενόταν, υπολογίζεται για την περίπτωση όπου εμφανίζεται ακραία αύξηση και στις δύο μεταβλητές ευαισθησίας (1,40 ευρώ/λίτρο και 0,20 ευρώ/kWh).

6.5.1.2 Πιθανό σενάριο

Στην περίπτωση όπου η τιμή της κιλοβατώρας παραμένει σταθερή (0,10 ευρώ/kWh) και παράλληλα η τιμή του πετρελαίου εμφανίζει χαμηλή αύξηση (0,85 ευρώ/λίτρο) το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται στα 7692 ευρώ, ενώ στην ίδια περίπτωση, αλλά με υψηλότερη αύξηση της τιμής του πετρελαίου (1,00 ευρώ/λίτρο), το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται στα 8938 ευρώ. Αυξάνοντας της τιμής της κιλοβατώρας (0,15 ευρώ/kWh) το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται στα 6762 ευρώ, για κόστος πετρελαίου θέρμανσης 0,70 ευρώ/λίτρο, ενώ παρουσιάζεται σημαντική αύξηση του καθαρού παρόντος κόστους (12576 ευρώ), για κόστος πετρελαίου 1,40 ευρώ/λίτρο. Στην περίπτωση όπου παρουσιάζεται ακραία αύξηση της κιλοβατώρας (0,20 ευρώ/kWh), το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται στα 8323 ευρώ, για κόστος πετρελαίου 0,85 ευρώ/λίτρο, ενώ αυξάνεται στα 9569 ευρώ για κόστος πετρελαίου 1,00 ευρώ/λίτρο.

6.5.1.3 Αρκετά πιθανό σενάριο

Η συγκεκριμένη κατηγορία είναι και η πιο σημαντική, καθώς περιέχει αυξήσεις με μεγάλη πιθανότητα να συμβούν στα επόμενα χρόνια. Σε αυτήν την περίπτωση το κόστος της κιλοβατώρας εμφανίζει αύξηση κατά 50 % (0,15 ευρώ/kWh) και το καθαρό παρόν κόστος διαμορφώνεται στα 8008 ευρώ για κόστος πετρελαίου 0,85 ευρώ/λίτρο. Αυξάνοντας την τιμή του πετρελαίου θέρμανσης 1,00 ευρώ/λίτρο και διατηρώντας την ίδια τιμή της κιλοβατώρας το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται στα 9254 ευρώ.

6.5.2 Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης

Οι μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση που παρουσιάζονται στην περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και θερμομόνωση στο κέλυφος του κτιρίου (30,434 kWh/m²), οδηγούν στην μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου θέρμανσης από τον λέβητα. Η ετήσια κατανάλωση υπολογίζεται στα 165 λίτρα (πίνακας 6.3). Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό παρουσιάζεται αυξημένη και ανέρχεται στις 873 kWh ετησίως (πίνακας 6.3), αποτέλεσμα της αύξησης των ενεργειακών απαιτήσεων για ψύξη που εμφανίζονται σε αυτήν την περίπτωση (36,210 kWh/m²).

Το κόστος κεφαλαίου θεωρείται ότι είναι ίσο με το άθροισμα του κόστους κατασκευής της δρομικής τοιχοποιίας και της θερμομόνωσης και υπολογίζεται στα 5085,24 ευρώ (ενότητα 5.2.7.1). Το καθαρό παρόν κόστος διαμορφώνεται από το κόστος κεφαλαίου και τις τιμές που εισάγονται για τις μεταβλητές ευαισθησίας. Παρακάτω εξετάζονται τα αποτελέσματα για το καθαρό παρόν κόστος, που προκύπτουν από την μοντελοποίηση του κτιρίου σε αυτήν την περίπτωση, ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές ευαισθησίας και περιέχονται στον πίνακα 6.3.

6.5.2.1 Λιγότερο πιθανό σενάριο

Η περίπτωση όπου το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης και το κόστος τις κιλοβατώρας λαμβάνουν τις τιμές 0,70 ευρώ/λίτρο και 0,10 ευρώ/kWh και υπολογίζεται το καθαρό παρόν κόστος, το οποίο παρουσιάζεται ιδιαίτερα χαμηλό και ανέρχεται στα 7694 ευρώ. Για την ίδια τιμή της κιλοβατώρας, αλλά αυξάνοντας κατά 100 % την τιμή του πετρελαίου θέρμανσης (1,40 ευρώ/λίτρο), το καθαρό παρόν κόστος αυξάνεται και λαμβάνει την τιμή 9429 ευρώ. Με αύξηση κατά 100 % της τιμής της κιλοβατώρας (0,20 ευρώ/kWh), το καθαρό παρόν κόστος λαμβάνει την τιμή 8567 ευρώ, για κόστος πετρελαίου 0,7 ευρώ/λίτρο, ενώ αυξάνεται σημαντικά σε 10302 ευρώ, για αυξημένο κατά 100 % κόστος πετρελαίου (1,4 ευρώ/λίτρο).

