



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη της εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίριο μέσω
εφαρμογής ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων και
συστημάτων θέρμανσης**

Κλάδη Ιωάννα Μαρία

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Μαρία Φούντη

Αθήνα, Ιούλιος 2019

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια κα Μαρία Φούντη, για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και τη στήριξη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια εκπόνησής της. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον δόκτορα κ. Γιάννη Μανδηλαρά και τον υποψήφιο διδάκτορα Ε.Μ.Π. κ. Άρη Μανωλίτση για τη βοήθειά τους, την αμέριστη συμπαράσταση και τις πολύτιμες συμβουλές τους, που ήταν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας μου. Βεβαίως, ευχαριστώ πολύ και όλα τα υπόλοιπα μέλη του εργαστηρίου που με στήριξαν ενεργά κατά τη διάρκεια της εργασίας αυτής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα αγαπημένα μου πρόσωπα, που με στήριξαν και με βοήθησαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Το πιο σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας είναι η κλιματική αλλαγή, η οποία έχει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και τον άνθρωπο. Ο σύγχρονος τρόπος ζωής συντέλεσε στην αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, με τα κτίρια να αποτελούν τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια γίνονται πολλές και σημαντικές προσπάθειες για την εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα και την εξασφάλιση των συνθηκών άνεσης για τους ανθρώπους. Αυτό δύναται να υλοποιηθεί εν μέρει με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων και εν μέρει μέσω της εγκατάστασης ενεργειακών συστημάτων υψηλής ενεργειακής απόδοσης, η οποία προϋποθέτει την άριστη ποιότητα του σχετικού εξοπλισμού και της εγκατάστασής του καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών που τον προδιαγράφουν.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, εξετάζεται η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου προσομοίωσης (Mock-up) με την εφαρμογή διαφορετικών τύπων υαλοπινάκων και συστημάτων θέρμανσης. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού γίνεται η χρήση του λογισμικού Trnsys με το οποίο και πραγματοποιείται η ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου. Επιπλέον, με τη χρήση του λογισμικού Window, σχεδιάζονται τα συστήματα των παραθύρων τα οποία τοποθετούνται στο υπό μελέτη κτήριο. Τέλος, για την ολοκλήρωση της μελέτης της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, υλοποιείται, εκτός από την ενεργειακή και οικονομική ανάλυση. Η οικονομική ανάλυση έχει ως στόχο την εξέταση των οικονομικών οφελών που προκύπτει από την εφαρμογή των διαφόρων τύπων υαλοπινάκων αλλά και των διαφορετικών εγκαταστάσεων θέρμανσης υψηλής ενεργειακής απόδοσης.

Abstract

The most important problem faced by our planet is climate change, which has serious consequences for both the environment and mankind. The modern lifestyle has contributed to the increase of energy consumption, with buildings being the largest energy consumer. In recent years, many and significant efforts have been made to improve energy savings in the building sector and ensure comfort conditions for the residents. This can be achieved in part through appropriate design of the building envelope and by implementing energy-efficient building components and systems and partly through the installation of energy-efficient energy systems, which requires excellent quality of the relevant equipment and its installation and of the related technical studies.

The present study examines the energy performance of a Mock-up building with the application of different types of glazing and heating systems. This thermal analysis is performed through a dynamic simulation with the TRNSYS software. In addition, the window systems installed in the building under consideration are designed through the WINDOW software. Finally, in addition to the energy analysis, the study also implements an economic analysis which examines the economic benefits resulting from the application of different types of glass panes as well as different heating systems with high energy efficiency.

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 ^ο – Εισαγωγή	9
1.1 Κατανάλωση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο	9
1.2 Κατανάλωση ενέργειας σε ευρωπαϊκό επίπεδο	9
1.3 Κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα	10
1.4 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων	12
1.5 Έξυπνα παράθυρα	13
Κεφάλαιο 2 ^ο – Ηλιακή Ακτινοβολία	15
2.1 Βασικές έννοιες	15
2.2 Γωνία πρόσπτωσης	17
2.3 Συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας	17
2.3.1 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία	18
2.3.2 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία	18
2.3.3 Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία	18
2.4 Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο	18
2.5 Αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας	19
2.5.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα	19
2.5.2 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα	19
Κεφάλαιο 3 ^ο – Υαλοπίνακες	21
3.1 Εισαγωγή	21
3.2 Η επίδραση των υαλοπινάκων στη θερμική άνεση	21
3.3 Χαρακτηριστικές οπτικές ιδιότητες του υαλοπίνακα τον χειμώνα και το καλοκαίρι	23
3.4 Η σχέση της θερμοκρασίας εσωτερικού με τη θερμοκρασία της επιφάνειας του παραθύρου	23
3.5 Θερμικό κέρδος χώρου λόγω της ηλιακής προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε υαλοπίνακα	24
3.6 Ο προσανατολισμός και η κλίση των υαλοπινάκων	26
3.7 Τύποι υαλοπινάκων	27
3.7.1 Απλοί (Μονολιθικοί) υαλοπίνακες	27
3.7.2 Διπλοί υαλοπίνακες	27
3.7.3 Διπλοί υαλοπίνακες με ευγενές αέριο	27
3.7.4 Τριπλοί υαλοπίνακες	28
3.7.5 Θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες	28
3.7.6 Φωτοχρωμικοί υαλοπίνακες	28
3.7.7 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες	28
3.7.7.1 Λειτουργία ηλεκτροχρωμικών διατάξεων	29

3.7.7.2 Αρχές λειτουργίας των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων	30
3.7.7.3 Πλεονεκτήματα των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων	31
3.7.7.4 Παράμετροι αξιολόγησης των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων.....	32
3.7.7.5 Έλεγχος των μεταβολών της διαπερατότητας	32
3.7.7.6 Ενεργειακή συμπεριφορά των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων	33
Κεφάλαιο 4 ^ο – Ηλιακά Θερμικά Συστήματα	35
4.1 Ηλιακοί Συλλέκτες	35
4.1.1 Επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης.....	35
4.1.2 Ηλιακός θερμικός συλλέκτης με συλλέκτες κενού	37
4.1.3 Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες	39
4.1.4 Βαθμός Απόδοσης Ηλιακού Συλλέκτη	40
4.1.5 Θερμικές Απώλειες του Συλλέκτη	41
4.1.6 Προσανατολισμός και Κλίση Ηλιακών Συλλεκτών.....	42
4.2 Τμήμα Αποθήκευσης.....	44
4.2.1 Συσσωρευτές Θερμότητας	44
4.2.2 Μόνωση Συσσωρευτών.....	46
4.2.3 Εναλλάκτες Θερμότητας	47
4.3 Λοιπά τμήματα του ηλιακού συστήματος	48
4.4 Συστήματα Φυσικής Κυκλοφορίας (θερμοσιφωνικού τύπου)	49
4.5 Σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας	51
4.6 Εφαρμογές Ηλιοθερμικών Συστημάτων	51
4.6.1 Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης Ζεστού Νερού Χρήσης.....	51
4.6.2 Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης Χώρων	52
4.6.3 Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης Χώρων και ΖΝΧ (Συστήματα Combi)	53
4.6.5 Ηλιακός Κλιματισμός ή Ηλιακή Ψύξη (Συστήματα Combi – Plus)	54
Κεφάλαιο 5 ^ο – Αντλίες Θερμότητας.....	56
5.1 Γενικά στοιχεία	56
5.2 Αρχή Λειτουργίας	56
5.2.1 Λειτουργία ψύξης.....	57
5.2.2 Λειτουργία θέρμανσης.....	58
5.3 Τύποι αντλιών θερμότητας	60
5.3.1 Ανάλογα με την πηγή και τον αποδέκτη θερμότητας.....	60
5.3.2 Άλλες κατηγορίες αντλιών θερμότητας	65
5.4 Βαθμός αποδοτικότητας αντλιών θερμότητας.....	66
5.4.1 Δείκτες απόδοσης των αντλιών θερμότητας	66
5.5 Ενεργειακή αξιολόγηση αντλιών θερμότητας.	67

5.6 Ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας	69
Κεφάλαιο 6° – Κτίριο Mockup	71
6.1 Περιγραφή της κτιριακής κατασκευής	71
6.2 Περιγραφή της τοιχοποιίας	72
6.3 Δομικά Μονωτικά Υλικά VIP	74
6.3.1 Η ροή θερμότητας σε τοιχοποιίες	74
6.3.2 Μονωτικά Πάνελ Κενού (Vacuum Insulation Panels, VIPs)	75
6.4 Περιγραφή του δαπέδου	77
6.5 Περιγραφή της στέγης	78
Κεφάλαιο 7° – Αναφορά λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν	79
7.1 Σχεδιαστικό λογισμικό Google Sketch up 18	79
7.1.1 Γενικά	79
7.1.2 Περιγραφή εργαλείων σχεδιασμού	79
7.2 Λογισμικού Window	80
7.2.1 Εισαγωγή	80
7.2.2 Window Library	80
7.2.3 Glass Library	81
7.2.4 Glazing System Library	82
7.2.5 Gap Library	83
7.2.6 Frame Library	85
7.2.7 Environmental Conditions Library	86
7.2.8 Shading Library	86
7.3 Το πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS 17	87
7.3.1 Εισαγωγή στο TRNSYS	87
7.3.2 Το περιβάλλον προσομοίωσης (Simulation Studio)	87
7.3.3 Έναρξη του TRNSYS Simulation Studio	88
7.3.4 Επεξεργασία και Συνδέσεις των στοιχείων	90
7.3.5 Εισαγωγή εξισώσεων – συναρτήσεων	91
7.3.6 Εκτέλεση προσομοίωσης και απεικόνιση αποτελεσμάτων	92
7.3.7 Το γραφικό περιβάλλον του κτιρίου (TRNBuild)	93
7.3.8 Παράθυρο Μελέτης (Project Initialization Window)	93
7.3.9 Παράθυρο Επεξεργασίας της Ζώνης (Zone Window)	95
7.3.10 Οι εφαρμογές TRNSED και TRNEdit	101
Κεφάλαιο 8° – Προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κελύφους του Mockup	102
8.1 Μοντελοποίηση του Mockup	102
8.2 Προσομοίωση των υαλοπινάκων και των τοίχων του Mockup	107

8.2.1 Περίπτωση 1: Τοιχοποιία του Mockup χωρίς VIPs	109
8.2.2 Περίπτωση 2: Χρήση VIP στον βόριο τοίχο του Mockup και ηλεκτροχρωμικών παραθύρων	111
8.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης	111
8.3.1 Περίπτωση 1: Τοιχοποιία του Mockup χωρίς VIPs	111
8.3.2 Περίπτωση 2: Χρήση VIP στον βόριο τοίχο του Mockup και ηλεκτροχρωμικών παραθύρων	122
8.3.3 Οι θερμικές και ψυκτικές απαιτήσεις του κτιρίου προσομοίωσης	129
8.4 Συμπεράσματα	130
8.4.1 Τύποι υαλοπινάκων	130
8.4.2 Μόνωση VIP	130
Κεφάλαιο 9 ^ο – Προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς του Mockup με συστήματα θέρμανσης.....	131
9.1 Εισαγωγή	131
9.2 Εγκατάσταση θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και Fan Coil	132
9.2.1 Υποσύστημα λέβητα πετρελαίου – Fan Coil	134
9.2.2 Υποσύστημα Fan Coil – Κτίριο	139
9.2.4 Επιπλέον στοιχεία και συνθήκες ελέγχου.....	142
9.2.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης	146
9.3 Εγκατάσταση θέρμανσης με ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας και χρήση Fan Coil	152
9.3.1 Υποσύστημα ηλιακοί συλλέκτες – δοχείο αποθήκευσης	154
9.3.2 Επιλογή χαρακτηριστικών του ηλιακού συστήματος θέρμανσης	157
9.3.3 Υποσύστημα δοχείο αποθήκευσης – αντλία θερμότητας	161
9.3.4 Υποσύστημα δοχείο αποθήκευσης – Fan Coil	163
9.3.5 Επιπλέον στοιχεία και συνθήκες ελέγχου.....	167
9.3.6 Αποτελέσματα προσομοίωσης	170
9.4 Εγκατάσταση θέρμανσης με αντλία θερμότητας αέρα – νερού και χρήση Fan Coil..	178
9.4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης	179
9.5 Συμπεράσματα	185
Κεφάλαιο 10 ^ο – Οικονομική αξιολόγηση των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων.....	187
10.1 Οικονομική ανάλυση υαλοπινάκων.....	187
10.2 Σύγκριση των τύπων υαλοπινάκων με το ηλεκτροχρωμικό σε οικονομικό επίπεδο	188
Κεφάλαιο 11 ^ο – Οικονομική αξιολόγηση των θερμικών εγκαταστάσεων.....	189
11.1 Εγκατάσταση θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου	189
11.2 Εγκατάσταση θέρμανσης με ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας αέρα – νερού	189

11.3 Εγκατάσταση θέρμανσης με αντλία θερμότητας αέρα – νερού	190
11.4 Εύρεση και σύγκριση του χρόνου απόσβεσης.....	191
11.5 Σύγκριση των συστημάτων θέρμανσης σε οικονομικό επίπεδο	191
Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	192
Βιβλιογραφία	193

Κεφάλαιο 1^ο – Εισαγωγή

1.1 Κατανάλωση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος σε μεγάλο ποσοστό για τη συνολική κατανάλωση ενέργειας και κατά τη διάρκεια της κατασκευής αλλά και της λειτουργίας ενός κτιρίου. Έτσι, η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας έχει οδηγήσει στην εύρεση και ανάπτυξη μεθόδων που αποσκοπούν στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων.

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Πληροφοριών Ενέργειας (Energy Information Agency) από το 2011 η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί κατά 1.4% ετησίως έως το 2035. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το 2011 το ποσοστό της ενεργειακής κατανάλωσης από τον κτιριακό τομέα ήταν στο 43%, το 2035 το ποσοστό αυτό θα αναμένεται να φτάσει το 44.4%[1].

1.2 Κατανάλωση ενέργειας σε ευρωπαϊκό επίπεδο

Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι χώρες – μέλη καταβάλλουν σημαντικές προσπάθειες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Η Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων 2002/91/EC (ΟΔΕΚ)[61] καθώς και η αναδιατύπωσή της (Οδηγία 2010/31/ΕΚ)[62] αποτελούν την κύρια νομοθετική πράξη για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων σε όλη την Ευρώπη.

Στον κτιριακό τομέα στην Ευρώπη, οφείλεται περίπου το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, το 19% της κατανάλωσης νερού ενώ είναι υπεύθυνος για το 36% των εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Το 63% της ενέργειας που χρησιμοποιείται από τον κτιριακό τομέα καταναλώνεται από κατοικίες, ενώ το υπόλοιπο 37% καταναλώνεται από κτίρια του τριτογενούς τομέα. Τα κτίρια κατοικιών κυριαρχούν στο υπάρχον κτιριακό απόθεμα καλύπτοντας περίπου το 75% του συνόλου των κτιρίων, με το μεγαλύτερο ποσοστό να είναι μονοκατοικίες[2,3].

Η ενεργειακή κατανάλωση στις κατοικίες αφορά κυρίως τη θέρμανση, τη ψύξη, τη χρήση Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX), και τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών. Η θέρμανση αποτελεί την κυρίαρχη πηγή της χρήσης ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 67% της συνολικής τελικής ενεργειακής χρήσης αλλά το ποσοστό αυτό έχει αρχίσει να μειώνεται από το 2000. Στη γενική κατανομή των χρήσεων, τη θέρμανση ακολουθεί η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX) με ένα ποσοστό της τάξης του 13% επί της συνολικής ενέργειας που δαπανάται, ενώ έπονται οι ηλεκτρικές συσκευές καταναλώνοντας ένα ποσοστό της τάξης του 11%. Ο φωτισμός καταναλώνει το 2% της συνολικής ενέργειας ενώ η ψύξη καταλαμβάνει μερίδιο μόλις 0.5 % [3].

Σε όρους καυσίμων, στον οικιακό τομέα της Ευρώπης, κυριαρχεί η κατανάλωση φυσικού αερίου για την παραγωγή ενέργειας με ένα ποσοστό 39% ενώ ακολουθούν η ηλεκτρική ενέργεια με ποσοστό 24%, τα προϊόντα πετρελαίου με 14%, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) (ηλιακή θερμότητα, βιομάζα, γεωθερμία) με

13%, η συμπαραγωγή με 7% και τέλος τα στερεά καύσιμα με ποσοστό 4%. Το χρονικό διάστημα 2000-2010 η κατανάλωση των προϊόντων πετρελαίου μειώθηκε κατά 24% και η χρήση της συμπαραγωγής κατά 3%, ενώ η κατανάλωση των υπόλοιπων καυσίμων σημείωσε σημαντική αύξηση. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση των ΑΠΕ αυξήθηκε κατά 37%, της ηλεκτρικής ενέργειας κατά 18%, των στερεών καυσίμων κατά 10% και του φυσικού αερίου κατά 6% [2].

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτηριακών κατοικιών με εφαρμογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης (Energy Efficiency Measures - EEMs), αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προκειμένου να επεκταθεί η ωφέλιμη διάρκεια ζωής και η λειτουργία του υφιστάμενου κτηριακού αποθέματος και να βελτιωθούν οι συνθήκες διαβίωσης με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας για τους ενοίκους. Οι προσπάθειες αυτές μπορούν να συντελέσουν στην υλοποίηση των ευρωπαϊκών και εθνικών στόχων προκειμένου να δημιουργηθούν κτήρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης με ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα, ελαττωμένης εξάρτησης από συμβατικές πηγές ενέργειας και αυξημένης ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στρατηγική 2020 και τον νέο σχεδιασμό έως το 2030 και μετά[3].

1.3 Κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα

Το κτηριακό απόθεμα στην Ελλάδα ανέρχεται περίπου στα 4.1 εκατομμύρια κτήρια, εκ των οποίων το 79% είναι κατοικίες. Τα κτίρια στην Ελλάδα καταναλώνουν πάνω από το 50% της ηλεκτρικής ενέργειας και πάνω από το 90% της θερμικής ενέργειας που απαιτείται από τον Ελληνικό κτιριακό τομέα. Το 2010 εισήχθη μια εθνική υποχρέωση για την εφαρμογή διαφόρων μέτρων διατήρησης ενέργειας (Energy Conservation Measures – ECMs) σε όλους τους τομείς τελικής χρήσης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων και των κτιρίων, για την προσαρμογή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2006/32/EC στην αποδοτικότητα των τελικών χρήσεων ενέργειας. Σύμφωνα με την οδηγία σκοπός ήταν η επίτευξη, έως το 2016, ενός συνολικού εθνικού ενδεικτικού στόχου εξοικονόμησης ενέργειας της τάξης του 9% σε σύγκριση με την μέση τιμή της τελικής ενεργειακής χρήσης των ετών 2001 έως 2005[4].

Σύμφωνα με το εθνικό σχέδιο δράσης ο συνολικός στόχος εξοικονόμησης ενέργειας από το 2014 ως το 2020 έχει οριστεί στο 19.3% της συνολικής τελικής καταναλισκόμενης ενέργειας του 2012 με νέες επαναπροσδιορισμένες ετήσιες μειώσεις στην κατανάλωση ενέργειας. Συγκεκριμένα, μέχρι το 2020 πρέπει να επιτευχθούν οι ακόλουθοι στόχοι:

- α) το 20% της παραγωγής ενέργειας να προέρχεται από τα ΑΠΕ,
- β) να γίνει εξοικονόμηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 20% και
- γ) να επιτευχθεί 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου[5].

Μεταξύ των διαφόρων πολιτικών, τα μέτρα διατήρησης ενέργειας που έχουν εφαρμοστεί στα κτίρια έχουν τη σημαντικότερη συμβολή (58%) στην επίτευξη αυτών των εθνικών στόχων. Συνεπώς, προκειμένου να βελτιωθεί το επίπεδο

διαβίωσης και να μειωθεί το λειτουργικό κόστος των κατοικιών πρέπει να υποστηριχθεί δυναμικά η εφαρμογή των μέτρων διατήρησης ενέργειας σε υφιστάμενα κτίρια.

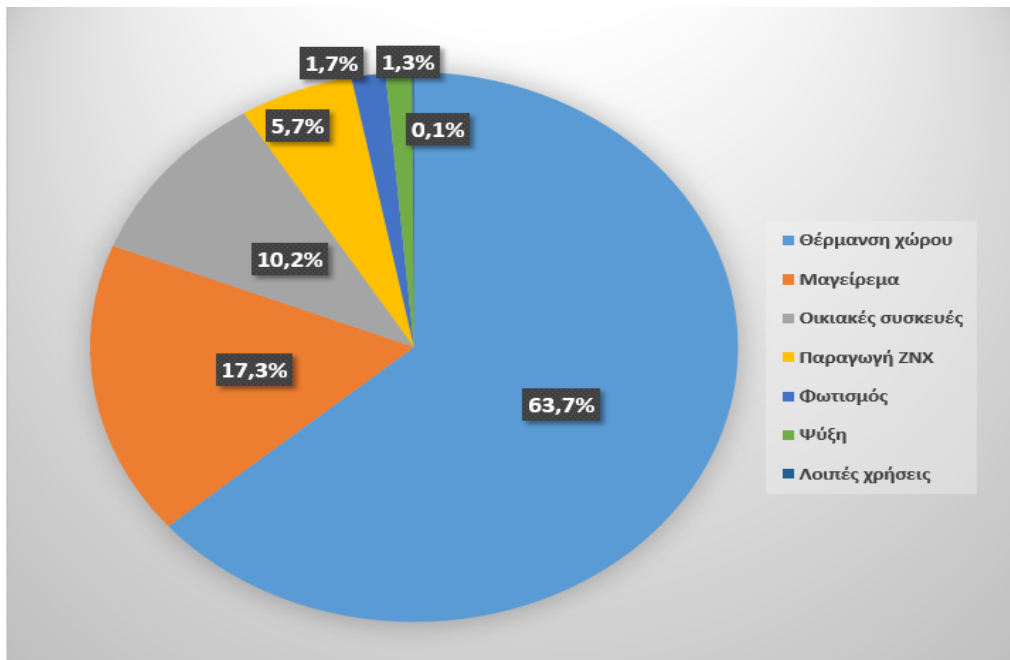
Τέλος, σύμφωνα με την νέα Ευρωπαϊκή Οδηγία από το 2020 έως το 2030 [63] οι ΑΠΕ θα πρέπει να καλύπτουν το 30% της ενεργειακής παραγωγής, η εξοικονόμηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας να φτάσει το 30% και οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου να μειωθούν κατά 40% [5].

Στον Πίνακα 1.1 αναφέρονται οι πηγές ενέργειας με τους αντίστοιχους συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια και τις αντίστοιχες εκπομπές του CO₂.

Πίνακας 1.1 :: Συντελεστές μετατροπής καυσίμων σε πρωτογενή ενέργεια και οι αντίστοιχοι εκλυόμενοι ρύποι [6].

Πηγή Ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας (kgCO ₂ /kWh)
Φυσικό αέριο	1.05	0.20
Πετρέλαιο θέρμανσης	1.10	0.26
Ηλεκτρική ενέργεια	2.90	0.99
Υγραέριο	1.05	0.24
Βιομάζα	1.00	-
Τηλεθέρμανση από ΔΕΗ	0.7	0.35
Τηλεθέρμανση από ΑΠΕ	0.5	-

Ο κτιριακός τομέας της Ελλάδας ο οποίος περιλαμβάνει τις κατοικίες και τα κτίρια του τριτογενούς τομέα καταναλώνει το 37% της τελικής ενέργειας της χώρας, με τις κατοικίες να καταναλώνουν το 24.8% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η ενεργειακή κατανομή των ενεργειακών χρήσεων στην μέση Ελληνική κατοικία διαμορφώνεται ως εξής: το 63.7% της τελικής ενέργειας χρησιμοποιείται για θέρμανση, το 17.3% για μαγείρεμα, το 10.2 % για τη λειτουργία οικιακών συσκευών, το 5.7% για παραγωγή ΖΝΧ, το 1.7% για φωτισμό και το 1.3 % για ψύξη, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 1.1** [3,7].



Εικόνα 1.1 : Κατανομή σε ποσοστά (%) των τελικών ενεργειακών χρήσεων σε επίπεδο κατοικιών στην Ελλάδα [3].

1.4 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων

Η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κελύφους τους και ειδικότερα από[8]:

- ❖ **Τον προσανατολισμό των κτιρίων και την χωροθέτηση τους.** Τα στοιχεία αυτά, σε συνδυασμό με την διαμόρφωση των εξωτερικών χώρων και την χωροθέτηση των γειτονικών κτιρίων καθορίζουν μία σειρά σημαντικών παραμέτρων συμπεριφοράς του κτιρίου, όπως ο βαθμός του ηλιασμού και της απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας (ο οποίος πρέπει να είναι μέγιστος κατά την διάρκεια του χειμώνα και ελάχιστος κατά την διάρκεια του καλοκαιριού) ή τα χαρακτηριστικά ροής του ανέμου, τα οποία είναι δυνατόν να διαμορφωθούν κατά τρόπο ώστε να ενισχύεται ο αερισμός του κτιρίου και άρα ο βαθμός του φυσικού δροσισμού του.
- ❖ **Τη μορφή του κελύφους** (από τον λόγο των διαφανών επιφανειών προς τις αδιαφανείς). Η μορφή με την σειρά της καθορίζει την θερμική συμπεριφορά του κτιρίου σε συνάρτηση με τις κλιματικές παραμέτρους, καθώς και την σχέση του κτιρίου με τα γειτονικά κτίρια.
- ❖ **Τα υλικά κατασκευής των διαφανών και αδιαφανών τμημάτων του κελύφους,** οι θερμικές ιδιότητες των οποίων καθορίζουν τα βασικά χαρακτηριστικά ενός κτιρίου, όπως τον συντελεστή θερμοπερατότητας από τον οποίο εξαρτώνται οι θερμικές απώλειες που οφείλονται σε φαινόμενα συναγωγής. Καθορίζουν επίσης τον συντελεστή απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος που προσπίπτει στο κτίριο και άρα την

ποσότητα των ηλιακών κερδών του κτιρίου, καθώς και την θερμική μάζα του κτιρίου.

- ❖ **Τον σχεδιασμό των ανοιγμάτων του κελύφους** που σε συνδυασμό με την μορφολογία και τα κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής καθώς και με τον σχεδιασμό, την διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου και το σχήμα του κτιρίου, καθορίζει τα επίπεδα αερισμού του κτιρίου και άρα το δυναμικό της χρήσης τεχνικών φυσικού και νυχτερινού αερισμού οι οποίες χρησιμοποιούνται για την μείωση των ενεργειακών αναγκών που έχει το κτίριο για δροσισμό.

1.5 Έξυπνα παράθυρα

Ως «έξυπνα παράθυρα» ορίζουμε έναν τύπο παραθύρων που περιορίζει εν μέρει την ηλιακή ακτινοβολία και βοηθά τα κτίρια να διατηρήσουν υψηλά επίπεδα ενεργειακή απόδοση. Η ενεργειακή απόδοση μπορεί να βελτιωθεί αυξάνοντας το θερμικό κέρδος σε ψυχρές καιρικές συνθήκες και μειώνοντας το σε θερμές καιρικές συνθήκες, προσαρμόζοντας δυναμικά τις οπτικές ιδιότητες του παραθύρου. Προσθέτοντας ένα ελεγχόμενο απορροφητικό στρώμα στην επιφάνεια του γυαλιού, οι οπτικές ιδιότητες αυτού μπορούν να μεταβληθούν ελέγχοντας την προσπίπτουσα ροή θερμότητας. Για τον λόγο αυτό, τα έξυπνα παράθυρα οδηγούν σε χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλές ηλεκτρικές απαιτήσεις του κτηρίου.

Υπάρχει μια μεγάλη γκάμα προϊόντων σχετικά με τις επιλογές των σύγχρονων «έξυπνων» τζαμιών για σκοπούς εξοικονόμησης ενέργειας. Σε αυτά περιλαμβάνονται οι χαμηλής εκπομπής (Low-e) επιστρώσεις, επιστρώσεις της μορφής διηλεκτρικό/μέταλλο/διηλεκτρικό (D/M/D films) και οι μεταβαλλόμενης ανακλαστικότητας διατάξεις που περιλαμβάνουν τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα (ECW), τα γυαλιά υγρών κρυστάλλων, τις συσκευές περιορισμένων σωματιδίων (suspended-particles, SPD) και τα θερμοχρωμικά παράθυρα (TCW)[9,10].

Οι επιστρώσεις χαμηλής εκπομπής (Low-e) είναι φασματικά επιλεκτικές επιστρώσεις που επιτρέπουν την διέλευση του ορατού μέρους του φάσματος και αποκλείουν τις περιοχές του υπεριώδους (UV) και του υπέρυθρου (IR) που αυξάνουν την θερμοκρασία. Εξαιτίας της υψηλής ανακλαστικότητάς της στο IR, αυτού του είδους η επίστρωση έχει μελετηθεί εκτενώς τις τελευταίες 2 δεκαετίες. Υπάρχουν 2 είδη Low-e επιστρώσεων: οι σκληρές επικαλύψεις που βασίζονται στο οξείδιο του κασσιτέρου (SnO_2) και οι μαλακές επικαλύψεις που στηρίζονται στον άργυρο. Οι πρώτες αν και έχουν χαμηλότερη διαπερατότητα, έχουν μεγαλύτερη ανακλαστικότητα στο IR. Η χαμηλή τους διαπερατότητα στο ορατό μπορεί να ενισχυθεί, χρησιμοποιώντας κάποια ανακλαστική επίστρωση, όπως το SiO_2 [9].

Οι διατάξεις μεταβαλλόμενης ανακλαστικότητας κατηγοριοποιούνται σε παθητικές και ενεργητικές. Στα παθητικά συστήματα, η διαδικασία εναλλαγής ενεργοποιείται αυτόματα με βάση τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Οι συνθήκες αυτές μπορεί να είναι το φως για τα φωτοχρωμικά παράθυρα, ή η θερμοκρασία/θερμότητα για τα

θερμοχρωμικά παράθυρα. Από την άλλη πλευρά, τα ενεργητικά συστήματα απαιτούν κάποιον εξωτερικό μηχανισμό ενεργοποίησης για να πραγματοποιήσουν την μεταβολή. Για παράδειγμα, η ηλεκτρική ενέργεια είναι ο μηχανισμός ενεργοποίησης για τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα. Τα ενεργητικά συστήματα προσφέρουν συμπληρωματικές επιλογές σε σχέση με τα παθητικά, αν και τα περιορίζει η εξάρτησή τους από την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και καλωδίωσης. Στην κατηγορία των χρωμικών υλικών, που είναι η πιο συχνή στις εφαρμογές έξυπνων παραθύρων, ανήκουν τα ηλεκτροχρωμικά, θερμοχρωμικά, γκαζοχρωμικά και φωτοχρωμικά υλικά. Στην εργασία αυτή εφαρμόζονται τα δύο πρώτα είδη χρωμικών υλικών, τα θερμοχρωμικά και τα ηλεκτροχρωμικά.

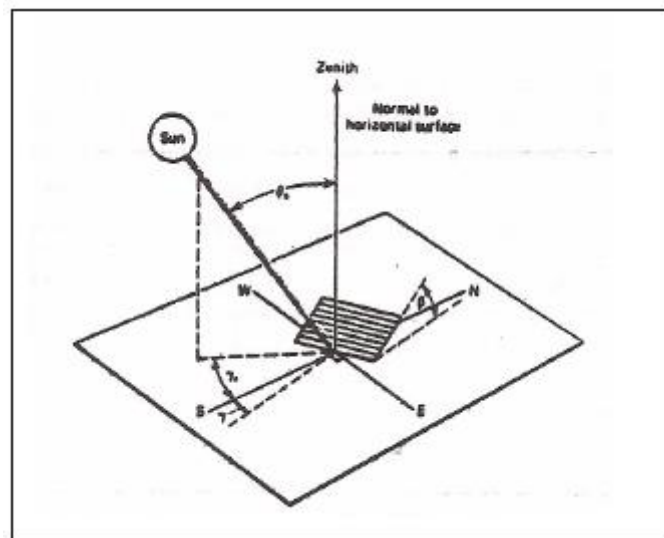
Κεφάλαιο 2^ο – Ηλιακή Ακτινοβολία

2.1 Βασικές έννοιες

Η γη ακολουθεί ελλειπτική τροχιά γύρω από τον ήλιο, την κύρια πηγή ενέργειας. Έτσι η απόσταση συνεχώς μεταβάλλεται γύρω από μια μέση απόσταση $1.495 \cdot 10^{11}$ m με εύρος μεταβολής $\pm 1.7\%$. Η διάμετρος του ήλιου είναι περίπου 1392000 km^2 , η επιφάνεια του $6.078 \cdot 10^{12} \text{ km}^2$, ο όγκος του $1.412 \cdot 10^{18} \text{ km}^3$, η μάζα του $1.99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, και η μέση πυκνότητά του αντιστοιχεί στο 0.253 της μέσης πυκνότητας της γης και 1.41 της πυκνότητας του νερού. Η κλίση του άξονα του ήλιου ως προς την κάθετο στην επιφάνεια της γης είναι $7^\circ 15'$, ενώ η ταχύτητα περιστροφής της γης γύρω από τον ήλιο 30 km/s . Το εξωτερικό στρώμα του αποτελείται από 75% υδρογόνο, 23% ήλιο και 2% άλλα αέρια. Η διαδρομή του φωτός από τον ήλιο στη γη έχει υπολογιστεί σε 8 min 18s.

Η ηλιακή σταθερά G_{sc} είναι η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που δέχεται εκτός ατμόσφαιρας από τον ήλιο η μονάδα επιφανείας κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, όταν η απόσταση μεταξύ ήλιου και γης έχει τη μέση τιμή. Η τιμή της είναι $G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$ [11].

Η θέση του ήλιου καθορίζεται από το ηλιακό ύψος και το αζιμούθιο ηλίου.



Εικόνα 2.1 : Η θέση του ήλιου (αζιμούθιο, ηλιακό ύψος, γωνία ζενίθ)[11].

Η γωνία ζενίθ θ_z είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ήλιου, δηλαδή δείχνει πόσο ψηλά είναι ο ήλιος.

Το ηλιακό ύψος $\alpha = 90^\circ - \theta_z$ είναι η γωνία μεταξύ της ευθείας όρασης του ηλίου και της προβολής της στο οριζόντιο επίπεδο[12].

Το αζιμούθιο επιφανείας γ είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση και

λαμβάνει τις τιμές $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$, με $\gamma=0^\circ$ στον νότο, $\gamma=90^\circ$ στη δύση, $\gamma=180^\circ$ στον βορρά και $\gamma=-90^\circ$ στην ανατολή.

Το αζιμούθιο ηλίου γ είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης.

Η κλίση επιπέδου β είναι η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδη επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο, με τιμές $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$. Όταν το επίπεδο είναι οριζόντιο $\beta = 0^\circ$, όταν είναι κάθετο $\beta = 90^\circ$, ενώ όταν $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο βλέπει προς τα κάτω.

Οι γωνίες ύψους και αζιμούθιου μεταβάλλονται ανάλογα με την ώρα και την περιοχή.

Η ωριαία γωνία ω είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου σε σχέση με τον τοπικό μεσημβρινό (ανατολικά ή δυτικά) λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονά της. Ο ρυθμός περιστροφής είναι $15^\circ/\text{h}$ ή $0,25^\circ/\text{min}$. Η σχέση υπολογισμού της ωριαίας γωνιάς είναι[12]:

$$\omega = 0.25 \cdot (\text{μίνα από το ηλιακό μεσημέρι}) \quad (2.1)$$

και λαμβάνει θετικές τιμές για τις απογευματινές ώρες και αρνητικές για τις πρωινές. Ηλιακός μεσημέρι ορίζεται η χρονική στιγμή που ο ήλιος τέμνει το μεσημβρινό του παρατηρητή.

Η ηλιακή απόκλιση δ είναι η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού[12]:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right) \quad (2.2)$$

όπου n η μέρα του έτους (οι τιμές της οποίας αναγράφονται στον Πίνακα 2.1 παρακάτω)

Η ηλιακή απόκλιση δ παίρνει θετικές τιμές προς το βορρά, και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$.

Πίνακας 2.1 : Η μέση μέρα του μήνα, η μέρα του έτους και η αντίστοιχη τιμή της ηλιακής απόκλισης[12].

Μήνας	Μέση μέρα του μήνα	Η μέρα του έτους (n) για τη μέση μέρα του μήνα
Ιανουάριος	17	17
Φεβρουάριος	16	47
Μάρτιος	16	75
Απρίλιος	15	105
Μάιος	15	135
Ιούνιος	11	162
Ιούλιος	17	198
Αύγουστος	16	228
Σεπτέμβριος	15	258
Οκτώβριος	15	288

Νοέμβριος	14	318
Δεκέμβριος	10	344

Μέση ημέρα μήνα θεωρείται εκείνη η μέρα του μήνα όπου η ημερησία ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας είναι ίση με την μέση ημερήσια του συγκεκριμένου μήνα.

2.2 Γωνία πρόσπτωσης

Γωνία πρόσπτωσης, θ , της αμέσου ακτινοβολίας πάνω σε μία επιφάνεια είναι η γωνία μεταξύ των προσπιπτουσών ηλιακών ακτίνων και της καθέτου στην επιφάνεια.

Η γωνία πρόσπτωσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \quad (2.3)$$

όπου φ είναι το γεωγραφικό πλάτος, $-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$.

Για κατακόρυφες επιφάνειες ($\beta=90^\circ$) η παραπάνω σχέση γράφεται:

$$\cos \theta = -\sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \quad (2.4)$$

Ενώ για οριζόντιες επιφάνειες ($\beta=0^\circ$) η γωνία πρόσπτωσης ταυτίζεται με την γωνία ζενίθ, θ_z και η εξίσωση (2.3) γίνεται:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega \quad (2.5)$$

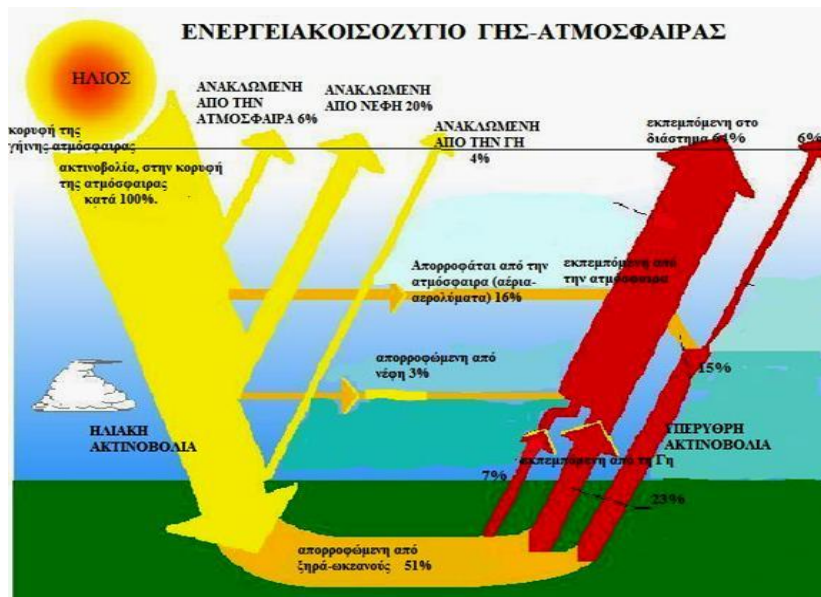
Για κεκλιμένες επιφάνειες που ευρίσκονται στο βόριο ημισφαίριο και είναι εστραμμένες προς τον νότο ($\gamma=0^\circ$) ισχύει:

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta \cdot \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \omega \quad (2.6)$$

Η παραπάνω σχέση προκύπτει από την εξίσωση (2.5) θέτοντας όπου φ το $(\varphi-\beta)$.

2.3 Συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας

Καθώς οι ηλιακές ακτίνες περνούν από την ατμόσφαιρα της γης, τα φωτόνια σκεδάζονται στους υδρατμούς, στη σκόνη και στα υπόλοιπα σωματίδια που υπάρχουν. Ένα μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της γης και το υπόλοιπο διαχέεται προς το διάστημα. Επιπλέον, ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας και μια άλλη ποσότητα ανακλάται στα σύννεφα και στη συνέχεια διαχέεται προς το έδαφος. Συνεπώς, σε κάθε σημείο της γης φτάνουν τρεις συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας, η άμεση, η διάχυτη και η ανακλώμενη.



Εικόνα 2.2 : Η διανομή της ηλιακής ακτινοβολίας[13].

2.3.1 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται μια επιφάνεια προέρχεται απευθείας από τον ήλιο, χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα. Η άμεση στιγμιαία ακτινοβολία που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με G_B , ενώ η άμεση ακτινοβολία που δέχεται ένα επίπεδο με κλίση β είναι G_{BT} . Αντίστοιχα, η άμεση ωριαία ακτινοβολία οριζώντιου επιπέδου συμβολίζεται με το I_B και η άμεση ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου I_{BT} . Τέλος, η άμεση ημερήσια ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με H_B , ενώ η άμεση ακτινοβολία που δέχεται ένα επίπεδο γωνίας κλίσης β είναι H_{BT} .

2.3.2 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ονομάζεται η ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση και αλλαγή κατεύθυνσης μέσα στην ατμόσφαιρα. Οι αντίστοιχοι συμβολισμοί που προκύπτουν από την διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο είναι G_d , I_d , H_d , ενώ η διάχυτη ακτινοβολία που λαμβάνει μία επιφάνεια κλίσης β είναι G_{dT} , I_{dT} , H_{dT} για τιμές που αναφέρονται σε στιγμιαίες, ωριαίες και ημερήσιες μετρήσεις.

2.3.3 Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία

Η ανακλώμενη ακτινοβολία είναι το ποσοστό της ολικής ακτινοβολίας που ανακλάται από το έδαφος και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας και χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή ανάκλασης r . Επίσης, η ανακλώμενη ακτινοβολία εξαρτάται από τη μορφολογία του εδάφους και την πυκνότητα των νεφών.

2.4 Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο

Η συνολική ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια ονομάζεται ολική ακτινοβολία και αποτελείται από το άθροισμα των επιμέρους

συνιστωσών τους, δηλαδή της άμεσης, της διάχυτης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας, όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$I = I_b + I_d + I_r \quad (2.7)$$

Η μετατροπή της ολικής ακτινοβολίας από οριζόντιο επίπεδο σε κεκλιμένο πραγματοποιείται μέσω της σχέσης (2.8):

$$I_T = I \cdot R \quad (2.8)$$

όπου R είναι ο συντελεστής μετατροπής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και η τιμή του υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R = \frac{I_b}{I} \cdot R_b + \frac{I_d}{I} \cdot \frac{(1+\cos\beta)}{2} + \rho \cdot \frac{(1-\cos\beta)}{2} \quad (2.9)$$

$$\text{και } R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (2.10)$$

2.5 Αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ενέργεια που φτάνει στη Γη μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας αξιοποιείται από τον άνθρωπο για προκειμένου να ικανοποιήσει πολλαπλές από τις ενεργειακές ανάγκες της καθημερινότητάς του. Παρακάτω αναφέρονται οι τρόποι βασικοί αξιοποίησης της ακτινοβολίας.

2.5.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι αναπόσπαστα κομμάτια – δομικά στοιχεία ενός κτιρίου που λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν (τον χειμώνα), αλλά και δροσίζουν (το καλοκαίρι) τα κτίρια. Τα παθητικά συστήματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης
- Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού
- Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου συνεπάγεται τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των συστημάτων, ώστε να συνδυάζουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθόλη τη διάρκεια του έτους.

2.5.2 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι όσα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, σε αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι αρκετά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών. Η

πλέον διαδεδομένη εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, οι γνωστοί σε όλους ηλιακοί θερμοσίφωνες.

Η επιφάνεια ηλιακών συστημάτων που βρίσκονται σε λειτουργία στη χώρα μας είναι περίπου 2.800.000 m² (στοιχεία 2001). Ήδη, περισσότερες από 1.000.000 ελληνικές οικογένειες καλύπτουν περίπου 80% των ετησίων αναγκών τους σε ΖΝΧ με ηλιακό θερμοσίφωνα. Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών και η ποιότητα τους γενικά έχουν βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Η Ελλάδα είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας σε όλη την Ευρώπη και μάλιστα σε χώρες με ιδιαίτερη βιομηχανική παράδοση, όπως η Γερμανία[14].

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ΖΝΧ αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ένα δοχείο αποθήκευσης της θερμότητας και σωληνώσεις. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου, με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30°-60° ως προς τον ορίζοντα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως.

Πέρα από την οικιακή χρήση, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη σήμερα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε απαιτείται θερμότητα χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης. Έτσι, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, για τον κλιματισμό χώρων και άλλες εφαρμογές, εμφανίζεται ως μία από τις πολλά υποσχόμενες προοπτικές, λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας ακριβώς την εποχή που απαιτούνται τα ψυκτικά φορτία. Υπάρχουν ήδη μερικές επιτυχημένες εφαρμογές τέτοιων συστημάτων στη χώρα μας και αναμένεται να έχουν ταχεία ανάπτυξη.

Μια άλλη εφαρμογή που έχει εξαπλωθεί στην Ευρωπαϊκή αγορά είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων με ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες για τη θέρμανση χώρων, θεωρείται τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδοτική, αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη/κατασκευή του κτιρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών, κ.λπ.) και τη συνεργασία του χρήστη. Μπορεί, επίσης, να συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας σε νέα ή παλιά κτίρια. Είναι πάντως, πολύ σημαντικός ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος και η προσεκτική εξέταση της βιωσιμότητας της εγκατάστασης για την αποφυγή λανθασμένων επιλογών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

Κεφάλαιο 3^ο – Υαλοπίνακες

3.1 Εισαγωγή

Η θερμική άνεση ενός χώρου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη επιφανειών από διάφανα υλικά, όπως είναι τα παράθυρα. Οι υαλοπίνακες χαρακτηρίζονται από την ιδιότητά τους να επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να περνά μέσα από τη μάζα τους, σε βαθμό που εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως το υλικό κατασκευής (η χημική σύσταση), το πάχος, η ύπαρξη επιφανειακής επίστρωσης κλπ.

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια γυάλινη επιφάνεια διασπάται σε τρία μέρη, εκ των οποίων το ένα ανακλάται πίσω στο εξωτερικό περιβάλλον, ένα μέρος αποθηκεύεται υπό μορφή θερμότητας στο εσωτερικό του υαλοπίνακα, και το τρίτο μέρος διαπερνά τη μάζα του υλικού και αποτελεί την ακτινοβολία που τελικά εισέρχεται στο εσωτερικό του δωματίου. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια του υαλοπίνακα είναι αποτέλεσμα της άμεσης ακτινοβολίας, της διάχυτης, και της διάχυτης που προέρχεται από ανάκλαση στο έδαφος ή στις γύρω επιφάνειες. Η επίδραση στην θερμική άνεση της διάχυτης ακτινοβολίας είναι σημαντική, αλλά σαφώς μικρότερη από την άμεση ακτινοβολία.

Σημαντική ιδιότητα των υαλοπινάκων είναι το ότι δεν επιτρέπουν να διαπεράσει από τη μάζα τους η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, όπως αυτή που εκπέμπεται από σώματα θερμοκρασίας μικρότερης των 120°C που συνήθως υπάρχουν σε έναν χώρο. Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο χώρο προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειών και των αντικειμένων που εκτίθενται σε αυτή, τα οποία μόλις η θερμοκρασία τους αποκτήσει τιμή μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του χώρου, εκπέμπουν ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, εκ της οποίας ένα ποσοστό ανακλάται από τον υαλοπίνακα πίσω στον εσωτερικό χώρο, και το υπόλοιπο απορροφάται από αυτόν με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του..

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν έναν υαλοπίνακα είναι η διαπερατότητα τ , η απορροφητικότητα (α) και η ανακλαστικότητα (ρ). Αυξάνοντας τη γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας, μειώνεται η διαπερατότητα και αυξάνεται η ανακλαστικότητα. Η απορροφητικότητα αρχικά αυξάνεται, λόγω αύξησης της διαδρομής της ακτινοβολίας μέσα στη μάζα του υαλοπίνακα, αλλά στη συνέχεια μειώνεται αφού λόγω της μεγαλύτερης ανάκλασης μειώνεται η ποσότητα που εισέρχεται στην εσωτερική μάζα του υαλοπίνακα. Γενικά το συνολικό άθροισμα των παραπάνω τριών οπτικών ιδιοτήτων ισούται με τη μονάδα, ενώ για τη διάχυτη ακτινοβολία οι τιμές τους ορίζονται κατά προσέγγιση ίσες με αυτές της άμεσης υπό γωνία πρόσπτωσης 60°.

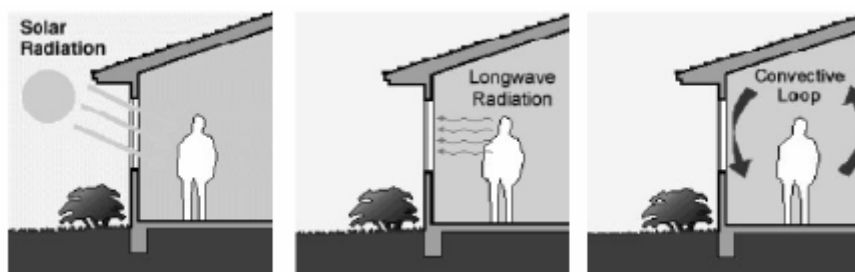
3.2 Η επίδραση των υαλοπινάκων στη θερμική άνεση

Είναι εύκολα αντιληπτό ότι όσο πιο κοντά σε ένα παράθυρο βρίσκεται κάποιο άτομο, τόσο μεγαλύτερη είναι η αίσθηση έλλειψης θερμικής άνεσης που . Σε

αντίθεση με αυτή την κατάσταση, η ύπαρξη μεγάλων παραθύρων έχει σημαντικά οφέλη στην οπτική και ψυχολογική άνεση των παρευρισκομένων εντός του χώρου.

Ένα παράθυρο επηρεάζει τη θερμική άνεση κατά τρεις κυρίως τρόπους:

- Λόγω της μετάδοσης ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό.
- Λόγω εκπομπών θερμικής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος προς το εσωτερικό, ύστερα από αύξηση της θερμοκρασίας της εσωτερικής επιφάνειας του υαλοπίνακα.
- Λόγω της δημιουργίας ρεύματος αέρα που δημιουργείται από τη διαφορά θερμοκρασίας στην επιφάνεια του υαλοπίνακα, και μεταξύ επιφάνειας και εσωτερικού χώρου.



Εικόνα 3.1 : Η επίδραση των παραθύρων στην εσωτερική θερμική άνεση[11].

Η ακτινοβολία που διαπερνά τον υαλοπίνακα στο εσωτερικό του δωματίου προκαλεί ενόχληση όταν κάποιο άτομο είναι εκτεθειμένο άμεσα σ' αυτή. Στη περίπτωση μιας κρύας χειμωνιάτικης ημέρας η έκθεση στην άμεση ακτινοβολία ενός ατόμου, μπορεί να προσφέρει την αίσθηση της ευχαρίστησης για κάποιο χρονικό διάστημα. Το καλοκαίρι, όμως, η ενόχληση που δημιουργείται είναι άμεση καθώς έχει διαπιστωθεί πως η έκθεση σε άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 22°C προκαλεί έλλειψη άνεσης[11].

Η επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας υφίσταται αφ' ενός από την απορρόφηση της από το ανθρώπινο σώμα και αφ' ετέρου από την αύξηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα και των εσωτερικών επιφανειών του χώρου. Ο βαθμός που προκαλεί ενόχληση πάνω στο σώμα, εξαρτάται από την απορροφητικότητα των ρούχων, το χρωματισμό τους και το υλικό κατασκευής τους. Ακόμα εξαρτάται από το χρώμα της ανθρώπινης επιδερμίδας. Γενικά η λευκή επιδερμίδα έχει χαμηλότερη απορροφητικότητα από τη σκούρα, ανάλογα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας στην οποία εκτίθενται.

Επιπρόσθετα, η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας ενός υαλοπίνακα έχει άμεση σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον του χώρου, και επηρεάζει τη συναλλαγή θερμότητας ακτινοβολίας του ανθρώπου με το περιβάλλον του. Η άνοδος της

θερμοκρασίας προκαλείται από την απορρόφηση ενός ποσοστού της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα, και στην απορρόφηση ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που δέχεται από το εσωτερικό. Οι παράγοντες που καθορίζουν τη θερμοκρασία αυτή είναι τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα, η εξωτερική θερμοκρασία, ο άνεμος, η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα και των επιφανειών, η εσωτερική και εξωτερική υγρασία καθώς επίσης και το ποσό της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, τα ποσοστά αυτής σε διάχυτη, άμεση και εξ' ανακλάσεως, οι γωνίες πρόσπτωσης της ακτινοβολίας και ο προσανατολισμός της επιφάνειας[11].

3.3 Χαρακτηριστικές οπτικές ιδιότητες του υαλοπίνακα τον χειμώνα και το καλοκαίρι

Τους κρύους χειμερινούς μήνες την μεγαλύτερη επίδραση στην θερμική άνεση λόγω των υαλοπινάκων την προκαλεί η εξωτερική θερμοκρασία. Η θερμοκρασία αυτή συνδέεται με τη θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας και με την ολική θερμική διαπερατότητα U του υαλοπίνακα. Συνεπώς ένας τρόπος αξιολόγησης και κατάταξης των υαλοπινάκων είναι η ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία υπό την οποία ένα άτομο αισθάνεται άνετα καθήμενο κοντά στην εσωτερική επιφάνεια του παραθύρου[11].

Τους ζεστούς καλοκαιρινούς μήνες ο κύριος παράγοντας είναι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο παράθυρο, ενώ η εξωτερική θερμοκρασία έχει σημαντικά μειωμένη επίδραση. Δυο από τους παράγοντες που χαρακτηρίζουν έναν υαλοπίνακα είναι η εκπομπή άμεσης ακτινοβολίας T_{sol} και ο δείκτης SHGC. Η T_{sol} εκφράζει το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που εκπέμπεται άμεσα δια μέσω του παραθύρου και προσπίπτει στο ανθρώπινο σώμα. Ο συντελεστή θερμικού ηλιακού κέρδους SHGC εκφράζει τη μέση τιμή του λόγου της ηλιακής ακτινοβολίας που περνά από την επιφάνεια του υαλοπίνακα προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σ' αυτό.

3.4 Η σχέση της θερμοκρασίας εσωτερικού με τη θερμοκρασία της επιφάνειας του παραθύρου

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας υαλοπινάκων (αντίστοιχα ισχύουν και για τους τοίχους) επιδρούν με ψυκτικά ή θερμικά φορτία τα οποία ανεβάζουν ή ρίχνουν τη θερμοκρασία του χώρου. Η θερμοκρασιακή επίδραση του παραθύρου μπορεί να εκφραστεί μέσω της διαφοράς μεταξύ της πραγματικής θερμοκρασίας της εσωτερικής επιφάνειας του παραθύρου και ουδέτερης θερμοκρασίας. Η ουδέτερη θερμοκρασία παραθύρου είναι εκείνη η θερμοκρασία της επιφάνειας που είναι ίση με τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα, και εξασφαλίζεται ουδέτερη θερμική επίδραση στην άνεση του χώρου[11].

3.5 Θερμικό κέρδος χώρου λόγω της ηλιακής προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε υαλοπίνακα

Σε έναν υαλοπίνακα που χωρίζει το εσωτερικό περιβάλλον ενός χώρου από το εξωτερικό, προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία. Ο θερμικός ισολογισμός του υαλοπίνακα εκφράζεται από τη σχέση[46]:

$$I + U \cdot (t_o - t_i) = \dot{q}_R + \dot{q}_S + \dot{q}_T + \dot{q}_{RCo} + \dot{q}_{RCi} \quad (3.1)$$

Όπου,

I : η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα

U : η θερμική διαπερατότητα του υαλοπίνακα

t_o : η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος

t_i : η θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος

\dot{q}_R : η θερμική ισχύς της ακτινοβολίας που ανακλάται στον υαλοπίνακα

\dot{q}_S : η θερμική ισχύς που αποθηκεύεται στον υαλοπίνακα

\dot{q}_T : η θερμική ισχύς που τελικά διέρχεται μέσω του υαλοπίνακα στο εσωτερικό περιβάλλον

\dot{q}_{RCo} : η θερμική ισχύς που αποδίδει ο υαλοπίνακας στο εξωτερικό περιβάλλον

\dot{q}_{RCi} : η θερμική ισχύς που αποδίδει ο υαλοπίνακας στο εσωτερικό περιβάλλον

Οι τελευταίες δυο παράμετροι αφορούν την θερμική ισχύ που προέρχεται από την αποθηκευμένη θερμότητα του υαλοπίνακα, την οποία αποδίδει με ακτινοβολία και συναγωγή. Ακόμα ισχύει ότι η θερμική ισχύς που αποθηκεύεται στον υαλοπίνακα είναι πολύ μικρότερη από ανακλάται και αυτή που μεταδίδεται στο εσωτερικό.

Ο όρος $U (t_o - t_i)$ εκφράζει τη ροή θερμότητας δια μέσο του υαλοπίνακα λόγω της διαφοράς εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας. Αν η διαπερατότητα του υαλοπίνακα είναι τ η ακτινοβολία που τελικά περνά στο εσωτερικό είναι η ποσότητα I της ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας, ενώ αν η απορροφητικότητα είναι α το ποσό ακτινοβολίας που απορροφάται είναι $\alpha \cdot I$, εκ του οποίου ένα μέρος αποθηκεύεται σε αυτόν και προκαλεί την άνοδο της θερμοκρασίας του, και το υπόλοιπο N_i αποδίδεται στο εσωτερικό περιβάλλον[46].

Το κλάσμα $N_i = U / h_o$ είναι ο λόγος της θερμικής διαπερατότητας προς τον ολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας (με συναγωγή και ακτινοβολία).

Το θερμικό κέρδος του εσωτερικού χώρου προκύπτει από τη σχέση:

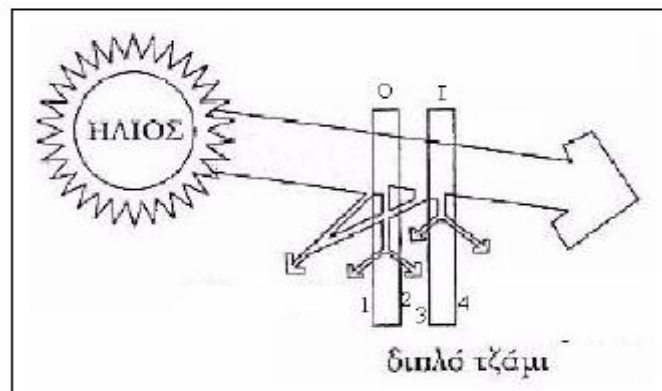
$$\dot{q}_A = \tau \cdot I + N_i \cdot \alpha \cdot I + U \cdot (t_o - t_i) = F \cdot I + U \cdot (t_o - t_i) \quad (3.2)$$

Αντί της παραπάνω σχέσης είναι πιο πρακτικό να χρησιμοποιείται ο παράγοντας ηλιακού θερμικού κέρδους SHGF, ειδικά όταν πρόκειται για συστήματα υαλοπινάκων.

Το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα, που τελικά μετατρέπεται σε θερμικό κέρδος του χώρου, εκφράζεται από το συντελεστή θερμικού ηλιακού κέρδους F, ο οποίος εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας και τον τύπο του υαλοπίνακα. Ισχύει η σχέση:

$$F = \tau + \frac{U \cdot \alpha}{h_o} \quad (3.3)$$

Σε περίπτωση των διπλών ή τριπλών υαλοπινάκων ο υπολογισμός είναι λίγο πιο πολύπλοκος, καθώς η ακτινοβολία που διαπερνά το πρώτο τζάμι προσπίπτει στο δεύτερο και ένα μέρος της ανακλάται πίσω στο πρώτο (όπως αναπαρίσταται στην **Εικόνα 3.2**).



Εικόνα 3.2 : Πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε διπλό υαλοπίνακα[11].

Και στους δυο υαλοπίνακες υπάρχει απορρόφηση ενός ποσοστού ακτινοβολίας, ενώ το τελικό ποσό της ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο είναι μειωμένο. Η περιγραφή των τρόπων μετάδοσης θερμότητας είναι αρκετά σύνθετη, αφού και ο αέρας που υπάρχει στο διάκενο μεταξύ των υαλοπινάκων επηρεάζει τη ροή θερμότητας. Η πολυπλοκότητα της, μάλιστα, αυξάνεται όσο μεγαλώνει το πλήθος των επιφανειών[11].

Ανάλογα με τη θερμοκρασία του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος η ροή θερμότητας με αγωγή μέσα από τους υαλοπίνακες μπορεί να πάρει θετικές ή αρνητικές τιμές και αποτελεί θερμικό κέρδος ή απώλειες θερμότητας για τον εσωτερικό χώρο αντίστοιχα. Η ροή θερμότητας που οφείλεται στην ακτινοβολία εξαρτάται από την ηλιοφάνεια του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Η ροή θερμότητας προς τον εσωτερικό χώρο εξαρτάται από το είδος του υαλοπίνακα, τη κλίση και τον προσανατολισμό του, το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που βρίσκεται το κτήριο, την ύπαρξη σκίασης ή άλλων τρόπων εμπόδισης της ηλιακής ακτινοβολίας (τζάμι με επιστρώσεις).

Όταν γίνεται χρήση του παράγοντα ηλιακού θερμικού κέρδους SHGC (το οποίο βρίσκεται εύκολα από πίνακες), το ολικό θερμικό κέρδος του εσωτερικού χώρου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\dot{q}_A = (SC) \cdot (SHGC) + U \cdot (t_o - t_i) \quad (3.4)$$

Ο συντελεστής σκίασης SC εκφράζει το λόγο του ηλιακού θερμικού κέρδους για δεδομένο σύστημα υαλοπινάκων και συγκεκριμένες συνθήκες, προς το ηλιακό θερμικό κέρδος του υαλοπίνακα αναφοράς DSA της ASHRAE για τις ίδιες συνθήκες. Συναρτήσε του συντελεστή ηλιακού κέρδους F και του αντίστοιχου για τον υαλοπίνακα αναφοράς γράφεται[11]:

$$(SC) = \frac{F}{F_r} = \frac{F}{0.87} = 1.15 \cdot F \quad (3.5)$$

Ο υαλοπίνακας αναφοράς DSA της ASHRAE έχει ανακλαστικότητα 0.08 και απορροφητικότητα στην κάθετη πρόσπτωση ακτινοβολίας 0.06 [11].

Το γινόμενο (SC)·(SHGC) εκφράζει το ολικό θερμικό κέρδος SHG για δεδομένο σύστημα υαλοπινάκων.

Συνεπώς, το ολικό θερμικό κέρδος εκφράζεται ως:

$$\dot{q}_A = SHG + U \cdot (t_o - t_i) \quad (3.6)$$

3.6 Ο προσανατολισμός και η κλίση των υαλοπινάκων

Τα στοιχεία που επηρεάζουν άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει είναι η κλίση του υαλοπίνακα, ο προσανατολισμός του, και το γεωγραφικό πλάτος του σημείου που βρίσκεται, καθώς κάθε αλλαγή των παραμέτρων αυτών (όλων ή κάθε μία χωριστά) προκαλεί αλλαγή στη γωνία πρόσπτωσης, με συνέπεια την αλλαγή στα ποσοστά της ακτινοβολίας που διέρχεται του υαλοπίνακα στο εσωτερικό του κτιρίου, της ακτινοβολίας που ανακλάται, και της ακτινοβολίας που απορροφά ο υαλοπίνακας.

Η νότια τοποθέτηση των παραθύρων ενδείκνυται διότι προσφέρουν τη μέγιστη εκμετάλλευση θερμότητας λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα, και μείωση της το καλοκαίρι. Για την εύκρατη ζώνη, ο Νότιος προσανατολισμός προσφέρει προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σχεδόν τριπλάσια από τους άλλους προσανατολισμούς το χειμώνα[11]. Η γυάλινη επιφάνεια θεωρείται ο πιο οικονομικός ηλιακός συλλέκτης αρκεί να έχει νότιο προσανατολισμό με μία ανοχή της τάξης των 30° ανατολικά ή δυτικά. Αν προτείνονται μεγάλα παράθυρα για τις νότιες προσανατολισμένες επιφάνειες, ταυτόχρονα προτείνονται μικρά μόνο

παράθυρα για τις βόρειες, ώστε να γίνουν όσο το δυνατόν μικρότερες οι θερμικές απώλειες.

Όσον αφορά τη κλίση των υαλοπινάκων, ενδείκνυται η κατακόρυφη τοποθέτηση, διότι τους χειμερινούς μήνες δέχεται τη μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία. Τους θερινούς μήνες που ο ήλιος είναι ψηλά στον ουρανό, η κατακόρυφη τοποθέτηση προσφέρει το μικρότερο δυνατόν κέρδος από ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η τελευταία έχει υψηλή γωνία πρόσπτωσης[11].

3.7 Τύποι υαλοπινάκων

Στο εμπόριο διατίθενται διάφορα είδη υαλοπινάκων που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη ποικίλων αναγκών. Μερικές από τις βασικότερες κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται, αναφέρονται και περιγράφονται παρακάτω.

3.7.1 Απλοί (Μονολιθικοί) υαλοπίνακες

Οι συγκεκριμένοι υαλοπίνακες αποτελούν την παλαιότερη και απλούστερη μορφή υαλοπινάκων . Αποτελούνται από ένα και μόνο κρύσταλλο σε διάφορα πάχη (συνήθως από 3 mm έως 6 mm) το οποίο έχει περιορισμένες δυνατότητες θερμομόνωσης, ηχομόνωσης και ασφάλειας. Οι συγκεκριμένοι υαλοπίνακες τοποθετούνταν επί πολλά έτη σε όλα τα παραδοσιακού τύπου κουφώματα στενής διατομής και πολύ απλού προφίλ. Στην Ελλάδα η χρήση τους ήταν πολύ συχνή μέχρι προσφάτως[64]. Η θερμική τους συμπεριφορά δεν συμφωνεί πλέον με το σύγχρονο κανονισμό θερμομόνωσης κτιρίων και πέραν αυτού οι υαλοπίνακες αυτοί παρουσιάζουν την υψηλότερη ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, επιτρέπουν την μέγιστη εισχώρηση στην ηλιακή ακτινοβολία, παρέχουν μηδενική σχεδόν ηχομόνωση, μικρή ασφάλεια και αυξημένους κινδύνους τραυματισμού σε περίπτωση θραύσης. Πιο συγκεκριμένα, έχουν συντελεστή θερμοπερατότητας περίπου της τάξης των $5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ η οποία είναι μια πολύ υψηλή τιμή σε σχέση με τις απαιτήσεις του κανονισμού ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (KENAK)[65].

3.7.2 Διπλοί υαλοπίνακες

Οι διπλοί υαλοπίνακες αποτελούνται από δυο κρύσταλλα τα οποία ενώνονται περιμετρικά με ένα προφίλ αλουμινίου και το όλο σύστημα σφραγίζεται με ειδική κόλλα. Στο διάκενο συναντάμε εγκλωβισμένο στρώμα ξηρού αέρα. Τα συνηθέστερα πάχη χρησιμοποιούμενων κρυστάλλων είναι 3 mm έως 6 mm και συνδυάζονται με διάκενα από 8 mm έως 16 mm[64]. Σε σύγκριση με το σύστημα μονής υάλωσης οι διπλοί υαλοπίνακες περιορίζουν τις θερμικές απώλειες λόγω της θερμομονωτικής ιδιότητας του αέρα στο διάκενο , παρουσιάζουν επίσης μεγαλύτερες ιδιότητες ηχομόνωσης και ασφάλειας και είναι διαυγείς. Η θερμοπερατότητα τους είναι της τάξης των $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, μια τιμή ικανοποιητική[65].

3.7.3 Διπλοί υαλοπίνακες με ευγενές αέριο

Στους διπλούς υαλοπίνακες, μπορεί αντί για αέρα στο διάκενο, να χρησιμοποιηθούν ευγενή αέρια όπως το Αργό (Ar) ή το Κρυπτό (Kr). Στην περίπτωση διπλού υαλοπίνακα, πάχους 400mm αποτελείται από δύο μονούς υαλοπίνακες πάχους

4mm ο καθένας με διάκενο 16mm με αέριο Αργό στο διάκενο, η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας μπορεί να μειωθεί μέχρι τα 1.1 W/(m²K) [64]. Επιπλέον με τη χρήση θερμομονωτικού πλαισίου μπορεί να επιτευχθούν ακόμα χαμηλότερες τιμές στον συνολικό συντελεστή θερμοπερατότητας του συστήματος του παραθύρου.

3.7.4 Τριπλοί υαλοπίνακες

Οι τριπλοί υαλοπίνακες αποτελούν ένα σύστημα τριών, είτε απλών, είτε ανακλαστικών υαλοπινάκων, οι οποίοι διατηρούνται σε απόσταση μεταξύ τους, μέσω μεταλλικής κατασκευής, 12mm. Επίσης, το αέριο, είτε αέρας είτε ευγενές αέριο, που βρίσκεται ανάμεσα στο διάκενο βελτιώνει τη συνολική θερμομονωτική συμπεριφορά συστήματος του παραθύρου[65].

3.7.5 Θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες

Θερμοχρωμικά είναι τα υλικά (thermocromic materials) που αλλάζουν χρώμα (οπτικές ιδιότητες) όταν μεταβληθεί η θερμοκρασία τους. Οι θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες μεταβάλλουν τη διαπερατότητά τους στο ηλιακό φως με αλλαγή του χρωματισμού τους από ανοικτό σε σκούρο. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ελαφρά χρωματισμένων θερμοχρωμικών μεμβρανών (φιλμ), που καθώς θερμαίνονται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία σκουρύνουν, μειώνεται η διαπερατότητά τους και απορροφούν σημαντικό μέρος της ακτινοβολίας που κατευθύνεται προς το εσωτερικό τους. Όταν δεν υπάρχει άμεση ηλιακή ακτινοβολία, οι υαλοπίνακες αποχρωματίζονται επιτρέποντας την είσοδο της ακτινοβολίας[65]. Τέλος πρέπει να αναφερθεί πως οι θερμοχρωμικές μεμβράνες ενσωματώνονται μεταξύ δύο υαλοπινάκων, συνθέτοντας ένα ενιαίο φύλλο, το οποίο στη συνέχεια αποτελεί μέρος ενός συνθετότερου στοιχείου, διπλού ή τριπλού υαλοπίνακα.

3.7.6 Φωτοχρωμικοί υαλοπίνακες

Φωτοχρωμικά είναι τα υλικά που αλλάζουν το χρώμα τους όταν έρχονται σε επαφή με το ηλιακό φως. Η φωτοδιαπερατότητά τους μειώνεται με την αύξηση της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση βαφών με οξειδία αλογόνων καθώς και διαφόρων οργανικών ή ανόργανων συνθετικών υλικών[65].

3.7.7 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες

Οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες μεταβάλλουν την διαπερατότητα τους στο ηλιακό φως με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος χαμηλής τάσης. Το ρεύμα μεταφέρεται με μικροσκοπικούς λεπτότατους αγωγούς σε μια ηλεκτροχρωμική επίστρωση, η οποία ενεργοποιείται και αλλάζει το χρωματισμό της από ανοικτό σε σκοτεινό η αντίστροφα με την εφαρμογή τάσης ηλεκτρικού ρεύματος. Με αυτό τον τρόπο ελαττώνει ή αυξάνει ανάλογα την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στους εσωτερικούς χώρους. Η παροχή του ρεύματος πραγματοποιείται είτε με χειρισμούς και εντολές κατά την βούληση του χρήστη είτε με αυτοματισμούς που στηρίζονται στη λειτουργία ειδικών φωτοαισθητήρων[10]. Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα, λοιπόν, μπορούν να συμβάλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας και να

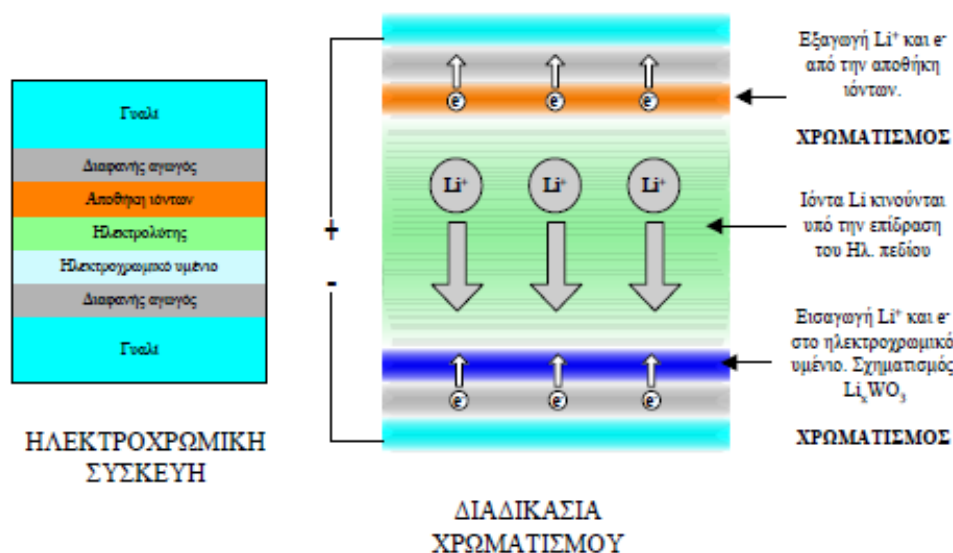
δημιουργήσουν επιθυμητές κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό των χώρων που τα χρησιμοποιούν.

3.7.7.1 Λειτουργία ηλεκτροχρωμικών διατάξεων

Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα είναι συσκευές ενεργού ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας. Εκμεταλλεύονται την ιδιότητα διαφόρων οξειδίων μετάλλων (WO_3 , MoO_3 , V_2O_5) να χρωματίζονται αντιστρεπτά με την εισαγωγή-εξαγωγή ευκίνητων ιόντων (H^+ , Li^+ , Na^+) στο πλέγμα τους. Με την εφαρμογή ηλεκτρικού δυναμικού, περίπου 3 – 5 Volt DC, τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα μεταβάλλουν αντιστρεπτά τη διαπερατότητά τους στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο πεδίο. Παρόμοιες συσκευές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για οθόνες μεγάλης κλίμακας (large scale displays) και για αντι-θαμβωτικούς καθρέπτες αυτοκινήτων (anti-glare mirrors).

Μια τυπική ηλεκτροχρωμική συσκευή έχει δομή 5 στρωμάτων, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 3.3** και αποτελείται από[10]:

1. Διαφανές και ηλεκτρικά αγώγιμο υμένιο (συνήθως οξείδιο του κασσιτέρου με προσμίξεις ινδίου (ITO), σε υπόστρωμα γυαλί.
2. Ηλεκτροχρωμικό υμένιο (thinfilm), που είναι το οπτικά ενεργό τμήμα της συσκευής (συνήθως WO_3).
3. Ηλεκτρολύτη (πολυμερή ή στερεό) με υψηλή ιοντική αγωγιμότητα.
4. Υμένιο αποθήκη ιόντων (V_2O_5 , NiO_2 και άλλα).
5. Ένα δεύτερο διαφανές και αγώγιμο υμένιο.



Εικόνα 3.3 : Η δομή μιας τυπικής ηλεκτροχρωμικής διάταξης[15].

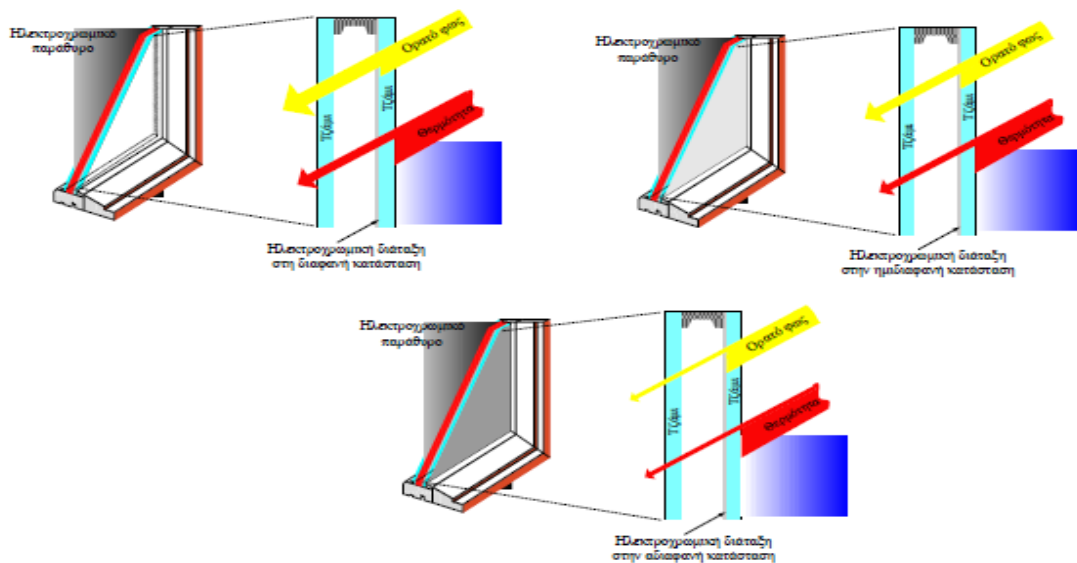
Μια τέτοια διάταξη λειτουργεί ως εξής. Με την εφαρμογή ηλεκτρικού δυναμικού μερικών Volt, και πολώνοντας αρνητικά το ηλεκτροχρωμικό υμένιο (WO_3), ιόντα Li^+

εξέρχονται από την αποθήκη ιόντων και μαζί με εκείνα που βρίσκονται στον ηλεκτρολύτη εισέρχονται στο υμένιο WO_3 σχηματίζοντας την ένωση Li_xWO_3 , η οποία έχει μπλε χρώμα. Επίσης για ισοστάθμιση φορτίου είναι απαραίτητη η ταυτόχρονη εισαγωγή ηλεκτρονίων από το εξωτερικό κύκλωμα στο WO_3 μέσω του διαφανούς αγωγού. Η διαδικασία αυτή είναι πλήρως αντιστρεπτή: με την αντιστροφή της πολικότητας του εφαρμοζόμενου δυναμικού, αντιστρέφεται η φορά κίνησης των ιόντων με αποτέλεσμα τον αποχρωματισμό της συσκευής. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να παρασταθεί με μια αντίδραση οξειδοαναγωγής [10]:



3.7.7.2 Αρχές λειτουργίας των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων

Υπάρχουν πολλές χρήσεις για υλικά, των οποίων οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται αντιστρεπτά, με την εφαρμογή χαμηλής τάσης. Τέσσερις είναι οι βασικές εφαρμογές των ηλεκτροχρωμικών συσκευών: για απεικόνιση πληροφοριών (information display) σε συσκευές οπτικής απεικόνισης, σαν καθρέφτες μεταβαλλόμενης ανακλαστικότητας π.χ. για αντιθαμβωτικούς καθρέπτες για αυτοκίνητα, ως επιφάνεια με μεταβαλλόμενο συντελεστή εκπομπής π.χ. για έλεγχο θερμοκρασιών στα διαστημόπλοια, όπου έχουμε κυρίως ανταλλαγή θερμότητας με ακτινοβολία και τέλος η σημαντικότερη εφαρμογή τους, που είναι τα "έξυπνα" παράθυρα. Με εφαρμογή συνεχούς τάσης μερικών βολτ αυτά τα παράθυρα μεταβάλλουν τη διαπερατότητά τους και από διαφανή μετατρέπονται σε αδιαφανή δίνοντας τη δυνατότητα στο χρήστη να ελέγχει δυναμικά το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο εσωτερικό του κτηρίου. Τέτοια παράθυρα εξοικονομούν ενέργεια και δημιουργούν ευχάριστο κλίμα στο εσωτερικό των χώρων.



Εικόνα 3.4 : Η μεταβολή της επιφάνειας του τζαμιού από ανοιχτόχρωμη σε σκούρα[15].

Στην **Εικόνα 3.4** φαίνεται η μεταβολή της οπτικής διαπερατότητας και η ροή θερμότητας ενός ηλεκτροχρωμικού παραθύρου. Όταν η διάταξη βρίσκεται στην αποχρωματισμένη κατάσταση, ένα ποσοστό του ορατού φωτός διαπερνά το παράθυρο. Η τιμή της διαπερατότητας στην αρχική κατάσταση εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της ηλεκτροχρωμικής διάταξης δηλαδή το είδος και το πάχος των υλικών, το είδος του ηλεκτρολύτη, το είδος του κρυστάλλου που χρησιμοποιείται κλπ. Κατά το χρωματισμό της διάταξης η διαπερατότητα μειώνεται σημαντικά και ταυτόχρονα το ποσοστό του ορατού φωτός που διέρχεται από τη διάταξη μειώνεται. Το ποσοστό αυτής της ελάττωσης εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ηλεκτροχρωμικής διάταξης και μπορεί να φτάσει μέχρι το 90% (μεταβολή της οπτικής διαπερατότητας από το 0.80 στο 0.10). Ένα ποσοστό της θερμικής ακτινοβολίας ανακλάται από τα υμένια και τα κρύσταλλα της διάταξης. Το ενεργό ηλεκτροχρωμικό υμένιο, όταν βρίσκεται στη χρωματισμένη του κατάσταση, απορροφά σημαντικό ποσοστό της υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας και με αυτόν τον τρόπο θερμαίνεται. Έτσι, ο συντελεστής θερμοπερατότητας του παραθύρου αυξάνεται σημαντικά, ενώ η υπερθέρμανση του υμενίου κυρίως τις θερμές καλοκαιρινές ημέρες μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή του. Γι' αυτό, η χρήση ειδικών επιστρώσεων με χαμηλό συντελεστή εκπομπής, είτε ως διάφανα ηλεκτρόδια ή ως προστατευτικά υμένια, θεωρείται απαραίτητη για την αύξηση της διάρκειας ζωής της διάταξης, αλλά και τη μείωση των θερμικών κερδών μέσω του παραθύρου, κυρίως το καλοκαίρι.

3.7.7.3 Πλεονεκτήματα των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων

Πολλές εταιρείες έχουν ήδη αρχίσει την παραγωγή ηλεκτροχρωμικών παραθύρων. Πιθανοί χρήστες των παραθύρων είναι οι κατασκευαστές μεγάλων κτηρίων, όπου τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα μπορούν να ενσωματωθούν στο κεντρικό σύστημα ελέγχου του κτηρίου, οι κατασκευαστές βιοκλιματικών χώρων, στους οποίους δίδεται μια επιπλέον δυνατότητα ρύθμισης της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας, αλλά και ιδιώτες που μπορούν να τοποθετήσουν στις οικίες τους "έξυπνα" παράθυρα για μείωση των εξόδων κλιματισμού το καλοκαίρι, θέρμανσης τον χειμώνα και τεχνητού φωτισμού σε όλη τη διάρκεια του έτους. Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με αντίστοιχες συμβατικές παθητικές συσκευές [15 – 18]:

- Δεν εμποδίζουν την ορατότητα, όπως οι κουρτίνες ή οι περσίδες, ενώ ταυτόχρονα προσφέρουν έλεγχο της οπτικής όχλησης που προέρχεται από τις διάχυτες ηλιακές ακτίνες και μπορούν να συμβάλουν στη δημιουργία κατάλληλου μικροκλίματος στον εσωτερικό χώρο των κτηρίων.
- Δεν έχουν κινητά μέρη και ως εκ τούτου, το κόστος συντήρησής τους είναι ελάχιστο.
- Απαιτούν μικρή κατανάλωση ενέργειας και ο έλεγχος της λειτουργίας τους μπορεί να ενσωματωθεί στο σύστημα κεντρικής διαχείρισης ενέργειας του κτηρίου.

- Μπορούν να έχουν άπειρες καταστάσεις ανάμεσα στη διαφανή και τη χρωματισμένη κατάσταση.
- Εμποδίζουν την είσοδο τόσο της άμεσης, όσο και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, σε αντίθεση με τα παθητικά συστήματα σκίασης.
- Προσφέρουν σημαντικά πρωτογενή ενεργειακά κέρδη καθώς μειώνονται τα ενεργειακά φορτία για ψύξη, θέρμανση και εξαερισμό, μειώνεται η ανάγκη για τεχνητό φωτισμό με κατάλληλη μεταβολή των οπτικών ιδιοτήτων του παραθύρου και διαχείριση του εισερχόμενου ηλιακού φωτός.
- Αισθητική έλξη που προσφέρει η δυνατότητα ενός δυναμικά μεταβαλλόμενου μανδύα σε αρχιτεκτονικές εφαρμογές, καθώς πολλές σχεδιαστικές αποφάσεις λαμβάνονται με βασικό γνώμονα όχι τα οικονομικά οφέλη ή το κόστος της εγκατάστασης, αλλά με βάση το στυλ και την εμφάνιση.

Τα ενεργειακά οφέλη από τη χρήση των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων απορρέουν από τη δυνατότητα ελέγχου των θερμικών απωλειών. Στους μηχανισμούς ελάττωσης των θερμικών απωλειών/κερδών ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες θα πρέπει να προστεθεί και η χρήση τριπλών υαλώσεων.

3.7.7.4 Παράμετροι αξιολόγησης των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων

Η ενσωμάτωση των "έξυπνων" ηλεκτροχρωμικών παραθύρων στα κτήρια δεν είναι διαδεδομένη, καθώς το υψηλό κόστος και η μικρή σχετικά προβλεπόμενη διάρκεια ζωής (η οποία δεν ξεπερνά τα 10 χρόνια) των ήδη υπαρχουσών εμπορικών διατάξεων δεν επιτρέπουν έως τώρα τη μαζική τους εφαρμογή. Ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο θα πρέπει να συγκεντρώνει μια σειρά από χαρακτηριστικά, ώστε να αξιολογηθεί και να συγκριθεί με άλλα συστήματα παραθύρων. Με αυτόν τον τρόπο αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματά του και διευκολύνεται η μαζική παραγωγή ηλεκτροχρωμικών διατάξεων σε βιομηχανική κλίμακα. Έτσι ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο πρέπει να προσφέρει στο χρήστη του [15]:

- Μεγάλο χρόνο ζωής.
- Ανταγωνιστικά οικονομικά κόστη.
- Δυνατότητα εφαρμογής σεναρίων ελέγχου (control strategies).
- Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.
- Περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

3.7.7.5 Έλεγχος των μεταβολών της διαπερατότητας

Κατά τη λειτουργία των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων θέλουμε να επιτυγχάνεται μεγάλου εύρους μεταβολή των οπτικών χαρακτηριστικών για ελεγχόμενη

απομόνωση από τις εξωτερικές συνθήκες, μείωση της εισερχόμενης υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και εξασφάλιση κατάλληλου φωτισμού των εσωτερικών χώρων.

Ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο μπορεί να μεταβάλει τη διαπερατότητά του ανάμεσα στη διαφανή και τη χρωματισμένη κατάστασή του, χωρίς όμως να γίνεται εντελώς αδιαφανές. Έτσι ανεξάρτητα από την ένταση χρωματισμού, ο χρήστης που βρίσκεται στον εσωτερικό χώρο μπορεί πάντα να βλέπει διαμέσου του παραθύρου. Η μεταβολή των οπτικών ιδιοτήτων των παραθύρων γίνεται σταδιακά (με ταχύτητα περίπου 5 min/m^2) και με ρυθμιζόμενο τρόπο έτσι ώστε να διατηρείται η ομοιομορφία χρώματος του παραθύρου[10]. Μείωση της εισερχόμενης υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να επιτευχθεί με χρήση ειδικών επιστρώσεων χαμηλού συντελεστή εκπομπής (low-e coatings) ως αγωγή υμένα.

Ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο αναμένεται να λειτουργεί και ως συσκευή σκίασης, αλλά και να παρέχει ηλιακό φως. Ωστόσο, δεν υπάρχει βέλτιστη ισορροπία μεταξύ ενεργειακής απόδοσης και ελέγχου της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, εφόσον ικανοποιώντας ένα κριτήριο θα είναι επιζήμιο για το άλλο. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των ηλεκτροχρωμικών διατάξεων σε σχέση με τα συμβατικά παράθυρα είναι ότι παρέχουν ανεμπόδιστη ορατότητα κατά τη διάρκεια της μέρας, η οποία είναι η πρώτιστη λειτουργία που καλούνται να επιτελούν τα περισσότερα εμπορικά παράθυρα.

3.7.7.6 Ενεργειακή συμπεριφορά των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων

Η συνδυασμένη χρήση ηλεκτροχρωμικών διατάξεων και θερμομονωτικών παραθύρων με διπλή υάλωση μπορεί να οδηγήσει στην κατασκευή προϊόντων που θα προστατεύουν τον εσωτερικό χώρο των κτηρίων από τις θερμοκρασιακές μεταβολές του περιβάλλοντος και κατά συνέπεια θα οδηγήσουν στη μείωση των θερμικών απωλειών/κερδών. Η χρήση τους μπορεί να επιφέρει μείωση της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας, μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος θέρμανσης και δροσισμού. Ακόμα, μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό μπορεί να επιτευχθεί με τον έλεγχο των θερμικών κερδών κατά την περίοδο του καλοκαιριού περιορίζοντας την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης η ανάπτυξη και ενσωμάτωση βελτιστοποιημένων ηλεκτροχρωμικών παραθύρων σε κτήρια μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Σύμφωνα με ανάλυση των Azens et al., με την εφαρμογή ενός σεναρίου ελέγχου σε κτήρια γραφείων, που βασίζεται στη φυσική παρουσία, μπορούν να εξοικονομηθούν ετησίως 170 kWh/m^2 [19]. Όταν χρησιμοποιούνται δυναμικά παράθυρα αντί στατικών παραθύρων ελέγχου ηλιακής ακτινοβολίας (solar control), η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ψύξη θα μπορούσε να μειωθεί έως και 40-50%[19]. Σε ότι αφορά την ενεργειακή απόδοση, τα έξυπνα παράθυρα ανταγωνίζονται με υψηλή επίδοση τα παράθυρα ηλιακού ελέγχου. Κατά προσέγγιση, η εξοικονόμηση ενέργειας έναντι των καλύτερων στατικών παραθύρων σε ένα μοντέλο γραφείων υπολογίστηκε ότι είναι: έως $50 \text{ kWh/m}^2\text{year}$ σε κλίμα

όπως της Στοκχόλμης, 25-75 kWh/m²year σε κλίμα όπως το Ντένβερ, 50-150 kWh/m²year σε κλίμα όπως του Μαϊάμι[20].

Κεφάλαιο 4^ο – Ηλιακά Θερμικά Συστήματα

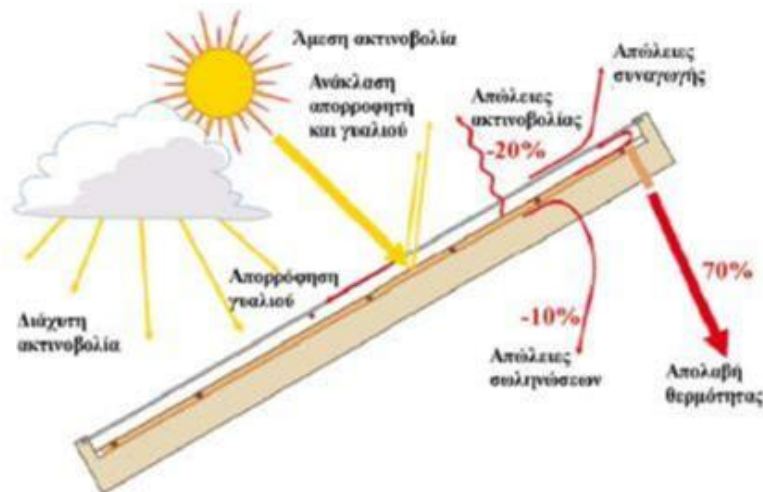
4.1 Ηλιακοί Συλλέκτες

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με τη μετατροπή της σε χρήσιμη θερμική ενέργεια επιτυγχάνεται, τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, τους συλλέκτες κενού, τους συλλέκτες χωρίς κάλυμμα και τους συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες.

4.1.1 Επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης

Οι επίπεδοι συλλέκτες αποτελούν το σύστημα που χρησιμοποιείται περισσότερο για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας σε εγκαταστάσεις θέρμανσης χώρων και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης. Αποτελούν ουσιαστικά έναν εναλλάκτη θερμότητας. Η διαφορά τους με τους κοινούς συλλέκτες είναι ότι μεταφέρεται θερμότητα από μια πολύ μακρινή πηγή σε ένα ρευστό, ενώ σε ότι αφορά τους συμβατικούς συλλέκτες η μεταφορά γίνεται από ρευστό σε ρευστό. Οι συλλέκτες αυτού του τύπου βασίζονται τη λειτουργία τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, τη θέρμανση δηλαδή μιας επιφάνειας φαιού χρώματος όταν προσπίπτει πάνω της ηλιακή ακτινοβολία[24].

Δεδομένου ότι μπορούν να εκμεταλλευτούν το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολία, την άμεση, τη διάχυτη αλλά και την ανακλώμενη, πέραν της εφαρμογής τους για θέρμανση και παραγωγή ΖΝΧ, οι επίπεδοι συλλέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλες εφαρμογές, όπως ο κλιματισμός και η παραγωγή θερμότητας για βιομηχανική χρήση.

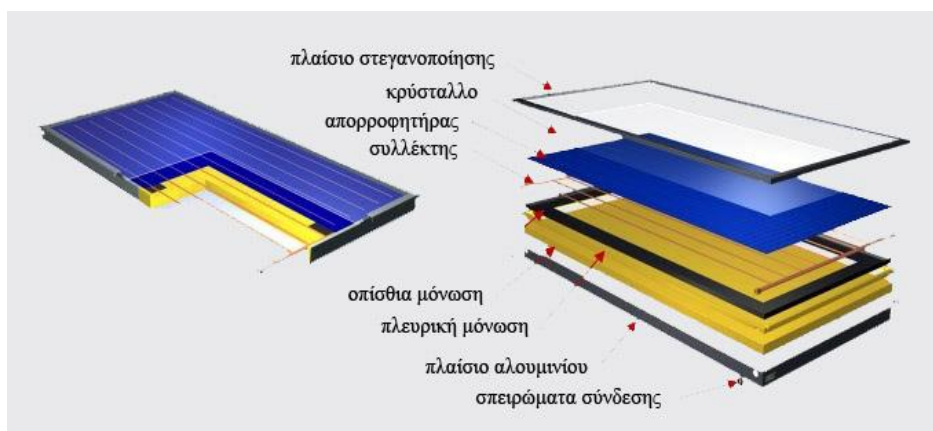


Εικόνα 4.1 : Διάγραμμα ροής ενέργειας σε επίπεδο θερμικό συλλέκτη.

Οι συλλέκτες αποτελούνται από τέσσερα βασικά μέρη:

- **Την πλάκα συλλογής της ακτινοβολίας (πλάκα απορρόφησης):** διατίθεται σε διάφορους τύπους αλλά συνήθως έχει μαύρο χρώμα για τη μείωση των αντανακλάσεων

- **Τους σωλήνες ροής του ρευστού:** αυτοί βρίσκονται σε επαφή ή αποτελούν τμήμα της απορροφητικής πλάκας για να επιτυγχάνεται βέλτιστη μετάδοση θερμότητας και συνήθως είναι κατασκευασμένοι από χαλκό
- **Την κάλυψη (κρύσταλλο) της πλάκας απορρόφησης:** αποτελεί προστατευτικό κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό, το οποίο μειώνει τις απώλειες. Διακρίνεται από μεγάλη απορροφητικότητα (90-95%), ελάχιστη ανάκλαση (5-15%) στα μικρά μήκη κύματος και από μέγιστη ανάκλαση στα μεγαλύτερα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας.
- **Το θερμικά μονωμένο πλαίσιο:** πάνω σε αυτό στερεώνονται τα υπόλοιπα εξαρτήματα και οφείλει να είναι στεγανό, αδιαβρωτικό ώστε να μειώνει τις απώλειες από την πίσω πλευρά του συλλέκτη.



Εικόνα 4.2 : Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης και τα στοιχεία που τον αποτελούν.

Κατά την λειτουργία τους η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στη συνήθως μαύρη απορροφητική πλάκα ανεβάζοντας τη θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλους μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν αδιαφανές. Το στρώμα απορρόφησης (πλάκα) έχει δυνατότητα να απορροφάει ηλιακή ακτινοβολία με μήκη κύματος μικρότερα των 3μm σε ποσοστό 98% και προκαλεί αύξηση θερμοκρασίας του στους 200°C περίπου. Ως συνέπεια αυτού, το στρώμα απορρόφησης εκπέμπει με ένα συντελεστή εκπομπής (ϵ) υπέρυθη ακτινοβολία, η οποία έχει μήκη κύματος μεγαλύτερα των 3 μm σε ποσοστό 99%. Αυτό που επιδιώκεται είναι ο μεγάλος συντελεστής απορροφητικότητας (α) για τα μικρή μήκη κύματος και ο μικρός συντελεστής εκπομπής (ϵ) για τα μεγάλα μήκη κύματος. Η επιφάνεια που έχει τις παραπάνω ιδιότητες ονομάζεται επιλεκτική. Γενικά το στρώμα απορροφητή είναι κατασκευασμένο με επενδυμένο από βερνίκι μέταλλο ή από μία μαύρη ουσία υψηλού βαθμού απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Με αυτό τον τρόπο η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (ζέστη) παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και το τζάμι με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση όσον αφορά τη θέρμανση νερού το οποίο κυκλοφορεί σε σωλήνες που είναι σε επαφή με την πλάκα στο πίσω μέρος της ή ενσωματωμένοι σε αυτή. Η μορφή που θα έχουν οι σωλήνες ποικίλει καθώς μπορεί να είναι ευθύγραμμοι, ευθύγραμμοι δυο ρών και

τύπου σερπαντίνας. Τα πλεονεκτήματα χρήσης τέτοιων συλλεκτών είναι ότι αποτελούν σχετικά απλή τεχνολογία με ευρύ φάσμα χρήσης, εύκολη συντήρηση και δύναται να τοποθετηθούν είτε σε οροφή είτε στο έδαφος. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (50-80°C).

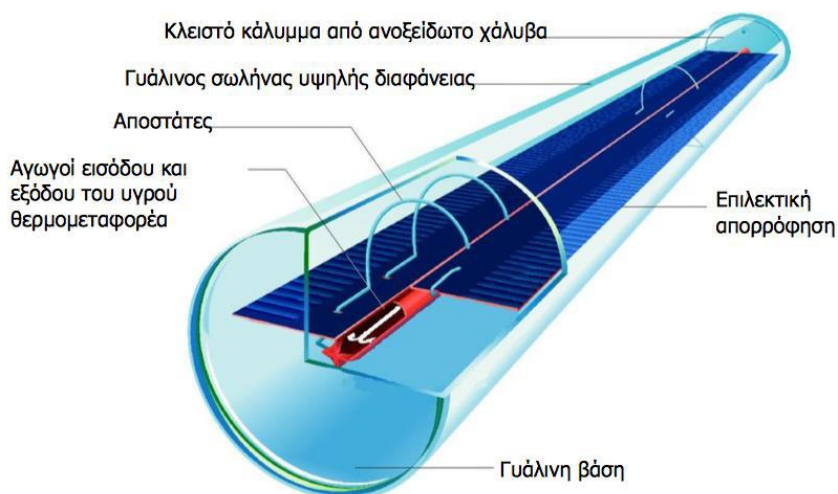
Τέλος, οι επίπεδοι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται περισσότερο λόγω της εύκολης κατασκευής και του χαμηλού συγκριτικά κόστους αγοράς και συντήρησής τους.

4.1.2 Ηλιακός θερμικός συλλέκτης με συλλέκτες κενού

Οι συλλέκτες κενού αποτελούνται από εξωτερικούς σωλήνες στους οποίους εσωκλείουν την απορροφητική επιφάνεια αλλά και τους σωλήνες του θερμοπαραγωγού ρευστού, σε κενό αέρος. Καθ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται πολύ καλύτερη μόνωση και επομένως και μείωση των απωλειών καθώς η μετάδοση θερμότητας γίνεται μόνο με ακτινοβολία και όχι με συναγωγή.

Στο εσωτερικό τους αναπτύσσονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες (~180°C) και γι' αυτό είναι κατάλληλοι για ψυχρά κλίματα. Οι συλλέκτες αυτοί δεν συνιστώνται για χρήση σε κατοικίες, αφού το καλοκαίρι αναπτύσσονται ακόμα μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο εσωτερικό τους κάτι που τους καθιστά επίφοβους. Κατά τη λειτουργία τους, η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται με τη βοήθεια φύλλων αλουμινίου (μέσω αγωγής) σε ένα χάλκινο σωλήνα που περιέχει ένα ανόργανο μη τοξικό πτητικό ρευστό, το οποίο συνήθως εξατμίζεται στους 25°C. Το ρευστό αυτό μετατρέπεται σε υπέρθερμο ατμό ανεβαίνοντας στην πάνω πλευρά του σωλήνα που είναι τοποθετημένος μέσα στον εναλλάκτη θερμότητας και ζεσταίνει έτσι το νερό χρήσης. Το ρευστό μεταφέροντας τη θερμότητα στο νερό συμπυκνώνεται και κατεβαίνει στην κάτω πλευρά του αυλού όπου επαναλαμβάνεται η διαδικασία[26].

Κυρίως, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτούνται θερμοκρασίες νερού μεγαλύτερες των 80°C, όπως για παράδειγμα στον ηλιακό κλιματισμό και τη βιομηχανία.



Εικόνα 4.3 : Σωλήνας κενού με τη μέθοδο της άμεσης εκροής[27].

Ανάλογα με το είδος τους διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- **Άμεσης ροής:** είναι ουσιαστικά ένας εσωτερικός σωλήνας U
- **Παραβολικός συγκεντρωτικός:** είναι ένας διπλός σωλήνας (σωλήνας με απορροφητική επιφάνεια και εσωτερικά ένας σωλήνας U) καθώς και δύο εξωτερικές εσωτερικές επιφάνειες.
- **Σωλήνας θερμότητας:** αποτελείται από επίπεδη απορροφητική λωρίδα μέσα σε σωλήνα κενού, ο οποίος συνδέεται με σωλήνα θερμότητας που περιέχει διάλυμα σε κενό. Το διάλυμα εξατμίζεται στους 25°C και η θερμότητα του μεταφέρεται μέσω εναλλάκτη στο μέσο.
- **Ξηρής σύνδεσης:** ο εναλλάκτης συνδέεται με τον συλλέκτη. Αλλαγή χαλασμένου σωλήνα χωρίς άδειασμα κυκλώματος.
- **Υγρής σύνδεσης:** ο εναλλάκτης βρίσκεται στο μέσο μεταφοράς θερμότητας.

Επιπλέον πλεονεκτήματα των ηλιακών συλλεκτών τύπου κενού είναι οι μειωμένες θερμικές απώλειες χάρη στην πολύ καλή τους θερμική μόνωση. Επίσης, καταλαμβάνουν σχετικά μικρότερη επιφάνεια εγκατάστασης σε σχέση με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες λόγω της υψηλής τους απόδοσης.

Στα μειονεκτήματα τους ωστόσο συγκαταλέγονται οι υψηλές θερμοκρασίες στεγανοποίησης με την πλήρωση (κυρίως στα υλικά που βρίσκονται κοντά στο συλλέκτη και το υγρό μεταφοράς θερμότητας). Κατά τη στεγανοποίησή τους παρουσιάζονται μεγάλοι σχηματισμοί ατμών. Οι συλλέκτες τύπου κενού εμφανίζουν οικονομικά πλεονεκτήματα μόνο σε περιπτώσεις όπου οι θερμοκρασίες

λειτουργίας είναι υψηλές. Τέλος, δεν επιτρέπεται ο εντοιχισμός τους σε επιφάνειες υπό κλίση [24].

4.1.3 Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες

Όταν είναι επιθυμητή η απόδοση της ενέργειας σε θερμοκρασίες υψηλότερες από αυτές που επιτυγχάνονται με τους συνήθεις επίπεδους συλλέκτες, μπορεί να γίνει χρήση των συγκεντρωτικών συλλεκτών. Σ' αυτούς, οι υψηλές θερμοκρασίες αναπτύσσονται με συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μικρή επιφάνεια απορρόφησης, μειώνοντας έτσι και τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Η συγκέντρωση (C) εκφράζεται ως το πηλίκο της επιφάνειας από την οποία εισέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία προς την επιφάνεια που απορροφά την συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία [12].

Η συγκέντρωση βρίσκεται σε αύξουσα μονοσήμαντη συνάρτηση με τη θερμοκρασία. Με συγκέντρωση μπορούμε να επιτύχουμε θερμοκρασίες, θεωρητικά, μέχρι τη θερμοκρασία του Ήλιου. Για τις χημικές διεργασίες ή και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από θερμική, αρκούν συγκεντρώσεις που επιτυγχάνουν θερμοκρασίες μέχρι 800 °C[28].

Οι συγκεντρωτές μπορεί να είναι κυλινδρικοί ή να είναι περιστρεφόμενες επιφάνειες, ενώ μπορούν να είναι είτε ενιαίοι είτε δομοστοιχειωτοί. Ομοίως οι απορροφητές μπορούν να είναι επίπεδοι, σπηλαιώδεις, ανοικτοί ή κλειστοί.

Διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες συγκεντρωτικών συλλεκτών, γραμμικής εστίας και σημειακής εστίας. Στους συλλέκτες αυτούς η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται στον δέκτη που έχει κατάλληλο σχήμα και διαστάσεις και τοποθετείται στην εστία.



(α)



(β)

Εικόνα 4.4 : Συγκεντρωτικοί συλλέκτες (α) γραμμικής και (β) σημειακής εστίας[28].

Οι βασικότεροι τύποι συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι εξής:

- Συγκεντρωτικοί συλλέκτες με επίπεδα κάτοπτρα
- Συγκεντρωτικοί συλλέκτες με επιμήκη παραβολικά κάτοπτρα

- Συγκεντρωτικοί συλλέκτες με παραβολοειδές κάτοπτρο
- Συγκεντρωτικοί συλλέκτες με φακό Fresnel
- Ηλιακός πύργος

4.1.4 Βαθμός Απόδοσης Ηλιακού Συλλέκτη

Το αποκομίζων ενεργειακό όφελος από έναν ηλιακό συλλέκτη, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή είναι η διαφορά του ποσού της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται από τον απορροφητήρα και των απωλειών ενέργειας προς το περιβάλλον. Ο υπολογισμός της ωφέλιμης θερμικής ισχύος δίνεται από την σχέση[12]:

$$Q = A_c \cdot G_\tau \cdot F_R \cdot (\tau\alpha)_n - A_c \cdot F_R \cdot U_L \cdot (T_{in} - T_\alpha) \quad (4.1)$$

Όπου:

- Q : ωφέλιμη συλλεγόμενη θερμική ισχύς (W)
- A_c : επιφάνεια συλλέκτη (m^2)
- G_τ : ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη (W/m^2)
- F_R : συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη
- τ : διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος του συλλέκτη στην ηλιακή ακτινοβολία
- α : απορροφητικότητα του απορροφητήρα στην ηλιακή ακτινοβολία
- U_L : συνολικός ισοδύναμος συντελεστής ενεργειακών απωλειών του συλλέκτη ($W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$)
- T_{in} : θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο του συλλέκτη ($^\circ\text{C}$)
- T_α : θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^\circ\text{C}$)

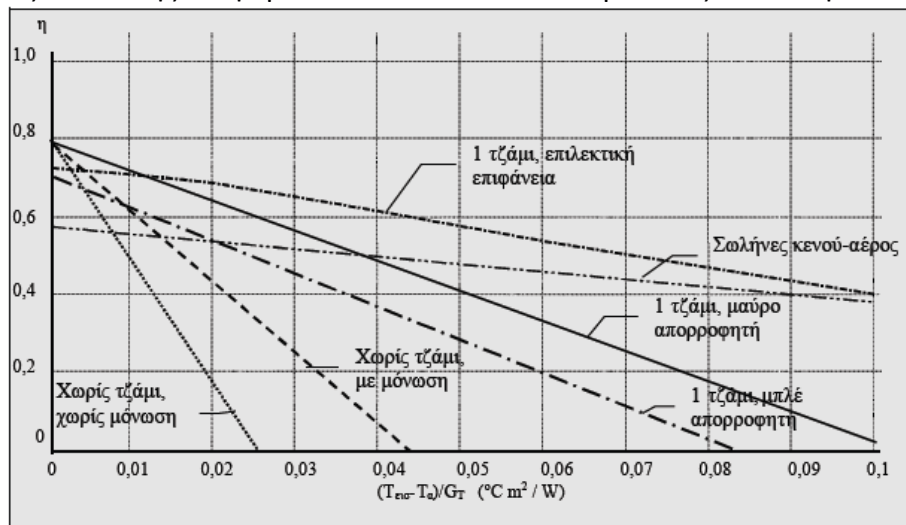
Οι συντελεστές $(\tau\alpha)_n$ με δείκτη n , αναφέρονται σε επίπεδο κάθετο στις ακτίνες του ηλίου. Οι τιμές των χαρακτηριστικών παραμέτρων ενός συλλέκτη $F_R(\tau\alpha)_n$ και $F_R U_L$ προκύπτουν από τις δοκιμές απόδοσης και πιστοποίησης του συγκεκριμένου συλλέκτη από αναγνωρισμένο εργαστήριο δοκιμών.

Ως βαθμός απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη, ορίζεται ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσής του, για δεδομένη τιμή έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και εξωτερική θερμοκρασία[12]. Η στιγμιαία απόδοση ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη υπολογίζεται από τη **Σχέση (4.2)** :

$$\eta = \frac{Q}{A_c \cdot G_\tau} = F_R \cdot (\tau\alpha)_n - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_{in} - T_\alpha)}{G_\tau} \quad (4.2)$$

Αν ο συντελεστής U_L υποθέσουμε ότι παραμένει σταθερός, τότε η απόδοση του συλλέκτη σε συνάρτηση με το πηλίκο $(T_{in} - T_\alpha)/G_\tau$ είναι μια γραμμική σχέση, με

κλίση $-F_R U_L$. Η ευθεία τέμνει τον γ - άξονα στο σημείο $FR(\tau_a)\eta$. Χαρακτηριστικές καμπύλες απόδοσης διαφόρων τύπων συλλεκτών παρουσιάζονται στην **Εικόνα 4.5**.



Εικόνα 5.5: Τυπικές καμπύλες απόδοσης διαφορετικών τύπων ηλιακών συλλεκτών [12].

4.1.5 Θερμικές Απώλειες του Συλλέκτη

Στους ηλιακούς συλλέκτες η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τον απορροφητή και κατανέμεται σε ωφέλιμη ενέργεια και θερμικές απώλειες. Οι θερμικές απώλειες ενός ηλιακού συλλέκτη αποτελούνται από το άθροισμα των επιμέρους απωλειών του πάνω μέρους μέσω του διάφανου καλύμματος και των απωλειών από τα πλαϊνά και πίσω διαμέσου της μόνωσης. Θεωρώντας ότι όλες οι απώλειες βασίζονται σε μια κοινή θερμοκρασία του απορροφητή T_p οι ολικές απώλειες του συλλέκτη είναι:

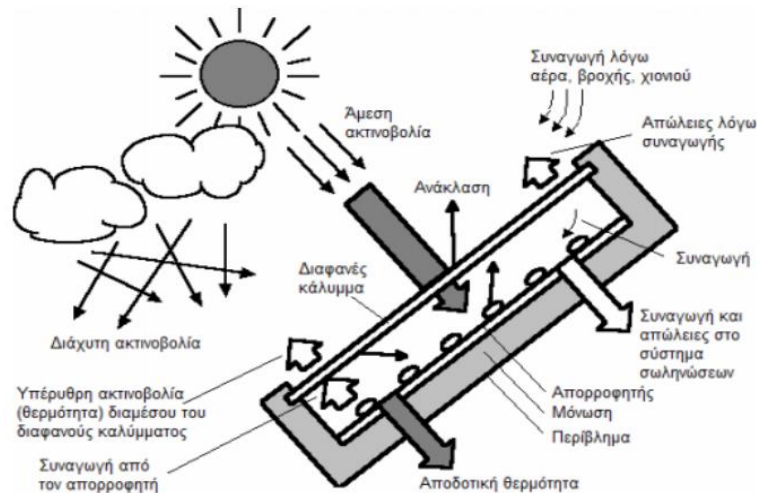
$$Q_L = U_L \cdot A_c \cdot (T_p - T_a) \quad (4.3)$$

Όπου U_L ο συντελεστής ολικών απωλειών του συλλέκτη.

Και φυσικά ισχύει ότι:

$$Q_L = Q_t + Q_e + Q_b \quad (4.4)$$

Όπου οι δείκτες t , e και b δηλώνουν το πάνω, το πλαϊνό και πίσω μέρος του συλλέκτη αντίστοιχα.



Εικόνα 4.6 : Θερμικές απώλειες ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη[25].

4.1.6 Προσανατολισμός και Κλίση Ηλιακών Συλλεκτών

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των συλλεκτών, θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας[29].

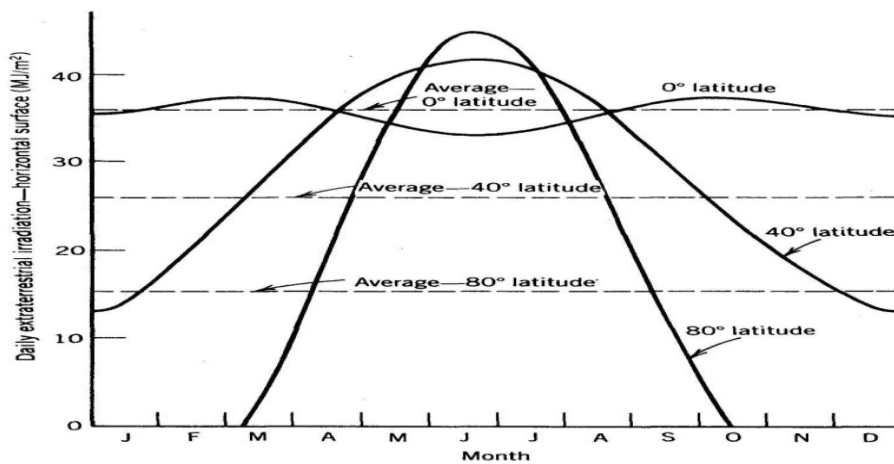
Στην πλειονότητα των ηλιοθερμικών συστημάτων επιλέγεται σταθερός προσανατολισμός των ηλιακών συλλεκτών, ώστε να επιτυγχάνεται μέση ετήσια γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας όσο το δυνατό πιο κοντά στις 90°. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες: την κλίση και την αζιμούθια γωνία.

Η κλίση του συλλέκτη (β) είναι η δίεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0° μέχρι 180°. Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη (γ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι +180°. Η γωνία -180° (που συμπίπτει με την +180°) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς το νότο και η γωνία +90° προς τη δύση. Η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας, πάνω σε ένα επίπεδο συλλέκτη λαμβάνεται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς τη κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης (θ) είναι 0°.