6.5.2.2 Πιθανό σενάριο

Εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία οι μεταβλητές ευαισθησίας λαμβάνουν τιμές που ανήκουν στα πλαίσια του πιθανού σεναρίου. Για κόστος κιλοβατώρας 0,10 ευρώ/kWh και κόστος πετρελαίου θέρμανσης 0,85 ευρώ/λίτρο το καθαρό παρόν κόστος ανέρχεται σε 8065 ευρώ, ενώ για την ίδια τιμή του κόστους της κιλοβατώρας, αλλά αυξημένη τιμή του κόστους πετρελαίου (1,00 ευρώ/λίτρο), το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται σε 8437 ευρώ. Εισάγοντας τις τιμές 0,15 ευρώ/kWh και 0,70 ευρώ/λίτρο για κόστος κιλοβατώρας και κόστος πετρελαίου αντίστοιχα, το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται σε 8130 ευρώ, ενώ για την ίδια τιμή του κόστους της κιλοβατώρας, αλλά αυξημένη κατά 100 % τιμή του κόστους πετρελαίου θέρμανσης (1,40 ευρώ/λίτρο), το καθαρό παρόν κόστος ανέρχεται σε 9865 ευρώ. Για αύξηση κατά 100 % του κόστους της κιλοβατώρας (0,20 ευρώ/kWh) το καθαρό παρόν κόστος διαμορφώνεται σε 8939 ευρώ, για κόστος πετρελαίου θέρμανσης 0,85 ευρώ/λίτρο, ενώ αυξάνεται σε 9310 ευρώ για κόστος πετρελαίου 1,00 ευρώ/λίτρο.

6.5.2.3 Αρκετά πιθανό σενάριο

Εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία οι μεταβλητές ευαισθησίας λαμβάνουν τιμές που ανήκουν στα πλαίσια του αρκετά πιθανού σεναρίου. Το κόστος της κιλοβατώρας καθορίζεται σε 0,15 ευρώ/kWh και υπολογίζεται το καθαρό παρόν κόστος, το οποίο ανέρχεται σε 8502 ευρώ για κόστος πετρελαίου 0,85 ευρώ/λίτρο. Για την ίδια τιμή του κόστους της κιλοβατώρας και αυξημένη τιμή του κόστους του πετρελαίου θέρμανσης (1,00 ευρώ/λίτρο) το καθαρό παρόν κόστος ανέρχεται σε 8874 ευρώ.

6.5.3 Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος

Στην περίπτωση αυτή παρουσιάζεται αυξημένη κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης από τον λέβητα, η οποία ανέρχεται σε 573 λίτρα ετησίως (Πίνακας 6.5), απόρροια των αυξημένων ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση του κτιρίου ($104,418 \text{ kWh/m}^2$). Αντίθετα η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό παρουσιάζεται μειωμένη και υπολογίζεται σε 548 kWh ετησίως (Πίνακας 6.5). Το γεγονός αυτό οφείλεται στις μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη που παρουσιάζει το κτίριο σε αυτήν την περίπτωση ($22,718 \text{ kWh/m}^2$).

Το κόστος κεφαλαίου θεωρείται ότι είναι ίσο με το κόστος κατασκευής του φυτεμένου δώματος και ανέρχεται στα 2193,28 ευρώ (ενότητα 5.2.7.2). Το καθαρό

παρόν κόστος διαμορφώνεται από το κόστος κεφαλαίου και τις τιμές που εισάγονται για τις μεταβλητές ευαισθησίας. Παρακάτω εξετάζονται τα αποτελέσματα για το καθαρό παρόν κόστος, που προκύπτουν από την μοντελοποίηση του κτιρίου σε αυτήν την περίπτωση, ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές ευαισθησίας, οι οποίες περιέχονται στον πίνακα 6.5.

6.5.3.1 Λιγότερο πιθανό σενάριο

Εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία οι μεταβλητές ευαισθησίας λαμβάνουν τιμές που ανήκουν στα πλαίσια του λιγότερο πιθανού σεναρίου. Για κόστος κιλοβατώρας 0,10 ευρώ/kWh και κόστος πετρελαίου θέρμανση 0,7 ευρώ/λίτρο, υπολογίζεται το καθαρό παρόν κόστος του συστήματος, το οποίο παρουσιάζεται ιδιαίτερα αυξημένο και ανέρχεται σε 8772 ευρώ. Για την ίδια τιμή της κιλοβατώρας, αλλά αυξάνοντας κατά 100 % την τιμή του πετρελαίου θέρμανσης (1,40 ευρώ/λίτρο), το καθαρό παρόν κόστος αυξάνεται σημαντικά και λαμβάνει την τιμή 14803 ευρώ. Στην περίπτωση όπου παρουσιάζεται ακραία αύξηση της τιμής της κιλοβατώρας (0,20 ευρώ/kWh), χωρίς να εμφανίζει αύξηση η τιμή του πετρελαίου (0,70 ευρώ/λίτρο), το καθαρό παρόν κόστος ανέρχεται σε 9320 ευρώ, ενώ για την ίδια τιμή της κιλοβατώρας και αύξηση της τιμής του πετρελαίου κατά 100 % (1,40 ευρώ/λίτρο), το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται σε 15351 ευρώ.