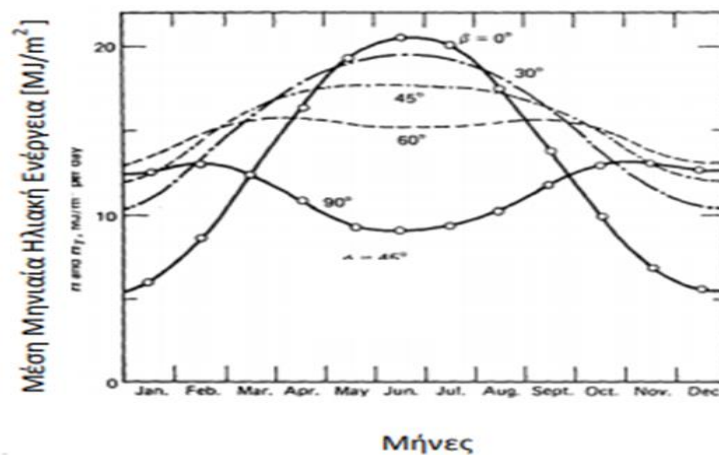
Μετά από έρευνες, λοιπόν, έχουν εξαχθεί τα παρακάτω συμπεράσματα για τον βέλτιστο προσανατολισμό του ηλιακού συλλέκτη[12]:

- 1) Για μέγιστη ετήσια ενέργεια απαιτείται κλίση συλλέκτη ίση με το γεωγραφικό πλάτος, $\beta = \phi$.

- 2) Για μέγιστη ενέργεια κατά τη θερινή περίοδο απαιτείται κλίση συλλέκτη κατά 15° μικρότερη του γεωγραφικού πλάτους, $\beta = \phi - 15^\circ$.
- 3) Για μέγιστη ενέργεια κατά τη χειμερινή περίοδο απαιτείται κλίση συλλέκτη κατά 15° μεγαλύτερη του γεωγραφικού πλάτους, $\beta = \phi + 15^\circ$.
- 4) Ο βέλτιστος προσανατολισμός συλλέκτη είναι ο νότιος ($\gamma = 0^\circ$) για το βόρειο ημισφαίριο και ο βόρειος ($\gamma = 180^\circ$) για το νότιο ημισφαίριο, δηλαδή ο συλλέκτης πρέπει να είναι στραμμένος προς τον ισημερινό.



Εικόνα 4.7 : Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και τον μήνα του έτους.



Εικόνα 4.8 : Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με τη γωνία του συλλέκτη και τον μήνα του έτους, για γεωγραφικό πλάτος $\phi = 45^\circ$ [12].

4.2 Τμήμα Αποθήκευσης

4.2.1 Συσσωρευτές Θερμότητας

Η θερμική ενέργεια που παράγεται σε μία ηλιοθερμική εγκατάσταση εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου. Οι μεταβαλλόμενες θερμικές ανάγκες, σπάνια συμπίπτουν χρονικά με την παραγόμενη ενέργεια, γι' αυτό κρίνεται αναγκαίο, η ενέργεια που παράγεται να συσσωρεύεται. Τα δοχεία αποθήκευσης, είναι τα στοιχεία της εγκατάστασης, που επιτρέπει την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας, με την ελάχιστη δυνατή απώλεια ενέργειας. Ο ειδικός χώρος στον οποίο αποθηκεύεται η απαιτούμενη ενέργεια είναι συνήθως οι συσσωρευτές ενέργειας (boiler)[30]. Σήμερα τα πιο συνηθισμένα είδη συσσωρευτών ενέργειας είναι τα θερμικά μονωμένα boiler, με ή χωρίς ενσωματωμένο εναλλάκτη θερμότητας. Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός συσσωρευτή είναι η μηχανική του αντοχή, η διάρκειά ζωής του και η μονωτική του ικανότητα, που υπολογίζεται σε W/K. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής των απωλειών, που εξαρτάται από τον τύπο και το πάχος της μόνωσης, τόσο καλύτερη θα είναι η συμπεριφορά του συσσωρευτή.

Οι τύποι των συσσωρευτών διακρίνονται ανάλογα:

- με την θέση τους (οριζόντια ή κάθετη θέση)
- ύπαρξη ή όχι ενσωματωμένου εναλλάκτη
- με το υλικό που χρησιμοποιείται

Για ορισμένες εφαρμογές (π.χ. σε εγκαταστάσεις που συνδυάζουν την κάλυψη φορτίων ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης) υπάρχουν ειδικοί τύποι.

Τα δοχεία αποθήκευσης διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες :

- ❖ Ομοιόμορφης θερμοκρασίας
- ❖ Θερμικής διαστρωμάτωσης
- ❖ Μακροταμίευσης (seasonal storage)

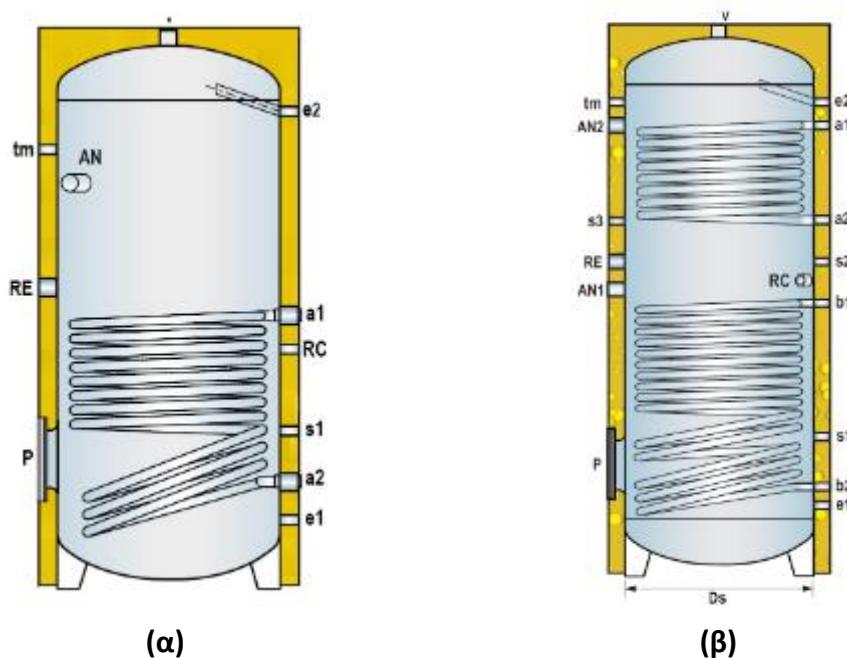
Στις **δοχεία αποθήκευσης ομοιόμορφης θερμοκρασίας**, το νερό έχει την ίδια θερμοκρασία σε όλο τον όγκο του και όταν αποδίδεται θερμότητα στο νερό τότε η θερμοκρασία του αυξάνει ομοιόμορφα σε όλη το δοχείο. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα παραγωγής κλειστού κυκλώματος για ζεστό νερό ή θέρμανση χώρων ενώ μειονέκτημα τους είναι ότι ενώ η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών είναι υψηλή, η τελική θερμοκρασία του νερού παραμένει χαμηλή.

Στο σύνολο των ηλιοθερμικών εγκαταστάσεων χρησιμοποιούνται **δοχεία αποθήκευσης θερμικής διαστρωμάτωσης**. Διαστρωμάτωση σημαίνει ότι έχουμε κάθετη διανομή της θερμοκρασίας στο δοχείο και αυτό βελτιστοποιεί τη λειτουργία της εγκατάστασης.

Επιπλέον, τα δοχεία αυτά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον αριθμό των ενεργειακών πηγών που μπορούν να εκμεταλλευτούν, όπως απεικονίζεται και στην **Εικόνα 5.9**, σε:

1. Διπλής ενέργειας: Το σύστημα λειτουργεί εκμεταλλευόμενο είτε την ηλιακή είτε την ηλεκτρική ενέργεια. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια συννεφιάς όπου η ηλιακή ενέργεια δεν είναι αρκετή για να θερμανθεί το νερό, χρησιμοποιείται ηλεκτρική αντίσταση που βρίσκεται τοποθετημένη εντός του δοχείου..

2. Τριπλής ενέργειας: Το σύστημα λειτουργεί όπως της διπλής ενέργειας, με τη διαφορά ότι περιλαμβάνεται μία επιπλέον παροχή. Στόχος είναι η εκμετάλλευση του ζεστού νερού από το λέβητα κεντρικής θέρμανσης (πετρελαίου, φυσικού αερίου ή αντλία θερμότητας) ως θερμαντικό μέσο.



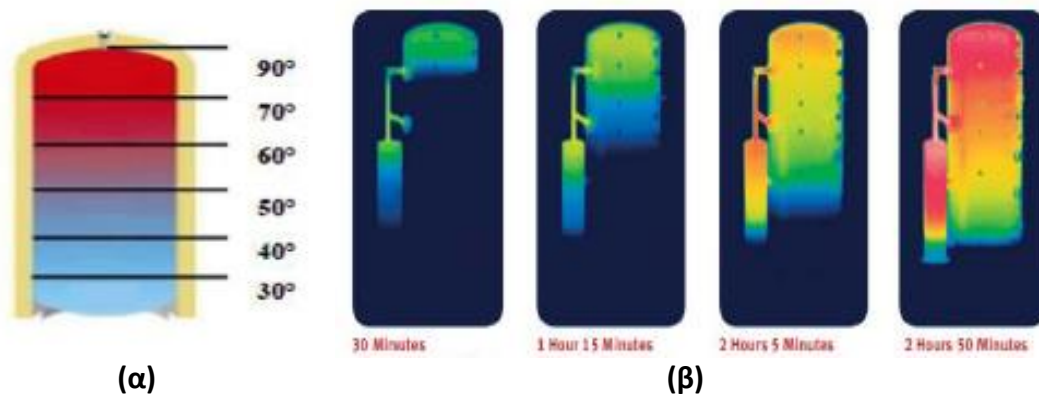
Εικόνα 4.9 : Δοχείο αποθήκευσης (α) διπλής ενέργειας και (β) τριπλής ενέργειας.

Ωστόσο, το βασικό πλεονέκτημα της διαστρωμάτωσης είναι ότι επιτρέπει τη λήψη του ΖΝΧ από το ανώτερο τμήμα του συσσωρευτή. Καθώς το ζεστό νερό έχει μικρότερη πυκνότητα από το κρύο παραμένει στο πάνω μέρος του συσσωρευτή, ενώ το κρύο βρίσκεται στον πυθμένα του. Το νερό που επιστρέφει στο συλλέκτη είναι πιο κρύο, παράγοντας αύξησης της απόδοσης του ίδιου του συλλέκτη.

Στην πράξη, η θερμική διαστρωμάτωση εξασφαλίζεται όταν:

- η είσοδος του ζεστού νερού από το συλλέκτη βρίσκεται στο πάνω μέρος του συσσωρευτή και η έξοδος του κρύου νερού προς αυτόν είναι στο κάτω μέρος

- η παροχή του νερού είναι μικρή, έτσι ώστε να μην αναμιγνύεται το εισερχόμενο ζεστό νερό με το εξερχόμενο κρύο.



Εικόνα 4.10 : Απεικόνιση θερμοκρασιακής διαστρωμάτωσης της θερμικής δεξαμενής **(α)** θεωρητικά και **(β)** με πρόγραμμα προσομοίωσης.

Όσον αφορά τα άλλα είδη δοχείων αποθήκευσης, οι **αποθήκες μακροταμίευσης** (seasonal storage) χρησιμοποιούνται όταν η προσφορά της ενέργειας δεν συμπίπτει με τη ζήτηση της. Η προσφορά της ηλιακής ενέργειας το καλοκαίρι, ειδικά για βόρεια γεωγραφικά πλάτη, είναι σχεδόν το μέγιστο ποσοστό της διαθέσιμης κάθε χρόνο ενέργειας. Επίσης, για τα νότια γεωγραφικά πλάτη, το μεγαλύτερο μέρος της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας προσφέρεται τους μη χειμερινούς μήνες. Η ανάγκη αποθήκευσης και εκμετάλλευσης της διαθέσιμης ενέργειας από μία εποχή του έτους σε μία άλλη οδήγησε στη δημιουργία των διεποχικών θερμικών αποθηκών, οι οποίες κατά κανόνα αποθηκεύουν ηλιακή ενέργεια τους καλοκαιρινούς μήνες για να την αποδώσουν τους χειμερινούς.

Τέλος, δύο ακόμα γνωστά είδη δοχείων αποθήκευσης, τα οποία βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, είναι η **θερμική αποθήκη αλλαγής φάσης** και η **χημική ενεργειακή αποθήκη**. Οι αποθήκες αυτές αποτελούνται από υλικά που μπορούν να απορροφήσουν ηλιακή ενέργεια και την κατάλληλη στιγμή να την αποδώσουν υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας (π.χ. ένυδρο άλας) ή χημικής ενέργειας σε μια αμφίδρομη χημική αντίδραση (οξειδία του καλίου και του μολύβδου).

4.2.2 Μόνωση Συσσωρευτών

Η ποσότητα ενέργειας, που παραλαμβάνει από τους ηλιακούς συλλέκτες, μεταφέρεται με ελάχιστες απώλειες έως το συσσωρευτή ενέργειας για να αποθηκευτεί. Η μόνωση του συσσωρευτή παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού που αποθηκεύεται στο συσσωρευτή ενέργειας, γιατί περιορίζονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Για το λόγο αυτό συνίσταται προσοχή στο υλικό και στις διαστάσεις του μονωτικού υλικού. Τα μονωτικά υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται έχουν συντελεστή θερμικής

αγωγιμότητας $\lambda \leq 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Η χρήση του πολυβινοχλωριδίου (PVC) πρέπει να αποφεύγεται. Η σημασία της θερμικής μόνωσης ενός συσσωρευτή φαίνεται από το γεγονός ότι, σε ένα συσσωρευτή τυπικής οικιακής εγκατάστασης, όχι σωστά μονωμένο, οι θερμικές απώλειες μπορεί να ξεπεράσουν τις 1000 kWh το χρόνο[31].

4.2.3 Εναλλάκτες Θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας ορίζονται οι συσκευές, που έχουν τη δυνατότητα να διευκολύνουν τη μεταφορά θερμικού φορτίου μεταξύ δύο ρευστών διαφορετικής θερμοκρασίας[32]. Η διάκριση τους γίνεται βάση της διαδικασίας μεταφοράς της θερμότητας, σε:

- εναλλάκτες άμεσης επαφής και
- εναλλάκτες έμμεσης επαφής

Στην πρώτη περίπτωση τα δύο ρευστά διαφορετικής φάσης έρχονται σε άμεση επαφή, ανταλλάσσουν θερμότητα και στη συνέχεια διαχωρίζονται και πάλι. Στη δεύτερη περίπτωση τα ρευστά παραμένουν χωρισμένα και η ανταλλαγή γίνεται μέσω μίας διαχωριστικής επιφανείας. Στους εναλλάκτες έμμεσης επαφής, η μετάδοση θερμότητας από το ζεστό στο κρύο ρευστό γίνεται με τρεις τρόπους:

- 1) με μετάβαση (συναγωγή) από το ζεστό ρευστό στο τοίχωμα
- 2) με αγωγιμότητα μέσα στο τοίχωμα
- 3) με μετάβαση (συναγωγή) από το τοίχωμα στο ψυχρό ρευστό.

Στα ηλιοθερμικά συστήματα όπου το ρευστό των ηλιακών συλλεκτών είναι διαφορετικό από το ρευστό του συσσωρευτή (συστήματα κλειστού κυκλώματος), χρησιμοποιούνται οι εναλλάκτες θερμότητας έμμεσης επαφής.

Ο σκοπός τους είναι η μεταφορά της θερμικής ενέργειας του ζεστού ρευστού των συλλεκτών (υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης) στο κρύο ρευστό του συσσωρευτή (νερό). Ανάλογα με τη θέση τους διακρίνονται σε εσωτερικούς και εξωτερικούς. Ο εσωτερικός εναλλάκτης τοποθετείται μέσα στο συσσωρευτή και αποτελείται από σωλήνες χαλκού ή ανοξείδωτου χάλυβα. Οι εσωτερικοί εναλλάκτες έχουν μικρότερο κόστος αλλά η απόδοσή τους μειώνεται λόγω της απόθεσης αλάτων από το νερό. Η διαφορά θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του υδατικού διαλύματος του συλλέκτη στον εναλλάκτη, πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 10°C περίπου από τη διαφορά θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του νερού στο συσσωρευτή.

Ο εξωτερικός εναλλάκτης θερμότητας τοποθετείται μεταξύ του ηλιακού συλλέκτη και του συσσωρευτή και είναι τύπου αντιρροής (τα δύο ρευστά κινούνται με αντίθετη φορά). Χρησιμοποιούνται πλακοειδείς ή σωληνοειδής εναλλάκτες, που κατασκευάζονται από χαλκό ή ανοξείδωτο χάλυβα και η κυκλοφορία των δύο ρευστών γίνεται με τη βοήθεια αντίστοιχων αντλιών. Στους εξωτερικούς εναλλάκτες θερμότητας η διαφορά θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του υδατικού διαλύματος του συλλέκτη στον εναλλάκτη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 5°C

περίπου από τη διαφορά θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του νερού στο συσσωρευτή.

4.3 Λοιπά τμήματα του ηλιακού συστήματος

Πέραν του τμήματος συλλογής και αποθήκευσης υπάρχουν διατάξεις και όργανα που ενώνουν τα δυο κύρια τμήματα, αλλά και επιτρέπουν τη σωστή λειτουργία και τον απαιτούμενο έλεγχο του συστήματος. Τα τμήματα αυτά δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας γι' αυτό και περιγράφονται μόνο τα κύρια τους χαρακτηριστικά .

Ο **κυκλοφορητής** είναι η αντλία, η οποία εξασφαλίζει την κυκλοφορία του υδατικού διαλύματος στο κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών. Η λειτουργία του ξεκινάει όταν η θερμοκρασία του υδατικού διαλύματος είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του νερού στο κάτω μέρος του συσσωρευτή ενέργειας. Χρειάζεται προσοχή στη διαστασιολόγηση του συστήματος του κυκλοφορητή, διότι αν η ισχύς του κυκλοφορητή είναι χαμηλή, υπάρχει περίπτωση να δημιουργηθούν μεγάλες θερμικές απώλειες στο εσωτερικό του κυκλώματος του ηλιακού συλλέκτη και επομένως το σύστημα να έχει πολύ χαμηλή απόδοσή.[31]

Το **δοχείο διαστολής** είναι ένα μεταλλικό δοχείο που χωρίζεται σε δύο μέρη από μια ελαστική μεμβράνη. Η μεμβράνη χωρίζει το πάνω μέρος στο οποίο περιέχεται το υδατικό διάλυμα των συλλεκτών από το κάτω μέρος στο οποίο βρίσκεται το άζωτο, υπό ορισμένη αρχική πίεση. Το δοχείο διαστολής χρησιμεύει στο να δέχεται την αύξηση του όγκου κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού μεταφοράς της ενέργειας και σε περίπτωση στεγανοποίησης της εγκατάστασης χρησιμεύει στο να δέχεται όλο το υγρό, που περιέχεται στο εσωτερικό του συλλέκτη. Συνήθως τα δοχεία διαστολής έχουν τυποποιημένα μεγέθη. Αφού υπολογιστεί ο ελάχιστος όγκος επιλέγεται και το αντίστοιχο κατάλληλο μέγεθος δοχείου διαστολής, με όγκο ίσο ή μεγαλύτερο από το αντίστοιχο τυποποιημένο[31].

Η **βαλβίδα ασφαλείας** είναι το όργανο εκείνο που θα εκτονώσει μια ορισμένη ποσότητα ατμού από το κύκλωμα σε περίπτωση που εμφανιστεί υπερπίεση. Έτσι η πίεση του συστήματος επανέρχεται στα φυσιολογικά όρια λειτουργίας. Η ενδεδειγμένη θέση τοποθέτησης της βαλβίδας είναι μετά τον κυκλοφορητή στο σωλήνα προσαγωγής του υδατικού διαλύματος του συλλέκτη. Η επιλογή της εξαρτάται από την αρχική πίεση P_{in} και τη στατική πίεση $P_{στ}$. Σε περίπτωση που έχουμε εγκατάσταση συστοιχιών ηλιακών συλλεκτών σε παράλληλους κλάδους, προβλέπεται μια βαλβίδα για κάθε έναν επιμέρους κλάδο καθώς και μία κεντρική βαλβίδα, η οποία τοποθετείται σε χαμηλότερη θέση. Η επιλογή της βαλβίδας εδώ εξαρτάται από την επιφάνεια των συλλεκτών, σε ότι έχει να κάνει με τη διάμετρο της. Για τα επίπεδα πίεσης επιλέγεται ίση με την ονομαστική.

Εξαεριστικό: Όταν υπάρχει απουσία υδατικού διαλύματος, το κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών γεμίζει με αέρα. Κατά την εισαγωγή του υδατικού διαλύματος μεγάλο ποσοστό του αέρα απομακρύνεται από το κύκλωμα μέσω ειδικών οργάνων, τα

εξαεριστικά. Τοποθετούνται στο ψηλότερο σημείο του συστήματος ηλιοθερμίας και πρέπει να διατηρούν την αντοχή τους σε θερμοκρασίες ύψους 200°C.

Οι **διαφορικοί πίνακες ελέγχου** επιτρέπουν την επαρκή χρήση και τον έλεγχο της λειτουργίας της ηλιοθερμικής εγκατάστασης ή της θέρμανσης. Αυτός ο τύπος ελεγκτή απαιτεί τη ρύθμιση δύο διαφορετικών θερμοκρασιών. Μία για να ξεκινήσει και μία για να σταματήσει. Η πρώτη αφορά την ανώτερη ζώνη και η δεύτερη την κατώτερη. Οι θερμοκρασίες του συστήματος μετρούνται συνήθως στην απορροφητική πλάκα του συλλέκτη και στο θερμοδοχείο. Αν η θερμοκρασία του συλλέκτη υπερβεί τη θερμοκρασία της δεξαμενής αποθήκευσης καθώς και την ανώτερη ζώνη η αντλία θα ενεργοποιηθεί. Αν η θερμοκρασία του συλλέκτη πέσει κάτω από την θερμοκρασία της κατώτερης ζώνης, η αντλία θα σταματήσει τη λειτουργία της.[31]

4.4 Συστήματα Φυσικής Κυκλοφορίας (θερμοσιφωνικού τύπου)

Η δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού, σε ένα θερμοσιφωνικό σύστημα ηλιακών συλλεκτών, δηλαδή ένα σύστημα που δεν χρειάζεται κυκλοφορητή, πρέπει να βρίσκεται τοποθετημένη σε υψηλότερο σημείο από την συλλεκτική επιφάνεια. Η κυκλοφορία του ρευστού στο κύκλωμα Συλλέκτης-Δεξαμενή-Συλλέκτης (Σ-Δ-Σ) επιτυγχάνεται λόγω της διαφοράς πίεσης που δημιουργείται στο κλειστό κύκλωμα. Η διαφορά πίεσης, ΔP , οφείλεται στη διαφορά της πυκνότητας του ρευστού (π.χ. νερού) που ευρίσκεται εντός των σωληνώσεων του ηλιακού συλλέκτη, σε σχέση με την πυκνότητα του ρευστού του κυκλώματος στη δεξαμενή. Η διαφορά θερμοκρασίας του νερού απολαβής, μεταξύ του συλλέκτη και της δεξαμενής ικανή να ξεκινήσει θερμοσιφωνική ροή είναι περίπου 8-10 °C. Ωστόσο, αυτή η διαφορά εξαρτάται από την πτώση πίεσης του ρευστού στο κύκλωμα. Δηλαδή, από την διάμετρο και το μήκος των σωληνώσεων, αλλά και από τις γωνίες κυκλοφορίας που σχηματίζουν οι σωλήνες.

Σύμφωνα με το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου διακρίνονται δύο είδη ηλιακών θερμοσιφωνικών συστημάτων:

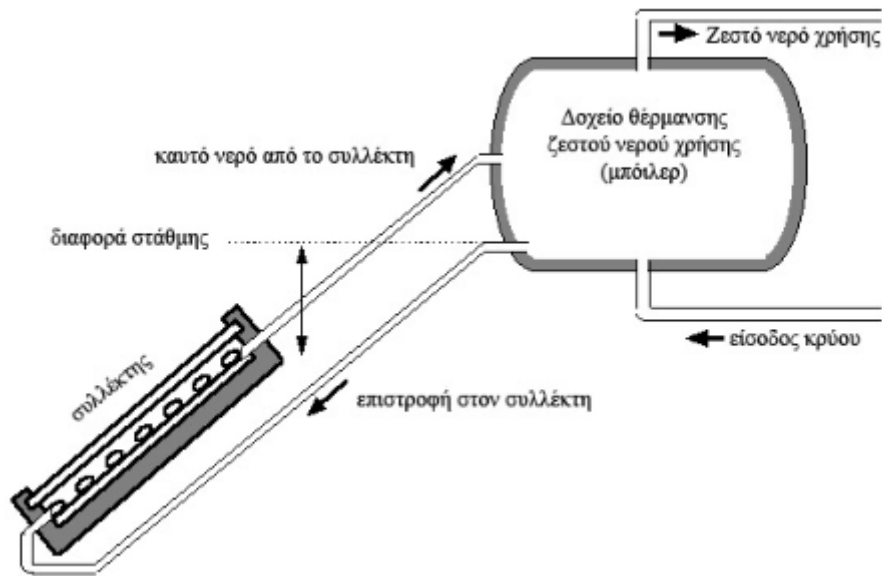
➤ Ανοιχτού βρόχου

Τα συστήματα ανοιχτού βρόχου δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα και αυτό οφείλεται κυρίως στον τρόπο λειτουργίας τους. Το νερό ρέει μέσα στο συλλέκτη, απορροφώντας ποσά θερμότητας από την ηλιακή ακτινοβολία και εν συνεχεία αποθηκεύεται στο δοχείο ζεστού νερού χρήσης (μπόιλερ)[33]. Ωστόσο, επειδή το ζεστό νερό χρήσης είναι το ίδιο νερό με αυτό που διέρχεται μέσα από τον ηλιακό συλλέκτη, γεγονός που δημιουργεί διαβρώσεις εσωτερικά του συλλέκτη, εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας αλάτων στο νερό και καθιστά το ζεστό νερό χρήσης ανθυγιεινό για τον άνθρωπο λόγω της συνεχούς επαφής του με τις σωληνώσεις του ηλιακού συλλέκτη

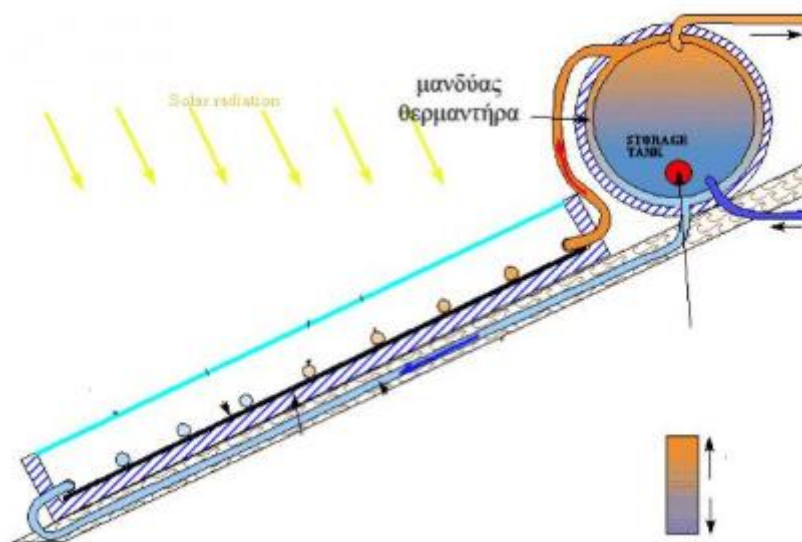
➤ Κλειστού βρόχου

Σε αντίθεση με τα συστήματα ανοιχτού βρόχου, τα συστήματα κλειστού βρόχου είναι ευρέως διαδεδομένα για την παραγωγή ζεστού νερού. Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι το ΖΝΧ δεν αναμειγνύεται με το νερό το οποίο ρέει

μέσα στον ηλιακό συλλέκτη. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχει ένα κλειστό κύκλωμα ροής νερού του συλλέκτη, το οποίο ζεσταίνεται με την βοήθεια της ακτινοβολίας του ηλίου και εν συνεχεία, με συναγωγή μεταδίδει την θερμότητα του στο νερό που βρίσκεται στη δεξαμενή αποθήκευσης, χωρίς αυτά τα δύο κυκλώματα να έρθουν σε επαφή[33].



Εικόνα 4.11 : Θερμοσιφονικά συστήματα ανοικτού βρόχου[25].

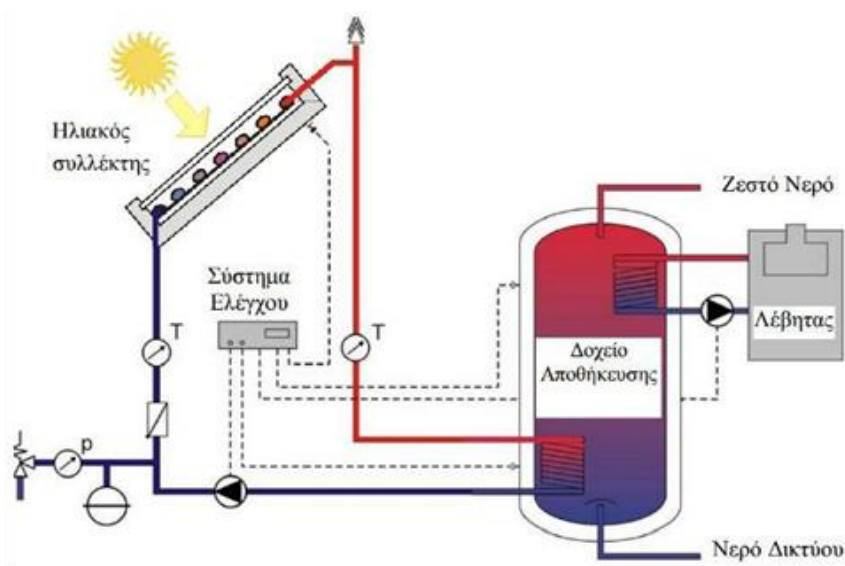


Εικόνα 4.12 : Θερμοσιφονικά συστήματα κλειστού βρόχου[25].

4.5 Σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας

Τα συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας κατέχουν σημαντική θέση στον τομέα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων. Η κύρια διαφορά μεταξύ των συστημάτων φυσικής και εξαναγκασμένης κυκλοφορίας έγκειται στην παρουσία κυκλοφορητή, ο οποίος παρέχει την απαιτούμενη κινητική ενέργεια στο θερμαινόμενο ρευστό του κλειστού κυκλώματος των συλλεκτών. Επιπλέον, τα υπόλοιπα τμήματα από τα οποία απαρτίζεται ένα σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας είναι το κεντρικό δοχείο αποθήκευσης, το δίκτυο των αγωγών, διάφορες ρυθμιστικές διατάξεις και τα συστήματα ελέγχου[33].

Η θερμότητα που προσλαμβάνουν οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες μεταφέρεται από το θερμαινόμενο ρευστό (μίγμα νερού και αντιπηκτικού υγρού) στο κεντρικό δοχείο αποθήκευσης. Εκεί, μέσω ενός εναλλάκτη εμβαπτισμένου εσωτερικά του δοχείου, η θερμότητα μεταφέρεται με συναγωγή στο νερό χρήσης, το οποίο κατανέμεται μέσω των αγωγών στα σημεία κατανάλωσης.



Εικόνα 4.13 : Σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας[34].

4.6 Εφαρμογές Ηλιοθερμικών Συστημάτων

4.6.1 Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης Ζεστού Νερού Χρήσης

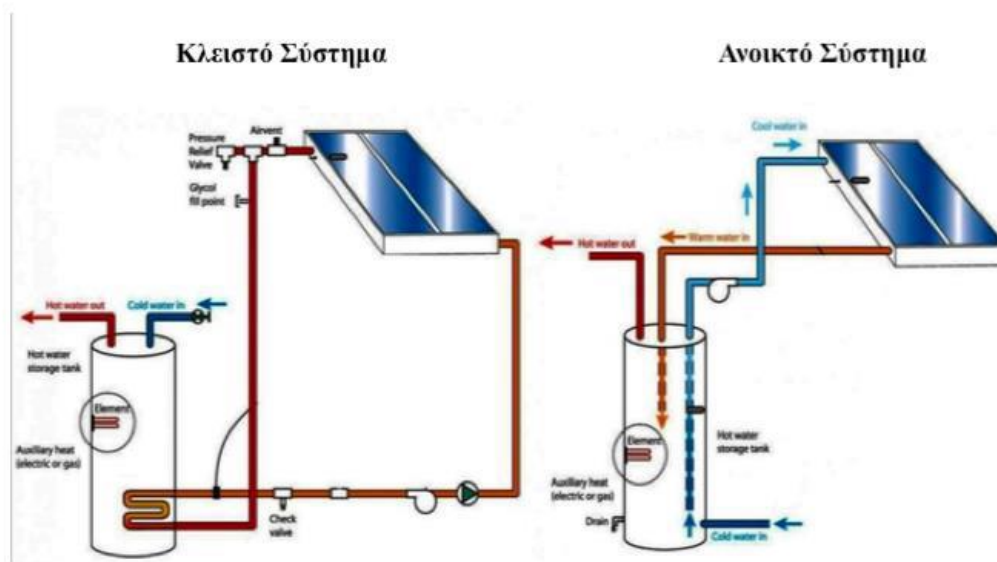
Η παραγωγή ζεστού νερού με χρήση θερμικών ηλιακών συστημάτων αποτελεί πλέον διαδεδομένη μέθοδο στον τομέα της ενέργειας.

Τα κεντρικά ηλιακά συστήματα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης αποτελούνται από ένα κεντρικό σύστημα ηλιακών συλλεκτών καθώς επίσης και από ένα κεντρική μονάδα αποθήκευσης του νερού αυτού και από το δίκτυο σωληνώσεων. Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι συνήθως τοποθετημένοι στην οροφή του κτηρίου, με σκοπό την αποφυγή της σκίασης. Συνήθως ο προσανατολισμός που ακολουθούν είναι Νότιος και βρίσκονται υπό κλίση 30° - 60° ως προς τον ορίζοντα. Με αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιείται το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως. Η ηλιακή

ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η αντίστοιχη θερμότητα που συλλέγεται μεταφέρεται μέσω δικτύου αγωγών[35].

Ένα τέτοιο σύστημα εξυπηρετεί καλύτερα την ομαλότερη κατανομή ζεστού νερού στην διάρκεια του 24-ωρου, με αποτέλεσμα τη μείωση των θερμικών απωλειών του αποθηκευμένου νερού για την κάλυψη των απαιτήσεων.

Η τεχνολογία αυτή βρίσκει εφαρμογή σε κατοικίες, ξενοδοχεία, εστιατόρια, και άλλες παρόμοιες εγκαταστάσεις.



Εικόνα 4.14 : Ηλιακές διατάξεις κλειστού και ανοικτού βρόγχου για παραγωγή ΖΝΧ [35].

4.6.2 Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης Χώρων

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμότητας με σκοπό τη θέρμανση χώρων είναι ακριβώς η ίδια με τη διαδικασία που ακολουθείται για τη θέρμανση νερού οικιακής χρήσης. Αέρας ή κάποιο υγρό μίγμα θερμαίνεται στους ηλιακούς συλλέκτες και στη συνέχεια μεταφέρεται από ανεμιστήρες και αντλίες, με μικρή συγκριτικά κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στα δοχεία αποθήκευσης της θερμότητας.

Τα ηλιακά συστήματα αέρος αποτελούνται από συλλέκτες, ανεμιστήρες, αεραγωγούς και συστήματα ελέγχου, και μπορούν να θερμάνουν τον αέρα ενός σπιτιού χωρίς εναλλάκτες θερμότητας ή θερμική αποθήκευση. Στα μεγάλα συστήματα αέρος χρησιμοποιείται συνήθως θερμική αποθήκευση, για παράδειγμα σε κλίνη χαλικιών με χαλίκια ή μικρές πέτρες, από όπου διέρχεται όλη η ποσότητα του κυκλοφορούντος στους ηλιακούς συλλέκτες θερμικού μέσου (υγρού ή αερίου). Γενικά, τα συστήματα αυτά αποτελούνται από το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών, το θερμοδοχείο αδρανείας, ένα σύστημα βοηθητικής ενέργειας, ένα σύστημα θέρμανσης και ένα σύστημα ελέγχου[35].

Τα συστήματα θέρμανσης χώρου με την χρήση ηλιακών συλλεκτών μπορούν να καλύψουν ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό των αναγκών του κτιρίου σε θέρμανση και χρησιμοποιούνται ως βοηθητικά στα συμβατικά συστήματα θέρμανσης.

Η ιδανική εφαρμογή προκύπτει για συστήματα θέρμανσης χαμηλών θερμοκρασιών όπως η ενδοδαπέδια και τα σώματα τύπου fan-coil, ενώ για θέρμανση με συμβατικά θερμαντικά σώματα αναμένεται μια μείωση της απόδοσης κατά 10-15%, η οποία αντιμετωπίζεται συνήθως με υπερδιαστασιολόγηση της εγκατάστασης θέρμανσης.

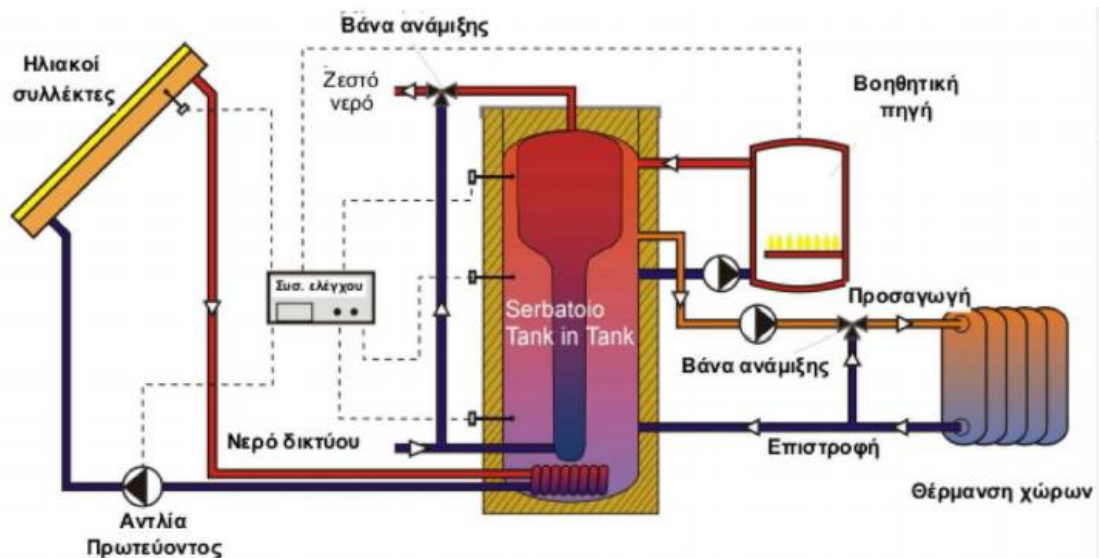
Επιπλέον, το συμβατικό σύστημα θέρμανσης θα πρέπει να είναι ικανό να παράσχει το 100% των απαιτήσεων θέρμανσης, δεδομένου ότι το ηλιακό σύστημα μπορεί να έχει μηδενική ή πολύ μικρή συμβολή στην κάλυψη των αναγκών θέρμανσης κατά τις περιόδους νεφελώδους καιρού.

Τέλος, θεωρείται σκόπιμο να σχεδιάζονται αυτά τα συστήματα για να έχουν τέσσερις βασικούς τρόπους λειτουργίας, εξαρτώμενους από τις συνθήκες που υπάρχουν στο σύστημα σε κάθε συγκεκριμένη στιγμή. Είναι οι ακόλουθοι[35]:

- Αν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια και δεν απαιτείται θέρμανση, αυτή να προστεθεί από το δοχείο αποθήκευσης.
- Αν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια και χρειάζεται θέρμανση, η ενέργεια από το σώμα του συλλέκτη να χρησιμοποιείται απευθείας στην κάλυψη αναγκών του χώρου που θερμαίνεται.
- Αν δεν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια και απαιτείται θέρμανση και υπάρχει επαρκής αποθηκευμένη ενέργεια στην αποθήκη, τότε να χρησιμοποιείται πρωτίστως η αποθηκευμένη αυτή ενέργεια για να καλύψει τις ανάγκες θέρμανσης του χώρου.
- Αν δεν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια και χρειάζεται θέρμανση και η ενέργεια αποθηκευτικής μονάδας δεν επαρκεί, τότε να χρησιμοποιηθεί βοηθητική πηγή ενέργειας για να καλύψει τις ανάγκες.

4.6.3 Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης Χώρων και ZNX (Συστήματα Combi)

Πλέον, τα θερμικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούνται για την υποβοήθηση των χώρων και παράλληλα την παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX). Τα ηλιακά αυτά συστήματα, που είναι γνωστά και ως «Solar Combisystems», ακολουθούν τις αρχές λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης χώρων και παραγωγής ZNX[36].



Εικόνα 4.15 : Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ενός συστήματος Combi[37].

Οι ηλιακοί συλλέκτες και εδώ μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία η οποία διοχετεύεται στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Όπως είδαμε αρκετές φορές μέχρι τώρα το πλέον συνηθισμένο μίγμα και για αυτή τη διαδικασία είναι κάποιο μίγμα γλυκόλης και νερού. Έτσι η θερμική ενέργεια μεταφέρεται από το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών στους εναλλάκτες, οι οποίοι με τη σειρά τους είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά της θερμότητας στο ρευστό χρήσης.

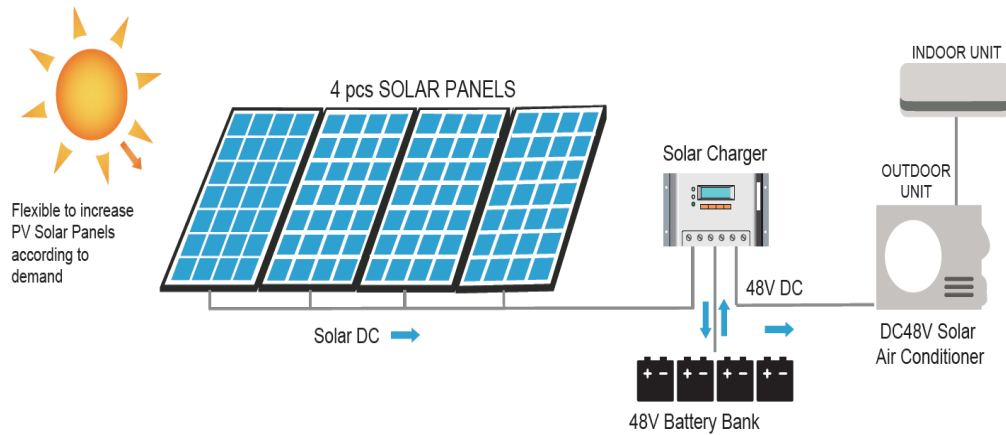
Επιπρόσθετα, οι εναλλάκτες αυτοί βρίσκονται εντός της δεξαμενής αποθήκευσης στην οποία αποθηκεύεται η θερμική ενέργεια του ρευστού χρήσης όπου και μέσω των κυκλοφορητών υποστηρίζεται η ροή του ρευστού στις επιμέρους καταναλώσεις. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του συστήματος των σωληνώσεων. Το κύριο σύστημα ελέγχου είναι υπεύθυνο για την υποστήριξη και τον έλεγχο της ομαλής λειτουργίας τους συστήματος.

4.6.5 Ηλιακός Κλιματισμός ή Ηλιακή Ψύξη (Συστήματα Combi – Plus)

Ο ηλιακός κλιματισμός αποτελεί μια νέα και αναπτυσσόμενη τεχνολογία, σε σύγκριση με τους άλλους τομείς εφαρμογής της ηλιακής ενέργειας. Υψηλής απόδοσης ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν με ζεστό νερό ειδικούς ψύκτες νερού οι οποίοι ψύχουν το νερό για διανομή στα κτήρια προς κλιματισμό-ψύξη.

Δεδομένου ότι τα μέγιστα ψυκτικά φορτία το καλοκαίρι συμπίπτουν με την υψηλή διαθεσιμότητα ηλιακής ενέργειας, προσφέρεται μια πολύ καλή ευκαιρία για τη χρήση των ηλιακών θερμικών συστημάτων σε συνδυασμό με θερμικούς ψύκτες. Συνεπώς, η εκμετάλλευση των ηλιακών θερμικών συστημάτων μπορεί να καλύψει τις ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης, θέρμανση και ψύξη χώρων. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά ως “solarcombi – plus”[36].

Η εφαρμογή των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού ενδείκνυται κυρίως σε περιπτώσεις κτιρίων με υψηλές και συνεχείς απαιτήσεις σε κλιματισμό (π.χ. ξενοδοχεία, νοσοκομεία, αίθουσες αθλητικών κέντρων κλπ).



Εικόνα 4.16 : Σχηματική διάταξη ηλιακού κλιματισμού[38].

Κεφάλαιο 5° – Αντλίες Θερμότητας

5.1 Γενικά στοιχεία

Η αντλία θερμότητας είναι συσκευή που έχει τη δυνατότητα εναλλαγής λειτουργίας στον κύκλο ψύξης ενός συστήματος έτσι ώστε να δίνει άλλοτε θερμό και άλλοτε ψυχρό αέρα ή άλλο μέσο μεταφοράς θερμότητας ή ψύχους, ανάλογα με τις κλιματιστικές συνθήκες του χώρου. Όπως είναι γνωστό, η θερμότητα έχει φυσική ροή από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε καταστάσεις χαμηλότερων. Το σύστημα αυτό όμως, έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη θερμότητα αντίθετα από τη φυσική ροή, δηλαδή αντλεί θερμότητα. Συγκεκριμένα, τους θερινούς μήνες αφαιρεί θερμότητα από ένα κλιματιζόμενο χώρο και την αποβάλλει στο περιβάλλον οπότε ψύχεται ο κλιματιζόμενος χώρος, ενώ το χειμώνα αφαιρεί θερμότητα από το περιβάλλον και την αποβάλλει μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο οπότε τον θερμαίνει. Η αντλία θερμότητας είναι ένα φθινό σύστημα θέρμανσης σε σχέση με τη θέρμανση που δίνουν οι ηλεκτρικοί θερμοσυσσωρευτές, τα αερόθερμα και γενικά τα ηλεκτρικά θερμαντικά σώματα.

5.2 Αρχή Λειτουργίας

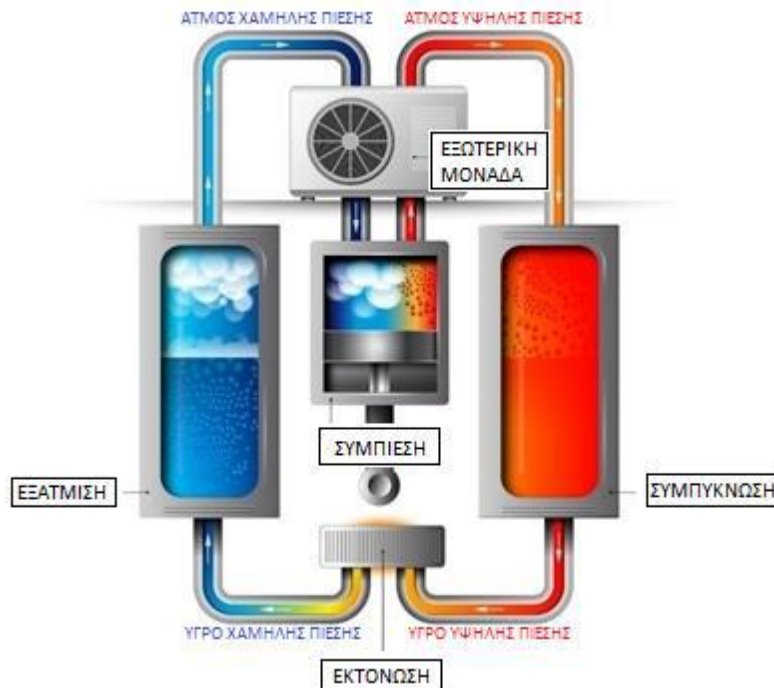
Οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούν όλα τα ψυκτικά μηχανήματα. Η λειτουργία των αντλιών θερμότητας βασίζεται σε ψυκτικούς κύκλους, με επικρατέστερο αυτόν της συμπίεσης ατμών ενός ψυκτικού ρευστού. Το ρευστό (ψυκτικό μέσο) που ρέει μέσα στις σωληνώσεις εξέρχεται μετά το συμπιεστή σε αέρια κατάσταση με υψηλή πίεση και θερμοκρασία. Στη συνέχεια η θερμότητα που του αποδόθηκε κατά τη συμπίεση αποβάλλεται στο συμπυκνωτή και εξέρχεται από αυτόν σε υγρή φάση. Έπειτα, το ψυκτικό μέσο εκτονώνεται (μειώνεται η πίεση του) στην εκτονωτική βαλβίδα, μπαίνοντας σε διφασική κατάσταση (υγρό και αέριο) και εξατμίζεται λόγω της πτώσης πίεσης στον εξατμιστή, όπου ψύχεται και προσλαμβάνει θερμότητα. Τέλος, το ρευστό εισέρχεται στον συμπιεστή και επαναλαμβάνει τον κύκλο λειτουργίας[39].

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

- Ο εξατμιστής : Είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας που βρίσκεται στον χώρο όπου είναι απαραίτητη η ψύξη ή στο μέσον από το οποίο απαιτείται άντληση θερμότητας. Μέσα στον εξατμιστή το ψυκτικό ρευστό σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία, απορροφά θερμότητα και εξατμίζεται.
- Ο συμπιεστής : Είναι μια συσκευή που αναρροφά τους ατμούς του ψυκτικού ρευστού από την έξοδο του εξατμιστή και αυξάνει την πίεση και τη θερμοκρασία τους. Ο συμπιεστής καταναλώνει μηχανικό έργο, που συνήθως προέρχεται από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ο συμπυκνωτής : Είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας που βρίσκεται στον χώρο όπου είναι απαραίτητη η θέρμανση ή στο μέσον από το οποίο απαιτείται η θερμότητα. Μέσα στον συμπυκνωτή, οι θερμοί ατμοί του ψυκτικού ρευστού

αρχικά ψύχονται μέχρι μια ορισμένη θερμοκρασία και στη συνέχεια συμπυκνώνονται, αποβάλλοντας θερμότητα.

- Η εκτονωτική (στραγγαλιστική) βαλβίδα : Είναι μία συσκευή που μειώνει την υψηλή πίεση που επικρατεί στον συμπυκνωτή μέχρι την χαμηλή πίεση που επικρατεί στον εξατμιστή.



Εικόνα 5.1 : Τυπική μορφή αντλίας θερμότητας (αέρα/αέρα)[40].

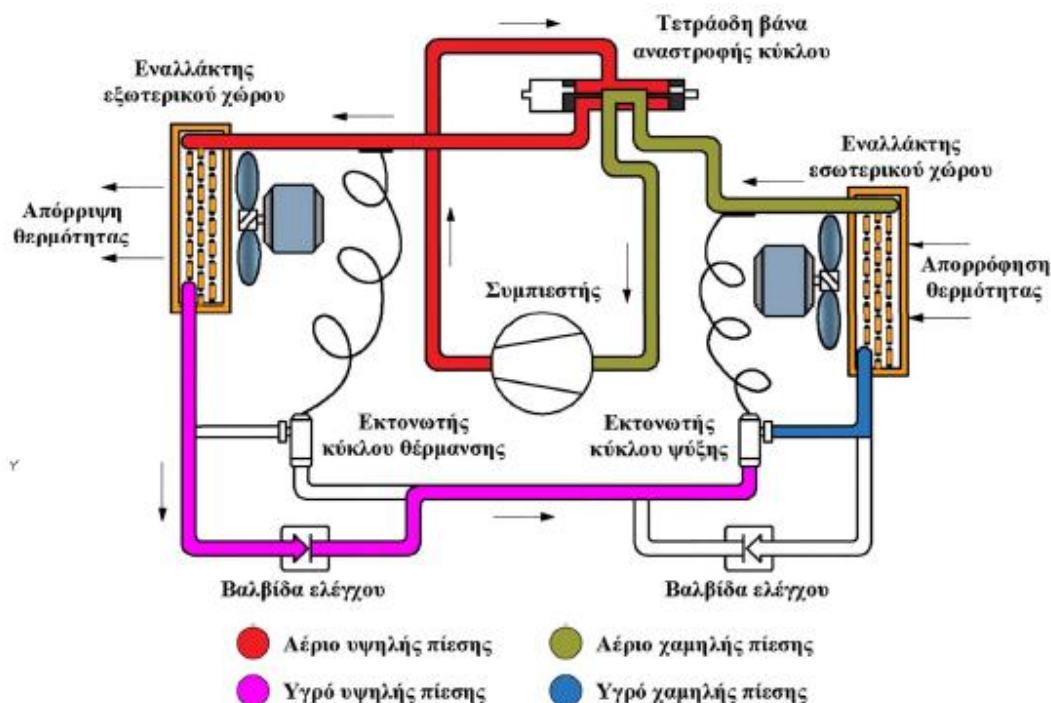
5.2.1 Λειτουργία ψύξης

Η είσοδος του ψυκτικού υγρού στον εξατμιστή (εναλλάκτης εσωτερικού χώρου) ελέγχεται από μία εκτονωτική βαλβίδα. Η βαλβίδα αυτή ελαττώνει την πίεση του ψυκτικού υγρού, το οποίο, λόγω της πτητικής φύσης του, ευρισκόμενο σε πίεση και θερμοκρασία περιβάλλοντος, εξατμίζεται, απορροφώντας θερμότητα από τον ψυχόμενο χώρο. Με τον τρόπο αυτό στον εξατμιστή επιτυγχάνεται η επιδιωκόμενη ψύξη.

Στην έξοδο από τον εναλλάκτη εσωτερικού χώρου το ψυκτικό υγρό έχει μετατραπεί σε αέριο χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Με αυτή τη φάση οδηγείται στο συμπιεστή, προκειμένου να συμπιεστεί και να υγροποιηθεί και πάλι. Με τη συμπίεση του ψυκτικού μέσου της αυξάνεται, πέραν της πίεσής του, ταυτόχρονα και η θερμοκρασία του. Συνεπώς στην έξοδό του από το συμπιεστή το ψυκτικό μέσο αποκτά υψηλή πίεση και θερμοκρασία.

Το συμπιεσμένο θερμό αέριο ψυκτικό μέσο φτάνει στο συμπυκνωτή (εναλλάκτης εξωτερικού χώρου), όπου, αποδίδοντας θερμότητας στο μέσο συμπύκνωσης (αέρας ή νερό), ψύχεται. Στο στάδιο αυτό το συμπιεσμένο αέριο υγροποιείται.

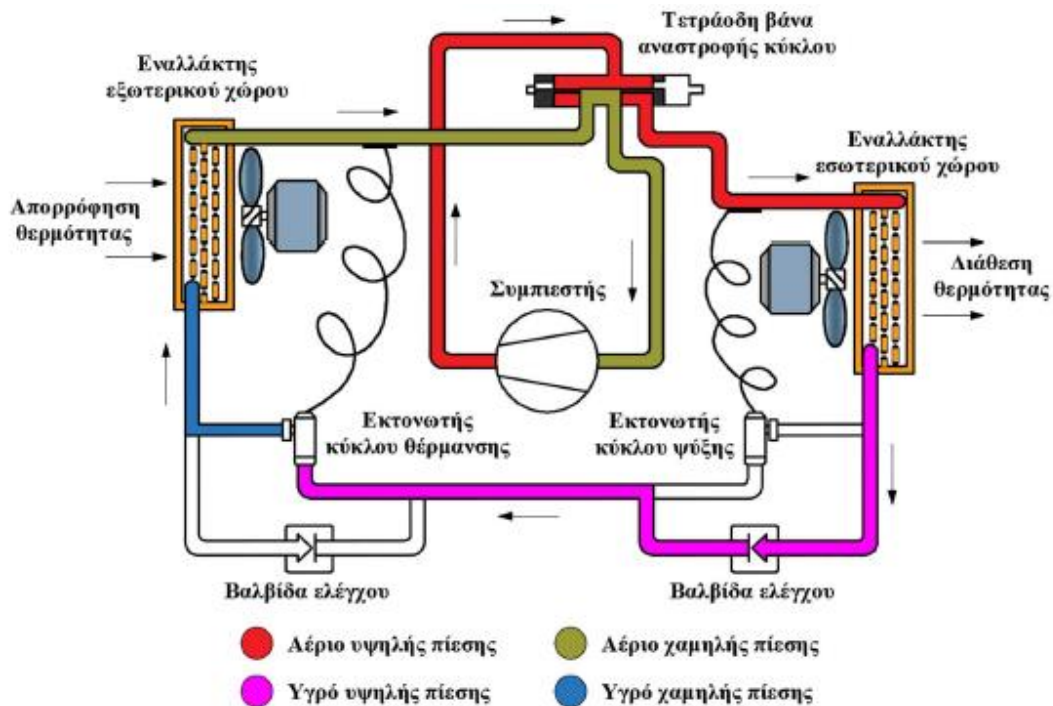
Το ψυκτικό υγρό φθάνει στην εκτονωτική βαλβίδα, η οποία αποσκοπεί στην επαναφορά της πίεσης του ψυκτικού μέσου σε πίεση περιβάλλοντος, ώστε να είναι και πάλι δυνατή η εξατμισή του στον εναλλάκτη εσωτερικού χώρου και η επανάληψη του κύκλου ψύξης.



Εικόνα 5.2 : Αντλία θερμότητας (αέρα / αέρα) για λειτουργία ψύξης[41].

5.2.2 Λειτουργία θέρμανσης

Ο κύκλος λειτουργίας για τη θέρμανση περιλαμβάνει τα ίδια στάδια με τον ψυκτικό κύκλο, μόνο που στην περίπτωση αυτή ο εξατμιστής (εναλλάκτης εσωτερικού χώρου) εργάζεται ως συμπυκνωτής, απορρίπτοντας θερμότητα στο θερμαινόμενο χώρο, και ο συμπυκνωτής (εναλλάκτης εξωτερικού χώρου) εργάζεται ως εξατμιστής, απορροφώντας θερμότητα από το περιβάλλον. Η αλλαγή του ψυκτικού κύκλου σε θερμαντικό, γίνεται με τη βοήθεια της τετράοδης βαλβίδας. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει θερμαντικός κύκλος, απλώς η θερμότητα μεταφέρεται προς την αντίθετη φορά, δηλαδή στο χώρο που επιθυμούμε. Με την τετράοδη βαλβίδα αλλάζει φορά ροής το ψυκτικό μέσο, ώστε να οδηγείται για συμπύκνωση προς τον εναλλάκτη εσωτερικού χώρου, προσφέροντάς του την αντίστοιχη θερμότητα συμπύκνωσης. Ταυτόχρονα, η εξατμισή του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται στον εναλλάκτη εξωτερικού χώρου, ο οποίος βρίσκεται στο ψυχρό μέσο, αντλώντας θερμότητα από αυτό.



Εικόνα 5.3 : Αντλία θερμότητας (αέρα / αέρα) για λειτουργία θέρμανσης[41].

Με βάση τις ανωτέρω διαδικασίες που περιεγράφηκαν, είναι δυνατή η χρήση της ίδιας αντλίας θερμότητας το χειμώνα, για να μεταφερθεί θερμότητα από το περιβάλλον προς το θερμαινόμενο χώρο, και το καλοκαίρι, για να μεταφερθεί θερμότητα από τον ψυχόμενο χώρο προς το περιβάλλον. Με την επιλογή λειτουργίας σε μία κλιματιστική συσκευή, στην ουσία επιλέγεται η λειτουργία της τετράοδης βάνας του μηχανήματος για την αντιστροφή της ροής του ψυκτικού μέσου.

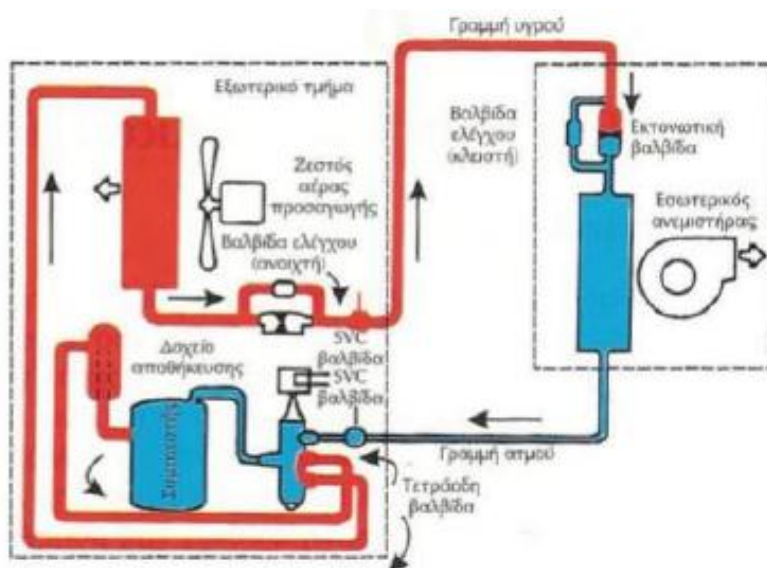
Ωστόσο, στην πράξη τα πράγματα δεν είναι τόσο εύκολα όσο στη θεωρία και οι αντλίες θερμότητας δεν είναι τόσο απλά μηχανήματα, όσο απλή είναι η αρχή λειτουργίας τους. Εκτός από τα παραπάνω βασικά εξαρτήματα, μια αντλία θερμότητας περιέχει ηλεκτρονικές πλακέτες που επιτηρούν τη λειτουργία των τμημάτων της συσκευής, αισθητήρια για να μετρούνται η θερμοκρασία και η πίεση του ψυκτικού μέσου πριν και μετά το συμπιεστή, επιτηρητή φάσεων για τη διακρίβωση της σωστής ηλεκτρικής παροχής, εξαρτήματα αυτοματισμού, χειριστήρια, οθόνες ενδείξεων και άλλα τα οποία στα σύγχρονα εξελιγμένα μηχανήματα επεκτείνονται σε ρύθμιση στροφών των ανεμιστήρων των στοιχείων και διαθέτουν ενσωματωμένη ηλεκτρονική λογική για να αποφασίζουν κάθε στιγμή τις βέλτιστες ρυθμίσεις όλων των τμημάτων του μηχανήματος[41].

5.3 Τύποι αντλιών θερμότητας

5.3.1 Ανάλογα με την πηγή και τον αποδέκτη θερμότητας

Ανάλογα με την πηγή και τον αποδέκτη θερμότητας, οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες.

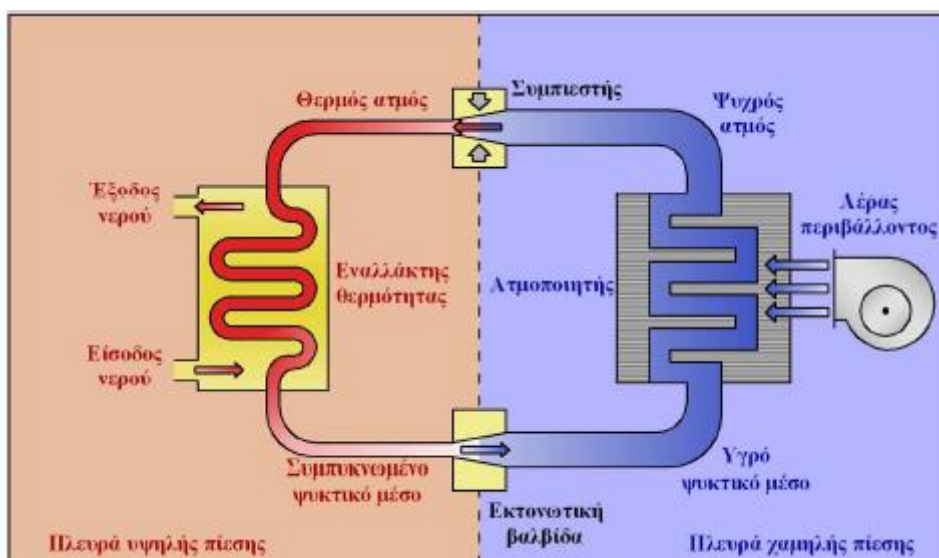
Αντλίες θερμότητας αέρα/αέρα. Αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τύπο αντλίας θερμότητας, που χρησιμοποιείται ευρύτατα για τη θέρμανση-ψύξη κατοικιών, γραφείων και μικρών εμπορικών καταστημάτων. Κατά τη λειτουργία θέρμανσης χρησιμοποιείται αερόψυκτος εξατμιστής που απορροφά θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα, προσδίδοντάς τη στο ψυκτικό ρευστό. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια αερόψυκτου συμπυκνωτή η θερμότητα απορρίπτεται στον αέρα του χώρου. Με την αντιστροφή του κύκλου λειτουργίας μέσω της τετράοδης βαλβίδας, ο εξατμιστής και ο συμπυκνωτής ανταλλάσσουν ρόλους με αποτέλεσμα η αντλία θερμότητας να ψύχει το χώρο. Η πιο χαρακτηριστική εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι οι κλιματιστικές συσκευές που τοποθετούνται σήμερα για την ψύξη των χώρων κατά τους θερινούς μήνες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση το χειμώνα[42].



Εικόνα 5.4 : Αντλία θερμότητας αέρα/αέρα (κατά την λειτουργία ψύξης)[41].

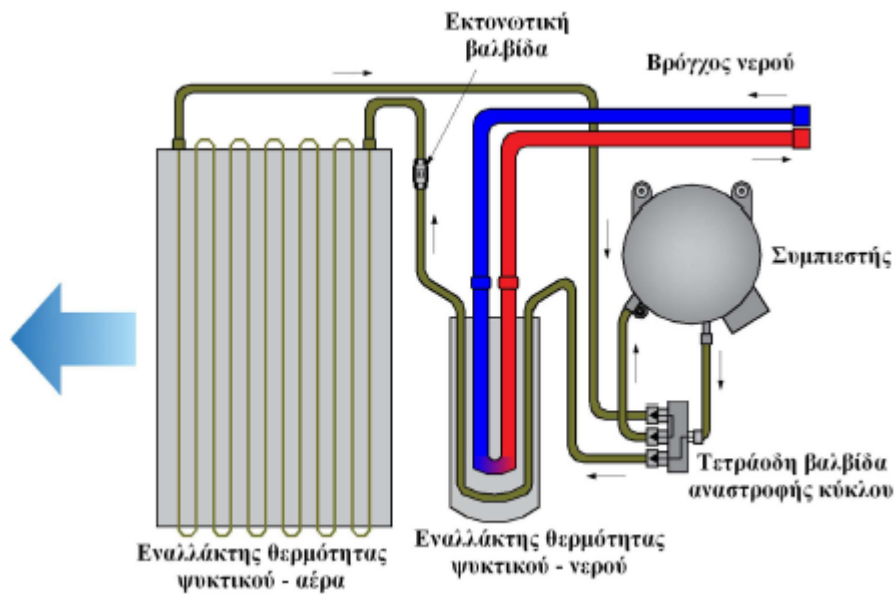
Βασικό μειονέκτημα του συγκεκριμένο τύπου είναι, ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα και ειδικότερα στις μέρες που η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, η απόδοσή τους μειώνεται σημαντικά με αποτέλεσμα να αδυνατούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες θέρμανσης. Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα αυτό, τοποθετούνται ηλεκτρικές αντιστάσεις ως συμπληρωματική πηγή θερμικής ενέργειας. Οι αντιστάσεις αυτές τοποθετούνται στη μονάδα διαχείρισης του αέρα και ενεργοποιούνται αυτόματα και σταδιακά καθώς η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πέφτει.

Αντλίες θερμότητας αέρα/νερού. Ο συγκεκριμένος τύπος χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα κεντρικού κλιματισμού μεγάλων κτηρίων, όπου είναι απαραίτητος ο έλεγχος της θερμοκρασίας σε κάθε κλιματιστική ζώνη αλλά και σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την παραγωγή θερμού και ψυχρού νερού. Και σε αυτή την περίπτωση η άντληση/απόρριψη θερμότητας γίνεται από τον αέρα μέσω ενός αερόψυκτου εξατμιστή/συμπυκνωτή. Στη συνέχεια, το ψυκτικό ρευστό ανταλλάσσει θερμότητα με ένα δευτερεύον κύκλωμα νερού μέσω ενός υδρόψυκτου συμπυκνωτή/εξατμιστή[42].

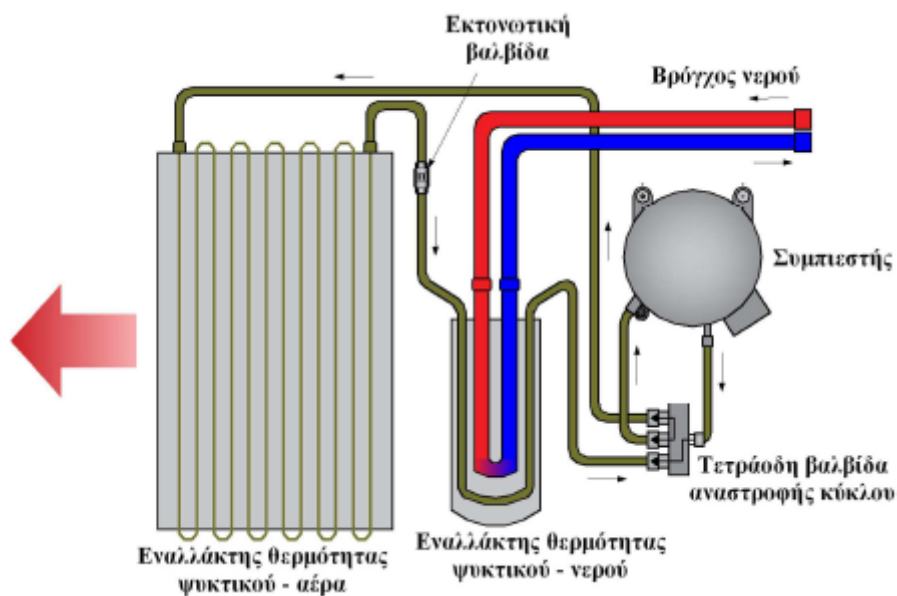


Εικόνα 5.5 : Αντλία θερμότητας αέρα / νερού (κατά τη λειτουργία θέρμανση)[41].

Αντλίες θερμότητας νερού-αέρα. Ο συγκεκριμένος τύπος χρησιμοποιεί το νερό ως πηγή και αποδέκτη θερμότητας και τον αέρα για να μεταφέρει ή να απάγει θερμότητα από τον κλιματιζόμενο χώρο. Το νερό προσάγεται μέσω κατάλληλου δικτύου σωληνώσεων σε υδρόψυκτο συμπυκνωτή/εξατμιστή όπου ανταλλάσσει θερμότητα με το ψυκτικό ρευστό, ενώ το ψυκτικό ρευστό ανταλλάσσει θερμότητα με τον κλιματιζόμενο αέρα μέσω αερόψυκτου εξατμιστή/συμπυκνωτή. Στη συνέχεια, ο κλιματιζόμενος αέρας προσάγεται στους χώρους μέσω κατάλληλου δικτύου αεραγωγών. Η εναλλαγή του κύκλου λειτουργίας της αντλίας από θέρμανση σε ψύξη γίνεται με αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου μέσω τετράοδης βαλβίδας. Το νερό που χρησιμοποιείται ως πηγή και αποδέκτης θερμότητας μπορεί να είναι είτε υπεδαφικό είτε επιγείο αλλά και απόνερα[42].



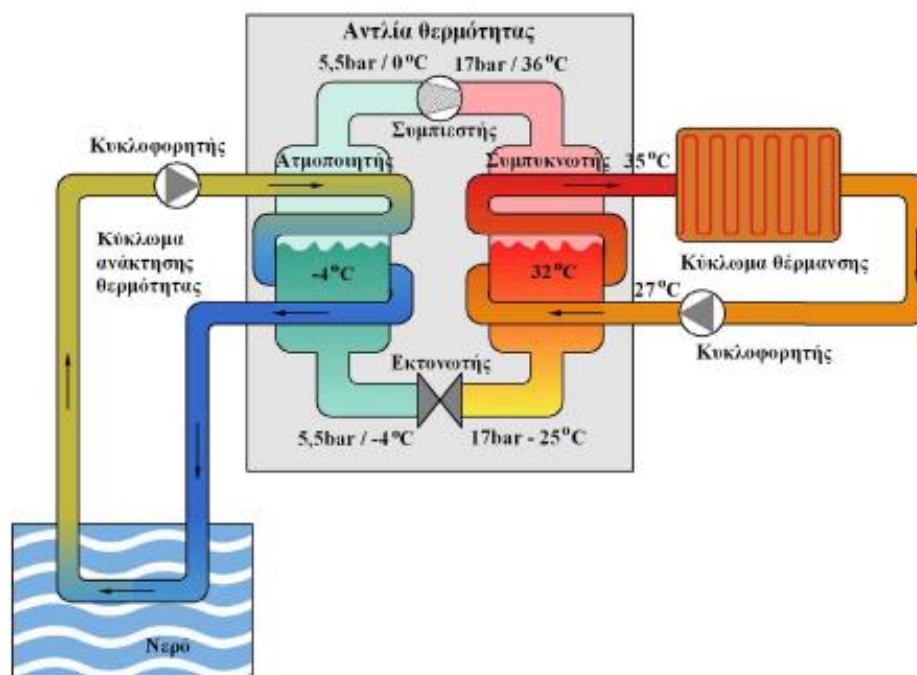
Εικόνα 5.6 : Αντλία θερμότητας νερού/αέρα (κατά τη λειτουργία της ψύξης)[41].



Εικόνα 5.7 : Αντλία θερμότητας νερού/αέρα (κατά τη λειτουργία της θέρμανσης)[41].

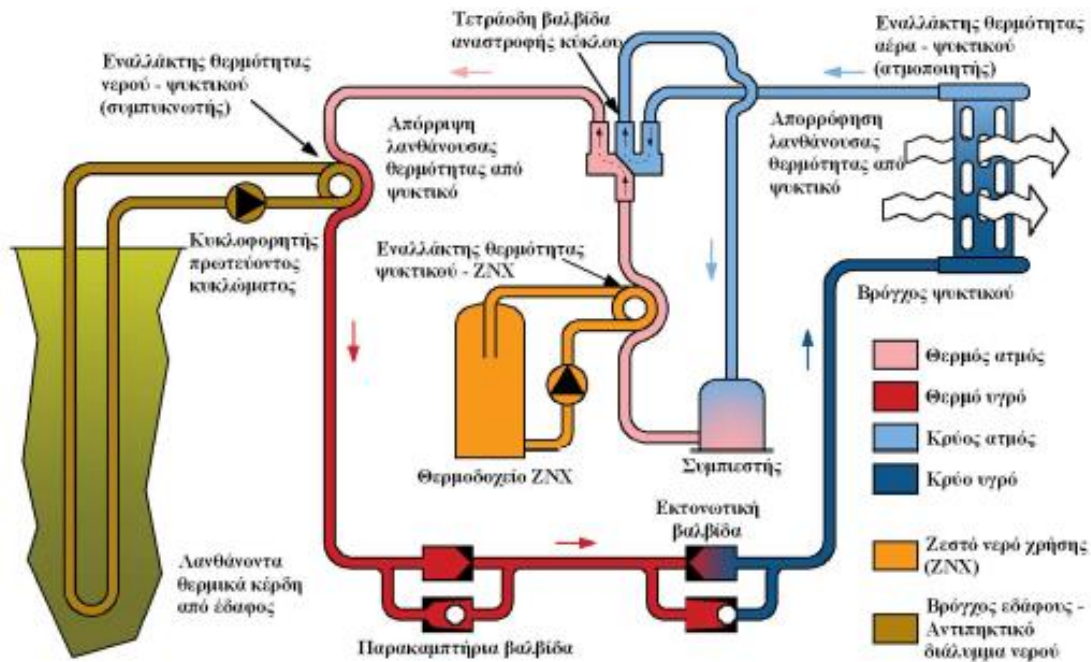
Αντλίες θερμότητας νερού / νερού, όπου και οι δύο εναλλάκτες είναι εναλλάκτες νερού και το ψυκτικό μέσο μεταφέρει θερμότητα από τη μια μάζα νερού στην άλλη (Εικόνα 5.8). Σε λειτουργία, π.χ. θέρμανσης, πηγές άντλησης θερμότητας μπορεί να είναι επιφανειακά ύδατα, σχετικά σταθερής θερμοκρασίας, όπως και στις αντλίες νερού /αέρα[41].

Αντλίες θερμότητας (υδρόψυκτες) είναι και οι αντλίες νερού / νερού που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις με γεωεναλλάκτη (η περίπτωση αυτή θα αναλυθεί παρακάτω). Οι υδρόψυκτες αντλίες είναι πάρα πολύ ενδιαφέρουσες, όταν είναι απαραίτητη ταυτόχρονα και η θέρμανση και η ψύξη, με ή χωρίς παραγωγή και ζεστού νερού χρήσης.

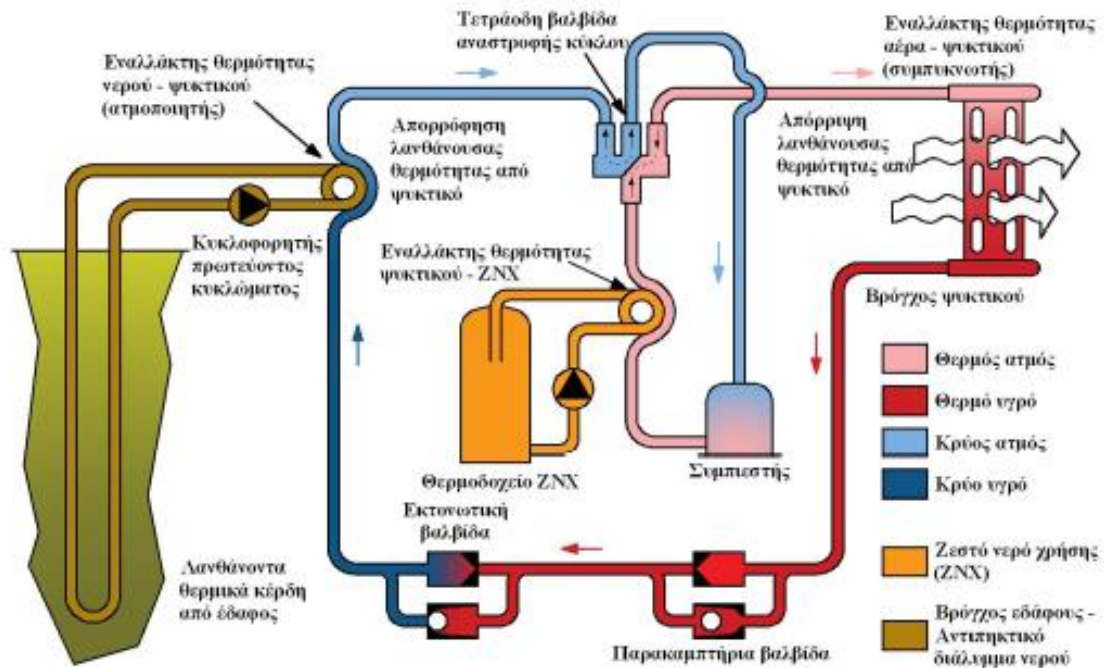


Εικόνα 5.8 : Αντλία θερμότητας νερού/νερού (κατά τη λειτουργία της θέρμανσης)[41].

Αντλίες θερμότητας εδάφους / αέρα (ή νερού), οι λεγόμενες και γεωθερμικές, όπου η απόρριψη ή απορρόφηση θερμότητας γίνεται στο έδαφος, σε βάθος συνήθως από 3 έως 100m, μέσω του γεωθερμικού εναλλάκτη (**Εικόνες 5.9 και 5.10**). Ο εναλλάκτης αυτός κατασκευάζεται από συστοιχίες σωλήνων που τοποθετούνται εντός του εδάφους σε διάφορους τύπους, μορφές και διατάξεις. Εντός των σωλήνων κυκλοφορεί νερό, το οποίο αποτελεί το μέσο μεταφοράς θερμότητας από και προς την αντλία θερμότητας. Γι' αυτό το λόγο οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας λειτουργούν ως αντλίες νερού/νερού. Ο άλλος εναλλάκτης είναι ψυκτικού/αέρα (ή νερού) και εξυπηρετεί τα φορτία ψύξης ή θέρμανσης του κτηρίου. Με παρεμβολή και άλλου εναλλάκτη στο ψυκτικό κύκλωμα είναι δυνατή και η ταυτόχρονη παραγωγή ζεστού νερού χρήσης[41].



Εικόνα 5.9 : Αντλία θερμότητας εδάφους / αέρα (κατά τη λειτουργία ψύξης και ζεστού νερού χρήσης)[41].



Εικόνα 5.10 : Αντλία θερμότητας εδάφους / αέρα (κατά τη λειτουργία θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης)[41].

Η επιτυχία του συστήματος εξαρτάται από την ποιότητα του εδάφους το οποίο περιβάλλει τον γεωεναλλάκτη, δηλαδή την υγρασία, τη σύνθεση, την πυκνότητα και την ομοιομορφία του, η οποία επηρεάζει την ικανότητα μετάδοσης της θερμότητας.

Επίσης σπουδαίο ρόλο παίζει η διαβρωτικότητα του εδάφους σε σχέση με το υλικό των χρησιμοποιούμενων σωληνώσεων, αφού επηρεάζει τόσο το αρχικό κόστος, όσο και το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης.

Στην Ελλάδα οι πιο συνηθισμένοι τύποι είναι οι αέρα/αέρα και αέρα/νερού, αφενός γιατί αυτοί οι δύο τύποι έχουν το χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, αφετέρου λόγω έλλειψης υπόγειων ή και επιφανειακών υδάτων στις κατοικημένες περιοχές.

5.3.2 Άλλες κατηγορίες αντλιών θερμότητας

Η διάκριση των αντλιών θερμότητας γίνεται συνήθως ανάλογα με την πηγή και τον αποδέκτη θερμότητας. Παρ' όλα αυτά, οι αντλίες θερμότητας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τους παραμέτρους που επισυνάπτονται παρακάτω[41].

Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων στοιχείων τους, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται επίσης σε:

- Ενιαίες ή αυτόνομες (Compact ή Monobloc), όπου όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος.
- Διαιρούμενες ή διμερούς τύπου (Split), στις οποίες ο ατμοποιητής ή ο συμπυκνωτής είναι ανεξάρτητος του υπολοίπου συστήματος. Υπάρχουν πλέον και συστήματα διαιρούμενου τύπου με μια εξωτερική μονάδα και πολλαπλές εσωτερικές (multi split systems).

Ανάλογα με το είδος της χρησιμοποιούμενης ενέργειας, η κατηγοριοποίηση είναι η εξής:

- Αντλίες θερμότητας με ηλεκτροκίνητους συμπιεστές, διαφόρων τύπων.
- Αντλίες με συμπιεστές κινούμενους από μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, αέριο κλπ). Στην περίπτωση αυτή, η θερμότητα από την ψύξη της μηχανής, καθώς και η θερμότητα των καυσαερίων, δεν απορρίπτεται στο εξωτερικό περιβάλλον, αλλά μέσω συστήματος εναλλακτών αποδίδεται στον προς θέρμανση χώρο. Έτσι στη θερμότητα που αντλεί ο συμπιεστής και οδηγείται για θέρμανση του χώρου, προστίθεται και η πρόσθετη αυτή θερμότητα, με αποτέλεσμα ένα πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης.
- Αντλίες απορρόφησης και προσρόφησης (με θερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας).

Βάσει της μέγιστης θερμοκρασίας προσαγωγής του εργαζόμενου μέσου, οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται σε:

- αντλίες θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών (60 ÷ 80°C),
- αντλίες θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών (40 ÷ 60°C).

Οι υψηλών θερμοκρασιών αντλίες θερμότητας είναι κατάλληλες για συστήματα θέρμανσης με τα κλασικά συστήματα καλοριφέρ (δισωλήνια, μονοσωλήνια), ενώ οι μέσων και οι χαμηλών θερμοκρασιών για ενδοδαπέδια συστήματα, συστήματα με fan coils, συστήματα με ηλιακή υποβοήθηση, αλλά και για υφιστάμενες εγκαταστάσεις με υπερδιαστασιολογημένα όμως θερμαντικά σώματα.

5.4 Βαθμός αποδοτικότητας αντλιών θερμότητας

5.4.1 Δείκτες απόδοσης των αντλιών θερμότητας

Σκοπός μιας αντλίας θερμότητας είναι η μεταφορά θερμότητας από ένα σύστημα χαμηλής σε ένα σύστημα υψηλής θερμοκρασίας, λειτουργία που επιτυγχάνεται με την πρόσδοση μηχανικού έργου. Ως βαθμός αποδοτικότητας μιας αντλίας θερμότητας ορίζεται ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας, δηλαδή του ποσού θερμότητας που μεταφέρεται, προς την ενέργεια που δαπανάται, δηλαδή την ηλεκτρική (συνήθως) ενέργεια που καταναλώνει ο συμπιεστής. Κατά τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας για θέρμανση, η ωφέλιμη ενέργεια αντιστοιχεί στην ενέργεια που δίνεται στον θερμαινόμενο χώρο Q_H , ενώ κατά τη λειτουργία της ψύξης αντιστοιχεί στην ενέργεια που αφαιρείται από αυτόν Q_C . Επομένως, χρησιμοποιώντας όρους ισχύος:

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την απόδοση μιας αντλίας θερμότητας, στιγμιαίος βαθμός αποδοτικότητας και ο εποχιακός βαθμός αποδοτικότητας.

Ο **στιγμιαίος βαθμός αποδοτικότητας COP** (Coefficient of Performance) είναι ο πιο συνηθισμένος δείκτης για την απόδοση μιας αντλίας θερμότητας και επί της ουσίας αποτελεί τον βαθμό αποδοτικότητας. Ως βαθμός αποδοτικότητας μιας αντλίας θερμότητας ορίζεται ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας, δηλαδή του ποσού θερμότητας που μεταφέρεται, προς την ενέργεια που δαπανάται, δηλαδή την ηλεκτρική (συνήθως) ενέργεια που καταναλώνει ο συμπιεστής. Κατά τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας για θέρμανση, η ωφέλιμη ενέργεια αντιστοιχεί στην ενέργεια που δίνεται στον θερμαινόμενο χώρο Q_H , ενώ κατά τη λειτουργία της ψύξης αντιστοιχεί στην ενέργεια που αφαιρείται από αυτόν Q_C . Οι τιμές του συνήθως κυμαίνονται από 2 έως 4 για τις αντλίες θερμότητας με πηγή τον αέρα, ενώ στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας με πηγή το νερό ή το έδαφος, η τιμή του COP κυμαίνεται συνήθως από 3 έως 5 [42].

Για την περίπτωση της χειμερινής λειτουργίας ορίζεται ως:

$$COP = \frac{\text{Θερμική ισχύς συμπυκνωτή [W]}}{\text{Ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή [W]}} = \frac{\dot{Q}_H}{P_{el}} \quad (5.1)$$

Για την περίπτωση της θερινής λειτουργίας ορίζεται ως:

$$COP = \frac{\text{Ψυκτική ισχύς εξατμιστή [W]}}{\text{Ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή [W]}} = \frac{\dot{Q}_C}{P_{el}} \quad (5.2)$$

Στην περίπτωση της θερινής λειτουργίας σε ψύξη χρησιμοποιείται ο όρος «λόγος ενεργειακής απόδοσης» EER (Energy Efficiency Ratio).

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να σημειωθεί πως η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται στο στοιχείο του συμπιεστή, αντιστοιχεί στη διαφορά ενεργειακής στάθμης μεταξύ κλιματιζόμενου χώρου και περιβάλλοντος.

Ο **εποχιακός βαθμός αποδοτικότητας HSPF** (Heating Seasonal Performance Factor) είναι ο λόγος της συνολικής ωφέλιμης ενέργειας σε [kWh] προς την συνολικά καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε [kWh], η οποία μπορεί να περιλαμβάνει και την κατανάλωση βοηθητικής ενέργειας (π.χ. από ηλεκτρική αντίσταση, ανεμιστήρες εξατμιστή και συμπυκνωτή).

Για την περίπτωση της χειμερινής λειτουργίας ορίζεται ως:

$$SCOP = \frac{\text{Θερμική ενέργεια που αποδίδει ο συμπυκνωτή [kWh]}}{\text{Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια [kWh]}} = \frac{Q_H}{E_{el}} \quad (5.3)$$

Για την περίπτωση της θερινής λειτουργίας ορίζεται ως:

$$SEER = \frac{\text{Θερμότητα που αφαιρεί ο εξατμιστής [kWh]}}{\text{Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια [kWh]}} = \frac{Q_C}{E_{el}} \quad (5.4)$$

Οι στιγμιαίοι δείκτες βασίζονται σε εργαστηριακές μετρήσεις και δεν μπορούν να αποδώσουν τη συμπεριφορά μιας αντλίας θερμότητας σε μακρόχρονη λειτουργία. Αντίθετα ο εποχιακός βαθμός αποδοτικότητας αποδίδει πιο ρεαλιστικά την συμπεριφορά μιας αντλίας θερμότητας σε εποχιακή βάση (εβδομάδα, μήνας, περίοδος).

5.5 Ενεργειακή αξιολόγηση αντλιών θερμότητας.

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, ο βαθμός αποδοτικότητας αντανακλά την αναλογία μεταξύ την ενέργειας θέρμανσης και του δαπανώμενου έργου. Με βάση τα παραπάνω, μια αντλία θερμότητας θα μπορούσε θεωρητικά να χαρακτηριστεί ως ενεργειακά άρτια, εφ' όσον ο βαθμός αποδοτικότητας της είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Ωστόσο, μια πιο ολοκληρωμένη ενεργειακή αξιολόγηση της απόδοσης των αντλιών θερμότητας πρέπει να γίνεται σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους θέρμανσης, χρησιμοποιώντας ως μέτρο σύγκρισης την εκμετάλλευση πρωτογενών υλών (π.χ. πετρέλαιο ή αέριο) για την παραγωγή ενέργειας. Για μια τέτοια αξιολόγηση, λοιπόν, είναι απαιτούμενο από τη μία η λειτουργία της αντλίας θερμότητας, ως συσκευή μεταφοράς ενέργειας, να είναι αποδοτική (COP>1 και EER>1). Από την άλλη είναι απαιτούμενο η χρησιμοποιούμενη από την αντλία θερμότητας ηλεκτρική ενέργεια να παράγεται από θερμικές διεργασίες (π.χ. καύση υδρογονανθράκων) που να χαρακτηρίζονται από βαθμό απόδοσης της τάξης του 33%. Σε διαφορετική περίπτωση, η χρήση της αντλίας θερμότητας θα ήταν ισοδύναμη ή και δυσμενέστερη από την χρήση της ίδιας ποσότητας καυσίμων (που

χρησιμοποιήθηκε στο σταθμό παραγωγής για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας) για την απευθείας θέρμανση του χώρου[42].

Παρακάτω παρουσιάζεται μια μαθηματική προσέγγιση των διαπιστώσεων που προαναφέρθηκαν.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ως συνάρτηση του βαθμού απόδοσης:

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{\dot{Q}_{fuel}} \Rightarrow P_{el} = \eta_{el} \cdot \dot{Q}_{fuel} \quad (5.5)$$

Όπου:

P_{el} είναι η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται από την αντλία θερμότητας,

\dot{Q}_{fuel} η προσδιδόμενη ισχύς με τη μορφή πρωτογενούς καύσιμης ύλης,

η_{el} ο βαθμός απόδοσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ορισμός του βαθμού απόδοσης ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης:

$$\eta_{\theta\epsilon\rho\mu\alpha\nu\sigma\eta\varsigma} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_{fuel}} \quad (5.6)$$

Όπου:

$\eta_{\theta\epsilon\rho\mu\alpha\nu\sigma\eta\varsigma}$ ο βαθμός απόδοσης ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης που χρησιμοποιεί την ίδια καύσιμη ύλη με τον σταθμό παραγωγής

Από τις Σχέσεις (5.1), (5.5) και (5.6), προκύπτει ότι ο βαθμός αποδοτικότητας ισούται με:

$$COP = \frac{\dot{Q}_H}{P_{el}} = \frac{\dot{Q}_H}{\eta_{el} \cdot \dot{Q}_{fuel}} \Rightarrow COP \cdot \eta_{el} = \eta_{\theta\epsilon\rho\mu\alpha\nu\sigma\eta\varsigma} \quad (5.7)$$

Με βάση τη Σχέση 5.7, εάν θεωρήσουμε ότι σε μια συμβατική συσκευή θέρμανσης, η θερμογόνος δύναμη του καυσίμου αποδίδεται πλήρως (βαθμός απόδοσης $\eta_{\theta\epsilon\rho\mu\alpha\nu\sigma\eta\varsigma}=1$) και με δεδομένο βαθμό απόδοσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ($\eta_{el}=0.33$) τότε ο απαιτούμενος βαθμός αποδοτικότητας για την αντλία θερμότητας πρέπει να είναι $COP=3$. Από το παραπάνω αποτέλεσμα μια αντλία θερμότητας μπορεί να αξιολογηθεί με βάση τους παρακάτω κανόνες[42]:

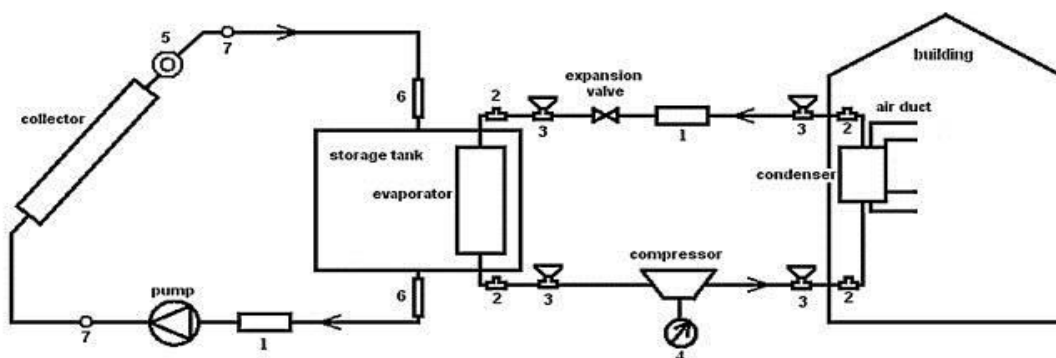
- Αν η αντλία θερμότητας λειτουργεί με βαθμό αποδοτικότητας $COP=3$ τότε από ενεργειακή άποψη είναι ισοδύναμη με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης (π.χ. λέβητα αερίου)
- Αν η αντλία θερμότητας λειτουργεί με βαθμό αποδοτικότητας $COP<3$ τότε από ενεργειακή άποψη είναι κατώτερη από ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης.

- Αν η αντλία θερμότητας λειτουργεί με βαθμό αποδοτικότητας $COP > 3$ τότε από ενεργειακή άποψη είναι ανώτερη από ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης.

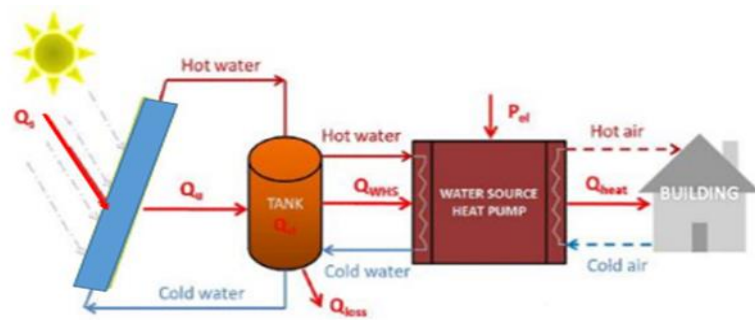
5.6 Ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας

Για την περίπτωση της θέρμανσης ενός κτιρίου και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, υπάρχει η δυνατότητα συνδυασμού της αντλίας θερμότητας με ηλιακούς συλλέκτες. Με την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών υλοποιείται η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας ως πηγή θερμότητας, στοχεύοντας στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Παρακάτω περιγράφονται δύο μορφές μιας τέτοιας εγκατάστασης.

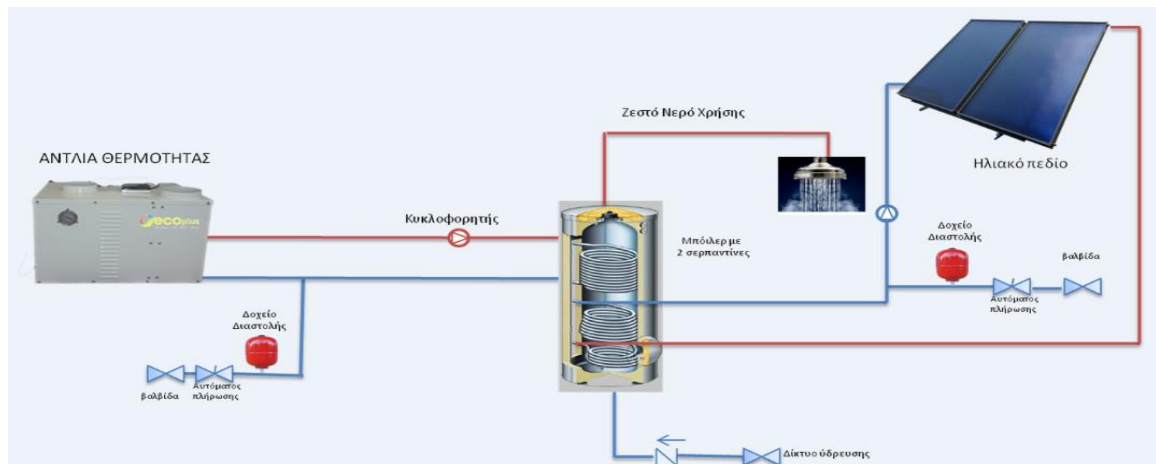
- ❖ Οι ηλιακοί συλλέκτες θερμαίνουν το νερό με την βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας και το στέλνουν είτε άμεσα είτε έμμεσα στην αντλία θερμότητας (πηγής νερού), η οποία μέσω του ψυκτικού υγρού μεταφέρει τη θερμότητα από το νερό στον χώρο που απαιτεί θέρμανση. Στην περίπτωση όπου τα δύο τμήματα της διάταξης επικοινωνούν άμεσα (**Εικόνα 5.11**), η συστοιχία των συλλεκτών συνδέεται μέσω σωληνώσεων με τον ατμοποιητή της αντλίας θερμότητας. Ενώ στην περίπτωση της έμμεσης σύνδεσης (**Εικόνα 5.12**) το νερό που κυκλοφορεί στους ηλιακούς συλλέκτες μεταφέρει τη θερμότητα του στο νερό που υπάρχει σ' ένα δοχείο αποθήκευσης μέσω ενός εναλλάκτη. Στη συνέχεια το θερμό νερό μεταφέρεται στον ατμοποιητή της αντλίας θερμότητας. Ωστόσο, με αυτόν τον τύπο εγκατάστασης καταναλώνεται περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια όταν δεν υπάρχει επαρκής ηλιακή ακτινοβολία.
- ❖ Οι ηλιακοί συλλέκτες θερμαίνουν το νερό που βρίσκονται στις σωληνώσεις τους ώστε να μεταδώσει τη θερμότητα αυτή μέσω ενός εναλλάκτη στο νερό του δοχείου αποθήκευσης το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την λειτουργία θερμαντικών σωμάτων ή Fan Coil. Όταν δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία ή η θερμότητα που προσφέρει δεν επαρκεί για την θέρμανση του νερού που απαιτείται, τίθεται σε λειτουργία η αντλία θερμότητα (συνήθως αέρα – νερού). Κατά τη λειτουργία της στέλνει θερμό νερό στο δοχείο αποθήκευσης θερμαίνοντας έτσι το ήδη υπάρχον νερό σ' αυτό (**Εικόνα 5.13**).



Εικόνα 5.11 : Άμεση σύνδεση των ηλιακών συλλεκτών και της αντλίας θερμότητας[43].



Εικόνα 5.12 : Έμμεση σύνδεση των ηλιακών συλλεκτών και της αντλίας θερμότητας.



Εικόνα 5.13 : Τροφοδοσία θέρμανσης του δοχείου αποθήκευσης από τους ηλιακούς συλλέκτες και την αντλία θερμότητας[44].

Κεφάλαιο 6° – Κτίριο Mockup

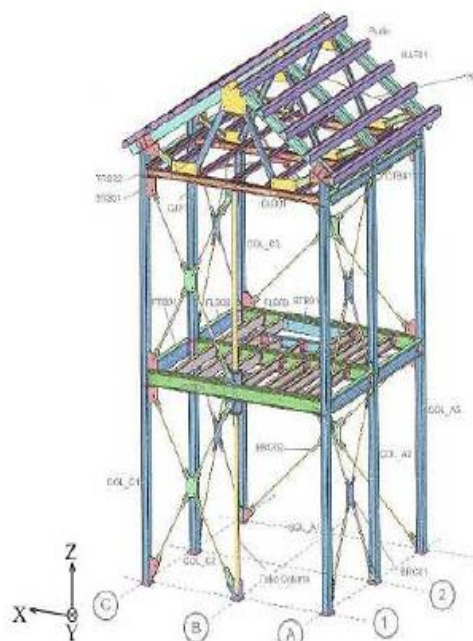
6.1 Περιγραφή της κτιριακής κατασκευής

Το υπό μελέτη κτίριο αποτελείται από το ισόγειο και τον πρώτο όροφο, με δικλινή κεραμοσκεπή, κλίσης 31° και εξέχει της κατακόρυφης περιμετρικής επιφάνειας σχηματίζοντας κορωνίδα για την αποφυγή αποστράγγισης των ομβρίων υδάτων επάνω στην επιφάνεια της τοιχοποιίας. Κάθε επίπεδο έχει διαστάσεις $3.65 \times 3.65 \times 2.98\text{m}$ ενώ το συνολικό ύψος της κτιριακής κατασκευής είναι 7.53 m . Οι όψεις του κτιρίου δεν διαθέτουν κανένα είδος σκιάστρου και χαρακτηρίζονται από χαμηλό συντελεστή απορροφητικότητας εξαιτίας των ανοιχτόχρωμων επιχρισμάτων. Επιπλέον, το κτιριακό κέλυφος του αποτελείται από τέσσερα ανοίγματα. Η νότια όψη διαθέτει ένα παράθυρο, διαστάσεων $1.18 \times 0.84\text{ m}$, στο ισόγειο και ένα παράθυρο στον πρώτο όροφο με διαστάσεις $2.15 \times 0.84\text{ m}$. Στη δυτική όψη του κτιρίου βρίσκονται τοποθετημένα ένα παράθυρο, διαστάσεων $1.18 \times 0.83\text{ m}$, στον πρώτο όροφο και μία εξωτερική πόρτα στο ισόγειο με διαστάσεις $2.19 \times 0.83\text{ m}$.

Η κατασκευή του Mockup στηρίζεται σ' έναν χαλύβδινο σκελετό με επένδυση ξηρής δόμησης. Ο σκελετός αυτός αποτελείται κυρίως από δοκούς που σχηματίζουν και υποστυλώνουν το πλαίσιο της οροφής του ισογείου και του πρώτου ορόφου καθώς και της δίρριχτης στέγης. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί πως ο χαλύβδινος σκελετός είναι στερεωμένος σε τσιμεντένια βάση.

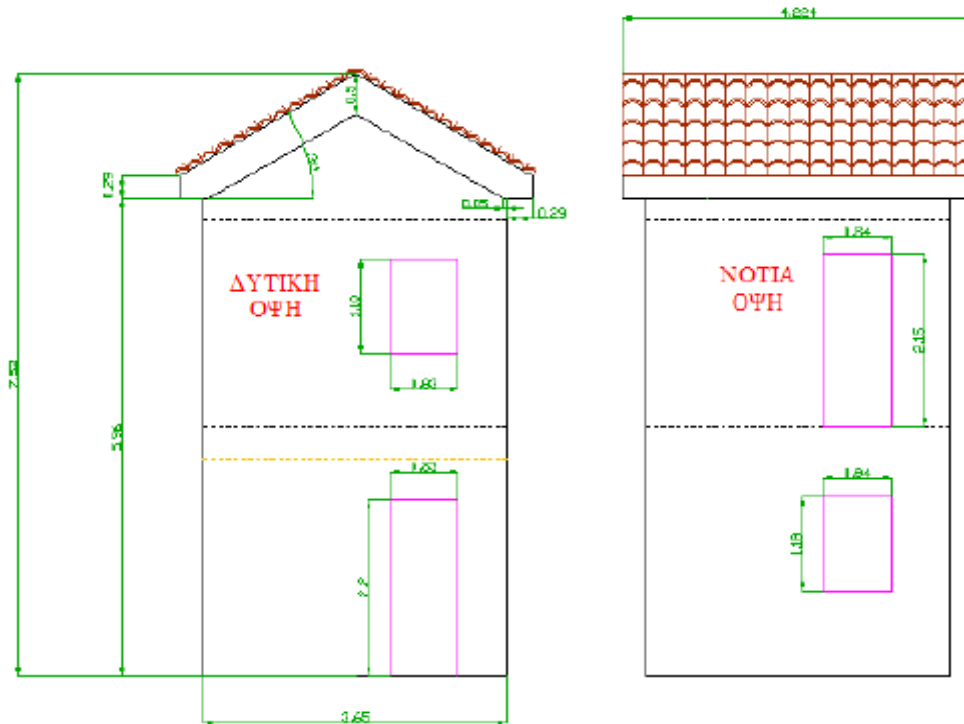


(α)



(β)

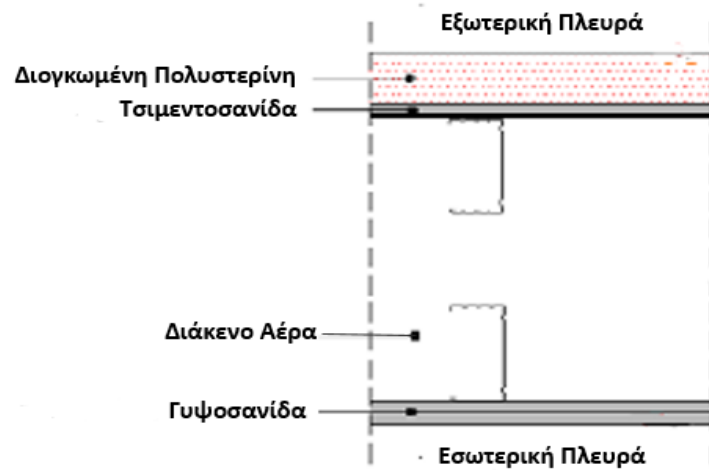
Εικόνα 6.1 : (α) Πραγματική απεικόνιση και (β) σκαρίφημα του μεταλλικού σκελετού του κτιρίου της μελέτης (Mockup)[45].



Εικόνα 6.2 : Σχεδιαστική απεικόνιση της δυτικής και της νότιας όψης του κτιρίου[45].

6.2 Περιγραφή της τοιχοποιίας

Όλοι οι κατακόρυφοι τοίχοι του κτιρίου, εκτός από τον βορινό τοίχο, αποτελούνται από την ίδια δομική σύσταση. Συγκεκριμένα, κάθε τοίχος αποτελείται από την εξωτερική και την εσωτερική τοιχοποιία που διαχωρίζονται μεταξύ τους από ένα διάκενο αέρος. Περιγράφοντας λοιπόν τη δομή του τοίχου από την εξωτερική επιφάνεια προς την εσωτερική, η εξωτερική τοιχοποιία του είναι κατασκευασμένη από επίχρισμα ανοιχτού χρώματος, πάχους 5.5 mm, το οποίο επικαλύπτει μονωτικές πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης EPS 60, πάχους 50 mm. Στη συνέχεια υπεισέρχεται ένα στρώμα τσιμεντοσανίδας, πάχους 12.5 mm. Από την άλλη, η εσωτερική τοιχοποιία δομείται από δύο στρώσεις γυψοσανίδας με πάχος 12.5 mm η κάθε μία.

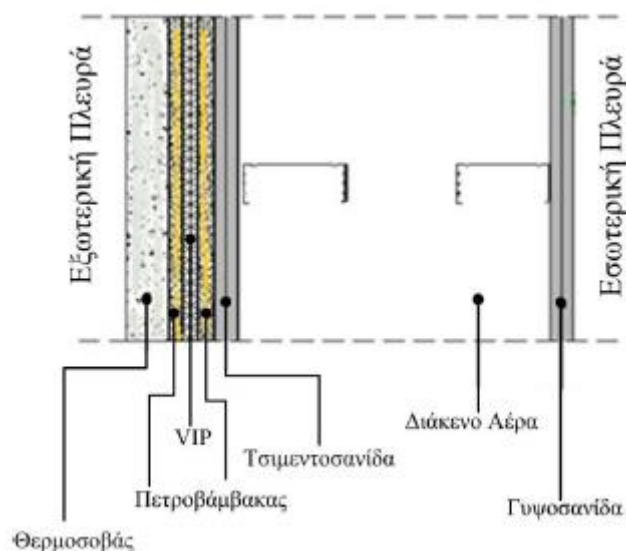


Εικόνα 6.3 : Τομή της τοιχοποιίας.

Πίνακας 6.1 : Η διάταξη και οι ιδιότητες των υλικών της τοιχοποιίας[45].

Υλικά	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	Θερμική Αγωγιμότητα (W/m·K)	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (J/Kg·K)	Θερμική Αντίσταση R _i (m ² ·K/W)
Επίχρισμα	5.5	1176	0.415	1000	0.00575
Διογκωμένη Πολυστερίνη (EPS 60)	50	14	0.039	1450	1.282
Τσιμεντοσανίδα	12.5	1150	0.36	879	0.0347
Αέρας	207.5				0.18
Γυψοσανίδα	25	700	0.21	1000	0.119
Συνολική Θερμική Αντίσταση του τοίχου R_{ολ} = ΣR_i (m²·K/W)					1.62
Συνολική Θερμική Διαπερατότητα του τοίχου U=1/R_{ολ} (W/m²·K)					0.617

Στους βορινούς τοίχους του Μοσκύ η εξωτερική τοιχοποιία αποτελείται από ανοιχτόχρωμο επίχρισμα πάχους 5.5 mm, την εξωτερική θερμική μόνωση και δύο στρώσεις τσιμεντοσανίδας με πάχος 12.5 η κάθε μία. Η εξωτερική θερμική μόνωση συντίθεται από ένα στρώμα 50 mm θερμοσοβά και δύο στρώσεις πετροβάμβακα των 20 mm το καθένα μεταξύ των οποίων είναι τοποθετημένο το μονωτικό στρώμα των VIPs με πάχος 20 mm. Επιπρόσθετα, ο θερμοσοβάς στηρίζεται πάνω στην επιφάνεια του πετροβάμβακα με τα βοήθεια ενός ειδικού κονιάματος (ειδικής κόλλας) 5 mm. Η εσωτερική τοιχοποιία είναι ίδια με αυτή των υπόλοιπων τοίχων του κτιρίου. Στην Εικόνα 6.4 παρουσιάζεται η πολυστρωματική δομή του βόρειου τοίχου ενώ στον Πίνακα 6.2 αναγράφεται η διάταξη των υλικών της δομής και οι αντίστοιχες ιδιότητες τους.



Εικόνα 6.4 : Τομή της βορινής τοιχοποιίας[45].

Πίνακας 6.2 : Η διάταξη και οι ιδιότητες των υλικών της βορινής τοιχοποιίας[45].

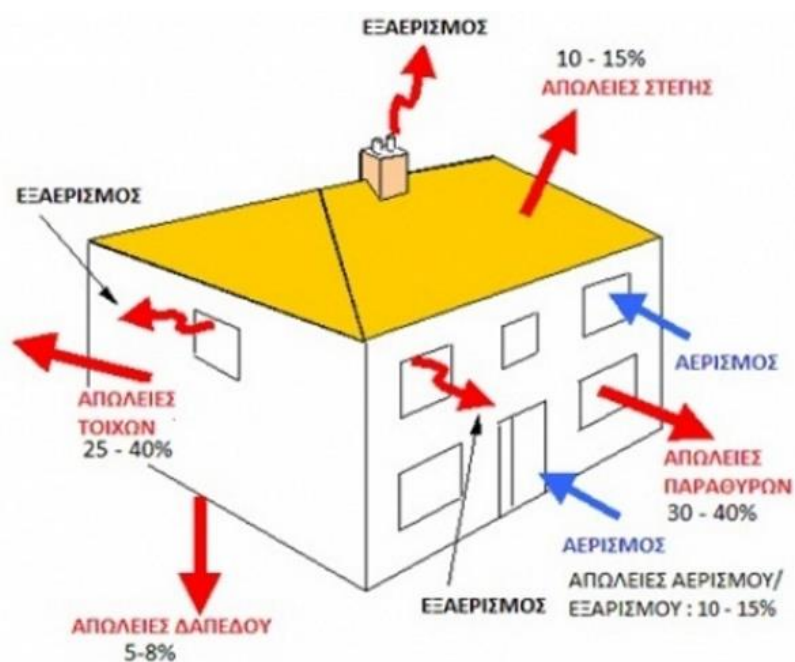
Υλικά	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	Θερμική Αγωγιμότητα (W/m·K)	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (J/Kg·K)	Θερμική Αντίσταση R _i (m ² ·K/W)
Επίχρισμα	5.5	1176	0.415	1000	0.00575
Θερμοσοβάς	50	1600	0.065	1000	0.769
Συνθετικό κονίαμα	5	1600	0.61	1000	0.0082
Πετροβάμβακας	20	120	0.035	1000	0.571
VIP	20	180	0.016	850	1.56
Πετροβάμβακας	20	120	0.035	1000	0.571
Τσιμεντοσανίδα	25	1150	0.36	879	0.0694
Αέρας	207.5				0.18
Γυψοσανίδα	25	700	0.21	1000	0.119
Συνολική Θερμική Αντίσταση του τοίχου R_{ολ} =ΣR_i (m²·K/W)					3.31
Συνολική Θερμική Διαπερατότητα του τοίχου U=1/R_{ολ} (W/m²·K)					0.302

6.3 Δομικά Μονωτικά Υλικά VIP

6.3.1 Η ροή θερμότητας σε τοιχοποιίες

Η θερμική κατάσταση ενός τυπικού κτιρίου μεταβάλλεται συνεχώς λόγω των θερμικών κερδών και των απωλειών που προκύπτουν κυρίως από τα υλικά δόμησης των αδιάφανων και διαφανών μερών του κτιριακού κελύφους. Συγκεκριμένα, τα θερμικά κέρδη προέρχονται από τα συστήματα θέρμανσης, την ηλιακή ακτινοβολία και από εσωτερικά κέρδη όπως οι συσκευές, ο φωτισμός και η θερμότητα που εκλύεται από τους ένοικους του κτιρίου. Οι θερμικές απώλειες οφείλονται στη ροή θερμότητας διαμέσου των τοιχοποιιών, των ανοιγμάτων (παράθυρα και πόρτες),

την οροφή, το δάπεδο, τον εξαερισμό, τη διείσδυση αέρα και την ηλιακή ακτινοβολία. Η ροή των θερμικών απωλειών καθώς και το αντίστοιχο ποσοστό τους σ' ένα κτίριο παρουσιάζεται σχηματικά στην **Εικόνα 6.5** και μέσω αυτής μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί πως περίπου το 63% των συνολικών θερμικών απωλειών ενός κτιρίου προέρχεται από τα αδιάφανα τμήματα του κελύφους (τοιχοποιίες, οροφή, δάπεδο) και κατά συνέπεια αποτελούν την πηγή απωλειών ενός κτιρίου.



Εικόνα 6.5 : Η ροή των θερμικών απωλειών ενός κτιρίου[66].

Βέβαια, τα ποσοστά αυτά μπορεί να είναι εντελώς διαφορετικά για κάθε περίπτωση. Οι απώλειες θερμότητας μπορούν να μειωθούν βελτιώνοντας τη μόνωση του κελύφους και την αεροστεγανότητα του κτιρίου.