6.5.3.2 Πιθανό σενάριο

Εισάγοντας το κόστος κιλοβατώρας 0,10 ευρώ/kWh και το κόστος πετρελαίου θέρμανσης 0,85 ευρώ/λίτρο το καθαρό παρόν κόστος ανέρχεται σε 10065 ευρώ, ενώ για την ίδια τιμή του κόστους της κιλοβατώρας, αλλά αυξημένη τιμή του κόστους πετρελαίου (1,00 ευρώ/λίτρο), το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται σε 11357 ευρώ. Αυξάνοντας της τιμής της κιλοβατώρας (0,15 ευρώ/kWh) το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται σε 9046 ευρώ, για κόστος πετρελαίου θέρμανσης 0,70 ευρώ/λίτρο, ενώ παρουσιάζεται σημαντική αύξηση του καθαρού παρόντος κόστους (15077 ευρώ), για κόστος πετρελαίου 1,40 ευρώ/λίτρο. Στην περίπτωση όπου παρουσιάζεται ακραία αύξηση της κιλοβατώρας (0,20 ευρώ/kWh), το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται σε 10612 ευρώ, για κόστος πετρελαίου 0,85 ευρώ/λίτρο, ενώ υπολογίζεται σε 11905 ευρώ για κόστος πετρελαίου 1,00 ευρώ/λίτρο.

6.5.3.3 Αρκετά πιθανό σενάριο

Το κόστος της κιλοβατώρας καθορίζεται σε 0,15 ευρώ/kWh και υπολογίζεται το καθαρό παρόν κόστος, το οποίο ανέρχεται σε 10338 ευρώ για κόστος πετρελαίου 0,85 ευρώ/λίτρο. Για την ίδια τιμή του κόστους της κιλοβατώρας και αυξημένη τιμή του κόστους του πετρελαίου θέρμανσης (1,00 ευρώ/λίτρο) το καθαρό παρόν κόστος ανέρχεται σε 11631 ευρώ.

6.5.4 Παθητικό κτίριο

Μελετάται η περίπτωση της κατοικίας η οποία περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2. Στην περίπτωση αυτή η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης από τον λέβητα υπολογίζεται στα 186 λίτρα και η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται στις 742 kWh (Πίνακας 6.7). Η κατανάλωση πετρελαίου εμφανίζεται αρκετά μειωμένη σε σύγκριση με αυτήν που παρουσιάζεται στο κτίριο αναφοράς, ενώ

η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζεται ελαφρώς αυξημένη σε σύγκριση με την αντίστοιχη κατανάλωση για το κτίριο αναφοράς. Αυτό οφείλεται στις χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση ($34,314 \text{ kWh/m}^2$) και στις αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό ($30,555 \text{ kWh/m}^2$) που παρουσιάζονται στο κτίριο.

Το κόστος κεφαλαίου θεωρείται ότι είναι ίσο με το άθροισμα του κόστους κατασκευής του φυτεμένου δώματος, της δομικής τοιχοποιίας και της θερμομόνωσης και ανέρχεται στα 7278,52 ευρώ (ενότητα 5.2.7.3). Παρακάτω εξετάζονται τα αποτελέσματα για το καθαρό παρόν κόστος, που προκύπτουν από την μοντελοποίηση του κτιρίου σε αυτήν την περίπτωση, ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές ευαισθησίας και περιέχονται στον πίνακα 6.7.

6.5.4.1 Λιγότερο πιθανό σενάριο

Το κόστος της κιλοβατώρας και το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης καθορίζονται σε 0,10 ευρώ/kWh και 0,70 ευρώ/λίτρο αντίστοιχα και υπολογίζεται το καθαρό παρόν κόστος, το οποίο ανέρχεται σε 9977 ευρώ. Για την ίδια τιμή του κόστους της κιλοβατώρας, αλλά για κόστος πετρελαίου 1,40 ευρώ/λίτρο, το καθαρό παρόν κόστος λαμβάνει την τιμή 11934 ευρώ. Για κόστος κιλοβατώρας 0,2 ευρώ/kWh και κόστος πετρελαίου 0,7 ευρώ/λίτρο, το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται σε 10719 ευρώ, ενώ για την ίδια τιμή του κόστους της κιλοβατώρας, αλλά για κόστος πετρελαίου 1,40 ευρώ/λίτρο, το καθαρό παρόν κόστος παρουσιάζει σημαντική αύξηση και ανέρχεται σε 12675 ευρώ.