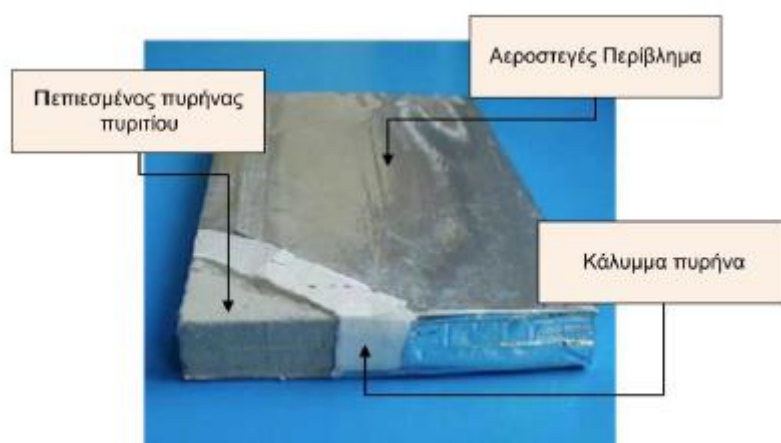
6.3.2 Μονωτικά Πάνελ Κενού (Vacuum Insulation Panels, VIPs)

Για την ενεργειακή βελτίωση των κτιρίων οι επιστήμονες έχουν δημιουργήσει μια νέα γενιά μονωτικών υλικών πέραν των συμβατικών, γνωστά και ως υπέρ-μονωτικά υλικά (super insulation materials - SIM). Σε αυτήν την ευρύτερη οικογένεια μονωτικών υλικών ανήκουν και τα μονωτικά Πάνελ Κενού (Vacuum Insulation Panels, VIP). Τα πάνελ κενού αποτελούν μια υπερσύγχρονη μορφή μόνωσης και βρίσκουν εφαρμογή και σε κτιριακές εγκαταστάσεις βελτιώνοντας την ενεργειακή συμπεριφορά τους, αφού η θερμική αγωγιμότητα τους κυμαίνεται από 0.004 έως 0.008 W/mK. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, είτε την επίτευξη μεγαλύτερης θερμικής αντίστασης για το ίδιο πάχος μόνωσης, είτε την χρήση μικρότερου πάχους μόνωσης για την επίτευξη της ίδιας θερμικής αντίστασης[22]. Με λίγα λόγια επιτυγχάνεται μέγιστη θερμική μόνωση με το μικρότερο δυνατό πάχος μονωτικού υλικού.

Τα VIPs λόγω του επίπεδου σχήματος τους δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν εύκολα την υψηλή πίεση. Το θέμα αυτό επιλύεται με τη χρήση ενός ιδιαίτερα λεπτού υλικού υπό μορφή αφρού, σκόνης, ή ινών (fiberglass) που παρεμβάλλεται μεταξύ των επιφανειών, με νανοπορώδες που αγγίζει τα 100nm. Μια σχετικά μικρή πίεση είναι ικανή πλέον να εκκενώσει τον αέρα, κάνοντας εφικτή την κατασκευή πινάκων (VIPs) και τη χρήση τους στις κατασκευές. Το πάχος αυτών των πινάκων κυμαίνεται από 2mm έως 4mm. Έτσι, τα VIP χρησιμοποιούνται για τη θερμοχομόνωση νέων κτιρίων από την δόμησή τους, αλλά και κατά την ανασύλωση και αναπαλαίωση παλαιότερων κατασκευών στους τοίχους ή στα δάπεδα.

Τα VIPs αποτελούνται από τα παρακάτω επιμέρους τμήματα (Εικόνα 6.6):

- τον πυρήνα πυριτίου
- το ενδιάμεσο κάλυμμα του πυρήνα
- το εξωτερικό αεροστεγές περίβλημα



Εικόνα 6.6 : Δομή VIP.

Το εξωτερικό περίβλημα, που είναι κατασκευασμένο από πλαστικό και συνήθως καλύπτεται από αλουμίνιο ή από ανοξείδωτο ατσάλι, αποτελεί τον περιβάλλοντα σκελετό που με τη μορφή φακέλου, τυλίγεται γύρω από το υλικό πλήρωσης σε κενό, δηλαδή τον άκαμπτο πυρήνα. Ο πυρήνας του VIP αποτελείται από πεπιεσμένο πυρίτιο και έχει παρόμοια θερμικά χαρακτηριστικά με τα συμβατικά μονωτικά υλικά. Το υλικό πλήρωσης έχει την μορφή αφρού, σκόνης, ή ινών (fibre glass) και πρέπει πάντα να είναι πορώδες, να αντιστέκεται στην πίεση και να μπορεί να εκκενωθεί. Με αυτόν τον τρόπο, οι συνθήκες κενού ελαττώνουν ουσιαστικά την αγωγή της θερμότητας, αφού ελαττώνονται σημαντικά οι συγκρούσεις μεταξύ των γειτονικών μορίων του αερίου και των ατόμων του υλικού του πυρήνα με του αερίου. Επιπλέον, το κενό εξαλείφει τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή στο εσωτερικό του μονωτή, αφού έχει άμεση σχέση με την παρουσία των μορίων του αερίου σ' αυτό. Τέλος, τα άκρα του εξωτερικού περιβλήματος-φακέλου

σφραγίζονται ερμητικά, τυλίγονται προς το εσωτερικό του και κολλάνε σε αυτόν, δίνοντας στο πάνελ κενού την τελική του μορφή.

Το βασικό χαρακτηριστικό που κάνει τόσο μοναδική τη χρήση των πάνελ κενού στον τομέα της θερμομόνωσης και της ενεργειακής βελτίωσης των κτιρίων είναι η εκκένωση του αέρα από αυτό. Με αυτόν τον τρόπο, σε αντίθεση με τα συμβατικά μονωτικά υλικά, επιτυγχάνεται σαφώς πολύ χαμηλότερη τιμή της θερμικής αγωγιμότητας. Με άλλα λόγια επιτυγχάνεται υψηλότερη θερμική αντίσταση ανά μονάδα πάχους. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι έχουν δημιουργηθεί VIP με θερμική αγωγιμότητα 0.004W/mK στο κέντρο του πάνελ. Βέβαια, η ενεργός τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας κυμαίνεται από 0.006 έως 0.008 W/mK καθώς πρέπει να συμπεριληφθούν και οι θερμογέφυρες που δημιουργούνται στην επιφάνεια. Για την ακρίβεια, αυτό σημαίνει πως ένα τυπικό πάνελ κενού VIP έχει περίπου το ένα πέμπτο της θερμικής αγωγιμότητας ενός κοινού συμβατικού υλικού μόνωσης, δηλαδή πενταπλάσια θερμική αντίσταση ανά μονάδα πάχους και αυτό καθιστά το πάνελ κενού ως κυρίαρχο μονωτικό υλικό στον τομέα της θερμομόνωσης των κατασκευών[23].

Από το 1950 έχουν εμφανιστεί οι μονωτικοί πίνακες κενού αλλά το υψηλό κόστος κατασκευής, τους καθιστούσε απαγορευτικούς για χρήση στις κατασκευές. Αργότερα και συγκεκριμένα κατά τη δεκαετία του 90 τα VIP εισήλθαν στη βιομηχανία της ψύξης στην Αμερική, την Ευρώπη και την Ιαπωνία, ενώ στις αρχές του 21^{ου} αιώνα ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται ευρύτερα αφού βρήκαν εφαρμογές στον κατασκευαστικό κλάδο και στη μόνωση των οικοδομών.

Σήμερα, η εκτεταμένη έρευνα έχει οδηγήσει στην σημαντική μείωση του κόστους και του χρόνου παραγωγής, λόγω και της χρήσης νέων υλικών, όμως το κόστος τους παραμένει ακόμα αρκετά υψηλό συγκριτικά με τα συμβατικά μονωτικά υλικά. Ο χρόνος ζωής των πινάκων κυμαίνεται σήμερα μεταξύ 20 και 50 χρόνων, αφού υπάρχει σταδιακή απώλεια του κενού με την πάροδο του χρόνου, ενώ κάποια υλικά εμφανίζουν ακόμη μεγαλύτερη αντοχή. Η σημαντική αυτή βελτίωση οφείλεται στον βαθμό του κενού στο εσωτερικό, στην μεγάλη αντοχή του περιβάλλοντος υλικού, στον τρόπο σφράγισης του φακέλου και επιπλέον στον τρόπο εγκατάστασης των πινάκων κατά την κατασκευή.

6.4 Περιγραφή του δαπέδου

Το δάπεδο του κτιρίου κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα, πάχους 300 mm και μία στρώση διογκωμένης πολυστερίνης EPS 200, πάχους 55 mm. Άνωθεν της πολυστερίνης έχουν τοποθετηθεί δύο στρώσεις ξηρού δαπέδου (ινογυψοσανίδα) πάχους 10 mm.

Πίνακας 6.3 : Η διάταξη και οι ιδιότητες των υλικών δόμησης του δαπέδου.

Υλικά	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	Θερμική Αγωγιμότητα (W/m·K)	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (J/Kg·K)	Θερμική Αντίσταση R _i (m ² ·K/W)
Ινογυψοσανίδα	20	1300	0.29	1100	0.0690
Διογκωμένη Πολυστερίνη (EPS 200)	55	26	0.034	1450	1.62
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	300	2400	2.5	1000	0.12
Συνολική Θερμική Αντίσταση του τοίχου R_{ολ} =ΣR_i (m²·K/W)					1.81
Συνολική Θερμική Διαπερατότητα του τοίχου U=1/R_{ολ} (W/m²·K)					0.554

6.5 Περιγραφή της στέγης

Η στέγη του κτιρίου αποτελείται από δίρριχτη κεραμοσκεπή με γωνία κλίσης 31°. Πάνω στον χαλύβδινο σκελετό στερεώνονται ξύλινες σανίδες πάχους 60 mm που καλύπτεται από ένα στρώμα διογκωμένης πολυστερίνης EPS 150, πάχους 60 mm, ενδιάμεσα της οποίας τοποθετούνται καδρόνια για τη στήριξη των κεραμιδιών.

Η κεραμοσκεπή διαχωρίζεται από τον πρώτο όροφο μέσω οριζόντιας οροφής. Η οροφή αποτελείται από το βασικό μεταλλικό σκελετό και στο κάτω μέρος της προσαρτώνται δύο στρώσεις γυψοσανίδων πάχους 12.5 mm η κάθε μία.

Πίνακας 6.4 : Η διάταξη και οι ιδιότητες των υλικών δόμησης της στέγης.

Υλικά	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	Θερμική Αγωγιμότητα (W/m·K)	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (J/Kg·K)	Θερμική Αντίσταση R _i (m ² ·K/W)
Κεραμίδι	10	2000	0.4	788	0.025
Διογκωμένη Πολυστερίνη (EPS 150)	60	21	0.035	1450	1.71
Ξύλινες σανίδες	60	450	0.12	1600	0.5
Συνολική Θερμική Αντίσταση του τοίχου R_{ολ} =ΣR_i (m²·K/W)					2.24
Συνολική Θερμική Διαπερατότητα του τοίχου U=1/R_{ολ} (W/m²·K)					0.447

Κεφάλαιο 7^ο – Αναφορά λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν

7.1 Σχεδιαστικό λογισμικό Google Sketch up 18

7.1.1 Γενικά

Το SketchUp είναι ένα τρισδιάστατο πρόγραμμα σχεδίασης, δημοφιλές σε αρχιτέκτονες, πολιτικούς μηχανικούς, μηχανολόγους μηχανικούς, αλλά και σε κινηματογράφο ή σχεδιαστές βιντεοπαιχνιδιών. Δίνει τη δυνατότητα εικονικής αποτύπωσης ενός κτιρίου, στο οποίο μπορούν να επιλεγούν διάφοροι τύποι με αυτόματα ενσωματωμένες λειτουργίες και προδιαγραφές (όπως εμπορικό κέντρο, κατοικία, νοσοκομείο, σουπερ μάρκετ κ.ά.). Περιλαμβάνει, δηλαδή, πέρα από την κατάρτιση της διάταξης, τις ιδιότητες της λειτουργικότητάς του, ενώ επιτρέπει την απόδοση επιφανειών με ποικίλους τρόπους. Επίσης, υποστηρίζει επεκτάσεις προγραμμάτων (plug-in), παρέχοντας διάφορες δυνατότητες, όπως αυτή που επέτασε η παρούσα έρευνα, τη φωτο-ρεαλιστική απόδοση.

Το Sketch Up, λοιπόν, με τη βοήθεια της επέκταση από το πρόγραμμα του Trnsys3d plug-in είναι το μέσο για τη 3D μοντελοποίηση. Επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργήσει γρήγορα γεωμετρίες και να εκχωρήσει χαρακτηριστικά και ιδιότητες χώρου. Έτσι, τα υφιστάμενα εργαλεία σχεδίασης καθίστανται άμεσα συνεργάσιμα με τις εφαρμογές του ενεργειακού πακέτου μοντελοποίησης του Trnsys.

7.1.2 Περιγραφή εργαλείων σχεδιασμού

Το Google Sketch Up προσφέρει ένα πλήθος εργαλείων που συμβάλουν στον σχεδιασμό του αντικειμένου. Βασικά εργαλεία του προγράμματος είναι:

- Zoom : Χρησιμοποιείται για να μεγεθύνεται ή να μικραίνει η επιφάνεια εργασίας του προγράμματος όπου βρίσκεται και το αντικείμενο σχεδίασης.
- Pan : Χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση του σημείου προβολής της επιφάνειας εργασίας.
- Line : Δημιουργία ευθειών γραμμών.
- Rectangle : Χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό ορθογώνιων.
- Push/Pull : Χρησιμοποιείται για την μετατροπή των αντικειμένων σε τρισδιάστατα.
- Eraser : Διαγραφή γραμμών ή επιφανειών που σχεδιαστηκαν.

Επίσης, ο συνδυασμός του Sketch Up με το TRNSYS3D παρέχει στη διάθεση του χρήστη εργαλεία που έχουν σημαντικό ρόλο στη θερμική συμπεριφορά του αντικειμένου σχεδίασης. Μερικά από αυτά τα εργαλεία είναι:

- New Zone : Το εργαλείο αυτό δημιουργεί μία καινούρια θερμική ζώνη για το αντικείμενο σχεδίασης.
- New Shading Group : Δημιουργία μιας νέας ζώνης σκίασης.

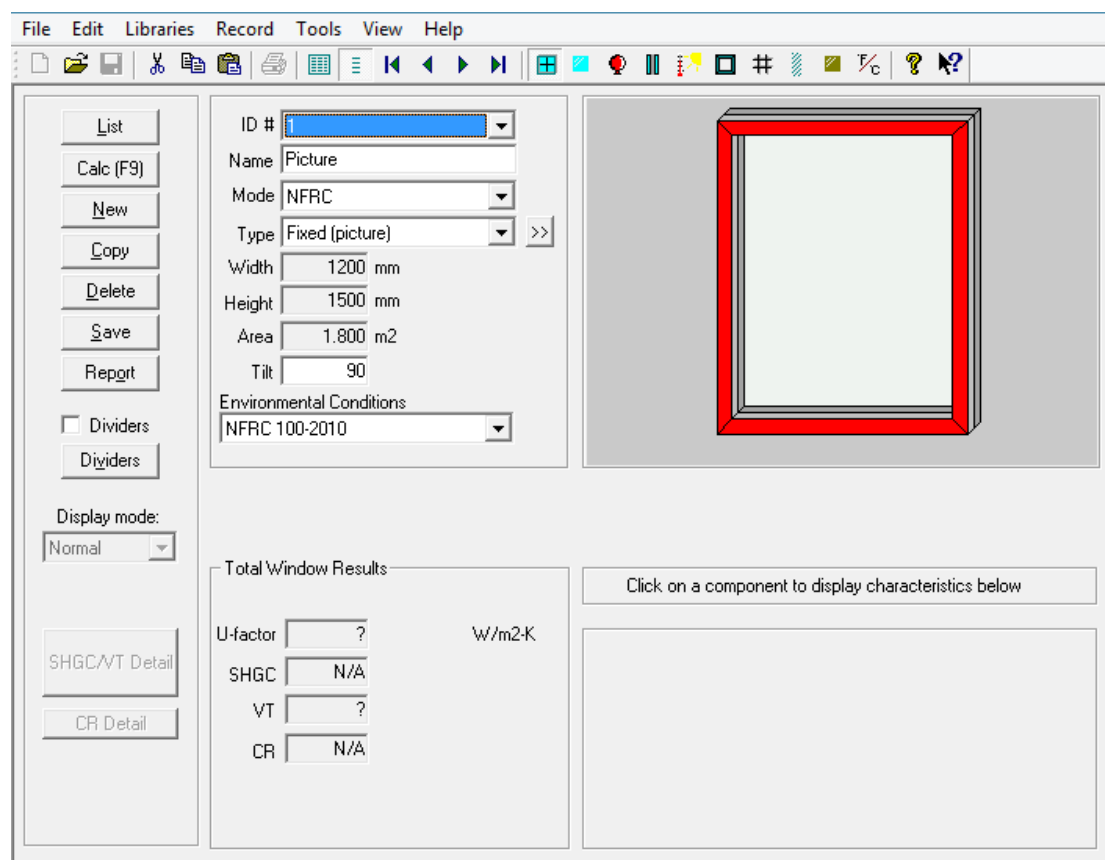
7.2 Λογισμικού Window

7.2.1 Εισαγωγή

Το λογισμικό Window ασχολείται με την προσομοίωση της λειτουργίας των παραθύρων και κατ' επέκταση τη διαμόρφωση των θερμοφυσικών τους ιδιοτήτων και της ενεργειακής τους απόδοσης, σύμφωνα με τα δομικά τους στοιχεία, δηλαδή, κατά κύριο λόγο τον υαλοπίνακα, το πλαίσιο και το αέριο διακένου. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα από τον χρήστη να δημιουργήσει ένα καινούργιο είδος παραθύρου, ορίζοντας το μέγεθος, το υλικό και άλλα χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα, του πλαισίου και του αερίου με αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης του κουφώματος. Το παράθυρο αυτό, έπειτα, μπορεί να προστεθεί στη βιβλιοθήκη ενός ενεργειακού προγράμματος (όπως το TRNSYS) και να αξιοποιηθεί στην ενεργειακή ανάλυση ενός κτιρίου.

7.2.2 Window Library

Το Window Library είναι η πρώτη επιφάνεια-παράθυρο που ανοίγει με την έναρξη του προγράμματος, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 7.1**. Στην ενότητα αυτή, ο χρήστης μπορεί να δει τα στοιχεία του υαλοπίνακα και του πλαισίου που έχει επιλέξει (όπως θα αναφερθεί παρακάτω), δηλαδή τον συντελεστή θερμοπερατότητας Uc-value, τον συντελεστή θερμικού κέρδους Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) και τη μετάδοση του ορατού φως Visible Transmittance (VTc) για ολόκληρο το κούφωμα.



Εικόνα 7.1 :Window Library.

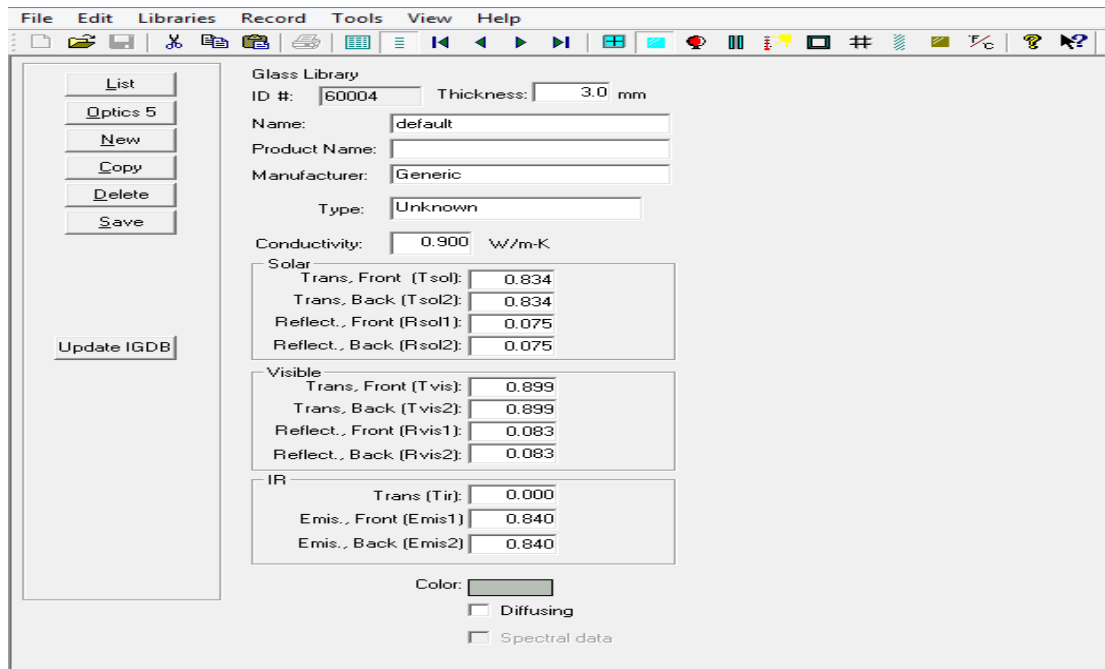
7.2.3 Glass Library

Στην ενότητα Glass Library, εμφανίζεται μια λίστα υαλοπινάκων (Εικόνα 7.2) με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του καθενός, όπως είναι ο κατασκευαστής και το όνομά του, αλλά και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, όπως το χρώμα και το πάχος του τζαμιού, η αγωγιμότητα, η ηλιακή διαπερατότητα Tsol και ηλιακή ανακλαστικότητα εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας Rsol1, Rsol2, αντίστοιχα. Επίσης, για το ορατό φάσμα η διαπερατότητα και η ανακλαστικότητα εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας Tvis, Rvis1, Rvis2. Ακόμη, η διαπερατότητα Tir και η εκπομπή του υαλοπίνακα σε εξωτερική και εσωτερική όψη emis1, emis2 στο υπέρυθρο κομμάτι (μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία).

Επιλέγοντας το κουμπί New, στα αριστερά του παραθύρου, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα νέο είδος υαλοπίνακα ορίζοντας το πάχος του και τις ιδιότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

ID	Name	ProductName	Manufacturer	Source	Mode	Color	Thickness	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Tir	emis1	emis2	Cond	
							mm											W/m-K
100	BRONZE_3.DAT	Generic Bronze Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.124	0.646	0.062	0.063	0.680	0.065	0.066	0.000	0.840	0.840	1.000	
101	BRONZE_6.DAT	Generic Bronze Glass	Generic	IGDB v11.4	#		5.740	0.486	0.053	0.053	0.533	0.056	0.056	0.000	0.840	0.840	1.000	
102	CLEAR_3.DAT	Generic Clear Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.048	0.834	0.075	0.075	0.899	0.083	0.083	0.000	0.840	0.840	1.000	
103	CLEAR_6.DAT	Generic Clear Glass	Generic	IGDB v11.4	#		5.715	0.771	0.070	0.070	0.884	0.080	0.080	0.000	0.840	0.840	1.000	
104	GRAY_3.DAT	Generic Grey Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.124	0.609	0.060	0.061	0.617	0.062	0.063	0.000	0.840	0.840	1.000	
105	THIN_06.DAT	Generic thin glass 0.6 mm	Generic	IGDB v54.0			0.600	0.906	0.083	0.083	0.914	0.085	0.085	0.000	0.840	0.840	1.000	
106	THIN_075.DAT	Generic thin glass 0.75 mm	Generic	IGDB v54.0			0.750	0.906	0.083	0.083	0.914	0.085	0.086	0.000	0.840	0.840	1.000	
107	THIN_11.DAT	Generic thin glass 1.1 mm	Generic	IGDB v54.0			1.100	0.901	0.082	0.082	0.913	0.086	0.086	0.000	0.840	0.840	1.000	
200	SiAg25LE_3www.bsfc	Silver AG 25 Low-E	Saint-Gobain Sc	IGDB v16.3	#		3.023	0.156	0.546	0.616	0.222	0.417	0.476	0.000	0.840	0.330	0.942	
201	AuBr30_3www.bsfc	Autumn Bronze 30	Saint-Gobain Sc	IGDB v17.0	#		3.023	0.244	0.467	0.318	0.343	0.238	0.156	0.000	0.840	0.770	0.942	
202	H70_3.bsfc	Hilite 70	Saint-Gobain Sc	IGDB v16.3	#		3.277	0.368	0.353	0.415	0.721	0.088	0.088	0.000	0.840	0.770	0.950	
203	H70-8_3.bsfc	8 Mil Hilite 70	Saint-Gobain Sc	IGDB v16.3	#		3.404	0.381	0.316	0.403	0.722	0.095	0.096	0.000	0.840	0.790	0.878	
204	NS20_3.bsfc	NightSky 20	Saint-Gobain Sc	IGDB v17.4	#		3.251	0.238	0.113	0.108	0.201	0.132	0.116	0.000	0.840	0.860	0.966	
205	NS30_3.bsfc	NightSky 30	Saint-Gobain Sc	IGDB v17.4	#		3.251	0.354	0.089	0.092	0.316	0.098	0.088	0.000	0.840	0.880	0.966	
206	H40_3.bsfc	Hilite 40	Saint-Gobain Sc	IGDB v17.4	#		3.276	0.274	0.299	0.394	0.420	0.059	0.066	0.000	0.840	0.750	0.950	
207	SBi20_3www.bsfc	Solar Bronze 20	Saint-Gobain Sc	IGDB v16.3	#		3.023	0.130	0.612	0.610	0.223	0.383	0.361	0.000	0.840	0.660	0.942	
208	SPSx800SW.bsfc	Sentinel Plus SX 80 OSW	Saint-Gobain Sc	IGDB v47.0	#		3.251	0.422	0.064	0.063	0.784	0.084	0.084	0.000	0.844	0.840	0.966	
209	SBi35_3www.bsfc	Solar Bronze 35	Saint-Gobain Sc	IGDB v16.3	#		3.023	0.224	0.538	0.532	0.353	0.300	0.275	0.000	0.840	0.680	0.942	
210	SBi35-4_3www.bsfc	4 Mil Solar Bronze 35	Saint-Gobain Sc	IGDB v16.3	#		3.073	0.207	0.525	0.520	0.322	0.296	0.272	0.000	0.840	0.680	0.891	
211	SBi50_3www.bsfc	Solar Bronze 50	Saint-Gobain Sc	IGDB v16.3	#		3.023	0.317	0.455	0.448	0.453	0.235	0.211	0.000	0.840	0.690	0.942	
212	NS10_3.bsfc	NightSky 10	Saint-Gobain Sc	IGDB v17.4	#		3.251	0.158	0.131	0.130	0.095	0.155	0.140	0.000	0.840	0.870	0.966	
213	SiI20_3www.bsfc	Silver 20	Saint-Gobain Sc	IGDB v16.3	#		3.023	0.125	0.630	0.629	0.166	0.605	0.585	0.000	0.840	0.700	0.942	
214	SiI20-10_3www.bsfc	10 Mil Silver 20	Saint-Gobain Sc	IGDB v16.3	#		3.226	0.130	0.599	0.606	0.176	0.583	0.568	0.000	0.840	0.700	0.774	

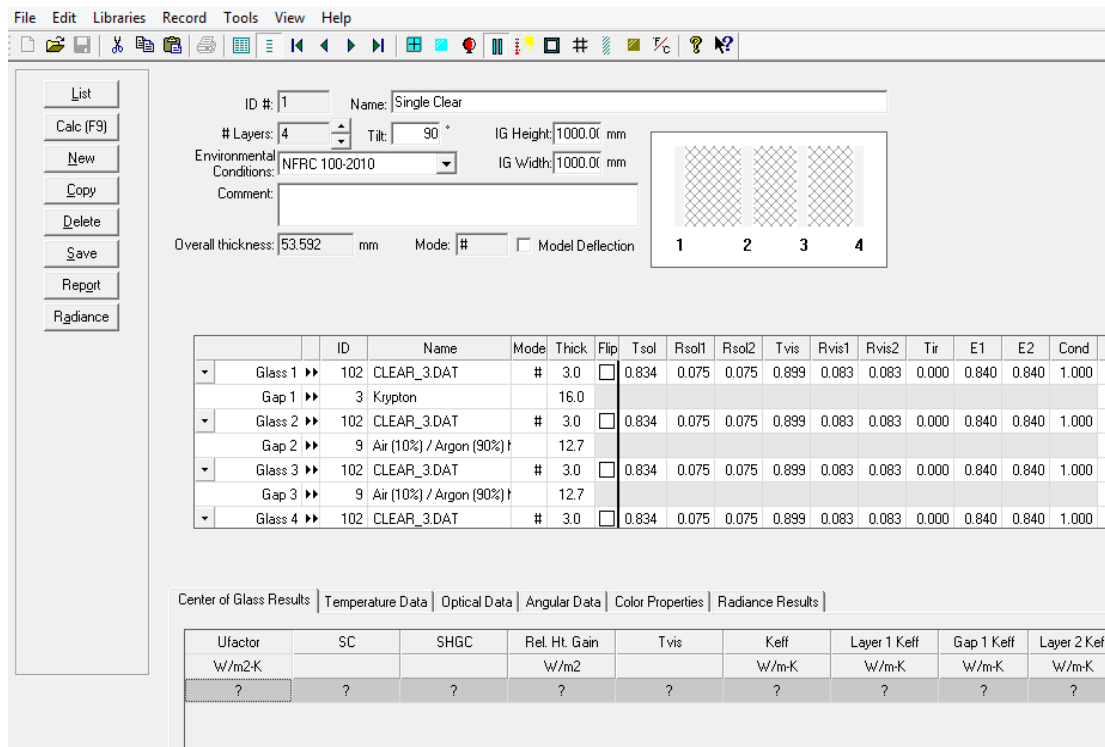
Εικόνα 7.2 : Η βιβλιοθήκη υαλοπινάκων (Glass Library).



Εικόνα 7.3 : Οι ιδιότητες ενός υαλοπίνακα της βιβλιοθήκης.

7.2.4 Glazing System Library

Στην ενότητα Glazing System Library, γίνεται η διαμόρφωση του συστήματος υαλοπίνακα μέσω της επιλογής του είδους του υαλοπίνακα, του αριθμού των στρώσεων του, της γωνίας και των περιβαλλοντικών συνθηκών, του αερίου πλήρωσης και του πάχους του διακένου. Στην ενότητα αυτή, υπολογίζεται ο συντελεστής διαπερατότητας U, ο συντελεστής σκίασης και ο συντελεστής θερμικού κέρδους, αλλά και η ορατή ακτινοβολία για το κέντρο του παραθύρου.



Εικόνα 7.4 : Η βιβλιοθήκη των συστημάτων των υαλοπινάκων (Glazing System Library).

7.2.5 Gap Library

Στην ενότητα Gap Library, επιλέγεται το είδος του αερίου, που εισάγεται στο διάκενο ενός διπλού ή τριπλού υαλοπίνακα είτε σε καθαρή μορφή είτε σε συνδυασμό με ξηρό αέρα ή και κάποιο άλλο αέριο. Εδώ τα χαρακτηριστικά που δίνονται είναι η αγωγιμότητα, το ιξώδες που αποτελεί μέτρο της αντίστασης που το αέριο παρουσιάζει στη σταδιακή παραμόρφωσή του, η πυκνότητα, το Prandtl number που ορίζεται ως ο λόγος της διάχυσης της ορμής προς τη θερμική διάχυση και η ειδική θερμότητα (C_p heat capacity), που ορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας που αποβάλλεται ή απορροφάται από κάποιο σώμα όταν η θερμοκρασία του μεταβληθεί κατά ένα βαθμό Κελσίου. Ένα αέριο με μικρότερη αγωγιμότητα, μεγαλύτερο ιξώδες και βραδύτερη κίνηση σε σύγκριση με τον ξηρό αέρα, μειώνει τη μεταφορά θερμότητας.

File Edit Libraries Record Tools View Help

Gap Library (C:\Users\Public\LBNL\WINDOW7.6\W7.mdb)

Detailed View

Calc

New

Copy

Delete

Find

ID

Advanced...

23 records found.

Import

Export

Report

Print

ID	Name	Type	Conductivity	Viscosity	Cp	Density	Prandtl	C
			W/m-K	kg/m-s	J/kg-K	kg/m3		
1	Air	Pure	0.024069	0.000017	1006.103271	1.292498	0.7197	
2	Argon	Pure	0.016349	0.000021	521.928528	1.782282	0.6704	
3	Krypton	Pure	0.008664	0.000023	248.090698	3.738740	0.6717	
4	Xenon	Pure	0.005160	0.000021	158.339706	5.857955	0.6542	
6	Air (5%) / Argon (95)	Mix	0.016704	0.000021	539.729126	1.757792	0.6731	
7	Air (12%) / Argon (2)	Mix	0.011490	0.000023	322.703308	3.014770	0.6403	
8	Air (5%) / Krypton (9)	Mix	0.009191	0.000023	261.636230	3.616428	0.6640	
9	Air (10%) / Argon (9)	Mix	0.017063	0.000021	558.032715	1.733303	0.6758	
100	Air - EN673	Pure	0.024169	0.000017	1008.000000	1.292498	0.7138	
101	Argon - EN673	Pure	0.016345	0.000021	519.000000	1.782282	0.6674	
102	Krypton - EN673	Pure	0.008707	0.000023	245.000000	3.738740	0.6557	
103	Xenon - EN673	Pure	0.005119	0.000022	161.000000	5.857955	0.6771	
104	Air (5%) / Argon (95)	Mix	0.016705	0.000021	536.977966	1.757792	0.6700	
105	Air (12%) / Argon (2)	Mix	0.011531	0.000023	319.890289	3.014770	0.6291	
106	Air (5%) / Krypton (9)	Mix	0.009237	0.000023	258.634674	3.616428	0.6489	
107	Air (10%) / Argon (9)	Mix	0.017068	0.000021	555.463989	1.733303	0.6726	
200	CO2	Pure	0.014567	0.000014	827.734131	1.963508	0.7808	
201	N2	Pure	0.023969	0.000017	1040.794678	1.250113	0.7207	
202	SF6	Pure	0.013000	0.000014	418.600006	6.518257	0.4567	
203	Helium	Pure	0.146171	0.000019	5197.000000	0.178460	0.6645	
204	Neon	Pure	0.045416	0.000029	1030.000000	0.900331	0.6662	
205	Octafluoropropane	Pure	0.010686	0.000011	762.015320	8.388474	0.8140	

Εικόνα 7.5 : Η βιβλιοθήκη των αερίων πληρώσεως στα κενά των παραθύρων (Gap Library).

File Edit Libraries Record Tools View Help

Gap Library

List

New

Copy

Delete

Save

ID #: 2

Name: Argon

Gas Mixture Vacuum

Molecular Weight: 39.948 Pressure: 101325.00 Pa

Conductivity Coefficients

A 0.0022850 W/m-K

B 0.0000514 W/m-K2

C 0.0000000 W/m-K3

Viscosity Coefficients

A 0.0000033 kg/m-s

B 0.0000000 kg/m-s-K

C 0.0000000 kg/m-s-K2

Specific Heat Coefficients

A 521.92852 J/kg-K

B 0.0000000 J/kg-K2

C 0.0000000 J/kg-K3

Properties at STP

Conductivity 0.016349 W/m-K

Viscosity 0.000021 kg/m-s

Specific Heat 521.92852 J/kg-K

Density 1.782282 kg/m3

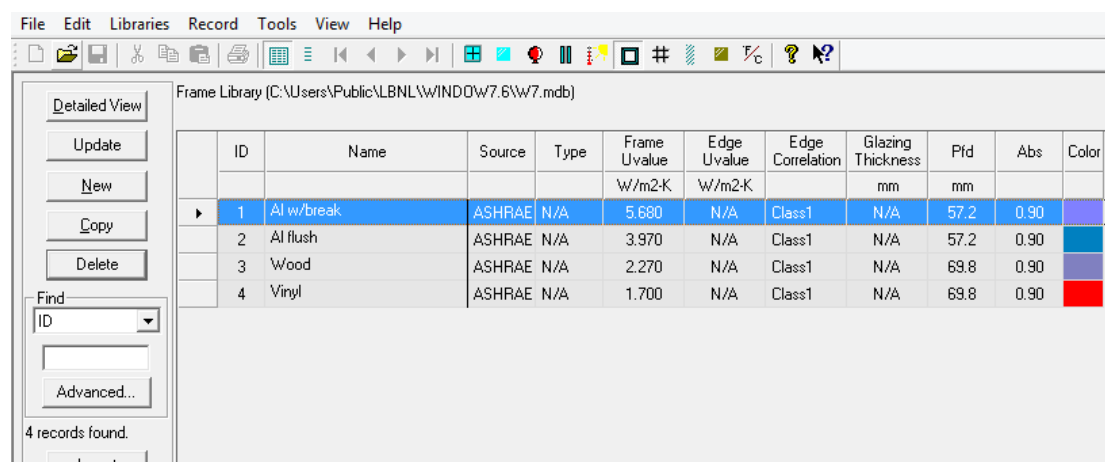
Prandtl 0.6704

Property Calculator

Εικόνα 7.6 : Οι ιδιότητες ενός αερίου της βιβλιοθήκης.

7.2.6 Frame Library

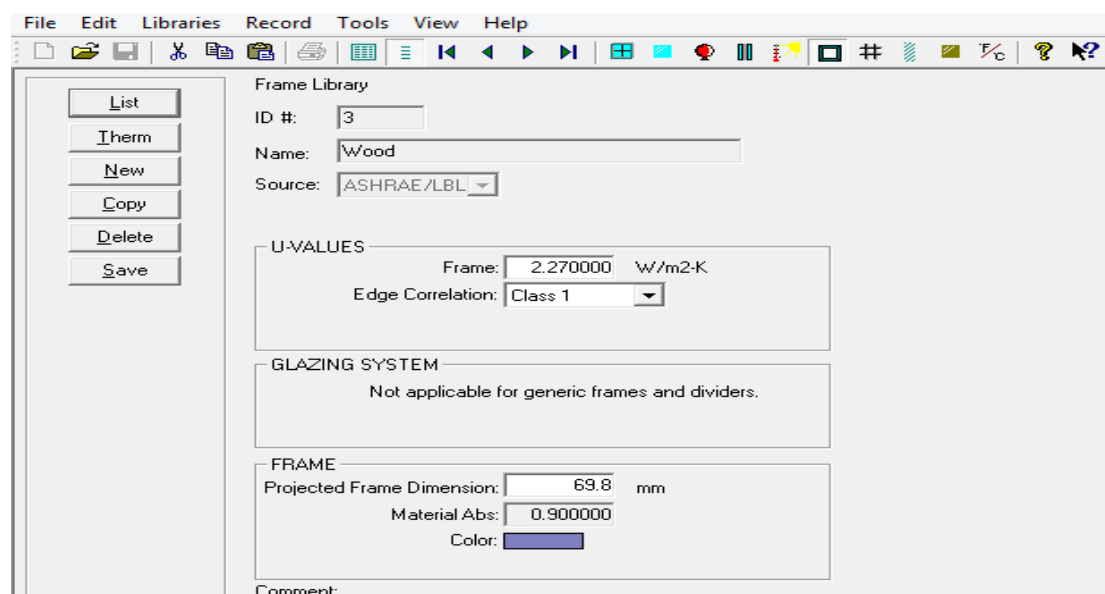
Στην ενότητα Frame Library που αφορά στο πλαίσιο του κουφώματος δίνεται ξεχωριστά ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου συνολικά (Uframe) και ο συντελεστής θερμοπερατότητας των άκρων (Uedge). Είναι γνωστό ότι το αλουμίνιο είναι πολύ καλός αγωγός θερμότητας και προσφέρει μη ανεκτές αποδόσεις U-value, αν και η θερμοδιακοπή βοηθάει στη βελτίωση του μεγέθους αυτού. Επίσης, κάθε είδος πλαισίου δηλώνεται και παρουσιάζεται από το πρόγραμμα με ένα διαφορετικό χρώμα. Όπως και στην περίπτωση των υαλοπινάκων, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ένα νέο είδος πλαισίου ορίζοντας τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του.



Frame Library (C:\Users\Public\LBNL\WINDOW7.6\W7.mdb)

ID	Name	Source	Type	Frame Uvalue W/m2-K	Edge Uvalue W/m2-K	Edge Correlation	Glazing Thickness mm	Pfd mm	Abs	Color
1	Al w/break	ASHRAE	N/A	5.680	N/A	Class1	N/A	57.2	0.90	Light Blue
2	Al flush	ASHRAE	N/A	3.970	N/A	Class1	N/A	57.2	0.90	Dark Blue
3	Wood	ASHRAE	N/A	2.270	N/A	Class1	N/A	69.8	0.90	Light Purple
4	Vinyl	ASHRAE	N/A	1.700	N/A	Class1	N/A	69.8	0.90	Red

Εικόνα 7.7 : Η βιβλιοθήκη των πλαισίων του παραθύρου (Frame Library).



Frame Library

ID #: 3
Name: Wood
Source: ASHRAE/LBL

U-VALUES
Frame: 2.270000 W/m2-K
Edge Correlation: Class 1

GLAZING SYSTEM
Not applicable for generic frames and dividers.

FRAME
Projected Frame Dimension: 69.8 mm
Material Abs: 0.900000
Color: Light Purple

Comment:

Εικόνα 7.8 : Οι ιδιότητες ενός πλαισίου της βιβλιοθήκης.

7.2.7 Environmental Conditions Library

Στην ενότητα Environmental Conditions Library σχετικά με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες, κάτω από τις οποίες γίνονται οι υπολογισμοί των μελετώμενων μεγεθών, συνήθως επιλέγεται το πρότυπο NFRC 100-2010. Οι καιρικές συνθήκες, όπως η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού/εξωτερικού αέρα και η ταχύτητα ανέμου, επηρεάζουν επίσης τον συντελεστή U.

7.2.8 Shading Library

Τέλος, το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα εξέτασης των ιδιοτήτων των κουφωμάτων και μετά την προσθήκη των μέσων σκίασης.

7.3 Το πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS 17

7.3.1 Εισαγωγή στο TRNSYS

Το TRNSYS είναι ένα ευρέως διαδεδομένο υπολογιστικό πακέτο που απευθύνεται σε ερευνητές και επαγγελματίες μηχανικούς. Δημιουργήθηκε στο πανεπιστήμιο του Wisconsin με αρχικό στόχο τη δυναμική προσομοίωση της συμπεριφοράς ενός θερμικού ηλιακού συστήματος ύδατος για ένα χαρακτηριστικό μετεωρολογικό έτος έτσι ώστε να προκύψει η μακροπρόθεσμη μείωση κόστους ενός τέτοιου συστήματος (buildings). Πλέον, χρησιμοποιείται παγκοσμίως από μηχανικούς και ερευνητές για την αξιολόγηση νέων ενεργειακών συστημάτων για διάφορες χρήσεις, από ένα απλό σύστημα θέρμανσης νερού μέχρι και τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτιρίων και του εξοπλισμού τους, συμπεριλαμβανομένων στρατηγικών ελέγχου, συμπεριφορά των κατοίκων και συστήματα εναλλακτικών πηγών ενέργειας (ηλιακά, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου κ.α.).

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του TRNSYS είναι ότι μπορεί ο χρήστης να διαβάσει τον πηγαίο κώδικα (source file), τον πυρήνα του προγράμματος καθώς και τους κώδικες των διαφόρων μοντέλων που περιλαμβάνει το TRNSYS και να κάνει τις απαραίτητες αλλαγές ώστε να εξυπηρετούν τις δικές του ανάγκες.

Επιπλέον, η αρχιτεκτονική του προγράμματος, που βασίζεται σε αρχεία DLL, προσφέρει επίσης τη δυνατότητα στο χρήστη να κατασκευάσει ο ίδιος νέα μοντέλα χρησιμοποιώντας γλώσσες προγραμματισμού, όπως C, C++, PASCAL, FORTRAN, MATLAB κ.α. Επίσης, το TRNSYS μπορεί να συνδεθεί εύκολα με διάφορες εφαρμογές με σκοπό την επεξεργασία πριν, μετά ή και κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (Microsoft Excel, Matlab κ.α.).

7.3.2 Το περιβάλλον προσομοίωσης (Simulation Studio)

Το στούντιο προσομοίωσης του TRNSYS είναι το κεντρικό γραφικό περιβάλλον του, στο οποίο δημιουργούνται τα προγράμματα προσομοίωσης της κάθε εφαρμογής που θα μελετηθεί. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας με το ποντίκι (drag – drop) τα επιλεγόμενα στοιχεία στο παράθυρο εργασίας, συνδέοντας τα μεταξύ τους και καθορίζοντας τις παραμέτρους, τις εισόδους (inputs) και τις εξόδους (outputs) της προσομοίωσης.

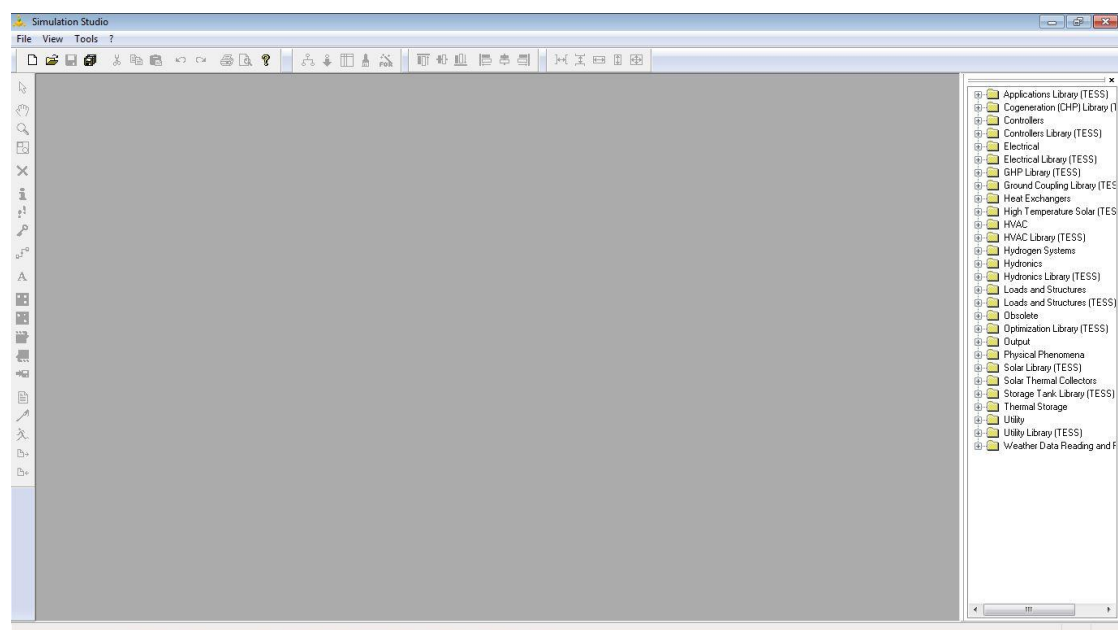
Με το τέλος της δημιουργίας του μοντέλου, το Simulation Studio δημιουργεί αυτόματα το αρχείο με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης του χρήστη (*.trf) καθώς και ένα αρχείο εισόδου, το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου που περιέχει όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης.

Το περιβάλλον προσομοίωσης περιλαμβάνει επίσης ένα διαχειριστή εξόδου (output manager), με τον οποίο ο χρήστης καθορίζει ποιες μεταβλητές θα ολοκληρωθούν, ποιες θα εκτυπωθούν και ποιες θα χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό γραφικών παραστάσεων. Επιπλέον, περιλαμβάνει ένα αρχείο καταγραφής σφαλμάτων (log-error manager) ο οποίος επιτρέπει τη λεπτομερή μελέτη των γεγονότων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Τέλος, ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει πολλές επιπρόσθετες διεργασίες, όπως να δημιουργήσει νέα υπολογιστικά μοντέλα προκειμένου να τα εισάγει στο TRNSYS με την επιλογή 'Fortran Wizard' ,αλλά και να προβάλλει ή/και επεξεργαστεί τις παραμέτρους, τις εισόδους και τις εξόδους ενός ήδη υπάρχοντος μοντέλου.

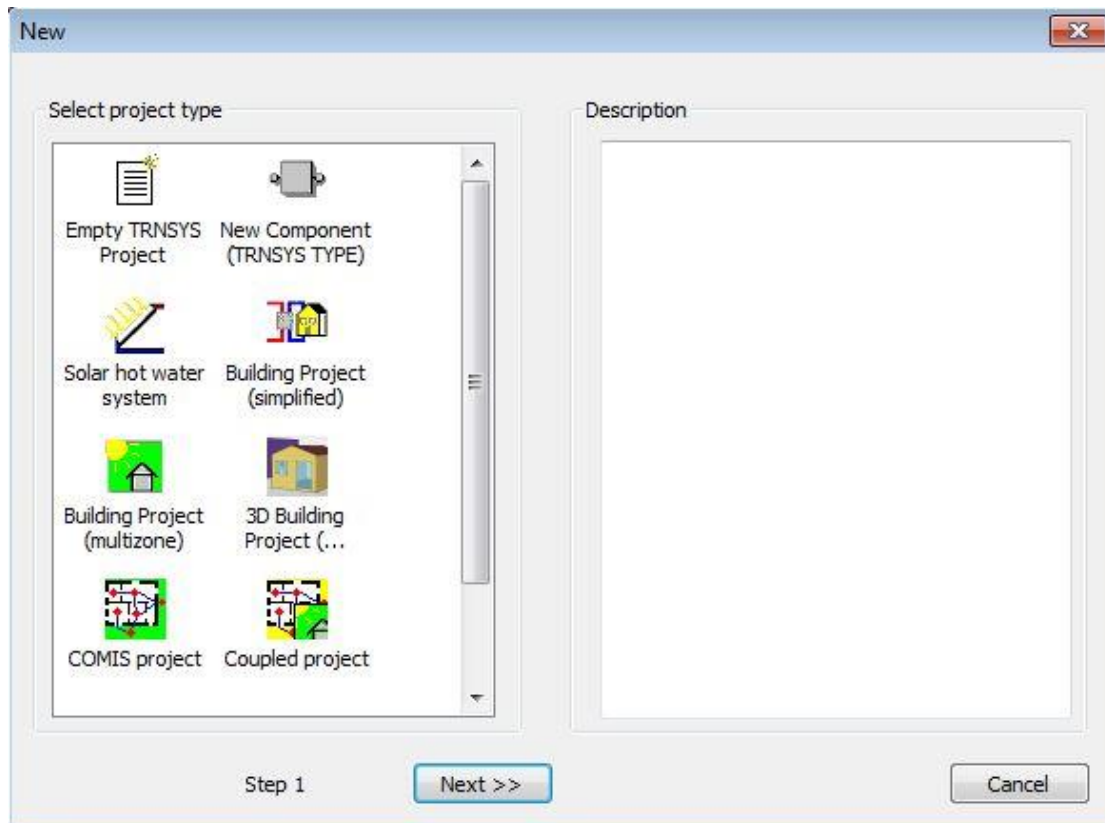
7.3.3 Έναρξη του TRNSYS Simulation Studio

Όταν ο χρήστης ανοίξει το Simulation Studio, εμφανίζεται το κεντρικό παράθυρο, το οποίο στην αρχή είναι κενό, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 7.9** .



Εικόνα 7.9 : Αρχικό περιβάλλον TRNSYS Simulation Studio.

Επιλέγοντας το εικονίδιο «File» πάνω αριστερά, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει είτε την εντολή Open, όπου θα ανοίξει ένα ήδη υπάρχων αρχείο προσομοίωσης, είτε την εντολή “New”, όπου θα ανοίξει ένα νέο παράθυρο, όπως αυτό της **Εικόνας 7.10** με τις εξής επιλογές:



Εικόνα 7.10 : Βασικές Επιλογές του Simulation Studio.

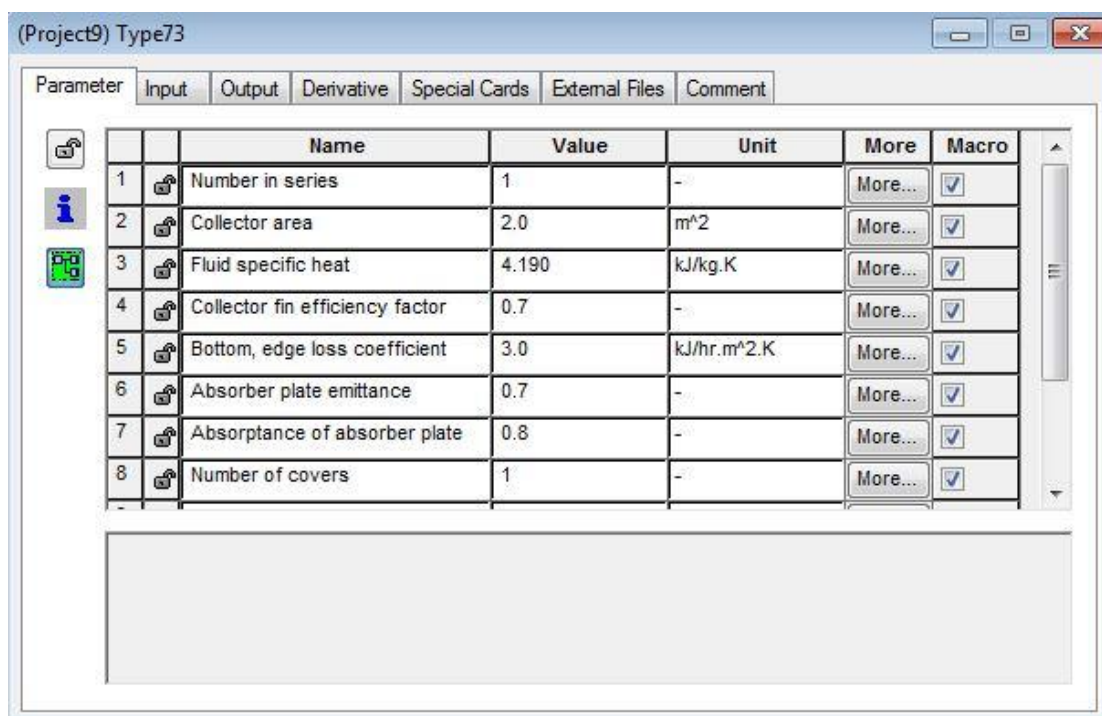
- **New Component (TRNSYS TYPE):** Με την επιλογή αυτή ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει από το μηδέν, ένα νέο στοιχείο με τη χρήση μιας γλώσσας προγραμματισμού.
- **Empty Project:** Με την επιλογή αυτή ο χρήστης θα μεταβεί σ' ένα κενό παράθυρο εργασίας, το οποίο μπορεί να διαμορφώσει όπως επιθυμεί ανάλογα με τη μελέτη που πραγματοποιεί.
- **Solar hot water system:** Εμφανίζεται στην οθόνη ένα τυπικό σύστημα θέρμανσης νερού με ηλιακό συλλέκτη, έτοιμο από το TRNSYS.
- **Building Project (simplified):** Δημιουργία ενός απλοποιημένου μοντέλου ενός κτιρίου.
- **Building Project (multizone):** Δημιουργία ενός πολυζωνικού κτιρίου στο οποίο ο χρήστης μπορεί να εργαστεί ανάλογα με τις ανάγκες του και να το τροποποιήσει κατάλληλα.
- **3D Building Project (multizone):** Μέσω αυτής της εντολής εισάγεται ένα αρχείο ενός 3D πολυζωνικού κτιρίου που έχει σχεδιαστεί από κάποιο άλλο πρόγραμμα (όπως το Sketchup).

Κάθε μία από αυτές τις επιλογές ανοίγει ένα παράθυρο προσομοίωσης στο οποίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει και να επεξεργαστεί καινούργια στοιχεία από τη βιβλιοθήκη που βρίσκεται στα δεξιά του παραθύρου.

Καθένα από αυτά τα στοιχεία βρίσκονται σε αντίστοιχους κατηγοριοποιημένους φακέλους και δηλώνονται με το αντίστοιχο εικονίδιο τους και ένα κωδικό όνομα (για παράδειγμα Type 15 είναι το αρχείο με τα μετεωρολογικά δεδομένα).

7.3.4 Επεξεργασία και Συνδέσεις των στοιχείων

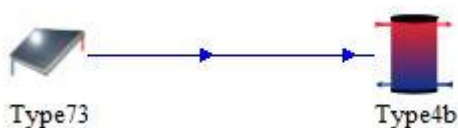
Αφού το στοιχείο έχει τοποθετηθεί στην επιφάνεια εργασίας ο χρήστης μπορεί να το επεξεργαστεί. Κάνοντας διπλό κλικ με το ποντίκι πάνω σ' αυτό ανοίγει το παράθυρο Project (Εικόνα 7.11) το οποίο περιλαμβάνει τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν το στοιχείο και οι οποίες μπορούν να αλλαχθούν από τον χρήστη ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής.





Εικόνα 7.11 : Παράθυρο επεξεργασίας του στοιχείου.

Σ' αυτό το παράθυρο εμφανίζονται επίσης και οι μεταβλητές εισόδου (inputs) και οι μεταβλητές εξόδου (outputs) καθώς και η μονάδα μέτρησης της κάθε μεταβλητής. Οι τιμές των μεταβλητών αυτών μεταβάλλονται κατά την διάρκεια της εκτέλεσης του προγράμματος. Επιπρόσθετα, πρέπει να σημειωθεί πως μια μεταβλητή εισόδου λαμβάνει τιμή από μία μόνο μεταβλητή εξόδου ενός άλλου στοιχείου ενώ μια μεταβλητή εξόδου μπορεί να αποτελέσει την είσοδο για πολλές μεταβλητές διαφορετικού στοιχείου όμως η κάθε μία ή να μην αξιοποιηθεί σε καμία μεταβλητή εισόδου.

Η σύνδεση δύο στοιχείων γίνεται μέσω του εικονιδίου Link, που βρίσκεται στην γραμμή εργαλείων στα αριστερά του κεντρικού παραθύρου και η γραμμή σύνδεσης έχει τέτοια κατεύθυνση ώστε οι τιμές εξόδου του ενός στοιχείου να «πηγαίνουν» προς τις τιμές εισόδου του άλλου στοιχείου. Κατά την σύνδεση ανοίγει ένα παράθυρο, όπου αριστερά υπάρχει η λίστα με τις μεταβλητές εξόδου του ενός στοιχείου και δεξιά υπάρχει η λίστα με τις μεταβλητές εισόδου του άλλου στοιχείου, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 7.13**.



Εικόνα 7.12 : Η σύνδεση δύο στοιχείων.