6.5.4.2 Πιθανό σενάριο

Για κόστος κιλοβατώρας 0,10 ευρώ/kWh και κόστος πετρελαίου θέρμανσης 0,85 ευρώ/λίτρο το καθαρό παρόν κόστος ανέρχεται σε 10396 ευρώ, ενώ για την ίδια τιμή του κόστους της κιλοβατώρας, αλλά για κόστος πετρελαίου 1,00 ευρώ/λίτρο, το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται σε 10816 ευρώ. Αυξάνοντας της τιμής της κιλοβατώρας σε 0,15 ευρώ/kWh το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται σε 10348 ευρώ, για κόστος πετρελαίου θέρμανσης 0,70 ευρώ/λίτρο, ενώ το καθαρό παρόν κόστος ανέρχεται σε 12304 ευρώ, για κόστος πετρελαίου 1,40 ευρώ/λίτρο. Για την περίπτωση όπου το κόστος της κιλοβατώρας καθορίζεται σε 0,20 ευρώ/kWh και το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης σε 0,85 ευρώ/λίτρο, το καθαρό παρόν κόστος ανέρχεται σε 11138, ενώ για το ίδιο κόστος της κιλοβατώρας, αλλά για κόστος πετρελαίου 1,00 ευρώ/λίτρο, το καθαρό παρόν κόστος υπολογίζεται σε 11557 ευρώ.

6.5.4.3 Αρκετά πιθανό σενάριο

Εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία οι μεταβλητές ευαισθησίας λαμβάνουν τιμές που ανήκουν στα πλαίσια του αρκετά πιθανού σεναρίου. Το κόστος της κιλοβατώρας καθορίζεται σε 0,15 ευρώ/kWh και υπολογίζεται το καθαρό παρόν κόστος, το οποίο ανέρχεται σε 10767 ευρώ για κόστος πετρελαίου 0,85 ευρώ/λίτρο. Για την ίδια τιμή του κόστους της κιλοβατώρας και κόστος πετρελαίου θέρμανσης 1,00 ευρώ/λίτρο, το καθαρό παρόν κόστος ανέρχεται σε 11186 ευρώ.

6.6 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετώντας τα παραπάνω αποτελέσματα, εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα τόσο για τα οικονομικά οφέλη ή την οικονομική επιβάρυνση που μπορεί να προκύψει από την εγκατάσταση των υπό μελέτη συστημάτων στο κέλυφος μίας κατοικίας, όσο και για την επίδραση τους στην κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση και στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τον δροσισμό. Ακολούθως, συγκρίνονται τα αποτελέσματα που εξάχθηκαν για την κατανάλωση πετρελαίου και ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για το καθαρό παρόν κόστος.

6.6.1 Κατανάλωση πετρελαίου από τον λέβητα θέρμανσης

Η κατανάλωση πετρελαίου από τον λέβητα θέρμανσης παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα υπό εξέταση συστήματα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου που υπολογίστηκε ότι πραγματοποιείται για την περίπτωση του κτιρίου αναφοράς ανέρχεται στα 552 λίτρα. Με πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου η αντίστοιχη κατανάλωση υπολογίζεται στα 165 λίτρα ετησίως, δηλαδή παρατηρείται μείωση κατά 70,11 %. Με χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος στο κέλυφος του κτιρίου, η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης ανέρχεται στα 573 λίτρα, δηλαδή παρατηρείται αύξηση κατά 3,80 %. Στην περίπτωση της κατοικίας που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2, η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης ανέρχεται στα 186 λίτρα. Η μείωση της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου στην περίπτωση αυτή φτάνει το 66,30 %. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλες οι μεταβολές της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου από τον λέβητα θέρμανσης, ανάλογα με την περίπτωση που εξετάζεται (Πίνακας 6.10).

Πίνακας 6.10: Μεταβολή της κατανάλωσης πετρελαίου θέρμανσης.

Περίπτωση που εξετάζεται	Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου από τον λέβητα θέρμανσης (Λίτρα)	Μεταβολή της κατανάλωσης του πετρελαίου θέρμανσης
Κτίριο αναφοράς	552	0
Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης	165	Μείωση κατά 70,11 %
Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	573	Αύξηση κατά 3,80 %
Πρόσθεση θερμικής μάζας, θερμομόνωσης και χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	186	Μείωση κατά 66,30 %

6.6.2 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό

Η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό ανέρχεται στις 632 kWh για την περίπτωση του κτιρίου αναφοράς. Η αντίστοιχη κατανάλωση για την περίπτωση όπου προστίθεται θερμική μάζα και θερμομόνωσης είναι 873 kWh ετησίως και παρουσιάζεται αυξημένη κατά 38,13 %. Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό ανέρχεται στις 548 kWh. Δηλαδή μειώνεται κατά 13,29 %. Για την περίπτωση του κτιρίου που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό υπολογίζεται στις 742 kWh ετησίως και παρουσιάζεται αυξημένη κατά 17,41 %. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλες οι μεταβολές της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό, ανάλογα με την περίπτωση που εξετάζεται (Πίνακας 6.11).