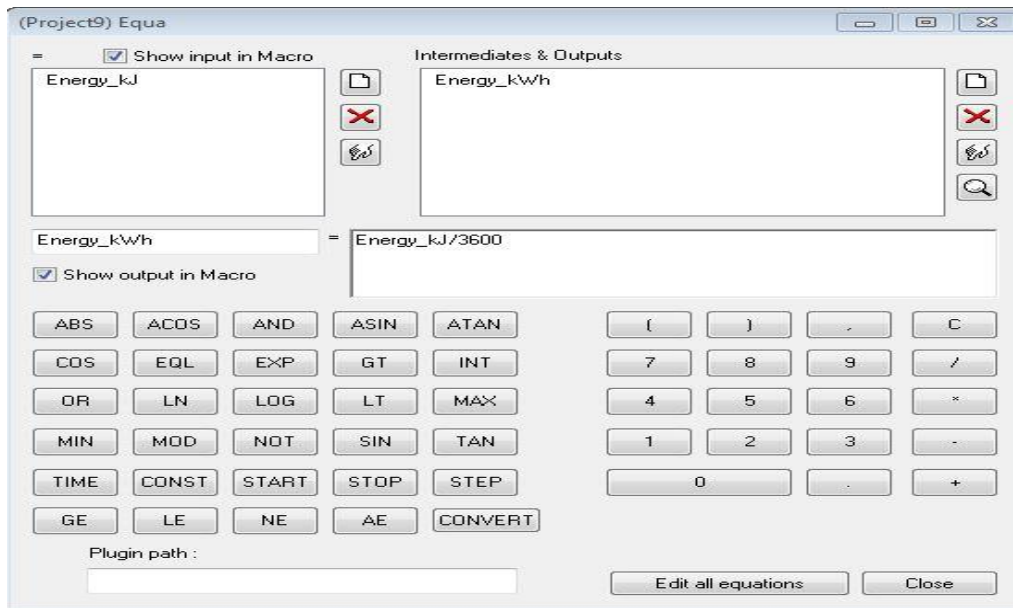
		
Outlet temperature	Hot-side temperature	45.0
Outlet flowrate	Hot-side flowrate	100.0
Useful energy gain	Cold-side temperature	20.0
	Cold-side flowrate	100.0
	Environment temperature	22.0
	Control signal for element 1	1.0
	Control signal for element 2	1.0

Εικόνα 7.13 : Σύνδεση των μεταβλητών εξόδου – εισόδου.

7.3.5 Εισαγωγή εξισώσεων – συναρτήσεων

Μία πολύ χρήσιμη λειτουργία του TRNSYS είναι η εισαγωγή εξισώσεων μέσα στο αρχείο εισόδου. Οι εξισώσεις αυτές μπορούν να είναι συναρτήσεις με μεταβλητές ενός στοιχείου ή σταθερές αριθμητικές τιμές. Η εισαγωγή μιας εξίσωσης γίνεται με το εικονίδιο Assembly – Insert new equation.

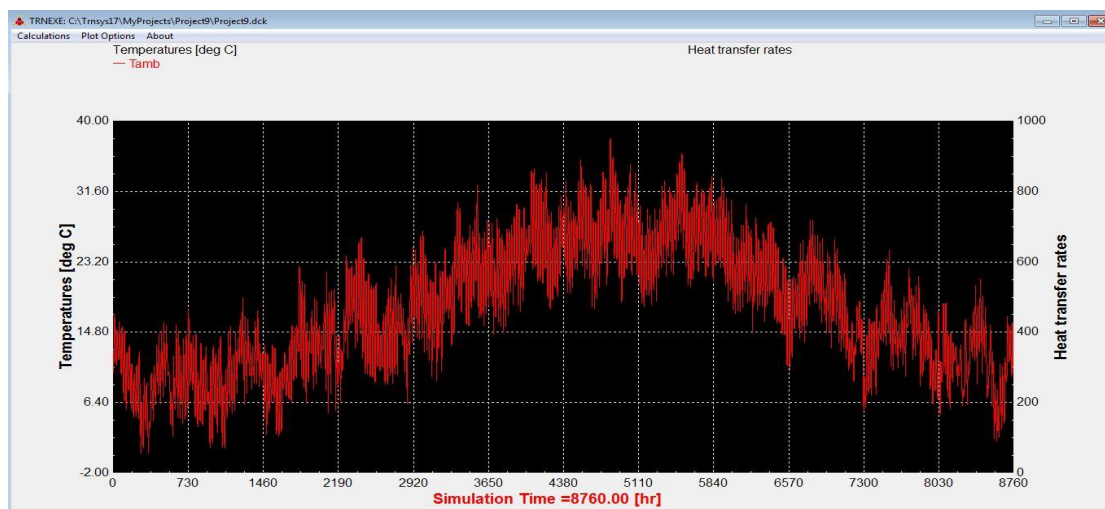
Στη συνέχεια εμφανίζεται ένα παράθυρο που περιέχει δύο στήλες. Στην αριστερή στήλη είναι οι είσοδοι της εξίσωσης (inputs) ενώ στη δεξιά στήλη οι έξοδοι της εξίσωσης (Intermediates & Outputs). Μία μεταβλητή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη δεξιά στήλη, εάν δεν έχει οριστεί στις εισόδους αριστερά. Στο παρακάτω παράδειγμα της **Εικόνας 7.14**, παρουσιάζεται η μετατροπή της ενέργειας από kJ σε kWh.



Εικόνα 7.14 : Παράθυρο σχηματισμού εξισώσεων.

7.3.6 Εκτέλεση προσομοίωσης και απεικόνιση αποτελεσμάτων

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



Εικόνα 7.15 : Διάγραμμα αποτελεσμάτων προσομοίωσης.

Επίσης, στην περίπτωση που έχει προστεθεί μοντέλο εκτυπωτή στην προσομοίωση (type 25), οι έξοδοι εκτυπώνονται αριθμητικά σε ένα αρχείο εξόδου το οποίο μπορεί να αναγνωσθεί μέσω του Simulation Studio, κάνοντας κλικ στο "Calculate/Open/External Files" στο επάνω μέρος του παραθύρου εργασίας.

7.3.7 Το γραφικό περιβάλλον του κτιρίου (TRNBuild)

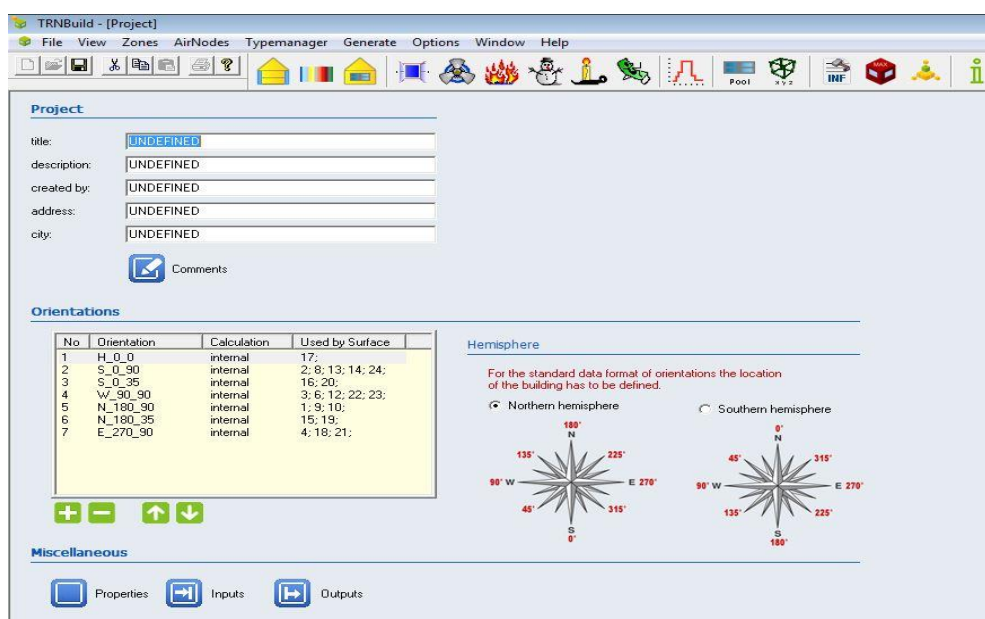
Το TRNBuild είναι το πρόγραμμα με το οποίο εισάγονται τα δεδομένα και οι παραμέτροι ενός πολυζωνικού κτιρίου. Δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει λεπτομερώς όλα τα υλικά κατασκευής του κτιρίου, τους υαλοπίνακες, καθώς επίσης και το πρόγραμμα ψύξης και θέρμανσης που εφαρμόζεται στο κτίριο τα θερμικά κέρδη, ο εξαερισμός και ο ρυθμός διήθησης του αέρα. Επίσης, καθορίζονται οι επιφάνειες των τοίχων, οι προσανατολισμοί, οι σχέσεις μεταξύ των ζωνών κλπ.. Έτσι, κάνοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο type 56 (Building) και επιλέγοντας "edit building" δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να περιγράψει ακριβέστερα το κτίριο στο TRNBuild.

7.3.8 ΠαράθυροΜελέτης (Project Initialization Window)

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

Προσανατολισμοί (Orientation)

Όλοι οι πιθανοί προσανατολισμοί των εξωτερικών τοίχων πρέπει να προσδιορίζονται με μοναδικά ονόματα. Υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγούν συνήθεις προσανατολισμοί που ήδη υπάρχουν, οι οποίοι παρουσιάζονται και στον πίνακα στο δεξί μέρος της καρτέλας, ή να καθοριστούν νέοι δίνοντας ένα όνομα για τον προσανατολισμό και ορίζοντας νέες εισόδους στο μοντέλο για τον καθορισμό της ακτινοβολίας στον προσανατολισμό αυτό.



Εικόνα 7.16 : Προσανατολισμός επιφανειών κτιρίου.

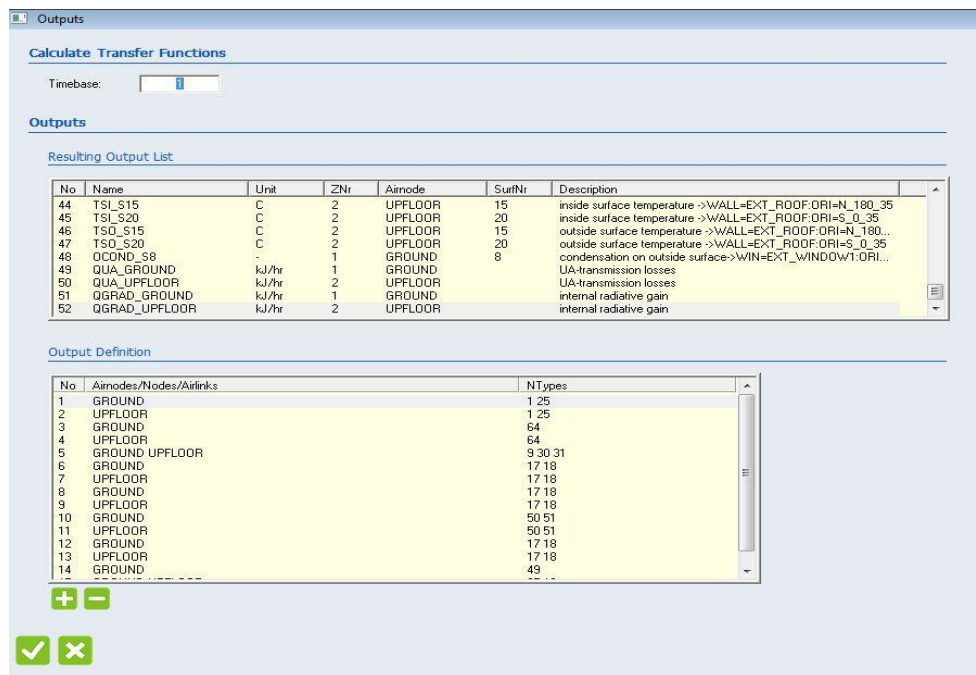
Είσοδοι – Έξοδοι (Inputs – Outputs)

Οι επιπλέον είσοδοι ορίζονται στην περίπτωση που επιθυμούμε τον καθορισμό της τιμής μιας μεταβλητής από άλλο μοντέλο που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση. Ο έξοδοι που μπορεί να έχει το μοντέλο του πολυζωνικού κτιρίου είναι πολλές και συγκεκριμένες και αφορούν κάθε ζώνη ξεχωριστά, ή ένα σύνολο ζωνών, κάθε επιφάνεια ξεχωριστά ή το σύνολο των επιφανειών και τέλος ενεργειακά ισοζύγια σε επιφάνειες ή ζώνες μεμονωμένα ή στο σύνολό τους.

No	Name	Unit	Description	Old Name
1	TAMB	C	AMBIENT TEMPERATURE	
2	RELHUMAMB	%	RELATIVE AMBIENT HUMIDITY	
3	TSKY	C	EFFECTIVE SKY TEMPERATURE FOR LONGWAVE RADIATION EXCHANG...	
4	TSGRD	C	EFFECTIVE GROUND TEMPERATURE FOR LONGWAVE RADIATION EXCH...	
5	AZEN	degrees	SOLAR ZENITH ANGLE	
6	AAZM	degrees	SOLAR AZIMUTH ANGLE (0=facing equator, 90=facing west, -90=270=facing ...	
7	GRDREF	any	GROUND REFLECTION FOR SKY DIFFUSE RADIATION SHADING	GRDREF

No	Name
8	TGROUND
9	TBOUNDARY
10	BRIGHT
11	SHADE_CLOSE
12	SHADE_OPEN
13	MAX_ISHADE
14	MAX_ESHADE
15	THERMOKRASIA1
16	THERMOKRASIA2
17	PARDXH1
18	PARDXH2
19	WINDSOUTH

Εικόνα 7.17 : Παράθυρο μεταβλητών εισόδου.

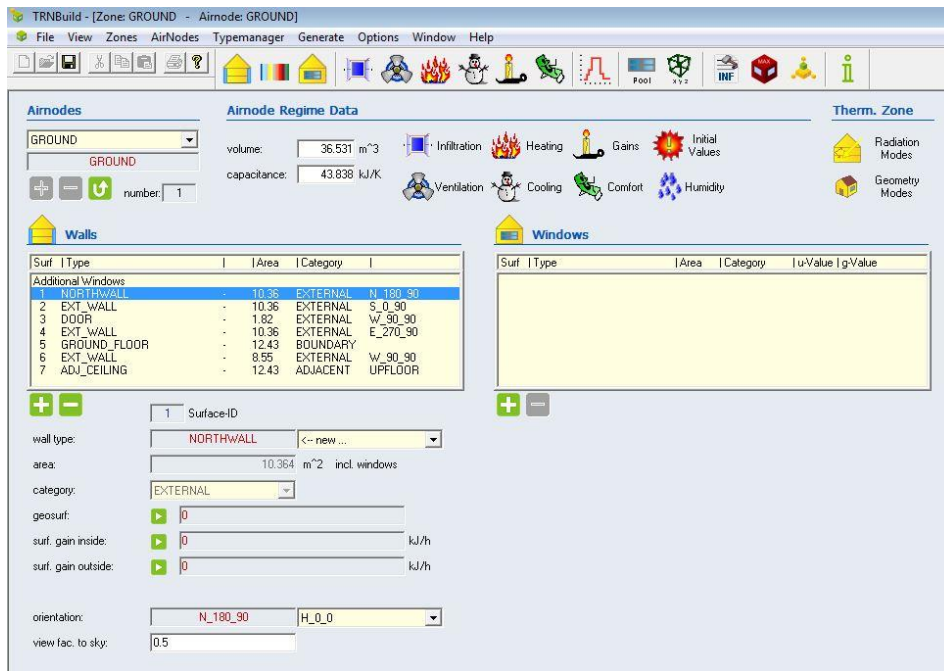


Εικόνα 7.18 : Παράθυρο μεταβλητών εξόδου.

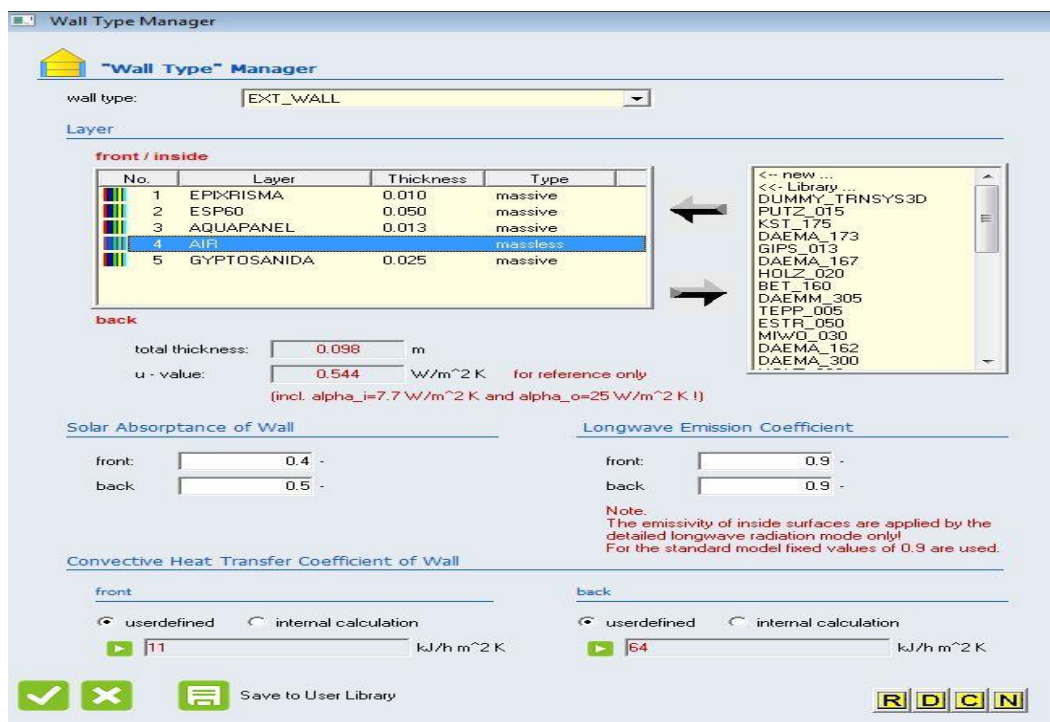
7.3.9 Παράθυρο Επεξεργασίας της Ζώνης (Zone Window)

Δεδομένα Τοίχων

Στα αριστερά του παραθύρου της θερμικής ζώνης (Zone), εισάγονται τα δεδομένα για τους τοίχους του κτιρίου. Αρχικά, επιλέγεται το είδος του τοίχου (έδαφος, οροφή, εξωτερικός, εσωτερικός ή παρακαίμενος σε άλλη ζώνη) από την επιλογή Wall type. Ακολούθως, προσδιορίζονται τα στρώματα κατασκευής του τοίχου καθώς επίσης και το πάχος του καθενός. Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μιας σειράς υλικών που «προτείνει» το TRNSYS. Φυσικά, υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού νέου υλικού από τον χρήστη, ορίζοντας τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού και το πάχος που καταλαμβάνει στον τοίχο. Επίσης, μπορεί να οριστεί ο συντελεστής θέασης του τοίχου από τον ουρανό, ο συντελεστής κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας (geosurf) και άλλα φορτία του τοίχου. Τέλος, οι διαστάσεις των τοίχων καθώς και ο προσανατολισμός τους εισήχθησαν αυτόματα κατά την εισαγωγή του Trnsys3d κτηρίου στο στούντιο προσομοίωσης.



Εικόνα 7.19 : Παράθυρο επεξεργασίας της θερμικής ζώνης.



Εικόνα 7.20 : Παράθυρο επεξεργασίας των τοίχων.

Δεδομένα Παραθύρων

Τα παράθυρα μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικούς τοίχους και σε τοίχους παρακείμενους σε άλλες ζώνες. Τα δεδομένα εισάγονται στο δεξί μέρος του

παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης, απ' όπου καθορίζονται η θέση, οι διαστάσεις, το είδος των παραθύρων και ο μηχανισμός σκίασης. Επίσης, καθορίζεται ο συντελεστής θέασης του παραθύρου από τον ουρανό, τυχόν επιπρόσθετα φορτία και τέλος ο προσανατολισμός στην περίπτωση παρακειμένων σε άλλη ζώνη τοίχων ο οποίος μπορεί να είναι ο προσανατολισμός της πρόσθιας ή της οπίσθιας επιφάνειας του τοίχου. Το είδος του παραθύρου επιλέγεται από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS η καθορίζεται εκ νέου από τον χρήστη.

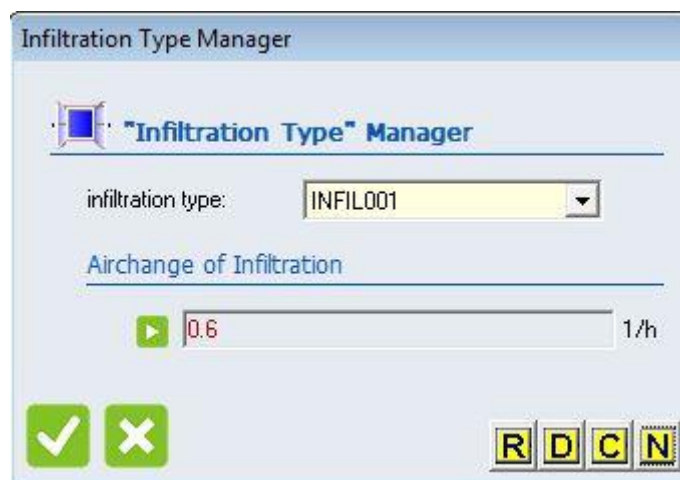
Σε αντίθεση με την περίπτωση των τοίχων, για την δημιουργία και επιλογή ενός νέου παραθύρου, που δεν υπάρχει στη βιβλιοθήκη του TRNSYS, είναι απαραίτητη η χρήση ενός επιπρόσθετου προγράμματος, όπως για παράδειγμα του WINDOW 7, το οποίο επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη.

Εικόνα 7.21 : Παραθύρο επεξεργασίας των παραθύρων.

Διείσδυση του αέρα

Η ροή του αέρα από έξω προς τα μέσα στη ζώνη μπορεί να καθοριστεί από την διείσδυση (Infiltration). Η επιλογή της διείσδυσης είναι προαιρετική και στην αρχική (default) ρύθμιση είναι ανενεργή. Επιλέγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο "Infiltration" στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή δημιουργείται

νέα. Για τον καθορισμό της μεθόδου απαιτείται ο ρυθμός εναλλαγών του αέρα, ο οποίος εισέρχεται με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.



Εικόνα 7.22 : Παράθυρο επεξεργασίας διείσδυσης του αέρα.

Αερισμός

Με την μέθοδο αυτή μπορεί να καθοριστεί η εισροή του αέρα από οποιαδήποτε πηγή (π.χ. από ένα κλιματιστικό). Ο προσδιορισμός της μεθόδου αερισμού είναι προαιρετικός και πραγματοποιείται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Ventilation” στο άνω μέρος του παραθύρου. Μπορεί να επιλεγεί μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή να οριστεί μια καινούρια. Για τον ορισμό μιας μεθόδου αερισμού εισάγεται ο ρυθμός εναλλαγής αέρα, καθώς και η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του εισερχόμενου αέρα.



Εικόνα 7.23 : Παράθυρο επεξεργασίας του αερισμού.

Θέρμανση

Η ενεργειακή απαίτηση μιας ζώνης σε θέρμανση εξαρτάται από την στρατηγική που θα επιλεγεί για τη θέρμανση της ζώνης, η οποία καθορίζεται από την μέθοδο που θα επιλέξει ο χρήστης. Αν ο εξοπλισμός θέρμανσης μοντελοποιείται εξωτερικά του μοντέλου 56 (type 56) τότε δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία αυτή, αλλά να οριστούν ως είσοδοι στο μοντέλο 56 η θερμοκρασία, η υγρασία και οι εναλλαγές του αέρα που υπολογίζονται από το μοντέλο του εξοπλισμού ή εναλλακτικά να οριστούν ως κέρδη της ζώνης η θερμοκρασία δια συναγωγής και ακτινοβολίας που παρέχεται από τον εξοπλισμό. Με τη μέθοδο θέρμανσης υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια στην περίπτωση ιδανικής λειτουργίας του εξοπλισμού.

Η επιλογή της μεθόδου θέρμανσης γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Heating” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που εμφανίζεται είτε επιλέγεται μια προϋπάρχουσα μέθοδος είτε δημιουργείται νέα επιλέγοντας “New”. Στην δεύτερη περίπτωση ο χρήστης εισάγει την επιθυμητή θερμοκρασία του δωματίου κάτω από την οποία λειτουργεί η θέρμανση στη ζώνη, τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί για θέρμανση μαζί με το ποσοστό αυτής που δίνεται με ακτινοβολία και τέλος αν επιθυμείται υγραποίηση του αέρα στη ζώνη. Στην περίπτωση που επιλεγεί η υγραποίηση του αέρα πρέπει να οριστεί η επιθυμητή σχετική υγρασία στη ζώνη.

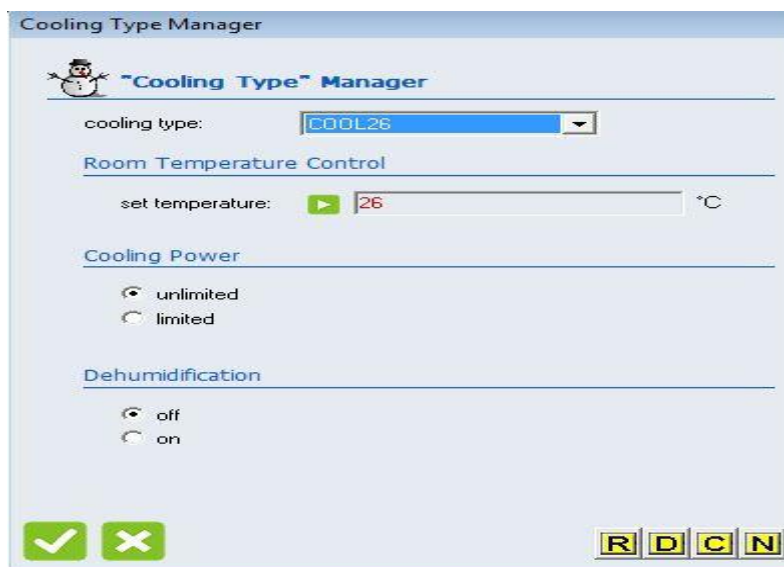
Συνήθως στην πραγματικότητα η θέρμανση δεν λειτουργεί ασταμάτητα. Για να είναι η προσομοίωση πιο πλκοντά στην πραγματικότητα πρέπει να ορισθεί ένα πρόγραμμα λειτουργίας. αυτό ορίζεται έμμεσα θέτοντας χρονοδιάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας της ζώνης σε κάθε χρονική στιγμή.



Εικόνα 7.24 : Παράθυρο επεξεργασίας του συστήματος θέρμανσης.

Ψύξη

Όπως και στη θέρμανση δίνεται η επιλογή εισαγωγής μεθόδου ψύξης της ζώνης. Η μέθοδος ψύξης εισάγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Cooling” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης και αφορά την ιδανική λειτουργία του εξοπλισμού. Όπως και πριν, έτσι και τώρα επιλέγεται μια προϋπάρχουσα μέθοδος ψύξης ή καθορίζεται νέα. Σε κάθε μέθοδο καθορίζεται η θερμοκρασία της ζώνης πάνω από την οποία λειτουργεί ο εξοπλισμός για την ψύξη του χώρου, η μέγιστη παρεχόμενη ισχύς για την ψύξη και επιλέγεται αν γίνεται ή όχι αφύγρανση του αέρα καθώς και η επιθυμητή σχετική υγρασία του χώρου στην περίπτωση που έχουμε αφύγρανση. Ο ορισμός χρονοδιαγράμματος λειτουργίας της συσκευής ψύξης καθορίζεται και πάλι έμμεσα μέσω χρονοδιαγράμματος για την επιθυμητή θερμοκρασία στη ζώνη.



Εικόνα 7.25 : Παράθυρο επεξεργασίας του συστήματος ψύξης.

Εσωτερικά φορτία

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού καθώς και κάθε άλλο φορτίο που ορίζεται από το χρήστη. Ο προσδιορισμός των φορτίων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Gains” στο άνω μέρος του παραθύρου. Το παράθυρο που εμφανίζεται είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να διευκολύνεται η εισαγωγή των φορτίων ανθρώπων, ηλεκτρονικών υπολογιστών, και φωτισμού. Για το φορτίο των ανθρώπων δίνεται πίνακας για την εργασία που εκτελούν τα άτομα στο χώρο με βάση τις προδιαγραφές ISO 7730 ή VDI 2078. Για τους υπολογιστές καθορίζεται από λίστα η ισχύς τους και το αν έχουν ή όχι έγχρωμη ή όχι οθόνη. Τέλος, για τον τεχνητό φωτισμό επιλέγεται από λίστα η εγκατεστημένη ισχύς σε Watt/m^2 και το είδος του λαμπτήρα μαζί με το μέρος της ισχύος που μεταδίδεται στον αέρα μέσω συναγωγής.



Εικόνα 7.26 : Παράθυρο επεξεργασίας των εσωτερικών φορτίων.

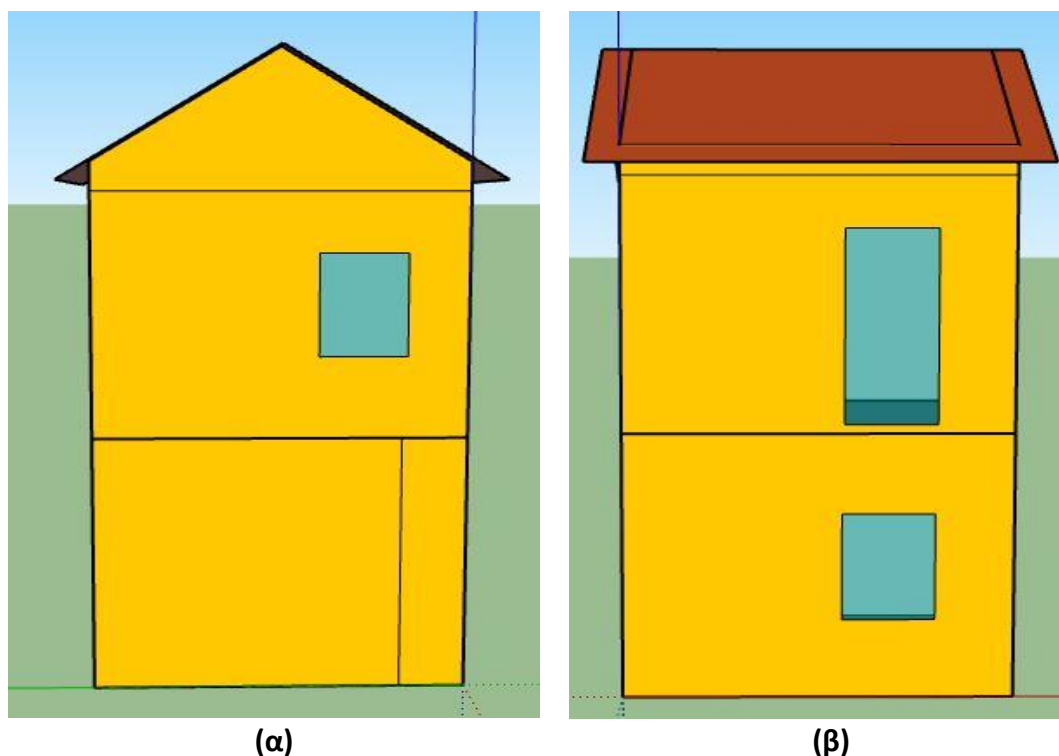
7.3.10 Οι εφαρμογές TRNSED και TRNEdit

Το πρόγραμμα TRNEdit είναι ένας εξειδικευμένος επεξεργαστής που χρησιμοποιείται για την τροποποίηση των αρχείων εισόδου του TRNSYS. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών, οι οποίες ονομάζονται TRNSED εφαρμογές. Υπάρχει η δυνατότητα ελεύθερης διανομής αυτών των εφαρμογών μεταξύ χρηστών που δεν έχουν άδεια χρήσης του TRNSYS, με σκοπό έχουν στη διάθεση τους ένα απλοποιημένο εργαλείο προσομοίωσης. Το πρόγραμμα TRNEdit παρέχεται με ένα κατάλληλο γραφικό περιβάλλον στο οποίο ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει το αρχείο εισόδου του TRNSYS εισάγοντας ειδικές εντολές, ώστε να προστεθούν στο πρόγραμμα που κατασκευάζεται στοιχεία όπως πολλαπλά παράθυρα και ενεργές εικόνες. Το περιβάλλον TRNEdit αποτελείται από δυο καρτέλες. Στην πρώτη φαίνεται ο κώδικας του αρχείου εισαγωγής και στην άλλη το γραφικό αποτέλεσμα που αποτελεί την TRNSED εφαρμογή.

Κεφάλαιο 8^ο – Προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κελύφους του Mockup

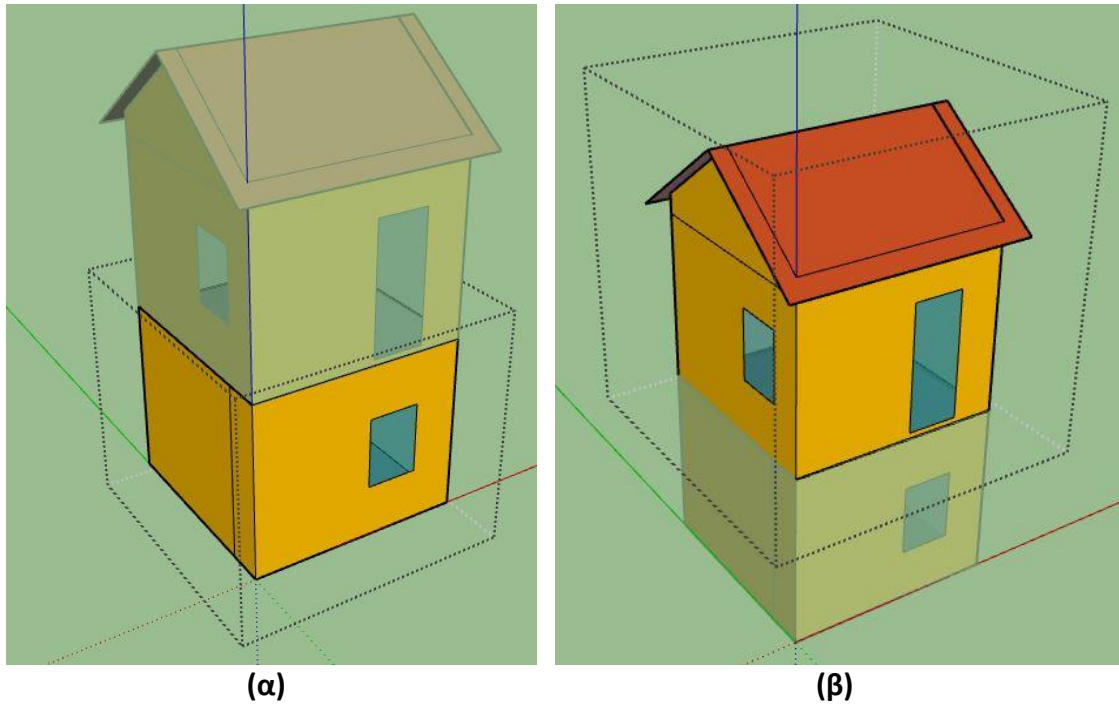
8.1 Μοντελοποίηση του Mockup

Για τη μοντελοποίηση του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο η εφαρμογή Google Sketch up (του οποίου ο τρόπος λειτουργίας έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 7). Η σχεδίαση του πραγματοποιήθηκε με βάση τις διαστάσεις των επιφανειών, όπως αυτές έχουν ήδη αναφερθεί. Στην **Εικόνα 8.1** παρουσιάζονται η νότια (πρόσοψη) και η δυτική πλευρά του Mockup.



Εικόνα 8.1: Απεικόνιση της **α)** νότιας (πρόσοψη) και της **β)** δυτικής όψης του κτιρίου στο Sketch up.

Για λόγους μελέτης, το κτίριο χωρίστηκε σε δύο θερμικές ζώνες. Η πρώτη θερμική ζώνη, που ονομάστηκε “Groundfloor”, περιλαμβάνει το ισόγειο ενώ η δεύτερη, με όνομα αναφοράς “Urfloor”, τον πρώτο όροφο, με τη δικλινή στέγη.



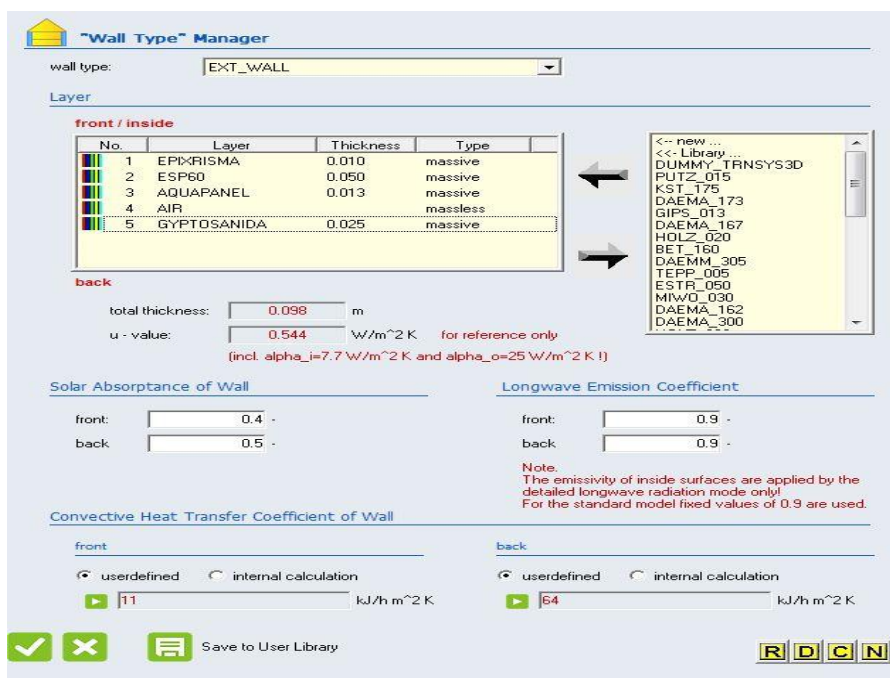
Εικόνα 8.2:α) Η θερμική ζώνη του ισόγειου και **β)** η θερμική ζώνη του πρώτου ορόφου με τη στέγη.

Το Google Sketch up δημιουργεί ένα αρχείο .trf το οποίο μπορεί να συνδεθεί με το Trnsys μέσω της επιλογής 3d Building (multizone). Μ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η διείσδυση πληροφοριών (διαστάσεις και κλίσεις των επιφανειών) του κτιρίου προς το στούντιο προσομοίωσης του Trnsys.

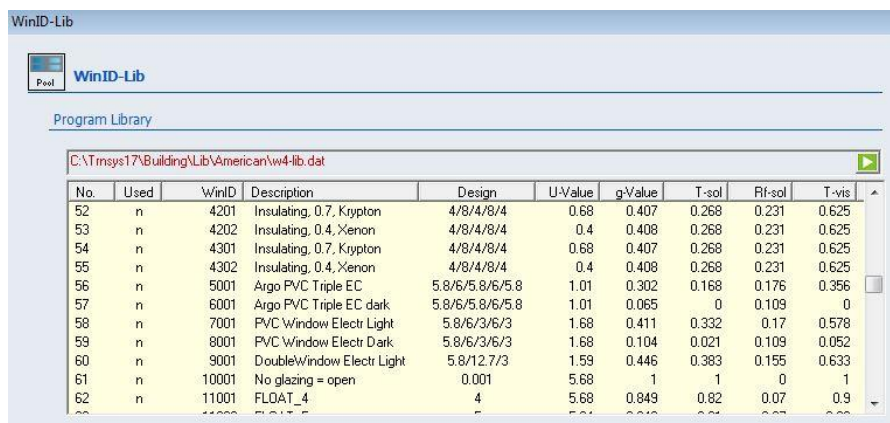
Στη συνέχεια, αφού το εικονίδιο Building έχει τοποθετηθεί στο στούντιο προσομοίωσης του Trnsys μπορεί να γίνει επεξεργασία των συνθηκών που επικρατούν στο κτίριο και των επιφανειών που το αποτελούν με τη βοήθεια της επιλογής "Edit Building". Κατά την επεξεργασία του κτιρίου ορίζονται τα δομικά υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένη η κάθε επιφάνεια του Mockup (εκτός των παραθύρων), περιγράφοντας την από την εξωτερική πλευρά προς την εσωτερική της (**Εικόνα 8.3**).

Η επιλογή των παραθύρων γίνεται από την αντίστοιχη λίστα του Trnsys. Η λίστα αυτή περιέχει διαφόρων ειδών παράθυρα (για παράδειγμα παράθυρα με μονό υαλοπίνακα, με διπλό υαλοπίνακα και αέρα ή αργό στο διάκενο). Ωστόσο, τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα που μελετιούνται στην παρούσα εργασία δεν περιέχονται στη λίστα και γι' αυτό προστίθενται σ' αυτή με τη βοήθεια της εφαρμογής Windows. Με την εφαρμογή Windows επιλέγονται δύο ηλεκτροχρωμικά παράθυρα, με τριπλούς υαλοπίνακες και αργό ως αέριο στο διάκενο τους, από τα οποία το ένα αντιπροσωπεύει την ανοιχτόχρωμη επιφάνεια των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων (και των αντίστοιχων ιδιοτήτων τους) και το δεύτερο αντιστοιχεί στη σκούρα επιφάνεια των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων. Έπειτα από τον

προσδιορισμό τους τα παράθυρα προστίθενται στη λίστα παραθύρων του Trnsys (Εικόνα 8.4). Ο τρόπος με τον οποίο θα αξιοποιηθούν αυτά τα δύο παράθυρα ώστε να προσομοιωθεί η λειτουργία των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων θα αναφερθούν παρακάτω.



Εικόνα 8.3 : Επεξεργασία των δομικών υλικών των επιφανειών.



Εικόνα 8.4 : Επεξεργασία των παραθύρων.

Πέραν από την περιγραφή των επιφανειών του κτιρίου ορίζονται για κάθε θερμική ζώνη το σύστημα θέρμανσης και ψύξης, ο αερισμός της ζώνης και της διείσδυσης του αέρα. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγεται η θέρμανση της θερμικής ζώνης να ενεργοποιείται όταν η θερμοκρασία του αέρα του χώρου γίνεται μικρότερη από 21°C (Εικόνα 8.5) και η ψύξη της θερμικής ζώνης να ενεργοποιείται όταν η θερμοκρασία του αέρα του χώρου γίνεται μεγαλύτερη από 26°C (Εικόνα 8.6). Στην

καρτέλα της διεύθυνσης του αέρα καθορίστηκε πως ο ρυθμός εναλλαγών του αέρα είναι 0.4/h (Εικόνα 8.7).

Heating Type Manager

"Heating Type" Manager

heating type: HEAT21

Room Temperature Control

set temperature: 21 °C

Heating Power

unlimited
 limited

radiative part: 0.5 % / 100

Humidification

off
 on

R D C N

Εικόνα 8.5 : Σύστημα θέρμανσης κάθε θερμικής ζώνης.

Cooling Type Manager

"Cooling Type" Manager

cooling type: COOL26

Room Temperature Control

set temperature: 26 °C

Cooling Power

unlimited
 limited

Dehumidification

off
 on

R D C N

Εικόνα 8.6 : Σύστημα ψύξης κάθε θερμικής ζώνης



Εικόνα 8.7 : Ρύθμιση της διείσδυσης του αέρα κάθε θερμικής ζώνης.

Επόμενο στάδιο της μελέτης, είναι η ρύθμιση του αερισμού του χώρου. Για το σκοπό αυτό, θα χρησιμοποιηθεί το εικονίδιο Ventilation type manager. Οι παράμετροι που πρέπει να οριστούν εδώ για να τεθεί σε λειτουργία το σύστημα αερισμού, είναι ο αριθμός των εναλλαγών αέρα, η παροχή και η θερμοκρασία του αέρα από το σύστημα αερισμού. Ο αριθμός των εναλλαγών /ώρα υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{\text{εναλλαγές}}{h} = \frac{\dot{V} [m^3/h]}{V [m^3]} = \frac{\dot{m}}{V} = \frac{\dot{m}}{V \cdot \rho} \quad (8.1)$$

όπου,

\dot{m} :η παροχή του αέρα από το σύστημα αερισμού

ρ :η πυκνότητα του αέρα που είναι ίση με 1.19 kg/m³

V :ο όγκος του χώρου κάθε θερμικής ζώνης

Επομένως, δημιουργούνται δύο κατηγορίες εναλλαγών αέρα (μία για κάθε θερμική ζώνη) οι οποίες παρουσιάζονται στις **Εικόνες 8.8 και 8.9** .



Εικόνα 8.8 : Ρύθμιση του αερισμού της θερμικής ζώνης του ισογείου.



Εικόνα 8.9 : Ρύθμιση του αερισμού της θερμικής ζώνης του πρώτου ορόφου.

8.2 Προσομοίωση των υαλοπινάκων και των τοίχων του Mockup

Στο τμήμα αυτό της μελέτης θα εξεταστεί η επίδραση που έχουν οι υαλοπίνακες στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου, δηλαδή το πώς επηρεάζει η αλλαγή του υαλοπίνακα τη θερμική άνεση και θα συμπληρωθεί με την σύνδεση τους με την χρήση του VIP υλικού στον βόριο τοίχο.

Για την επίτευξη αυτών των αποτελεσμάτων υπολογίζεται η ποσότητα της ακτινοβολίας που διεισδύει μέσα στον χώρο του κτιρίου δια μέσου του υαλοπίνακα (Σχέση 8.3) καθώς και το ποσό της θερμότητας που εισέρχεται στον χώρο λόγω της

απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από τους υαλοπίνακες (Σχέση 8.2). Ο υπολογισμός των ποσοτήτων αυτών γίνεται με την βοήθεια των παρακάτω εξισώσεων [46]:

$$Q_a = \frac{U}{h_o} \cdot I_a \quad (8.2)$$

Όπου:

Q_a : το θερμικό κέρδος του χώρου λόγω της απορροφουμένης ηλιακής ακτινοβολίας από των υαλοπινάκων σε W/m^2 ,

U/h_o : το κλάσμα της απορροφουμένης ηλιακής ακτινοβολίας που αποδίδεται προς τον εσωτερικό χώρο, ενώ το U είναι η ολική θερμική διαπερατότητα του υαλοπίνακα σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$ και το h_o ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εξωτερικής επιφάνειας του υαλοπίνακα σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$,

I_a : η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφά ο υαλοπίνακας σε W/m^2

$$Q_t = \left(g - \frac{U}{h_o} \right) \cdot I_t \quad (8.3)$$

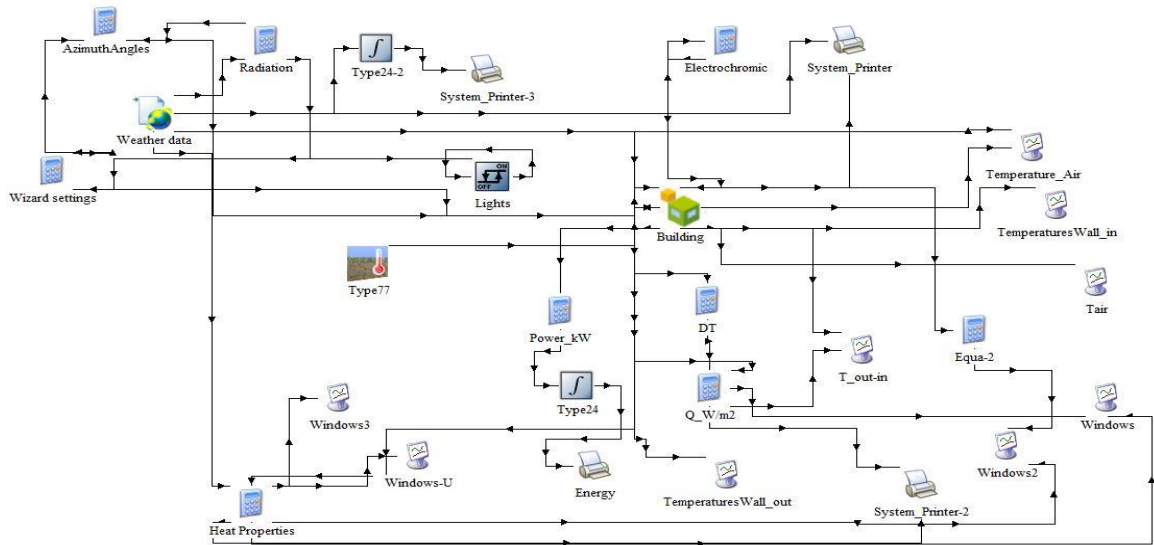
Όπου:

Q_t : το θερμικό κέρδος του χώρου λόγω της διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του υαλοπίνακα σε W/m^2 ,

g : ο συντελεστής του ηλιακού θερμικού κέρδους του υαλοπίνακα,

I_t : η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον υαλοπίνακα

Στην **Εικόνα 8.10** παρουσιάζεται η επιφάνεια του στούντιο προσομοίωσης Trnsys για τον υπολογισμό των θερμοκρασιών, των θερμορροών του κτιρίου.



Εικόνα 8.10 :Simulation Studio για την μελέτη των θερμικών χαρακτηριστικών των δομικών υλικών του Mockup.

8.2.1 Περίπτωση 1: Τοιχοποιία του Mockup χωρίς VIPs

Στην Περίπτωση 1 θεωρείται ότι οι τοίχοι του κτιρίου είναι κατασκευασμένοι με την ίδια δομή, δηλαδή χωρίς τη χρήση VIP.

Παρακάτω παρουσιάζεται η μελέτη και η μοντελοποίηση του Mockup με παράθυρα με: **α)** τριπλό υαλοπίνακα με αέρα, **β)** τριπλό υαλοπίνακα με αργό και **γ)** με ηλεκτροχρωμικό υαλοπίνακα με αργό. Έτσι, είναι δυνατόν να παρατηρηθούν τα ποσά διείσδυσης της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του χώρου (λόγω των υαλοπινάκων) και τα ποσά απορρόφησης της από τους υαλοπίνακες σε σχέση με τη συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στο παράθυρο καθώς επίσης και τη μεταβολή της θερμοκρασίας του χώρου λόγω όσων αναφέρθηκαν.

➤ Παράθυρο με τριπλό υαλοπίνακα με αέρα

Σε αυτή την περίπτωση θεωρείται ότι το κτίριο αποτελείται από παράθυρα με τριπλούς υαλοπίνακες με αέρα να πληρώνει το διάκενο τους. Για να επιτευχθεί αυτή η προσομοίωση επιλέγεται από τη λίστα παραθύρων του Trnsys ο κωδικός που αντιστοιχεί στο παράθυρο με τριπλό υαλοπίνακα και με αέρα στο διάκενο τους.

➤ Παράθυρο με τριπλό υαλοπίνακα με αργό

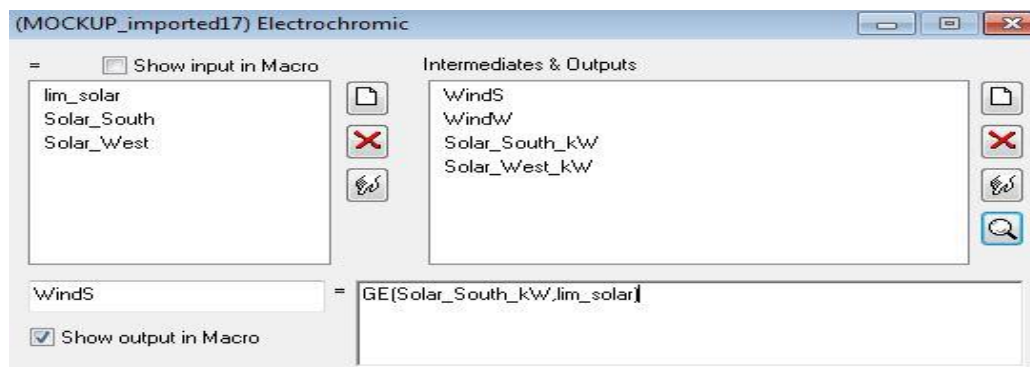
Όπως και στα προηγούμενα μοντέλα έτσι και εδώ θα επιλεγεί από τη λίστα παραθύρων του Trnsys ο κωδικός για το παράθυρο με τριπλό υαλοπίνακα και με αργό ως πληρωτικό αέριο των διακένων.

➤ Παράθυρο με ηλεκτροχρωμικό υαλοπίνακα με αργό

Για τη μοντελοποίηση των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων θα πρέπει ο κωδικός που εισάγεται στην καρτέλα επεξεργασίας των παραθύρων να μεταβάλλεται μεταξύ δύο παραθύρων, της σκουρόχρωμης και της ανοιχτόχρωμης επιφάνειας των ηλεκτροχρωμικών. Γι' αυτό το λόγο, στην υποδοχή του κωδικού ονόματος των παραθύρων θα εισαχθεί μια συνάρτηση (**Εικόνα 8.11**). Η συνάρτηση αυτή περιέχει μια λογική μεταβλητή η οποία εισάγεται στο μοντέλο του κτιρίου μέσω του εικονιδίου των εξισώσεων "Electrochromic" (**Εικόνα 8.12**). Η τιμή της μεταβλητής γίνεται 1 όταν η προσπίπτουσα στο παράθυρο ηλιακή ακτινοβολία, για τους μήνες Απρίλιος έως Νοέμβριος, υπερβαίνει την οριακή τιμή ($480\text{W}/\text{m}^2$) που έχει ορισθεί και συνεπώς η επιφάνεια του υαλοπίνακα θα πρέπει να αποκτήσει σκούρο χρώμα, ενώ σε αντίθετη περίπτωση η τιμή είναι 0 και το παράθυρο λαμβάνει ανοιχτόχρωμη επιφάνεια. Εν κατακλείδι, με αυτόν τον τρόπο στην καρτέλα των παραθύρων του TRnsys καταχωρείται ο κωδικός του κατάλληλου ηλεκτροχρωμικού παραθύρου ανάλογα με την τιμή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και οι μεταβολές που προκαλούνται από αυτή την εναλλαγή παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα. Θα πρέπει, επίσης, να επισημανθεί πως στο μοντέλο του κτιρίου εισάγονται δύο λογικές μεταβλητές, η μία για το δυτικό παράθυρο και η άλλη για τα νότια παράθυρα.



Εικόνα 8.11 : Η συνάρτηση για την εισαγωγή των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων.



Εικόνα 8.12 : Η εξίσωση της λογικής μεταβλητής εισόδου του κτιρίου για τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα.

8.2.2 Περίπτωση 2: Χρήση VIP στον βόριο τοίχο του Mockup και ηλεκτροχρωμικών παραθύρων

Στην Περίπτωση 2, για τη δομή του βόριου τοίχου του Mockup χρησιμοποιείται το υλικό VIP, όπως έχει αναλυθεί στο Κεφάλαιο 6. Επίσης, τα παράθυρα είναι κατασκευασμένα από ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες με πληρωτικό υλικό το αργό.

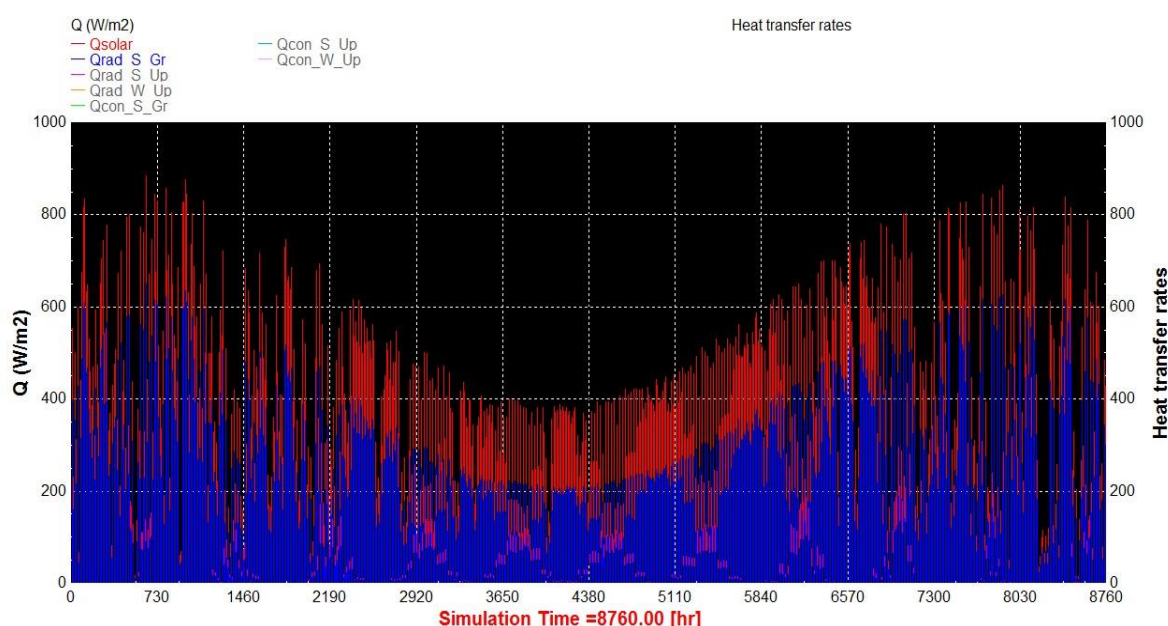
Στο σημείο αυτό της μελέτης εξετάζεται η μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας των θερμαινόμενων χώρων.

8.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

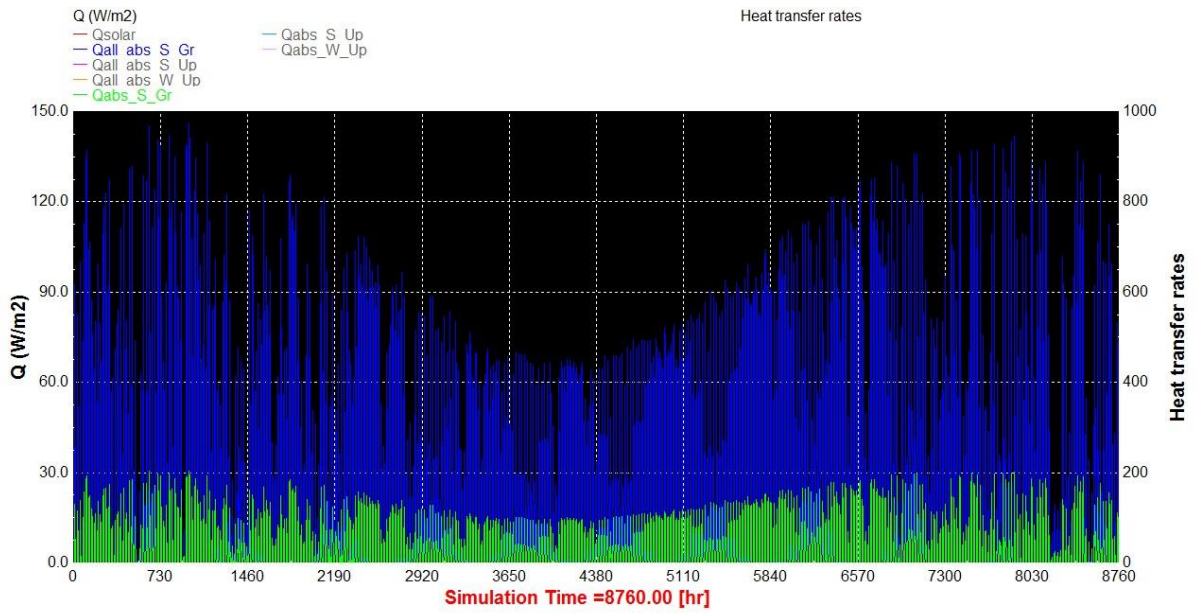
Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα διαγραμματικά αποτελέσματα της προσομοίωσης ως προς τη θερμική συμπεριφορά του κελύφους του κτιρίου προσομοίωσης (Mockup) καθώς επίσης αναφέρονται και σχολιάζονται τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται για την θερμική άνεση του κτιρίου, για την κάθε περίπτωση που αναφέρθηκε παραπάνω.

8.3.1 Περίπτωση 1: Τοιχοποιία του Mockup χωρίς VIPs

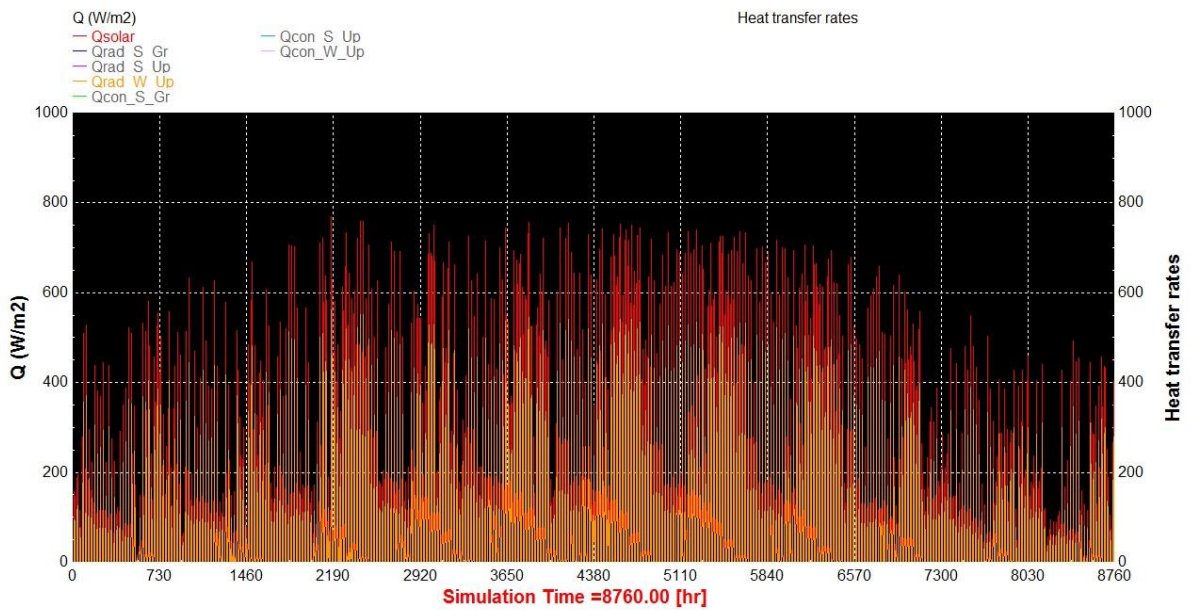
- Παράθυρο με τριπλό υαλοπίνακα με αέρα



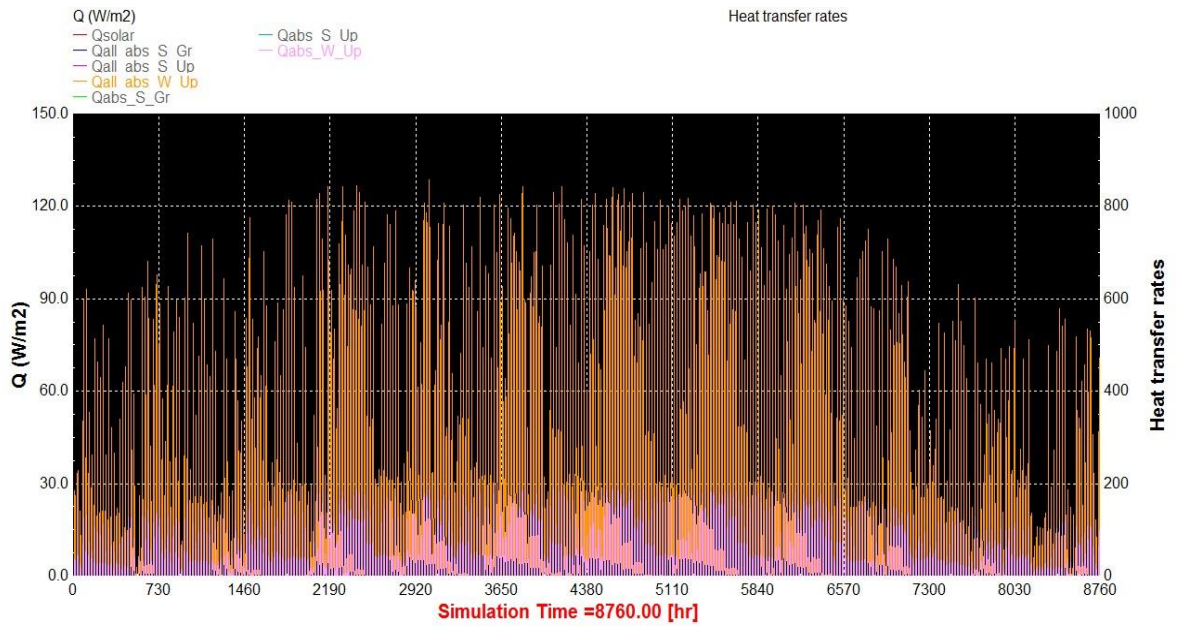
Διάγραμμα 8.1 : Η ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από τον υαλοπίνακα του νοτίου παραθύρου του ισογείου σε σύγκριση με την ακτινοβολία που προσπίπτει σ' αυτό.



Διάγραμμα 8.2 : Η απορροφημένη ηλιακή ακτινοβολία από τον νότιο υαλοπίνακα του ισογείου και η ροή αυτή που τελικά εισέρχεται στην αντίστοιχη θερμική ζώνη, για την περίοδο ενός έτους.

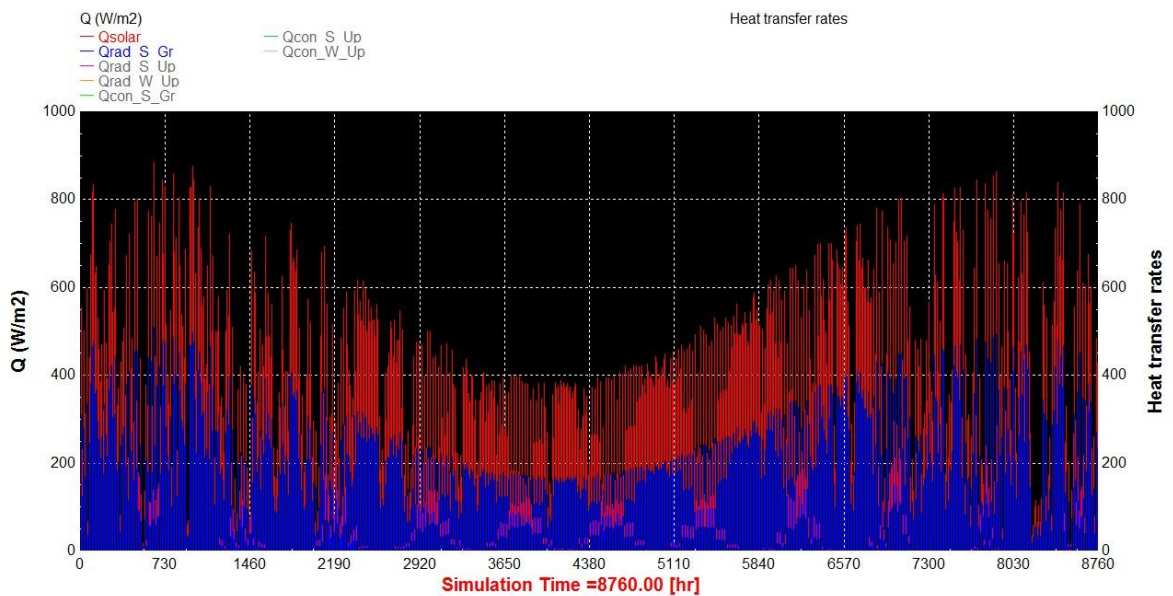


Διάγραμμα 8.3 : Η ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από τον υαλοπίνακα του δυτικού παραθύρου του πρώτου ορόφου σε σύγκριση με την ακτινοβολία που προσπίπτει σ' αυτό.

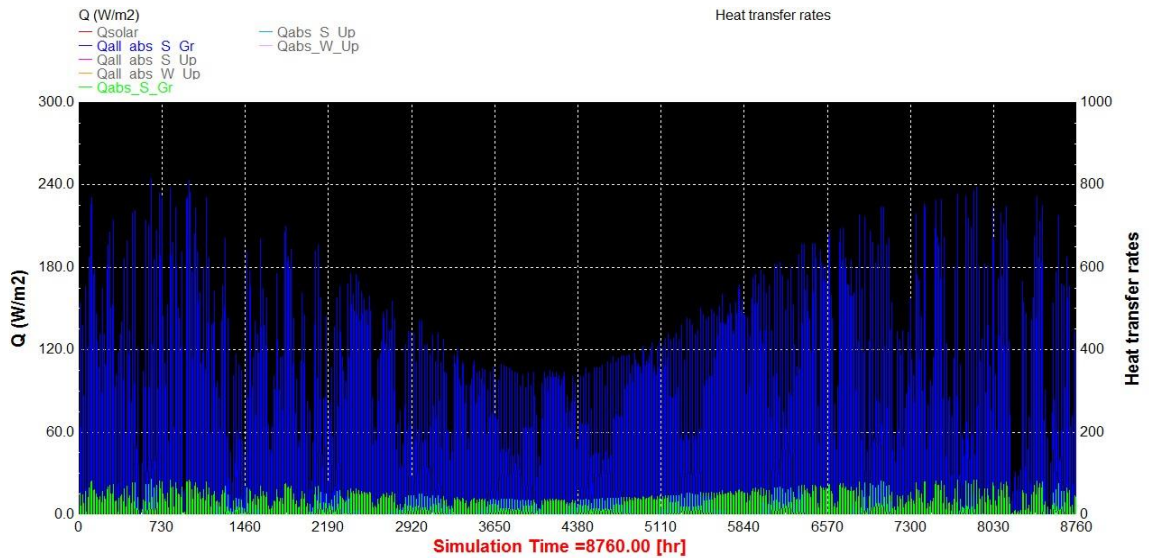


Διάγραμμα 8.4 : Η απορροφημένη ηλιακή ακτινοβολία από τον δυτικό υαλοπίνακα του πρώτου ορόφου και η ροή αυτής που τελικά εισέρχεται στην αντίστοιχη θερμική ζώνη, για την περίοδο ενός έτους.

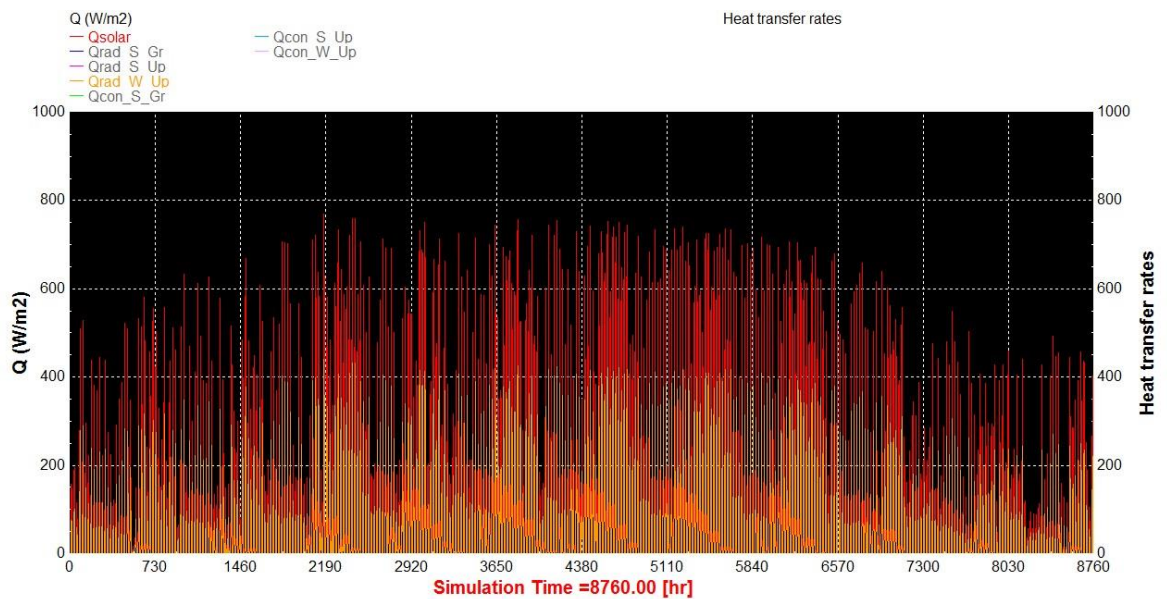
➤ Παράθυρο με τριπλό υαλοπίνακα με αργό



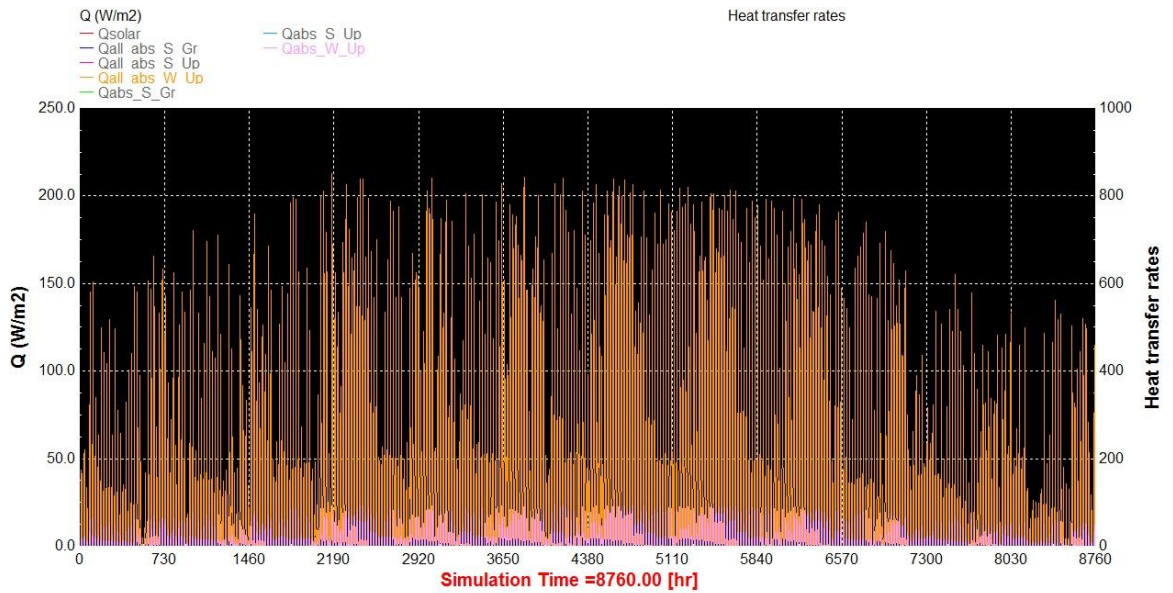
Διάγραμμα 8.5 : Η ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από τον υαλοπίνακα του νοτιού παραθύρου του ισογείου σε σύγκριση με την ακτινοβολία που προσπίπτει σ' αυτό, για την περίοδο ενός χρόνου.



Διάγραμμα 8.6 : Η απορροφημένη ηλιακή ακτινοβολία από τον νότιο υαλοπίνακα του ισογείου και η ροή αυτή που τελικά εισέρχεται στην αντίστοιχη θερμική ζώνη, για την περίοδο ενός έτους.



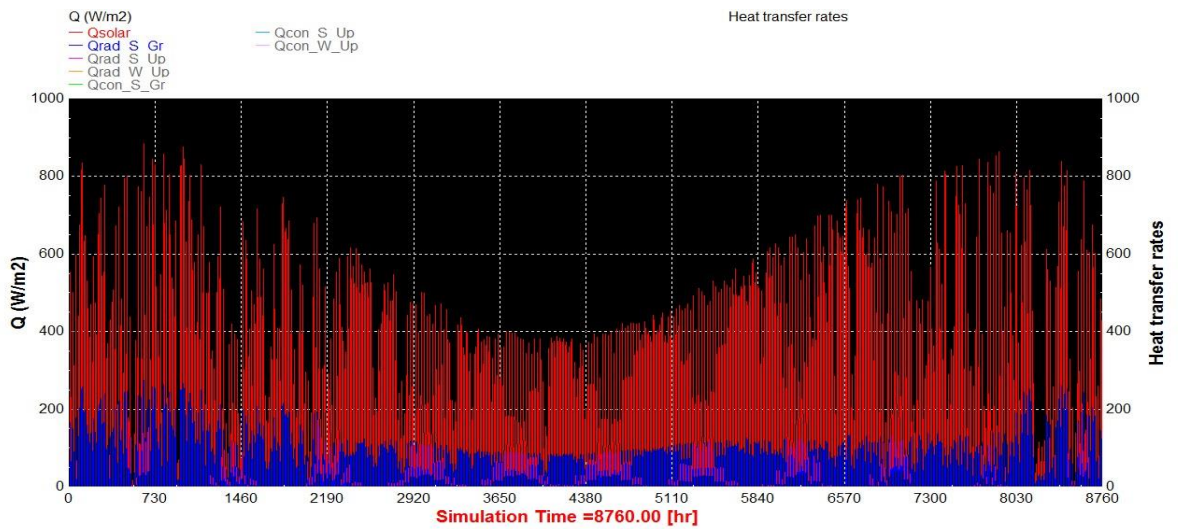
Διάγραμμα 8.7 : Η ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από τον υαλοπίνακα του δυτικού παραθύρου του πρώτου ορόφου σε σύγκριση με την ακτινοβολία που προσπίπτει σ' αυτό, για την περίοδο ενός χρόνου.



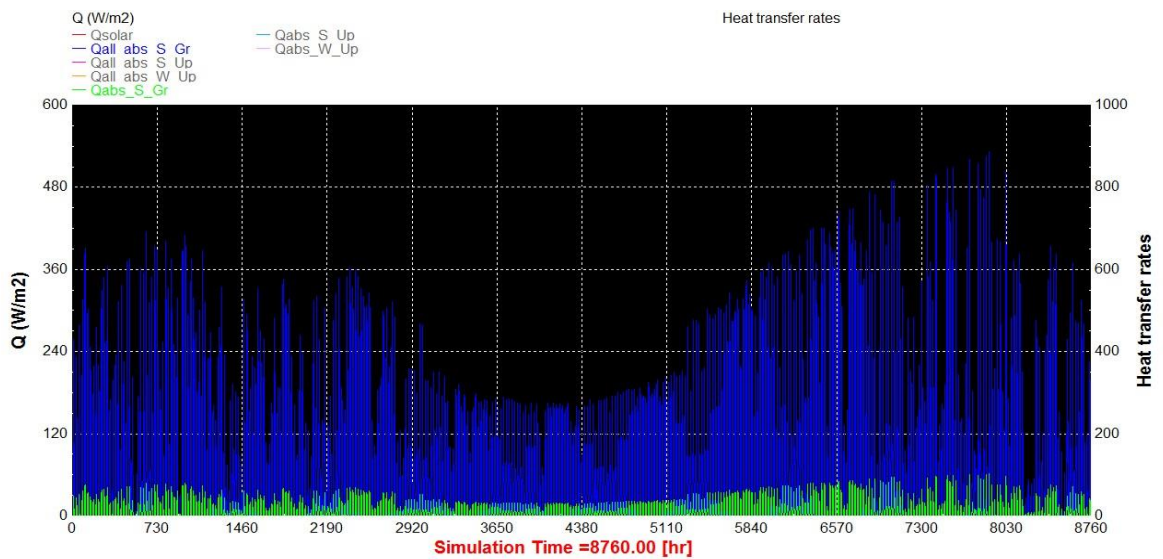
Διάγραμμα 8.9 : Η απορροφημένη ηλιακή ακτινοβολία από τον δυτικό υαλοπίνακα του πρώτου ορόφου και η ροή αυτής που τελικά εισέρχεται στην αντίστοιχη θερμική ζώνη, για την περίοδο ενός έτους.

Με την χρήση ενός αδρανές αερίου (αργό) ως πληρωτικό αέριο επιτυγχάνονται υψηλότερες θερμομονωτικές ιδιότητες και παράλληλα η διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας και η ροή θερμότητας λόγω της απορρόφησης μειώνονται, όπως φαίνεται στα **Διαγράμματα 8.5 – 8.9**, σε σύγκριση με την περίπτωση που στα διάκενα υπήρχε αέρας. Μάλιστα, παρατηρείται πως η ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται μέσω του υαλοπίνακα και καταλήγει στον εσωτερικό χώρο είναι η μισή από αυτή που προσπίπτει στον υαλοπίνακα.

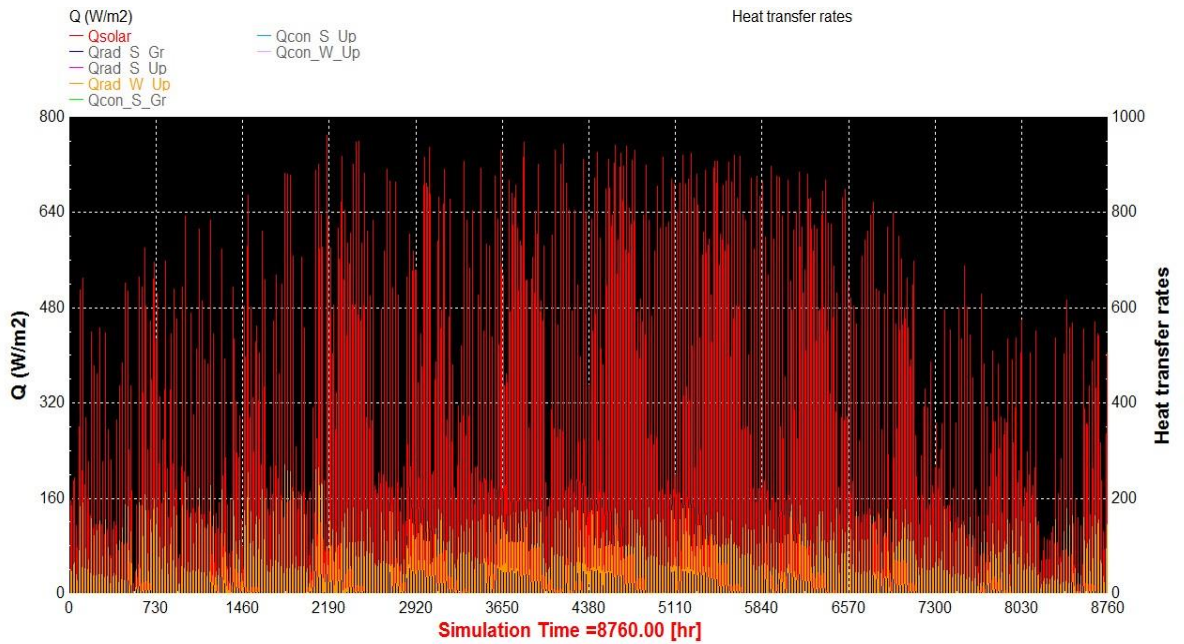
➤ Παράθυρο με ηλεκτροχρωμικό υαλοπίνακα με αργό



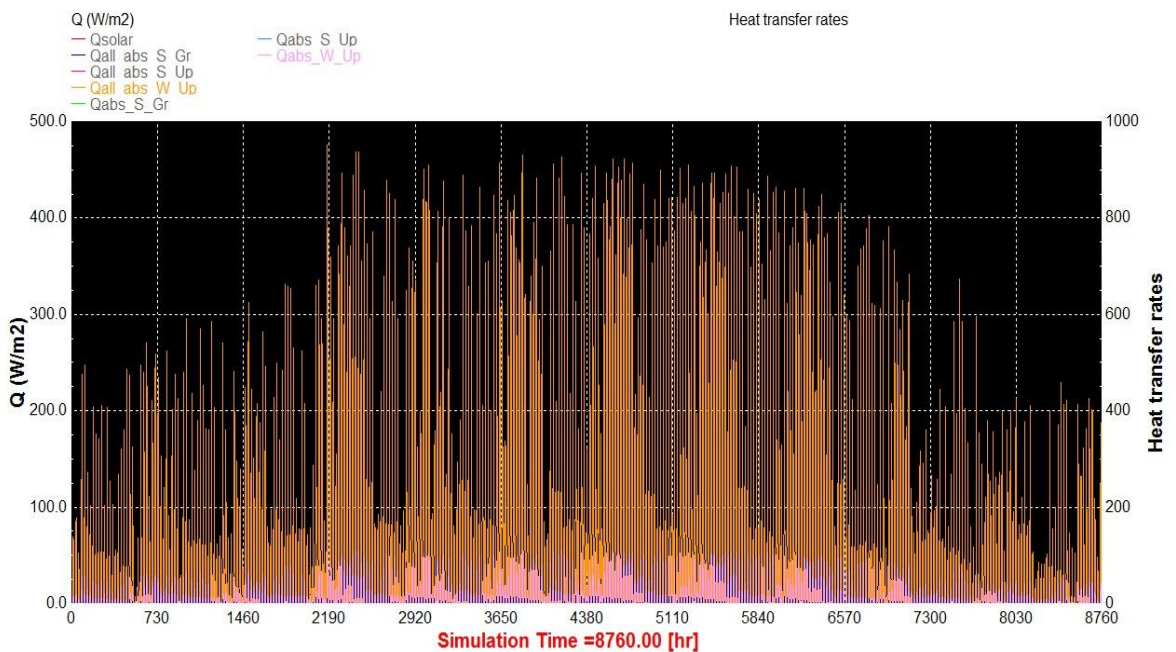
Διάγραμμα 8.10 : Η ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από τον υαλοπίνακα του νοτίου παραθύρου του ισογείου σε σύγκριση με την ακτινοβολία που προσπίπτει σ' αυτό, για την περίοδο ενός χρόνου.



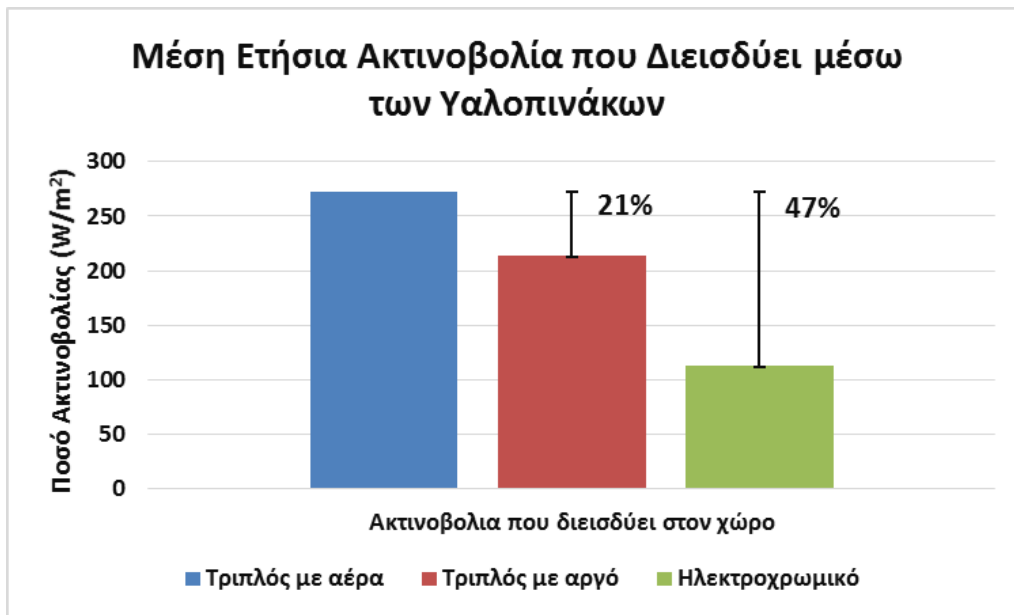
Διάγραμμα 8.11 : Η απορροφημένη ηλιακή ακτινοβολία από τον νότιο υαλοπίνακα του ισογείου και η ροή αυτής που τελικά εισέρχεται στην αντίστοιχη θερμική ζώνη, για την περίοδο ενός έτους.



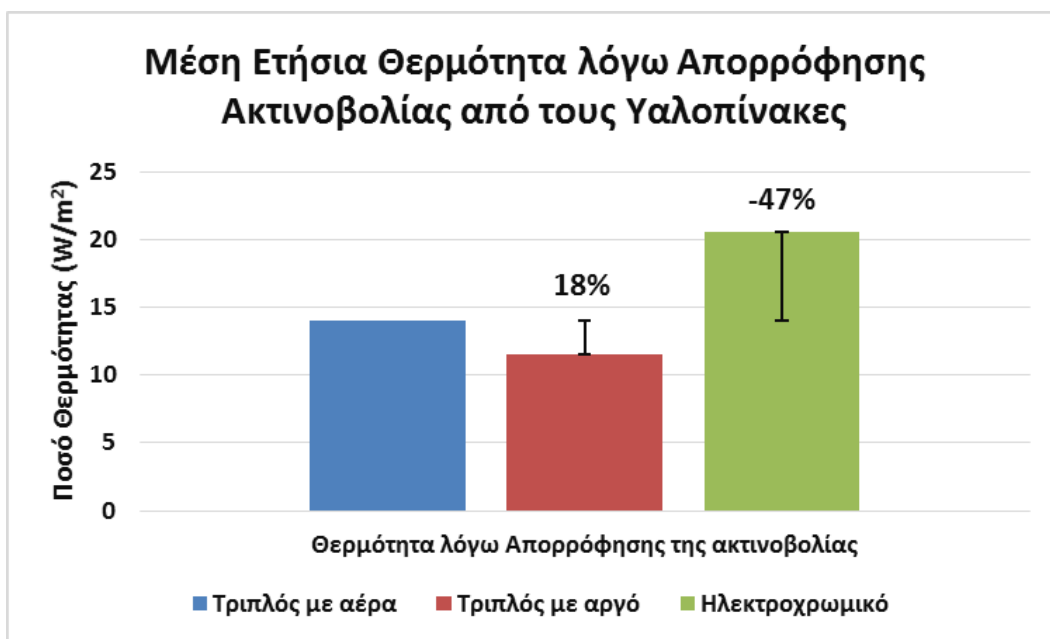
Διάγραμμα 8.12 : Η ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από τον υαλοπίνακα του δυτικού παραθύρου του πρώτου ορόφου σε σύγκριση με την ακτινοβολία που προσπίπτει σ' αυτό, για την περίοδο ενός χρόνου.



Διάγραμμα 8.13 : Η απορροφημένη ηλιακή ακτινοβολία από τον δυτικό υαλοπίνακα του πρώτου ορόφου και η ροή αυτής που τελικά εισέρχεται στην αντίστοιχη θερμική ζώνη, για την περίοδο ενός έτους.



Διάγραμμα 8.14 : Ραβδόγραμμα της θερμότητας που εισέρχεται στον χώρο μέσω της ηλιακής ακτινοβολία από τους υαλοπίνακες.

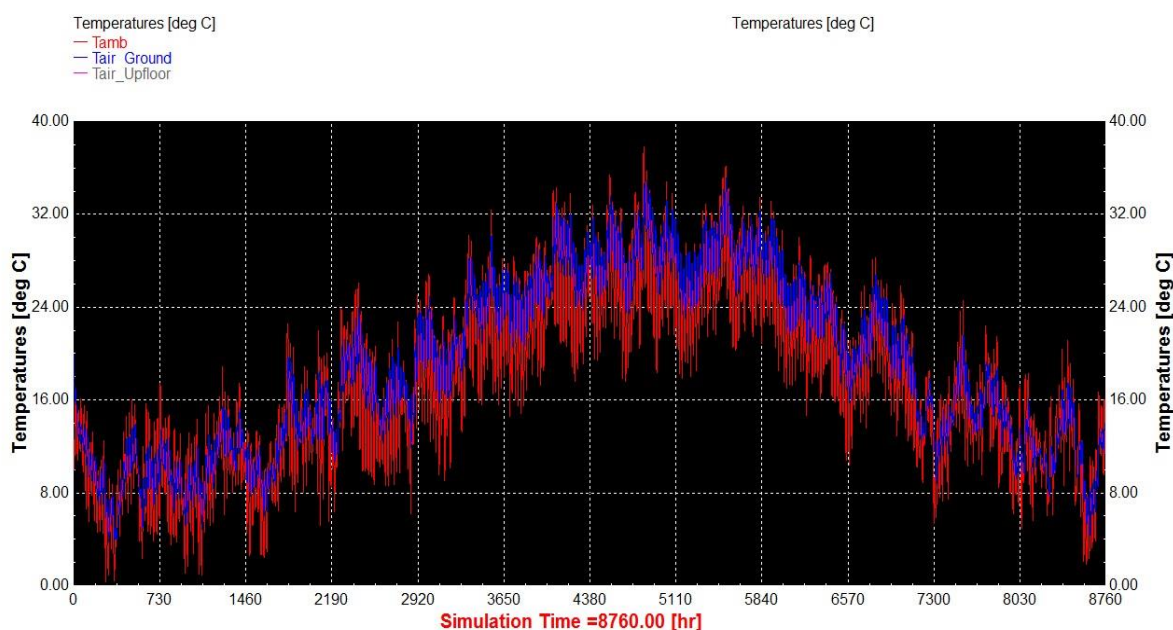


Διάγραμμα 8.15 : Ραβδόγραμμα της θερμότητας που εισέρχεται στον χώρο λόγω απορρόφησης της ηλιακή ακτινοβολίας από τους υαλοπίνακες.

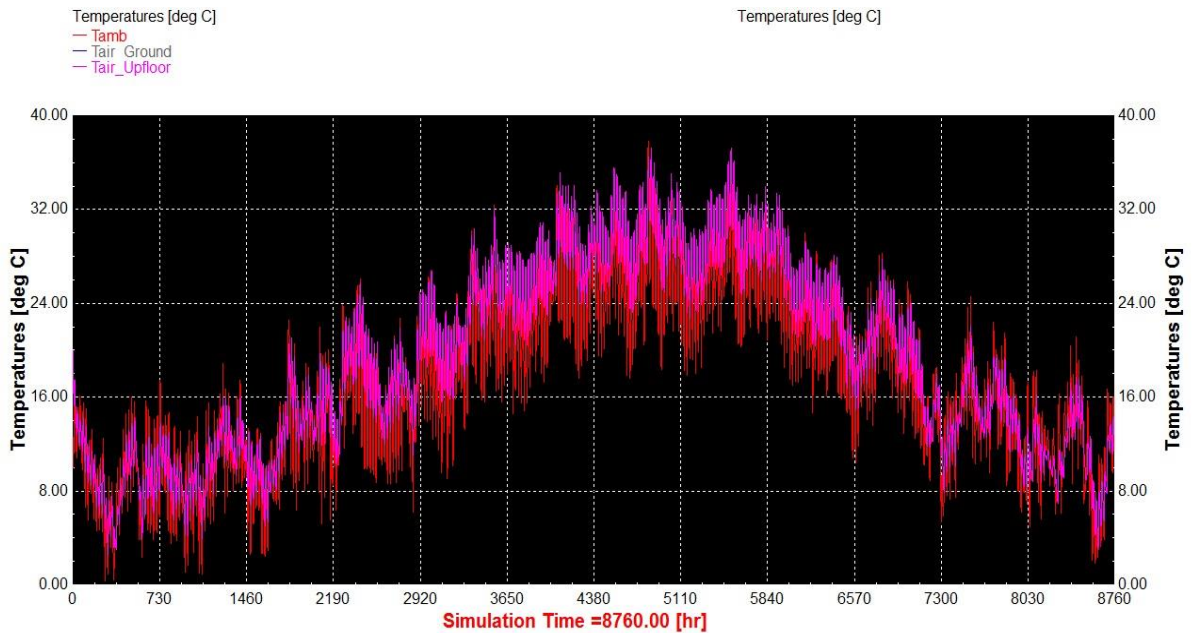
Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνεται ότι ο ηλεκτροχρωμικός υαλοπίνακας παρουσιάζει κάποιες βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Συγκεκριμένα, παρατηρείται πως μόνο ένα μικρό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον ηλεκτροχρωμικό υαλοπίνακα, όταν αυτό είναι χρωματισμένο, καταφέρνει να διεισδύσει στο εσωτερικό της θερμικής

ζώνης. Αλλά και τον χειμώνα που οι υαλοπίνακες είναι μη χρωματισμένοι η ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται στον χώρο είναι μικρότερη σε σύγκριση με αυτή που περνάει με την εφαρμογή των άλλων τύπων υαλοπινάκων. Παρά, όμως, την καλή απόδοση που έχει το ηλεκτροχρωμικό στην εμπόδιση της ακτινοβολίας να εισέλθει στο χώρο, η ποσότητα της θερμότητας που επιτρέπει ο υαλοπίνακας να περάσει λόγω της απορρόφησης είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ροή θερμότητας των προηγούμενων περιπτώσεων που εξετάστηκαν. Η αύξηση αυτή της απορροφητικότητας του υαλοπίνακα οφείλεται στο ηλεκτροχρωμικό υμένιο, το οποίο όταν βρίσκεται στη χρωματισμένη του κατάσταση απορροφά σημαντικό ποσοστό της υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας και με αυτόν τον τρόπο θερμαίνεται με αποτέλεσμα ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα να αυξηθεί σημαντικά.

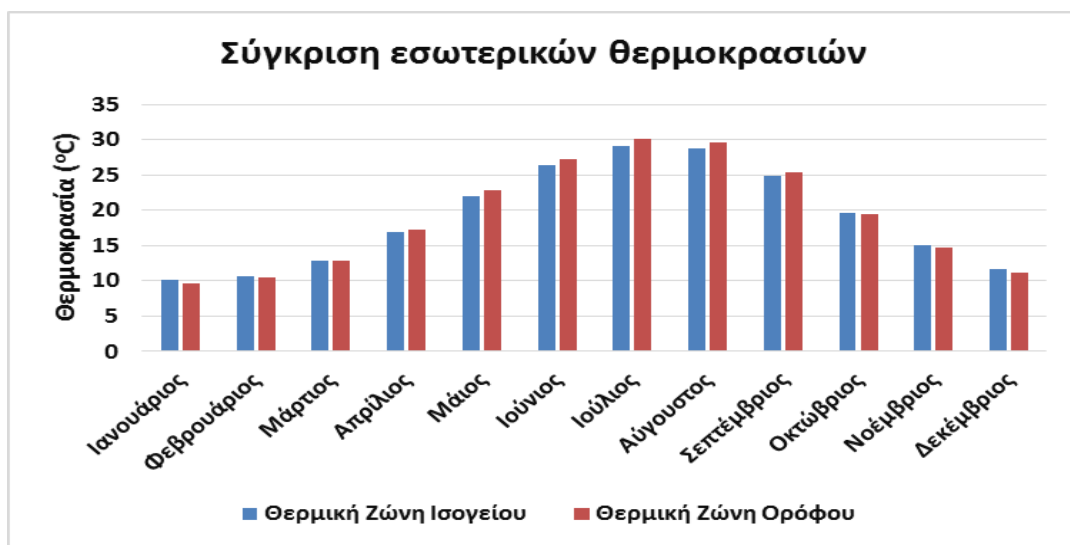
Για την περίπτωση που τα παράθυρα του Μοσκύρ αποτελούνται από ηλεκτροχρωμικό υαλοπίνακα εξετάζονται και παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα η θερμοκρασία και η υγρασία της κάθε θερμικής ζώνης. Επίσης, ερευνάται η μεταβολή της εξωτερικής και της εσωτερικής θερμοκρασίας και η θερμοροή του βόρειου τοίχου κάθε θερμικής ζώνης, η δομή του οποίου δεν περιέχει υλικό VIP.



Διάγραμμα 8.16 : Η ετήσια μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας της θερμικής ζώνης του ισογείου σε σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία, για την περίοδο ενός έτους.



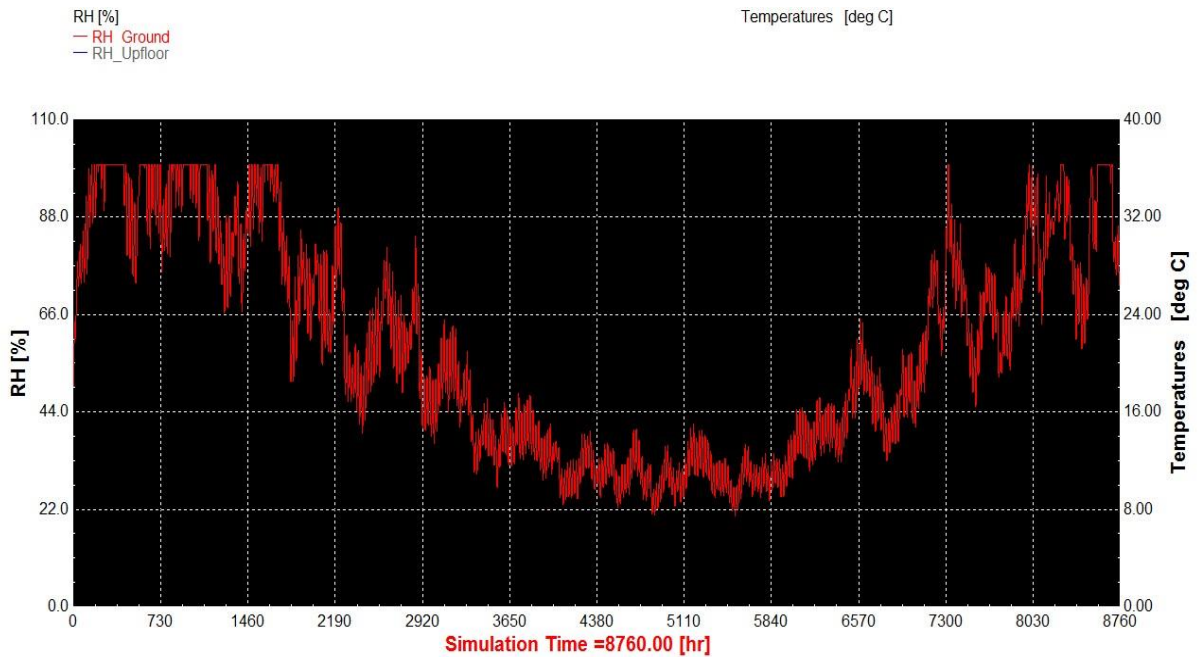
Διάγραμμα 8.17 : Η ετήσια μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας της θερμικής ζώνης του πρώτου ορόφου σε σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία, για την περίοδο ενός έτους.



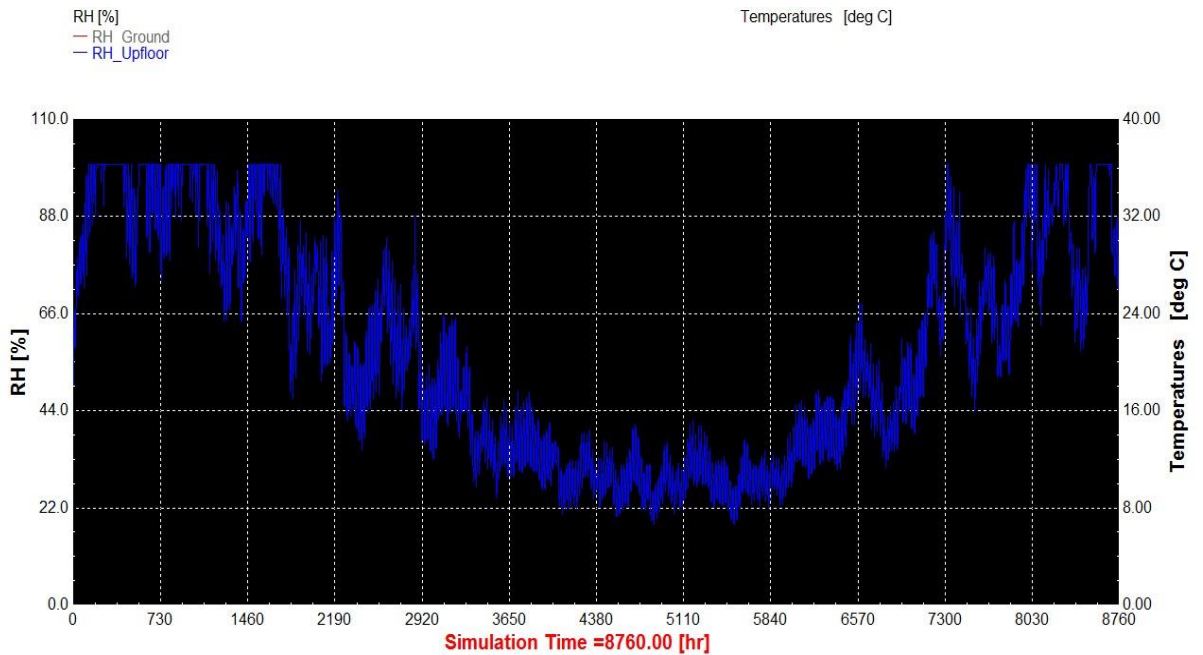
Διάγραμμα 8.18 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της εσωτερικής θερμοκρασίας των δύο θερμικών ζωνών του κτιρίου.

Από τα **Διαγράμματα 8.16 - 8.18** παρατηρείται ότι η θερμοκρασία του πρώτου ορόφου σε σύγκριση με τη θερμοκρασία του ισογείου καταλαμβάνει μικρότερες τιμές την χειμερινή περίοδο και μεγαλύτερες την θερινή περίοδο. Επίσης, γίνεται αντιληπτό πως η θερμοκρασία του πρώτου ορόφου πλησιάζει σε μεγάλο βαθμό τις χαμηλές θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος την χειμερινή περίοδο και

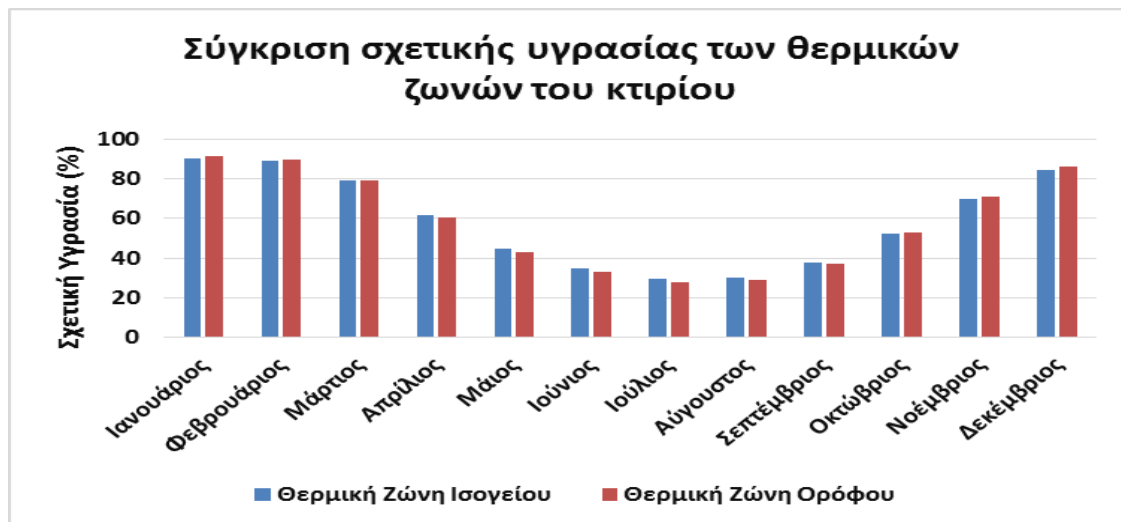
αντίστοιχα τις υψηλές θερμοκρασίες την θερινή περίοδο. Το φαινόμενο αυτό δικαιολογείται καθώς ο πρώτος όροφος του Moskup είναι περισσότερο εκτεθειμένος στο εξωτερικό περιβάλλον σε σχέση με το ισόγειο. Αναλυτικότερα, το ισόγειο έρχεται άμεσα σ' επαφή με τον εξωτερικό αέρα μόνο από τους τέσσερις κατακόρυφους τοίχους που το περιβάλλουν και τα ανοίγματα (παράθυρα και πόρτα) ενώ ο πρώτος όροφος «επικοινωνεί» με τον εξωτερικό αέρα και με την οροφή – στέγη.



Διάγραμμα 8.19 : Η ετήσια μεταβολή της σχετικής υγρασίας (%) της θερμικής ζώνης του ισογείου, για την περίοδο ενός έτους.



Διάγραμμα 8.20 : Η ετήσια μεταβολή της σχετικής υγρασίας (%) της θερμικής ζώνης του πρώτου ορόφου, για την περίοδο ενός έτους.

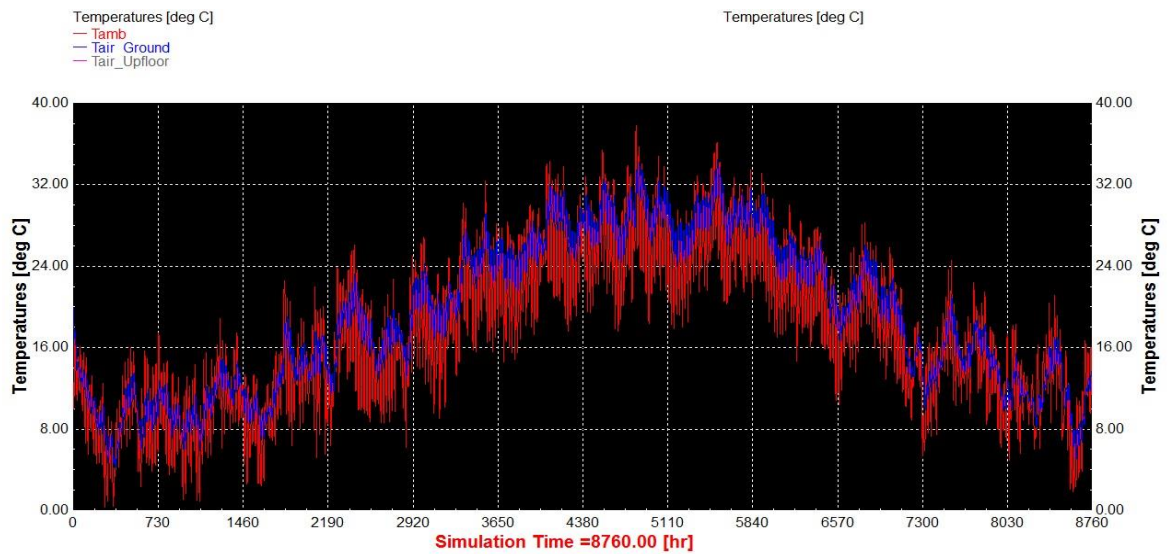


Διάγραμμα 8.21 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της σχετικής υγρασίας των δύο θερμικών ζωνών του κτιρίου.

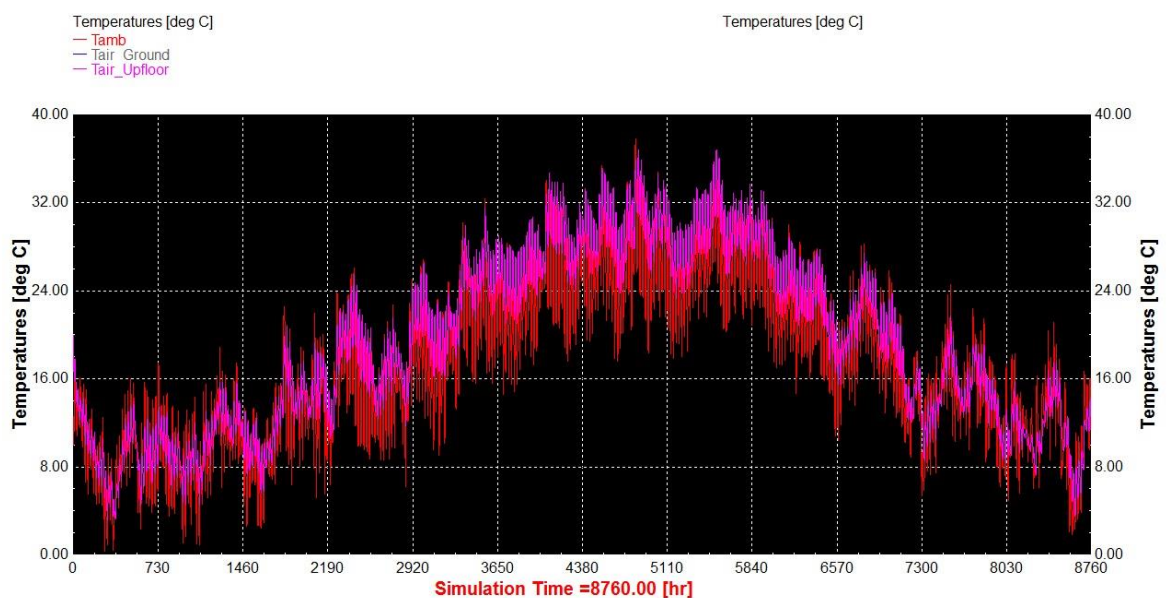
8.3.2 Περίπτωση 2: Χρήση VIP στον βόριο τοίχο του Mockup και ηλεκτροχρωμικών παραθύρων

Στην Περίπτωση 2 που μελετάται η δομή του βόρειου τοίχου του Mockup είναι διαφορετική από τον τρόπο δόμησης των άλλων κατακόρυφων τοίχων που περιβάλλουν τους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου. Για την κατασκευή του βόρειου τοίχου έχει χρησιμοποιηθεί μονωτικό υλικό VIP. Γι' αυτή, λοιπόν, την

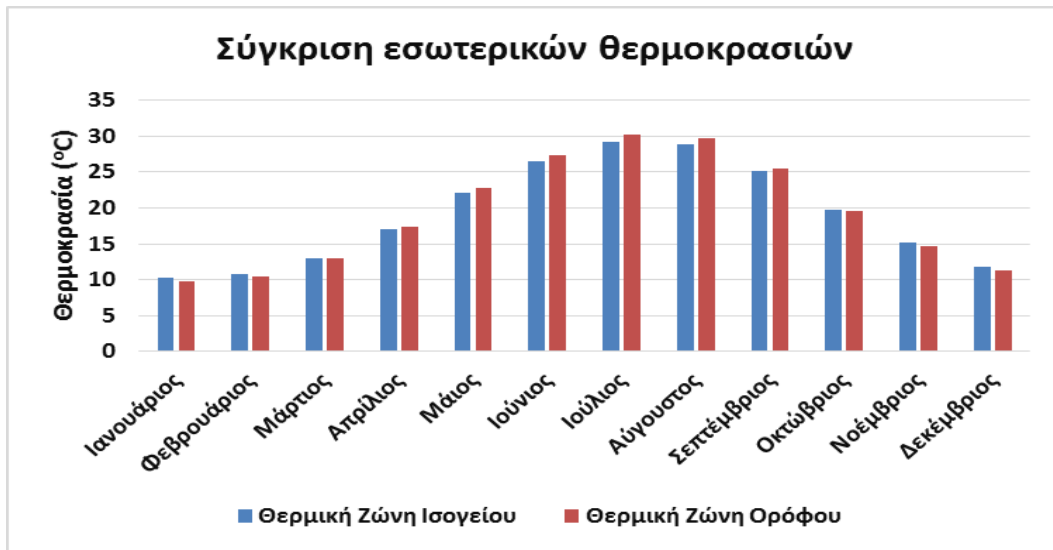
διαφοροποίηση του τοίχου θα εξεταστεί η θερμική κατάσταση που επικρατεί στους εσωτερικούς χώρους του Μοσκύρ, δηλαδή θα παρασταθεί διαγραμματικά η ετήσια μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας.