Πίνακας 6.11: Μεταβολή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό

Περίπτωση που εξετάζεται	Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό (kWh)	Μεταβολή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό
Κτίριο αναφοράς	632	0
Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης	873	Αύξηση κατά 38,13 %
Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	548	Μείωση κατά 13,29 %
Πρόσθεση θερμικής μάζας, θερμομόνωσης και χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	742	Αύξηση κατά 17,41 %

6.6.3 Καθαρό παρόν κόστος

Το καθαρό παρόν κόστος αποτελεί την οικονομική παράμετρο, η οποία καθορίζει σε μεγάλο βαθμό αν παρουσιάζει οικονομικά οφέλη η κατασκευή ενός συστήματος. Στην ενότητα αυτή πραγματοποιείται η σύγκριση των υπό μελέτη συστημάτων με μοναδικό κριτήριο το καθαρό παρόν κόστος. Ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ορίστηκαν οι μεταβλητές ευαισθησίας (Πίνακας 6.9), πραγματοποιείται και η αντίστοιχη σύγκριση των συστημάτων.

6.6.3.1 Λιγότερο πιθανό σενάριο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μεταβολή του καθαρού παρόντος κόστους για κάθε σύστημα που εξετάστηκε, για την περίπτωση που εισάγονται μεταβλητές ευαισθησίας, οι οποίες ανήκουν στα πλαίσια του λιγότερο πιθανού σεναρίου (Πίνακας 6.12).

Πίνακας 6.12: Επί της εκατό μεταβολή του καθαρού παρόντος κόστους για την περίπτωση όπου εισάγονται μεταβλητές ευαισθησίας, οι οποίες ανήκουν στα πλαίσια του λιγότερο πιθανού σεναρίου.

	Μεταβολή καθαρού παρόντος κόστους			
Τιμή που λαμβάνουν οι μεταβλητές ευαισθησίας	0,10 Ευρώ/ kWh 0,70 Ευρώ/Λίτρο	0,10 Ευρώ/ kWh 1,40 Ευρώ/Λίτρο	0,20 Ευρώ/ kWh 0,70 Ευρώ/Λίτρο	0,20 Ευρώ/ kWh 1,40 Ευρώ/Λίτρο
Κτίριο αναφοράς	0	0	0	0
Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης	Αύξηση κατά 19,361 %	Μείωση κατά 16,288	Αύξηση κατά 21,037 %	Μείωση κατά 20,090 %
Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	Αύξηση κατά 14,011 %	Αύξηση κατά 31,464 %	Αύξηση κατά 31,676 %	Αύξηση κατά 19,074 %
Πρόσθεση θερμικής μάζας, θερμομόνωσης και χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	Αύξηση κατά 29,672 %	Αύξηση κατά 5,986 %	Αύξηση κατά 51,441 %	Μείωση κατά 1,683 %

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης παρουσιάζει οικονομικά οφέλη στις εξής περιπτώσεις:

- Το κόστος της κιλοβατώρας λαμβάνει την τιμή 0,1 ευρώ/ kWh και το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης την τιμή 1,40 ευρώ/λίτρο. Το καθαρό παρόν κόστος μειώνεται κατά 16,288 %.
- Το κόστος της κιλοβατώρας λαμβάνει την τιμή 0,2 ευρώ/ kWh και το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης την τιμή 1,40 ευρώ/λίτρο. Το καθαρό παρόν κόστος μειώνεται κατά 20,090 %.

Η χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος δεν παρουσιάζει οικονομικά οφέλη σε καμία από τις παραπάνω περιπτώσεις. Αντίθετα επιβαρύνει οικονομικά σε μεγάλο βαθμό το σύστημα. Για την περίπτωση του κτιρίου που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2, η μόνη περίπτωση που παρουσιάζονται ελάχιστα οικονομικά οφέλη είναι όταν το πετρέλαιο θέρμανσης λαμβάνει την τιμή 1,40 ευρώ/λίτρο και η κιλοβατώρα την τιμή 0,2 ευρώ/ kWh, καθώς το καθαρό παρόν κόστος μειώνεται 1,683 %.

6.6.3.2 Πιθανό σενάριο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μεταβολή του καθαρού παρόντος κόστους για κάθε σύστημα που εξετάστηκε, για την περίπτωση που εισάγονται μεταβλητές ευαισθησίας, οι οποίες ανήκουν στα πλαίσια του πιθανού σεναρίου (Πίνακας 6.13).

Πίνακας 6.13: Επί της εκατό μεταβολή του καθαρού παρόντος κόστους για την περίπτωση όπου εισάγονται μεταβλητές ευαισθησίας, οι οποίες ανήκουν στα πλαίσια του πιθανού σεναρίου.

	Μεταβολή καθαρού παρόντος κόστους					
Τιμή που λαμβάνουν οι μεταβλητές ευαισθησίας	0,10 Ευρώ/kWh 0,85 Ευρώ/Λίτρο	0,10 Ευρώ/kWh 1,00 Ευρώ/Λίτρο	0,15 Ευρώ/kWh 0,70 Ευρώ/Λίτρο	0,15 Ευρώ/kWh 1,40 Ευρώ/Λίτρο	0,20 Ευρώ/kWh 0,85 Ευρώ/Λίτρο	0,20 Ευρώ/kWh 1,00 Ευρώ/Λίτρο
Κτίριο αναφοράς	0	0	0	0	0	0
Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης	Αύξηση κατά 4,849 %	Μείωση κατά 5,605 %	Αύξηση κατά 20,231 %	Μείωση κατά 21,557 %	Αύξηση κατά 7,401 %	Μείωση κατά 2,707 %
Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	Αύξηση κατά 30,850 %	Αύξηση κατά 27,064 %	Αύξηση κατά 33,777 %	Αύξηση κατά 19,887 %	Αύξηση κατά 27,502 %	Αύξηση κατά 24,121 %
Πρόσθεση θερμικής μάζας, θερμομόνωσης και χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	Αύξηση κατά 35,153 %	Αύξηση κατά 21,011 %	Αύξηση κατά 53,031 %	Μείωση κατά 2,163 %	Αύξηση κατά 33,822 %	Αύξηση κατά 20,775 %

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης παρουσιάζει οικονομικά οφέλη στις εξής περιπτώσεις:

- Το κόστος της κιλοβατώρας λαμβάνει την τιμή 0,1 ευρώ/ kWh και το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης την τιμή 1,00 ευρώ/λίτρο. Το καθαρό παρόν κόστος μειώνεται κατά 5,605 %.
- Το κόστος της κιλοβατώρας λαμβάνει την τιμή 0,15 ευρώ/ kWh και το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης την τιμή 1,40 ευρώ/λίτρο. Το καθαρό παρόν κόστος μειώνεται κατά 21,557 %.
- Το κόστος της κιλοβατώρας λαμβάνει την τιμή 0,20 ευρώ/ kWh και το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης την τιμή 1,00 ευρώ/λίτρο. Το καθαρό παρόν κόστος μειώνεται κατά 2,707 %.

Η χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος δεν παρουσιάζει οικονομικά οφέλη σε καμία από τις παραπάνω περιπτώσεις. Αντίθετα επιβαρύνει οικονομικά σε μεγάλο βαθμό το σύστημα. Για την περίπτωση του κτιρίου που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2, η μόνη περίπτωση που παρουσιάζονται ελάχιστα οικονομικά οφέλη είναι όταν το πετρέλαιο θέρμανσης λαμβάνει την τιμή 1,40 ευρώ/λίτρο και η κιλοβατώρα την τιμή 0,15 ευρώ/kWh, καθώς το καθαρό παρόν κόστος μειώνεται 2,163 %.

6.6.3.3 Αρκετά πιθανό σενάριο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μεταβολή του καθαρού παρόντος κόστους για κάθε σύστημα που εξετάστηκε, για την περίπτωση που εισάγονται μεταβλητές ευαισθησίας, οι οποίες ανήκουν στα πλαίσια του αρκετά πιθανού σεναρίου (Πίνακας 6.14).

Πίνακας 6.14: Επί της εκατό μεταβολή του καθαρού παρόντος κόστους για την περίπτωση όπου εισάγονται μεταβλητές ευαισθησίας, οι οποίες ανήκουν στα πλαίσια του αρκετά πιθανού σεναρίου.

	Μεταβολή καθαρού παρόντος κόστους	
Τιμή που λαμβάνουν οι μεταβλητές ευαισθησίας	0,15 Ευρώ/ kWh 0,85 Ευρώ/Λίτρο	0,15 Ευρώ/ kWh 1,00 Ευρώ/Λίτρο
Κτίριο αναφοράς	0	0
Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης	Αύξηση κατά 6,169 %	Μείωση κατά 4,160 %
Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	Αύξηση κατά 29,096 %	Αύξηση κατά 25,686 %
Πρόσθεση θερμικής μάζας, θερμομόνωσης και χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	Αύξηση κατά 34,453 %	Αύξηση κατά 20,877 %

Από τον παραπάνω πίνακα εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά τα οικονομικά οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την χρησιμοποίηση των υπό μελέτη συστημάτων, καθώς οι τιμές των μεταβλητών ευαισθησίας που χρησιμοποιούνται προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό τις πραγματικές τιμές που αναμένεται να εμφανιστούν στα επόμενα χρόνια. Λόγω αυτού τα συγκεκριμένα αποτελέσματα αποκτούν τεράστια βαρύτητα.

Προκύπτει ότι δεν παρουσιάζονται οικονομικά οφέλη σε καμία από τις παραπάνω περιπτώσεις, αλλά αντίθετα παρουσιάζεται σημαντική οικονομική επιβάρυνση με την χρήση των υπό μελέτη συστημάτων. Η μεγαλύτερη οικονομική επιβάρυνση πραγματοποιείται στην περίπτωση του κτιρίου που περιγράφεται στο

Κεφάλαιο 2, για κόστος κιλοβατώρας 0,15 ευρώ/kWh και κόστος πετρελαίου 0,85 ευρώ/λίτρο. Σε αυτήν την περίπτωση το καθαρό παρόν κόστος αυξάνεται κατά 34,453 %. Η μόνη περίπτωση που παρουσιάζονται κάποια ελάχιστα οικονομικά οφέλη είναι για το σύστημα αυξημένης θερμικής μάζας και θερμομόνωσης του κελύφους του κτιρίου, για κόστος κιλοβατώρας 0,15 ευρώ/ kWh και κόστος πετρελαίου θέρμανσης 1,00 ευρώ/λίτρο. Το καθαρό παρόν κόστος στην περίπτωση αυτή μειώνεται κατά 4,160 %.

6.6.4 Εκπομπές του συστήματος

Στις ενότητες 6.1-6.4 αναφέρθηκαν οι σημαντικότερες εκπομπές, οι οποίες προκαλούνται από την λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης και υπολογίστηκαν για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Όπως αναμενόταν, οι ετήσιες εκπομπές του συστήματος σχετίζονται άμεσα με την κατανάλωση πετρελαίου από τον λέβητα θέρμανσης και με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το κλιματιστικό. Συνεπώς σχετίζονται και με τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη του συστήματος. Από τις ετήσιες εκπομπές, οι οποίες παρουσιάζονται στους πίνακες 6.2, 6.4, 6.6 και 6.8 ανάλογα με την περίπτωση που εξετάζεται, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες ρύπων είναι αυτές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για την κάθε περίπτωση που εξετάζεται, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.15).

Πίνακας 6.15: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για την κάθε περίπτωση που εξετάζεται.

Περίπτωση που εξετάζεται	Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (kg/έτος)
Κτίριο αναφοράς	1719
Πρόσθεση θερμικής μάζας και θερμομόνωσης	801
Χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος	1738
Παθητικό κτίριο	801

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα εκπέμπονται στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φυτεμένο δώμα (1738 kg/έτος). Ελαφρώς λιγότερες ποσότητες εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζονται στο κτίριο αναφοράς (1719 kg/έτος). Το σύστημα πρόσθετης θερμικής μάζας και θερμομόνωσης παρουσιάζει τις ίδιες ποσότητες εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με αυτές του παθητικού κτιρίου (801 kg/έτος). Σε αυτές τις περιπτώσεις εμφανίζονται οι μικρότερες ποσότητες εκπομπών και η επί της εκατό μείωση ανέρχεται σε 53,913 %, σε σύγκριση με αυτές που παρουσιάζονται με την χρησιμοποίηση του φυτεμένου δώματος και σε 53,403 % σε σύγκριση με αυτές που παρουσιάζονται στο κτίριο αναφοράς. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι, στο HOMER οι υπολογισμοί των ετήσιων εκπομπών που πραγματοποιούνται έχουν σαν βάση την ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και ψύξη του συστήματος. Έτσι όμως παραβλέπετε η φυσική λειτουργία του φυτεμένου δώματος, το οποίο αποτελεί σύστημα με την ιδιότητα να πραγματοποιεί διάσπαση του διοξειδίου του άνθρακα,

λόγω της φωτοσύνθεσης των φυτών. Έτσι στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται το φυτεμένο δώμα δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για τις εκπομπές του συστήματος. Αντίθετα, στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται πρόσθετη θερμική μάζα και θερμομόνωση η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, που προκαλείται από την μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και για ψύξη είναι σημαντική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στον σύγχρονο κόσμο, η εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αντικείμενα έρευνας και προβληματισμού της επιστημονικής κοινότητας. Η εξάντληση των αποθεμάτων πετρελαίου, καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούνται από την παραγωγή και την κατανάλωση των συμβατικών καυσίμων έχουν αναδείξει ως πρώτη προτεραιότητα την εφαρμογή των τεχνικών που αποσκοπούν στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων.

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η επίδραση της θερμικής μάζας, της θερμομόνωσης και του φυτεμένου δώματος στις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και δροσισμό των κτιρίων και συγκεκριμένα των κατοικιών, με την βοήθεια του λογισμικού TRNSYS. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HOMER, για την πραγματοποίηση οικονομικής μελέτης, η οποία αφορά την εφαρμογή των παραπάνω τεχνικών.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη της επίδρασης της θερμικής μάζας, της θερμομόνωσης και του φυτεμένου δώματος στο θερμικό και στο ψυκτικό φορτίο μίας κατοικίας είναι τα εξής:

- Η πρόσθεση θερμικής μάζας σε κτίριο μειωμένης μάζας σε συνδυασμό με την θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους μπορεί να μειώσει τις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση κατά 70 %. Στην περίπτωση αυτή, η εφαρμογή τεχνικών σκίασης κρίνεται απαραίτητη για την αποφυγή της υπερθέρμανσης της κατοικίας κατά τους θερμούς μήνες, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων για δροσισμό. Η αύξηση αυτή υπολογίστηκε ότι μπορεί να φτάσει και το 40 %.
- Η χρησιμοποίηση φυτεμένου δώματος αντί συμβατικού δώματος μπορεί να μειώσει τις ενεργειακές απαιτήσεις για δροσισμό της κατοικίας κατά 13 %. Παράλληλα παρατηρείται και μία ελάχιστη αύξηση του θερμικού φορτίου του κτιρίου της τάξεως του 3,5 %.

Τα παραπάνω συμπεράσματα προκύπτουν από την μοντελοποίηση μίας κατοικίας, που σχεδιάστηκε για τις ανάγκες αυτής της εργασίας, στο λογισμικό TRNSYS. Ακολούθως αναφέρονται μερικά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την χρησιμοποίηση του λογισμικού TRNSYS.

- Αποτελεί ένα αξιόπιστο εργαλείο υπολογισμού της ενεργειακής και θερμικής συμπεριφοράς κτιρίων.
- Υπολογίζει με σχετικά μεγάλη ακρίβεια μια τεράστια ποικιλία μεταβλητών, οι οποίες αφορούν τεχνικές και συστήματα που σχετίζονται με την ενεργειακή και θερμική συμπεριφορά των κτιρίων.
- Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας, καθώς και απαιτήσεις για εξειδικευμένες γνώσεις, τις οποίες οφείλει να έχει ο χρήστης του.

Στην παρούσα εργασία η οικονομική βιωσιμότητα των τεχνικών και των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων στον Ελληνικό χώρο, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αντικείμενα προβληματισμού και μελέτης. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την οικονομική αυτή μελέτη είναι τα εξής:

- Παρόλο την μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και δροσισμό των κτιρίων, που προκαλείται από την εφαρμογή των παραπάνω συστημάτων, δεν παρουσιάζονται σημαντικά οικονομικά οφέλη, λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής τους, τουλάχιστον με τις τωρινές τιμές της κιλοβατώρας και του πετρελαίου θέρμανσης.
- Ελάχιστα οικονομικά οφέλη παρατηρούνται στο σύστημα αυξημένης θερμικής μάζας και θερμομόνωσης με την αύξηση των τιμών της κιλοβατώρας και του πετρελαίου θέρμανσης.

Σημαντικά οικονομικά οφέλη παρατηρούνται στο σύστημα αυξημένης θερμικής μάζας και θερμομόνωσης για μεγάλες αυξήσεις (κατά 100 %) της τιμής της κιλοβατώρας και του πετρελαίου θέρμανσης.

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι παρόλο που δεν προκύπτουν σημαντικά οικονομικά οφέλη από την εφαρμογή των παραπάνω συστημάτων, τα περιβαλλοντικά οφέλη που σχετίζονται με την μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και δροσισμό των κτιρίων και κατά συνέπια με την μείωση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, ποικίλουν. Μερικά από αυτά είναι η μείωση των εκπομπών του CO₂ και του τριφθοριούχου νατρίου (NF₃), τα οποία ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης τα φυτεμένα δώματα εκτός της μείωσης των ενεργειακών απαιτήσεων για δροσισμό, λειτουργούν σαν βάση για την μείωση του διοξειδίου του άνθρακα με αντίστοιχη παραγωγή οξυγόνου.

Λόγω τις ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας που σχετίζεται με την εξοικονόμηση ενέργειας στον οικιακό τομέα, υπάρχουν πολλές δυνατότητες για μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας εργασίας, οι σημαντικότερες των οποίων είναι εξής:

- Ενεργειακή ανάλυση του κύκλου ζωής του κτιρίου.
- Οικονομικοτεχνική ανάλυση επιπλέον μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (συσκευές, φωτισμός κ..λ.π.).