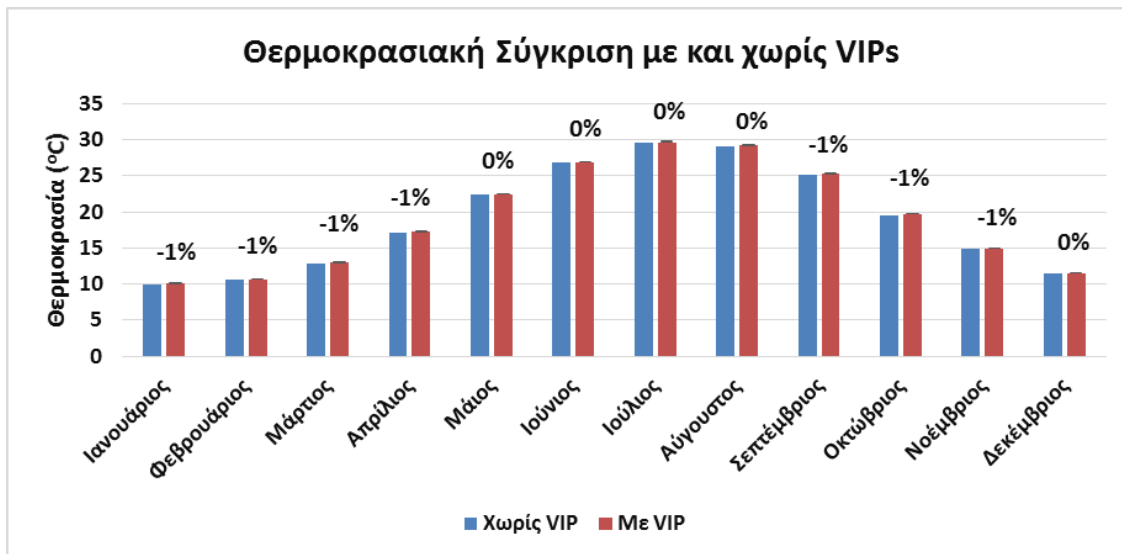
Διάγραμμα 8.22 : Η ετήσια μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας της θερμικής ζώνης του ισόγειου σε σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία, για την περίοδο ενός έτους.



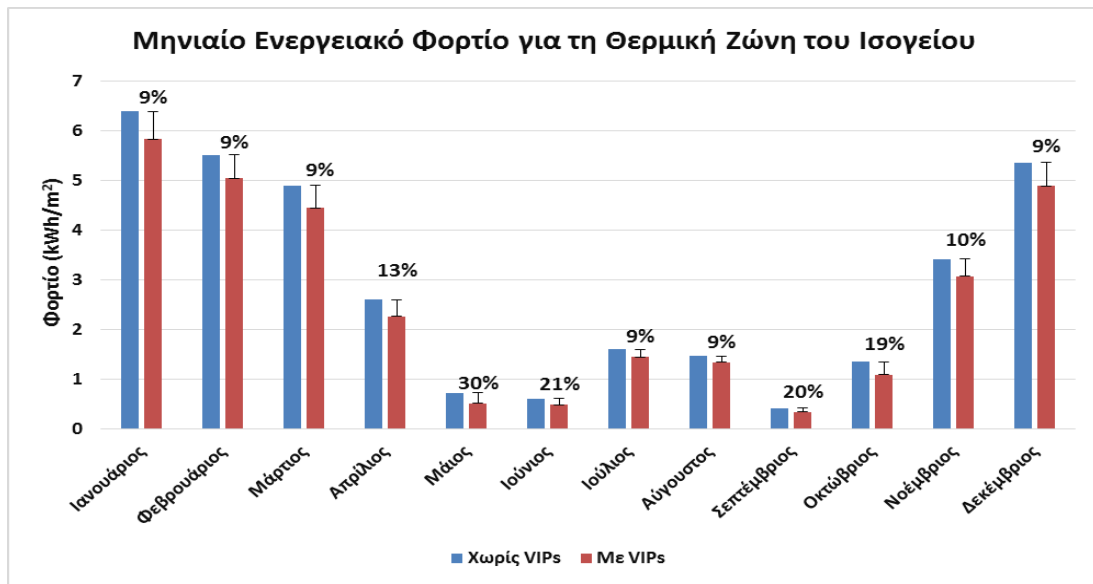
Διάγραμμα 8.23 : Η ετήσια μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας της θερμικής ζώνης του πρώτου ορόφου σε σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία, για την περίοδο ενός έτους.



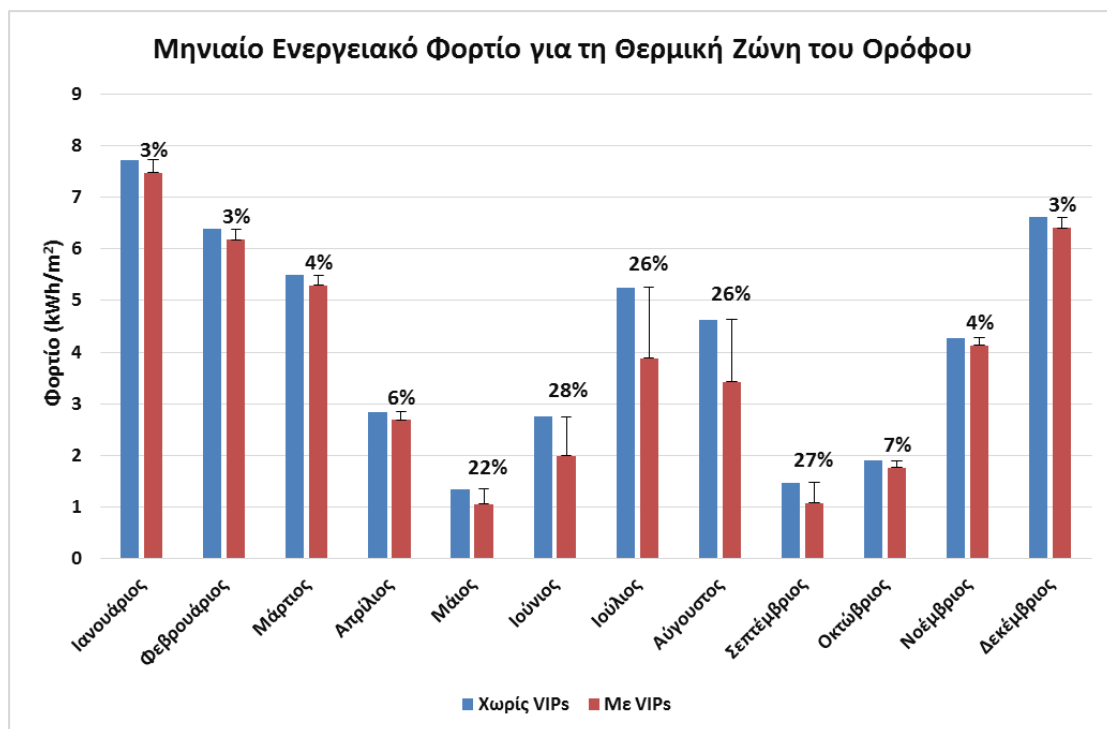
Διάγραμμα 8.24 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της εσωτερικής θερμοκρασίας των δύο θερμικών ζωνών του κτιρίου.



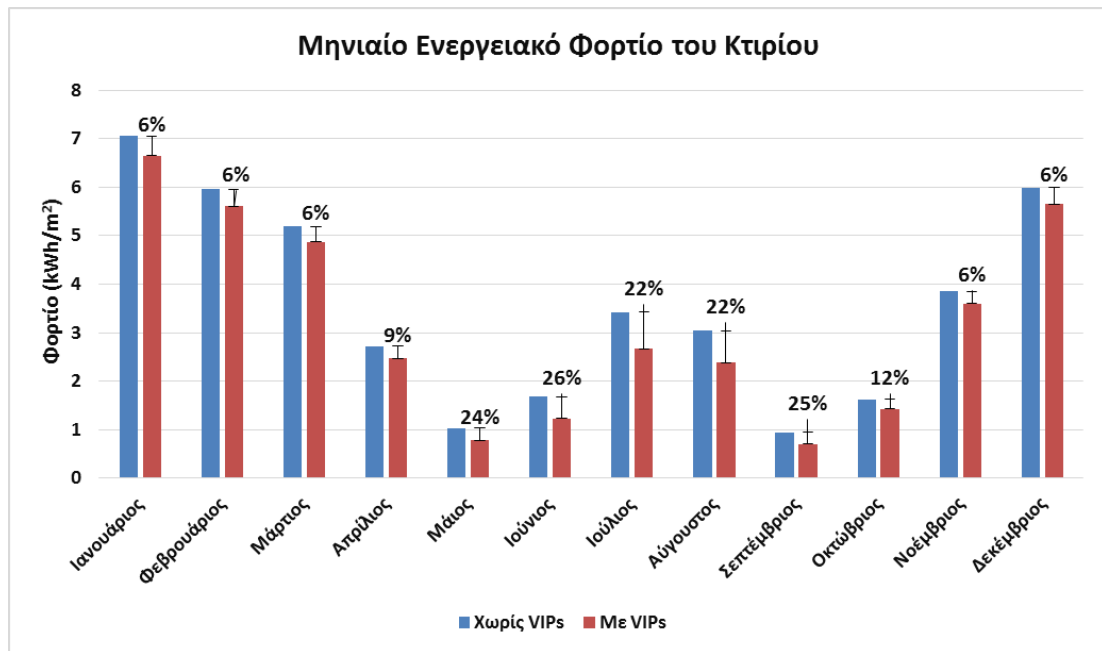
Διάγραμμα 8.25 : Ραβδόγραμμα ποσοστιαίας διαφοράς της θερμοκρασίας του κτιρίου όταν χρησιμοποιείται το δομικό υλικό VIPs σε σύγκριση με την περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται.



Διάγραμμα 8.26 :Ραβδόγραμμα σύγκρισης του φορτίου που απαιτείται για την θέρμανση και την ψύξη του ισογείου του κτιρίου όταν χρησιμοποιείται ή όχι το δομικό υλικό VIPs.

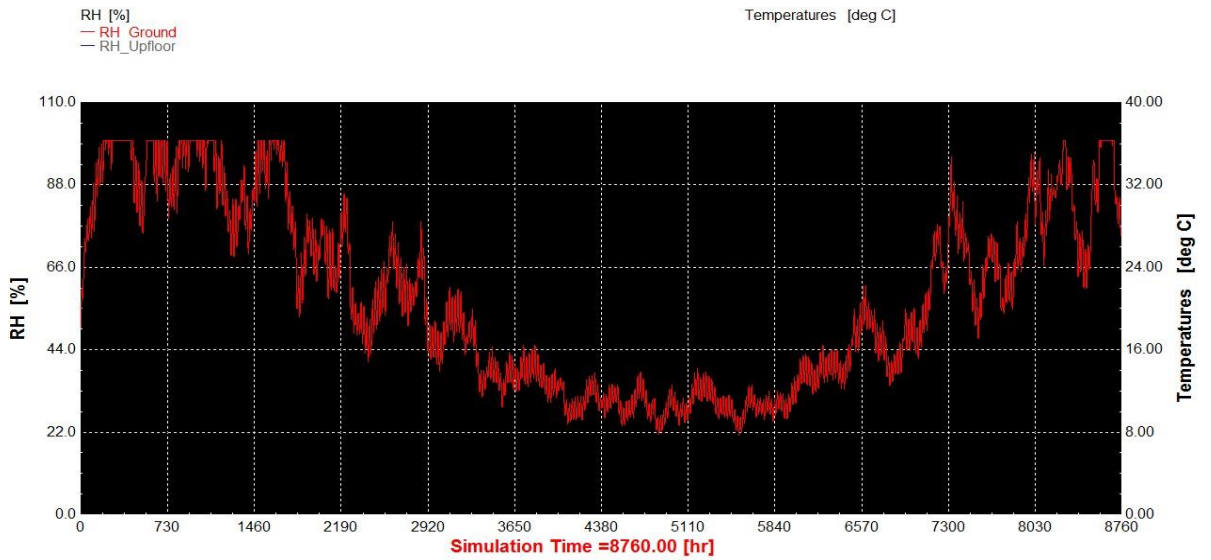


Διάγραμμα 8.27 :Ραβδόγραμμα σύγκρισης του φορτίου που απαιτείται για την θέρμανση και την ψύξη του ορόφου του κτιρίου όταν χρησιμοποιείται ή όχι το δομικό υλικό VIPs.

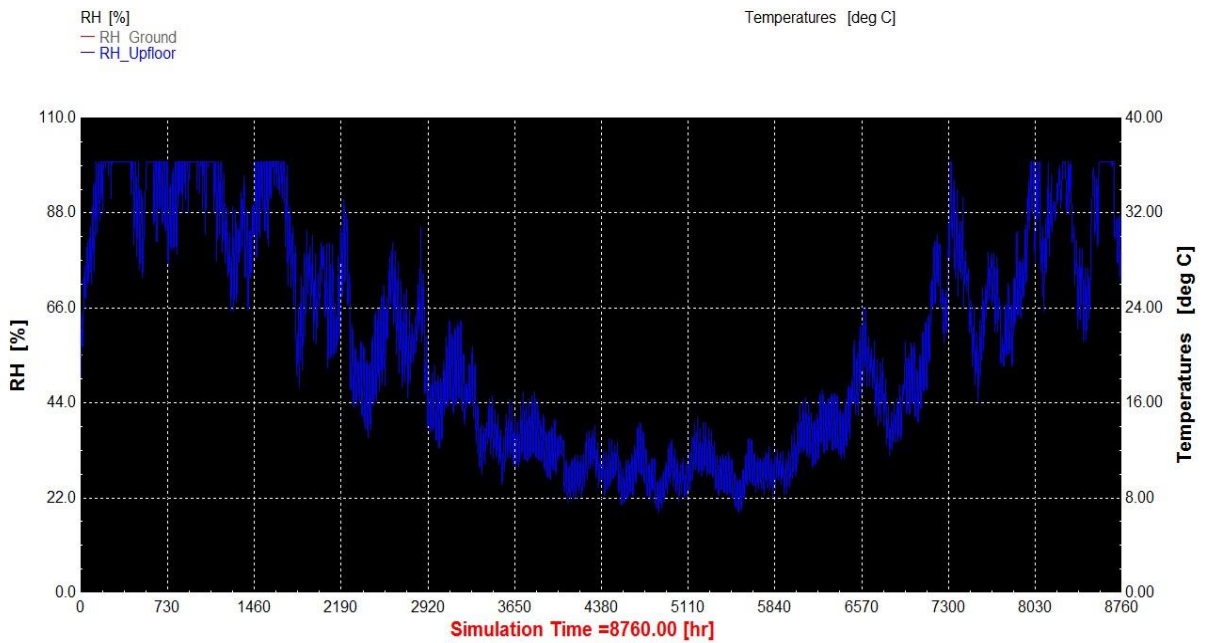


Διάγραμμα 8.28 :Ραβδόγραμμα σύγκρισης του φορτίου που απαιτείται για την θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου (συνολικά) όταν χρησιμοποιείται ή όχι το δομικό υλικό VIPs.

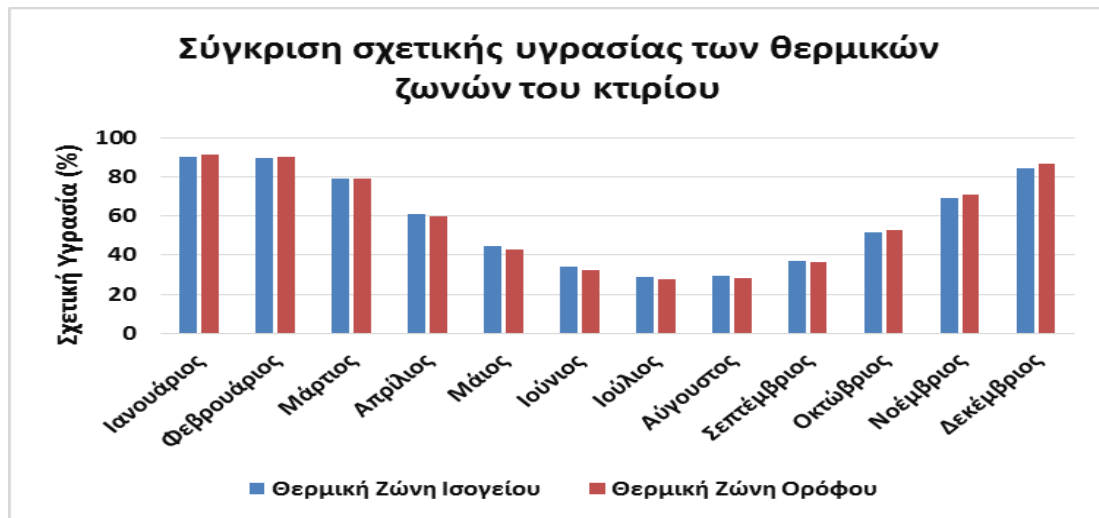
Συγκρίνοντας τη θερμοκρασιακή κατανομή των θερμικών ζωνών του Mockup για την Περίπτωση 1 και της Περίπτωση 2, μέσω των **Διαγραμμάτων 8.25 – 8.28**, διαπιστώνεται πως η θερμοκρασιακή κατάσταση του κτιρίου είναι καλύτερη στην Περίπτωση 2 (και για της δύο θερμικές ζώνες). Δηλαδή το VIP προσδίδει καλύτερες θερμομονωτικές ιδιότητες στον βόρειο τοίχο με αποτέλεσμα να επικρατεί στους εσωτερικούς χώρους μια ευνοϊκότερη θερμική κατάσταση, για τα άτομα που βρίσκονται μέσα σ' αυτούς, έχοντας υψηλότερες θερμοκρασίες τους χειμερινούς μήνες και χαμηλότερη τους καλοκαιρινούς μήνες.



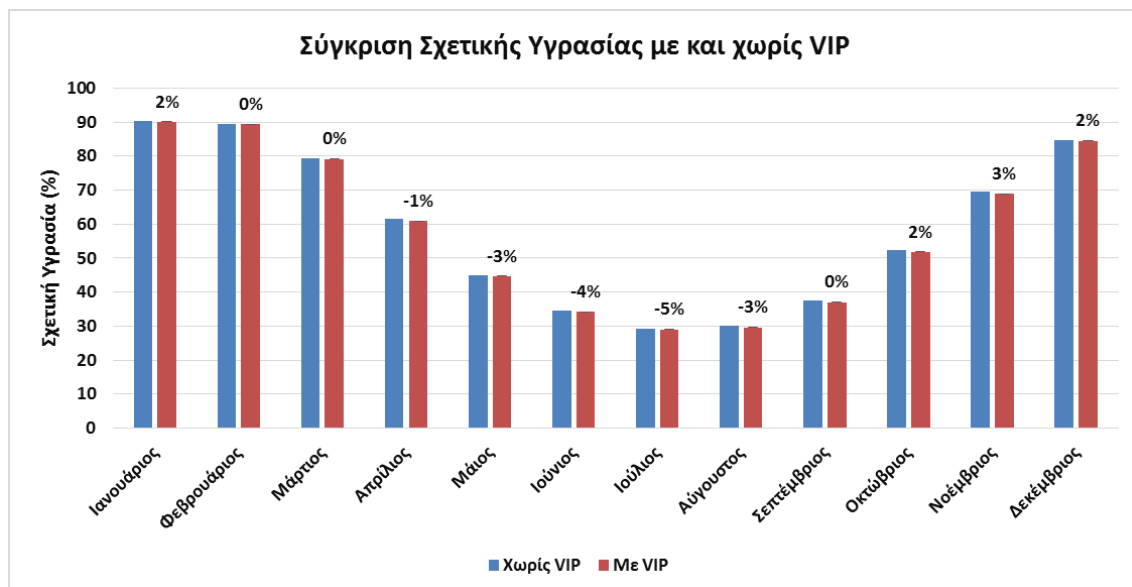
Διάγραμμα 8.29 : Η ετήσια μεταβολή της σχετικής υγρασίας (%) της θερμικής ζώνης του ισογείου, για την περίοδο ενός έτους.



Διάγραμμα 8.30 : Η ετήσια μεταβολή της σχετικής υγρασίας (%) της θερμικής ζώνης του πρώτου ορόφου, για την περίοδο ενός έτους.



Διάγραμμα 8.31 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της σχετικής υγρασίας των δύο θερμικών ζωνών του κτιρίου.



Διάγραμμα 8.32 : Ραβδόγραμμα ποσοστιαίας διαφοράς της σχετικής υγρασίας του κτιρίου όταν χρησιμοποιείται το δομικό υλικό VIPs σε σύγκριση με την περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται.

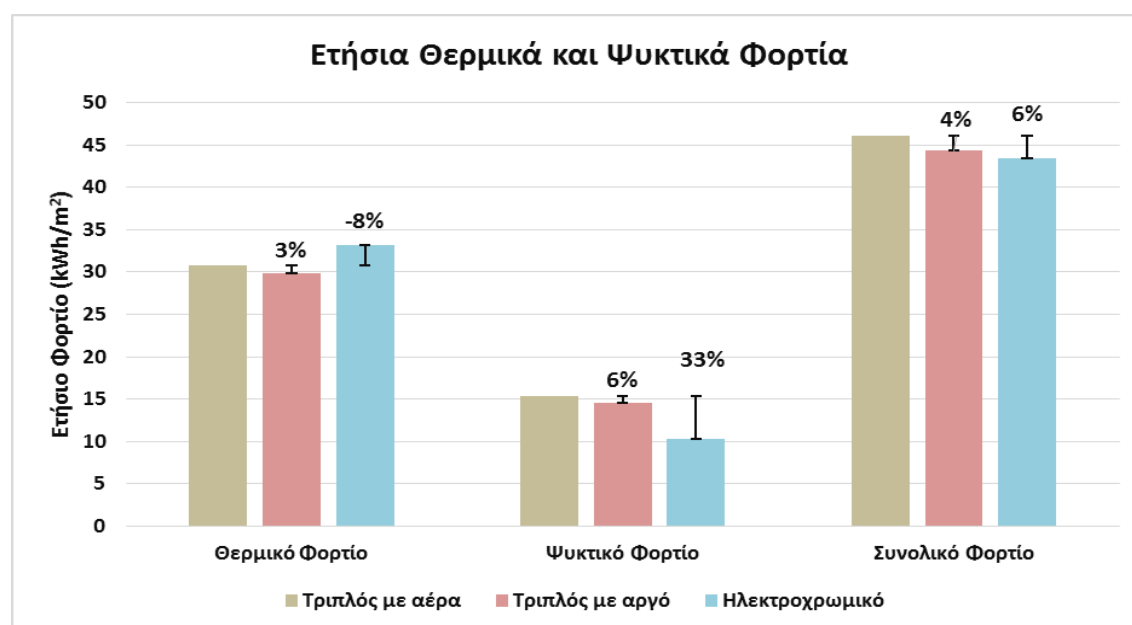
Όπως διαπιστώθηκε και για την εσωτερική θερμοκρασία, η χρήση μονωτικού υλικού (VIP) στον βόρειο τοίχο έχει συντελέσει θετικά στην θερμική άνεση που επικρατεί στους εσωτερικούς χώρους. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα της σχετικής υγρασίας των θερμικών ζωνών καθώς φαίνεται πως με την χρήση της μόνωσης το ποσοστό της σχετικής υγρασίας βελτιώνεται καθ' όλη την ενός έτους.

8.3.3 Οι θερμικές και ψυκτικές απαιτήσεις του κτιρίου προσομοίωσης

Στον Πίνακα 8.1 και στο Διάγραμμα 8.33 παρουσιάζονται τα ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία που πρέπει να προσφέρονται στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου προσομοίωσης ώστε η θερμοκρασία του να διατηρείται μεταξύ των τιμών 21 – 26 °C για κάθε εφαρμογή τύπου υαλοπίνακα.

Πίνακα 8.1 : Τα ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται για την θερμική άνεση του κτιρίου προσομοίωσης.

Τύπος υαλοπίνακα	Ετήσια Θερμικά Φορτία (kWh/m ²)	Ετήσια Ψυκτικά Φορτία (kWh/m ²)	Συνολικά Ετήσια Φορτία (kWh/m ²)
Τριπλός με αέρα	30.8	15.4	46.2
Τριπλός με αργό	29.8	14.5	44.3
Ηλεκτροχρωμικό	33.1	10.2	43.3



Διάγραμμα 8.33 : Τα ετήσια θερμικά, ψυκτικά και συνολικά φορτία που απαιτούνται για την θερμική άνεση του κτιρίου προσομοίωσης.

Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται πως η καλύτερη ετήσια ενεργειακή απόδοση του κτιρίου επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του ηλεκτροχρωμικού υαλοπίνακα. Ωστόσο, την χειμερινή περίοδο οι μικρότερες θερμικές απαιτήσεις σημειώνονται με την εφαρμογή του τριπλού υαλοπίνακα με αργό ενώ την θερινή περίοδο η καλύτερη θερμική άνεση προσφέρεται με την χρήση του ηλεκτροχρωμικού υαλοπίνακα.

8.4 Συμπεράσματα

8.4.1 Τύποι υαλοπινάκων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο υαλοπίνακας είναι το κύριο μέρος της συνολικής επιφάνειας ενός παραθύρου και αντιπροσωπεύει κατά μέσο όρο περίπου το 70% - 80% της επιφάνειάς του. Έτσι, η επίδρασή του στην ενεργειακή απόδοση καθώς και στην ηχομόνωση και την ασφάλεια είναι πολύ μεγάλη. Για την βελτίωση λοιπόν της ενεργειακής συνεισφοράς τους οι τύποι των υαλοπινάκων, με την βοήθεια της επιστήμης και της τεχνολογίας, συνεχώς εξελίσσονται ώστε να προσφέρουν καλύτερη θερμική άνεση στα κτίρια. Μερικοί από τους τύπους αυτούς που υπάρχουν στο εμπόριο μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία και έδωσαν αξιολογικά αποτελέσματα ως προς την επίδραση της θερμικής απόδοσης στο Mockup.

Συγκρίνοντας, λοιπόν, τα ενεργειακά αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη των υαλοπινάκων διαπιστώνεται πως οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες έχουν τις μικρότερες ετήσιες (συνολικές) ενεργειακές απαιτήσεις σε σχέση με τους άλλους δύο τύπους υάλωσης. Ειδικότερα διαχωρίζοντας τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις σε θερμικές και ψυκτικές, παρατηρείται πως οι τριπλοί υαλοπίνακες με αργό ως πληρωτικό αέριο παρουσιάζουν τις λιγότερες ετήσιες απαιτήσεις σε θερμικά φορτία σε σχέση με τους άλλους τύπους υαλοπινάκων που μελετήθηκαν. Αντίθετα, όταν εφαρμόζεται ηλεκτροχρωμική υάλωση τα ψυκτικά φορτία του κτιρίου είναι μικρότερα σε σύγκριση με τις ψυκτικές ανάγκες που απαιτεί η εφαρμογή των άλλων υαλοπινάκων.

8.4.2 Μόνωση VIP

Για την πλήρη βελτιστοποίηση της θερμικής άνεσης ενός κτιρίου απαιτείται εκτός από την εγκατάσταση σύγχρονων ενεργειακών υαλοπινάκων και εφαρμογή μονωτικών υλικών στον τρόπο δόμησης των τοίχων.

Στην παρούσα εργασία ερευνώνται οι θερμομονωτικές ιδιότητες του υλικού πάνελ κενού (VIP). Για την επίτευξη αυτής της μελέτης θεωρήθηκε η αλλαγή της δόμησης της βόρειας τοιχοποιίας του Mockup και η προσθήκη σε αυτή του μονωτικού υλικού VIP. Εφαρμόζοντας λοιπόν τη μόνωση αυτή επιτεύχθηκε καλύτερη θερμική άνεση σε σχέση με την περίπτωση που δεν είχε χρησιμοποιηθεί το μονωτικό VIP.

Κεφάλαιο 9^ο – Προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς του Μoskup με συστήματα θέρμανσης

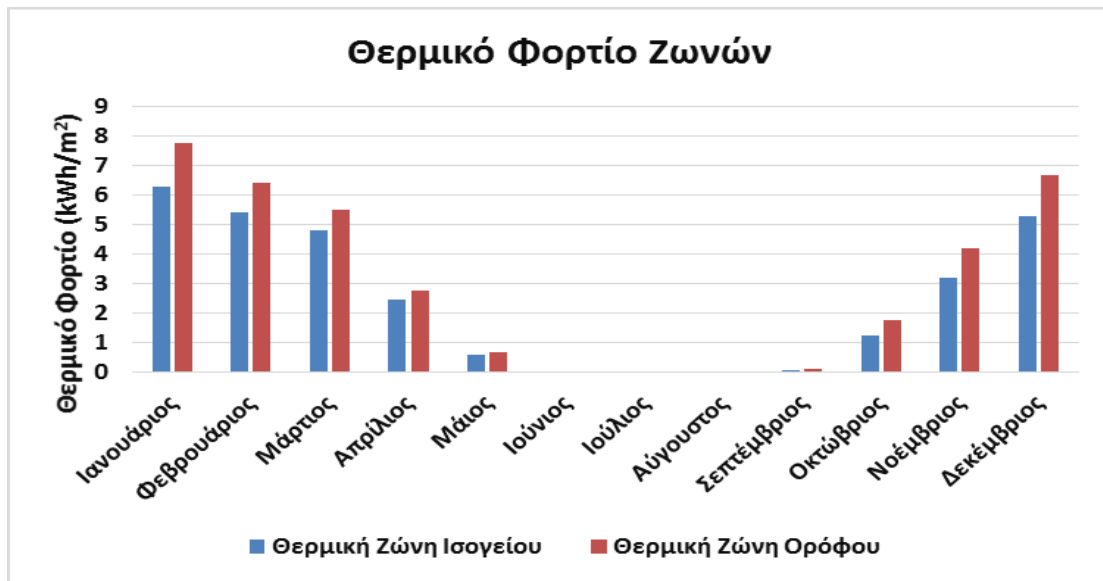
9.1 Εισαγωγή

Για την μελέτη και την ανάλυση των αποτελεσμάτων των συστημάτων θέρμανσης γίνεται δεκτό ότι και τα τρία παράθυρα του κτιρίου Μoskup αποτελούνται από τριπλό ηλεκτροχρωμικό υαλοπίνακα με πληρωτικό αέριο στα διάκενα το αργό. Επίσης, ο βόρειος τοίχος συμπεριλαμβάνει στα υλικά της κατασκευής του VIP υλικό.

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα συστήματα της θέρμανσης, που θα μελετηθούν, μπαίνουν σε λειτουργία όταν ο χώρος τον οποίον θα θερμάνουν αποκτά θερμοκρασία μικρότερη από 21°C. Από το Trnsys προσφέρεται το γενικό (θεωρητικό) σύστημα θέρμανσης (Heating type manager) ώστε να επιτευχθεί η διατήρηση της θερμοκρασίας πάνω από το θερμοκρασιακό όριο που έχει τεθεί. Η θερμική απόδοση που προσφέρει αυτό το σύστημα σε κάθε θερμική ζώνη του κτιρίου για τους μήνες που απαιτείται θέρμανση, αναγράφονται στον παρακάτω **Πίνακα 9.1** (και παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 9.1**) και θα συγκριθεί με τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τα συστήματα θέρμανσης που θα μελετηθούν στη συνέχεια.

Πίνακας 9.1 : Το θερμικό φορτίο που προσφέρει το θεωρητικό σύστημα θέρμανσης για κάθε θερμική ζώνη για κάθε μήνα του έτους .

Μήνες	Θερμική Ζώνη Ισογείου	Θερμική Ζώνη Ορόφου
	Θερμικό Φορτίο (kWh/m ²)	
Ιανουάριος	6.3	7.8
Φεβρουάριος	5.4	6.4
Μάρτιος	4.8	5.5
Απρίλιος	2.5	2.8
Μάιος	0.6	0.7
Ιούνιος	0	0
Ιούλιος	0	0
Αύγουστος	0	0
Σεπτέμβριος	0.1	0.1
Οκτώβριος	1.2	1.8
Νοέμβριος	3.2	4.2
Δεκέμβριος	5.3	6.7

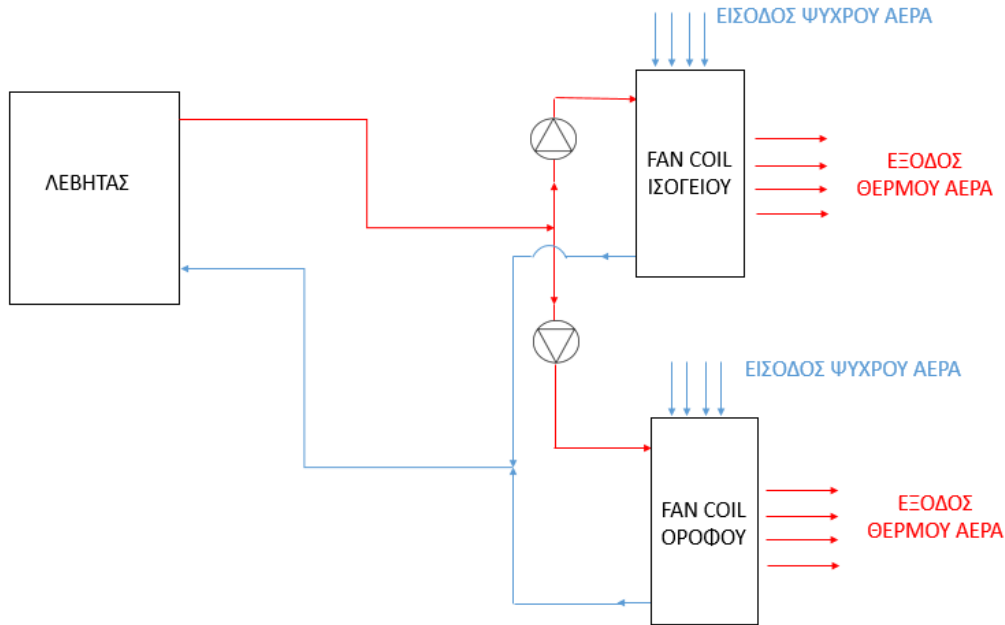


Διάγραμμα 9.1 : Ραβδόγραμμα του θερμικού φορτίου που προσφέρει το θεωρητικό σύστημα θέρμανσης για κάθε θερμική ζώνη και για κάθε μήνα του έτους

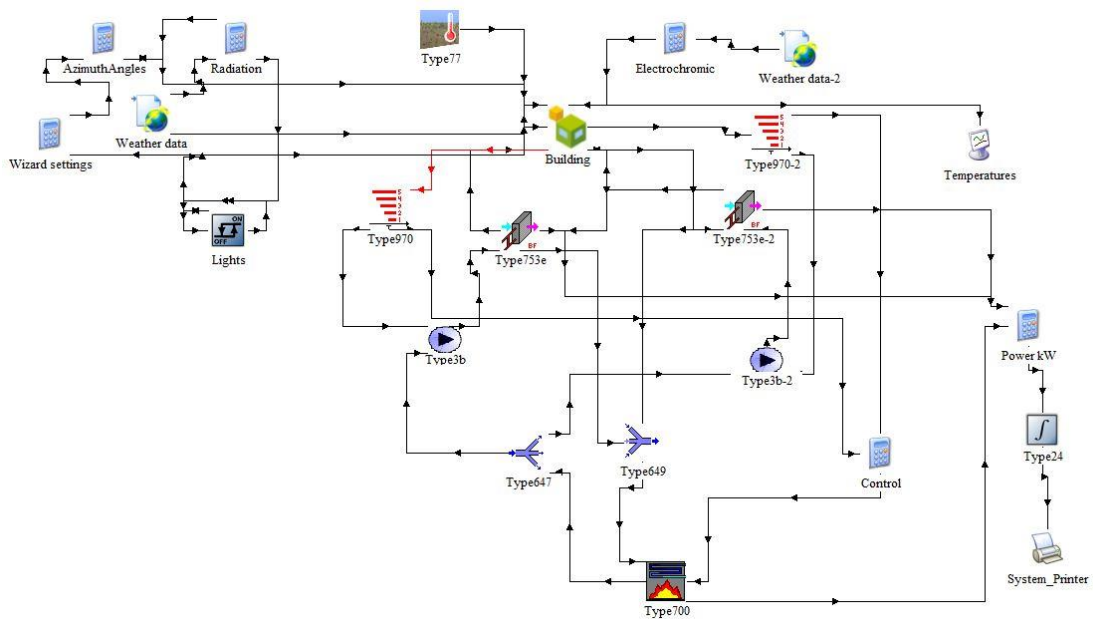
9.2 Εγκατάσταση θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και Fan Coil

Στην εγκατάσταση αυτή υπάρχει ένας λέβητας πετρελαίου στον οποίο το νερό που κυκλοφορεί στο παρόν κύκλωμα θερμαίνεται χάρη στη θερμότητα που εκλύεται από την καύση του πετρελαίου. Στη συνέχεια, το θερμό νερό στέλνεται με τη βοήθεια αντλιών στα δύο Fan Coil (ένα για κάθε θερμική ζώνη) με την ίδια παροχή και θερμοκρασία. Εκεί η θερμότητα από το θερμό νερό μεταφέρεται στον ψυχρό αέρα που μπαίνει στο μηχάνημα και έπειτα ο θερμός αέρας που προκύπτει πηγαίνει με τη βοήθεια του ανεμιστήρα του Fan Coil στο περιβάλλον του χώρου που απαιτεί την θέρμανση ενώ το νερό που έδωσε την θερμότητα επιστέφει στον λέβητα.

Παρακάτω αναφέρονται όλα τα στοιχεία και τα χαρακτηριστικά τους που συμμετέχουν στην διάταξη της εγκατάστασης στη προσομοίωση TRNSYS.

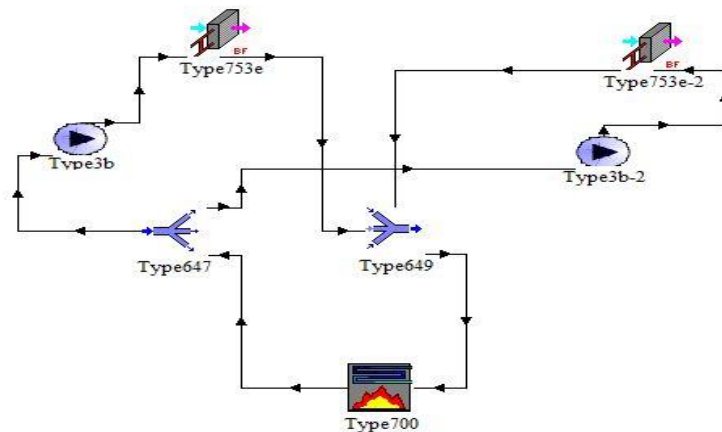


Εικόνα 9.1 : Λειτουργικό διάγραμμα του συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και Fan Coil.

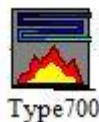


Εικόνα 9.2 : Διάταξη προσομοίωσης του συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και Fan Coil στο Trnsys.

9.2.1 Υποσύστημα λέβητα πετρελαίου – Fan Coil



Εικόνα 9.3 : Υποσύστημα λέβητα πετρελαίου – Fan Coil.



Λέβητας-Καυστήρας

Το εικονίδιο λέβητας – καυστήρας μοντελοποιεί μια συσκευή, η οποία με τη βοήθεια της καύσης του πετρελαίου στον καυστήρα, θερμαίνει το νερό που εισέρχεται σ' αυτό μέχρι μια σταθερή θερμοκρασία των 45°C. Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα ορίζεται ίσος με 0.946 ενώ ο βαθμός απόδοσης καύσης είναι ίσος με 1 [47].

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Rated Capacity	19000.0				
2	Fluid specific heat	4.190				
3	Minimum turn-down ratio	0				

Εικόνα 9.4 : Παράμετροι λειτουργίας του λέβητα πετρελαίου.

(MOCKUP_imported9) Type700

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
Name	Value	Unit	More	Macro		
1 Inlet fluid temperature	10.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>		
2 Inlet fluid flowrate	0.0	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>		
3 Input Control Signal	1.0	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>		
4 Set-point temperature	45.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>		
5 Boiler Efficiency	0.946	Fraction	More...	<input checked="" type="checkbox"/>		
6 Combustion Efficiency	1	Fraction	More...	<input checked="" type="checkbox"/>		

Εικόνα 9.5 : Δεδομένα εισόδου του λέβητα πετρελαίου.



Βαλβίδα εκτροπής

Μια βαλβίδα εκτροπής μπορεί να χωρίσει μια κεντρική ροή ρευστού συγκεκριμένης παροχής και θερμοκρασίες σε πολλές μικρότερες ροές (με μέγιστο αριθμό τις 100). Σ' αυτή την προσομοίωση η βαλβίδα εκτροπής χωρίζει τη ροή του θερμού νερού που βγαίνει από τον λέβητα σε δύο ροές ίδιας θερμοκρασίας και παροχής ώστε το νερό να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση των δύο θερμικών ζωνών του κτιρίου.



Κυκλοφορητής

Το μοντέλο κυκλοφορητή σταθερών στροφών έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζει τον ρυθμό της ροής της μάζας του ρευστού χρησιμοποιώντας μια μεταβλητή λειτουργία ελέγχου, η οποία έχει τιμή μεταξύ 1 και 0.

(MOCKUP_imported17) Type3b

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
Name	Value	Unit	More	Macro		
1 Maximum flow rate	160.0	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>		
2 Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K	More...	<input checked="" type="checkbox"/>		
3 Maximum power	90.0	kJ/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>		
4 Conversion coefficient	0.05	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>		
5 Power coefficient	0.5	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>		

Εικόνα 9.6 : Παράμετροι λειτουργίας του κυκλοφορητή.



Fan Coil

Τα Fan Coils ή αλλιώς σώματα βεβιασμένης κυκλοφορίας είναι εσωτερικές μονάδες που μεταφέρουν την θερμότητα (ή την ψύξη) στους διάφορους χώρους μέσω της τροφοδοσίας τους με νερό, κατάλληλης θερμοκρασίας. Τα Fan Coils παίρνουν νερό στο στοιχείο τους, με θερμοκρασία μεταξύ 35°C και 60°C, και με τη βοήθεια του ανεμιστήρα διανέμουν τη θερμότητα στο χώρο.

	Name	Value	Unit	More	Macro
3	Air inlet temperature	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Not used	0.005	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Air relative humidity	50.0	% (base 100)	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Air flow rate	110	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Air pressure	1.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Air-side pressure drop	0.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Coil bypass fraction	0.15	Fraction	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Setpoint: outlet air temperature	34	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 9.7 : Παράμετροι λειτουργίας του Fan Coil για το ισόγειο.

(MOCKUP_imported14) Type753e-2

Parameter Input Output Derivative Special Cards External Files Comment

	Name	Value	Unit	More	Macro
3	Air inlet temperature	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Not used	0.005	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Air relative humidity	50.0	% (base 100)	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Air flow rate	190	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Air pressure	1.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Air-side pressure drop	0.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Coil bypass fraction	0.15	Fraction	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Setpoint: outlet air temperature	33	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

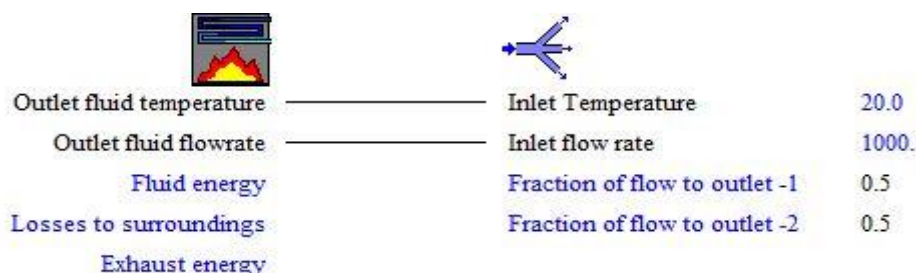
Εικόνα 9.8 : Παράμετροι λειτουργίας του Fan Coil για τον όροφο.



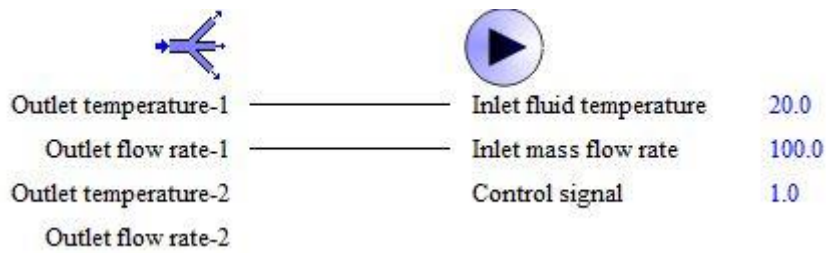
Βαλβίδα ανάμειξης

Η βαλβίδα ανάμειξης «εμπλέκει» πολλές μεμονωμένες ροές (έως 100 ροές για αυτό το μοντέλο προσομοίωσης) με διαφορετική παροχή και θερμοκρασία, σε μία κεντρική ροή. Όσον αφορά την παρούσα προσομοίωση οι ροές εξόδου του ψυχρού νερού από τα Fan Coil αναμιγνύονται στην βαλβίδα αυτή και η ροή που προκύπτει επιστρέφει στον λέβητα.

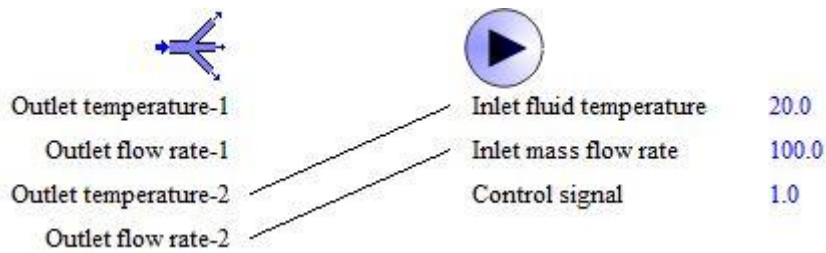
Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου των στοιχείων που τα συνδέουν μεταξύ τους.



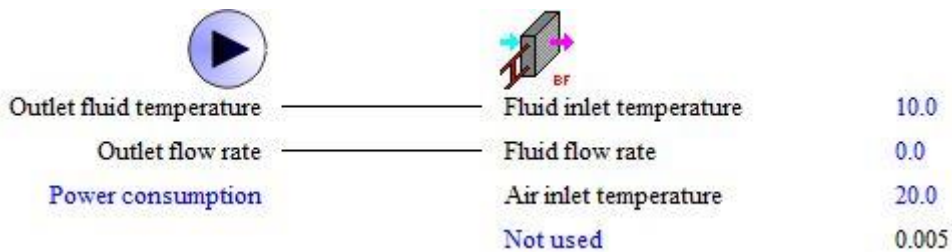
Εικόνα 9.9 : Σύνδεση λέβητα – βαλβίδα εκτροπής.



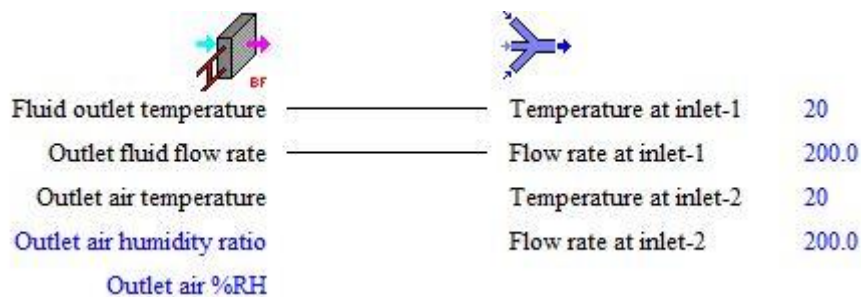
Εικόνα 9.10 : Σύνδεση βαλβίδα εκτροπής – κυκλοφορητής για τη θερμική ζώνη του ισογείου.



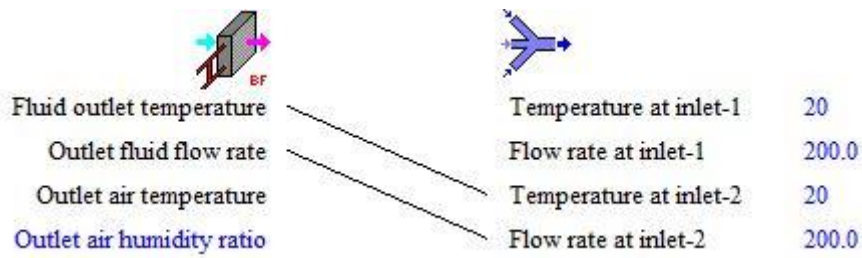
Εικόνα 9.11 : Σύνδεση βαλβίδα εκτροπής – κυκλοφορητής για τη θερμική ζώνη του ορόφου.



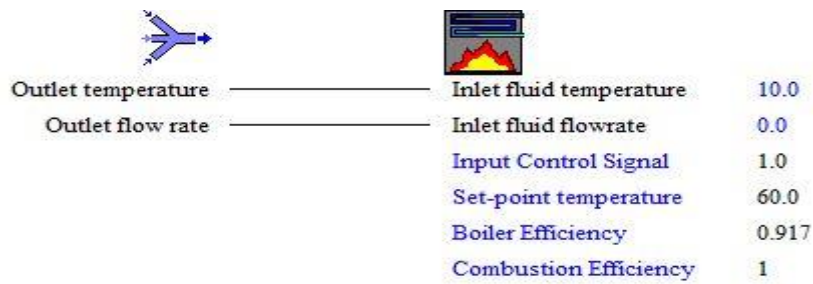
Εικόνα 9.12 : Σύνδεση κυκλοφορητής – Fan Coil.



Εικόνα 9.13 : Σύνδεση Fan Coil – βαλβίδα ανάμειξης (για τη θερμική ζώνη του ισογείου).

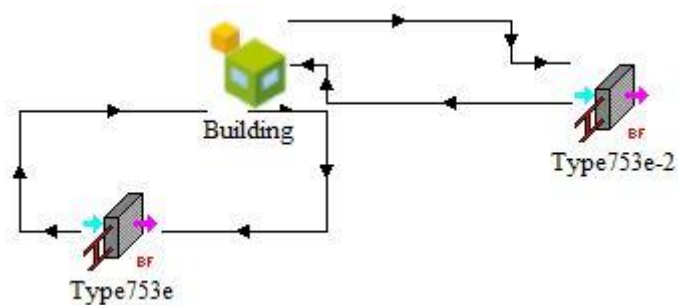


Εικόνα 9.14 : Σύνδεση Fan Coil – βαλβίδα ανάμειξης (για τη θερμική ζώνη του ορόφου).



Εικόνα 9.15 : Σύνδεση βαλβίδα ανάμειξης – λέβητα.



9.2.3 Υποσύστημα Fan Coil – Κτίριο



Εικόνα 9.16 : Υποσύστημα Fan Coil – Κτίριο.

	
Fluid outlet temperature	1- TAMB 0
Outlet fluid flow rate	2- RELHUMAMB 0
Outlet air temperature	3- TSKY 0
Outlet air humidity ratio	4- TSGRD 0
Outlet air %RH	5- AZEN 0
Dry air flow rate	6- AAZM 0
Outlet air pressure	7- GRDREF 0
Air-side heat transfer	8- TGROUND 0
Fluid heat transfer	9- TBOUNDARY 0
Coil liquid outlet temperature	10- BRIGHT 0
Coil liquid flow rate	11- SHADE_CLOSE 0
Bypass liquid outlet temperature	12- SHADE_OPEN 0
Bypass liquid flow rate	13- MAX_ISHADE 0
Bypass fraction for liquid-side	14- MAX_ESHADE 0
	15- THERMOKRASIA1 0
	16- THERMOKRASIA2 0
	17- PAROXH1 0
	18- PAROXH2 0



Εικόνα 9.17 : Σύνδεση Fan Coil (της θερμικής ζώνης του ισογείου) – Κτίριο.

	
1- TAIR_GROUND	Fluid inlet temperature 10.0
2- TOP_GROUND	Fluid flow rate 0.0
3- TAIR_UPFLOOR	Air inlet temperature 20.0
4- TOP_UPFLOOR	Not used 0.005

Εικόνα 9.18 : Σύνδεση Κτίριο – Fan Coil (της θερμικής ζώνης του ισογείου).

	
Fluid outlet temperature	1- TAMB 0
Outlet fluid flow rate	2- RELHUMAMB 0
Outlet air temperature	3- TSKY 0
Outlet air humidity ratio	4- TSGRD 0
Outlet air %RH	5- AZEN 0
Dry air flow rate	6- AAZM 0
Outlet air pressure	7- GRDREF 0
Air-side heat transfer	8- TGROUND 0
Fluid heat transfer	9- TBOUNDARY 0
Coil liquid outlet temperature	10- BRIGHT 0
Coil liquid flow rate	11- SHADE_CLOSE 0
Bypass liquid outlet temperature	12- SHADE_OPEN 0
Bypass liquid flow rate	13- MAX_ISHADE 0
Bypass fraction for liquid-side	14- MAX_ESHADE 0
	15- THERMOKRASIA1 0
	16- THERMOKRASIA2 0
	17- PAROXH1 0
	18- PAROXH2 0

Εικόνα 9.19 : Σύνδεση Fan Coil (της θερμικής ζώνης του ορόφου) – Κτίριο.

	
1- TAIR_GROUND	Fluid inlet temperature 10.0
2- TOP_GROUND	Fluid flow rate 0.0
3- TAIR_UPFLOOR	Air inlet temperature 20.0
4- TOP_UPFLOOR	Not used 0.005

Εικόνα 9.20 : Σύνδεση Κτίριο – Fan Coil (της θερμικής ζώνης του ορόφου).

Το υποσύστημα αυτό είναι ίδιο και για τις τρεις εγκαταστάσεις θέρμανσης που μελετιούνται, γι' αυτό και δεν θα αναλυθεί ξανά στις άλλες δύο περιπτώσεις θέρμανσης.

9.2.4 Επιπλέον στοιχεία και συνθήκες ελέγχου



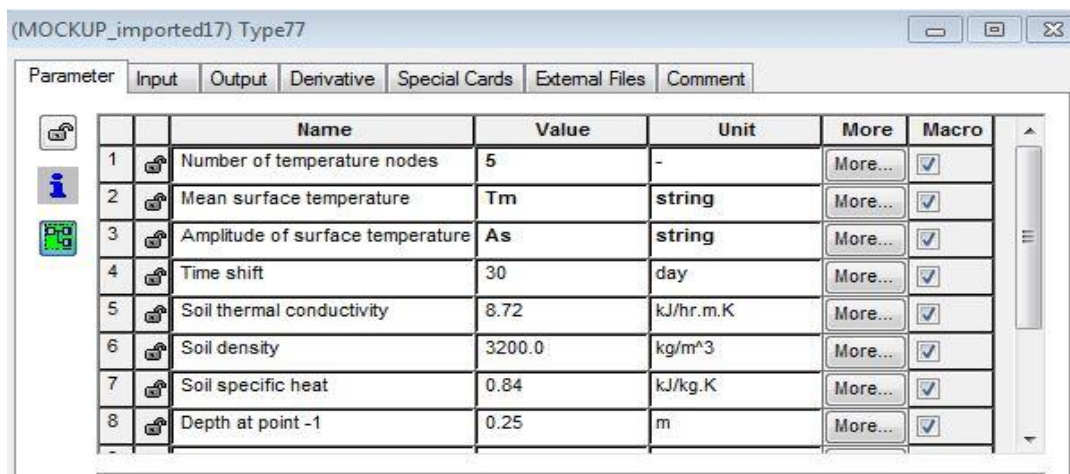
Δεδομένα Καιρού

Τα μοντέλο αυτό διαβάζει ένα εξωτερικό αρχείο καιρού και προσδίδει τα ανάλογα αποτελέσματα. Για την περίπτωση που εξετάζεται, αλλά και για τις υπόλοιπες προσομοιώσεις που μελετιούνται, έχει επιλεγεί το αρχείο καιρού για την περιοχή της Αθήνας.



Θερμοκρασία Εδάφους

Αυτή η υπορουτίνα μοντελοποιεί την κατακόρυφη κατανομή θερμοκρασίας του εδάφους δεδομένης της μέσης θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους, του εύρους της θερμοκρασίας για την επιφάνειας του εδάφους, της χρονικής διαφοράς μεταξύ της έναρξης του ημερολογιακού έτους και της εμφάνισης της ελάχιστης θερμοκρασίας της επιφάνειας, και τη θερμική διάχυση του εδάφους. Και το αποτέλεσμα που δίνει το μοντέλο αυτό συνδέεται με την μεταβλητή εισόδου του “Building” που αφορά την θερμοκρασία εδάφους.

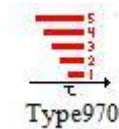


Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
		Name	Value	Unit	More	Macro
1	<input type="checkbox"/>	Number of temperature nodes	5	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	Mean surface temperature	Tm	string	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	Amplitude of surface temperature	As	string	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	Time shift	30	day	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	Soil thermal conductivity	8.72	kJ/hr.m.K	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	Soil density	3200.0	kg/m ³	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	Soil specific heat	0.84	kJ/kg.K	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8	<input type="checkbox"/>	Depth at point -1	0.25	m	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 9.21 : Παράμετροι λειτουργίας του μοντέλου για τη θερμοκρασία εδάφους.

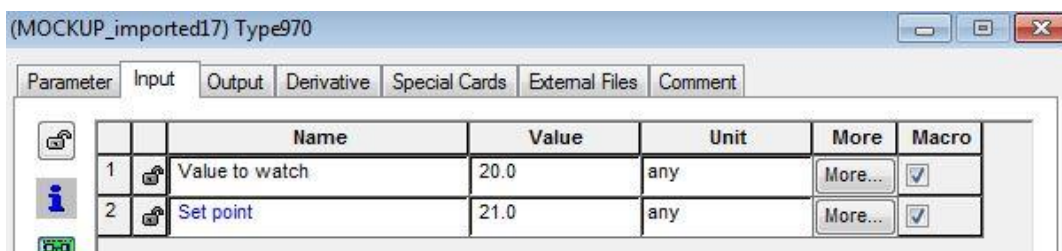


Εικόνα 9.22 : Σύνδεση του μοντέλου για τη θερμοκρασία εδάφους με το μοντέλο του κτιρίου.



Θερμοστάτης

Ο θερμοστάτης είναι ένα σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας του χώρου, ελέγχει δηλαδή αν η θερμοκρασία που δέχεται σαν είσοδο είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από μία τιμή – όριο που έχει τεθεί. Στο υποσύστημα που μελετάται, ο θερμοστάτης δέχεται ως είσοδο την θερμοκρασία του αέρα του χώρου του κτιρίου που ελέγχει και δίνει τιμή 1 ή 0 στον κυκλοφορητή του Fan Coil έτσι ώστε να μην εισέρχεται νερό στα Fan Coil όταν αυτά δεν είναι σε λειτουργία. Αν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 21°C (που έχει τεθεί ως όριο) τότε ο θερμοστάτης στέλνει τιμή 1 ώστε να ξεκινήσει η λειτουργία θέρμανσης. Όταν η τιμή που δώσει ο θερμοστάτης είναι 0, το σύστημα θέρμανσης (δηλαδή το Fan Coil) σταματάει να δουλεύει.



Εικόνα 9.23 : Το θερμοκρασιακό όριο λειτουργίας του μοντέλου του Θερμοστάτη.



Ολοκληρωτής

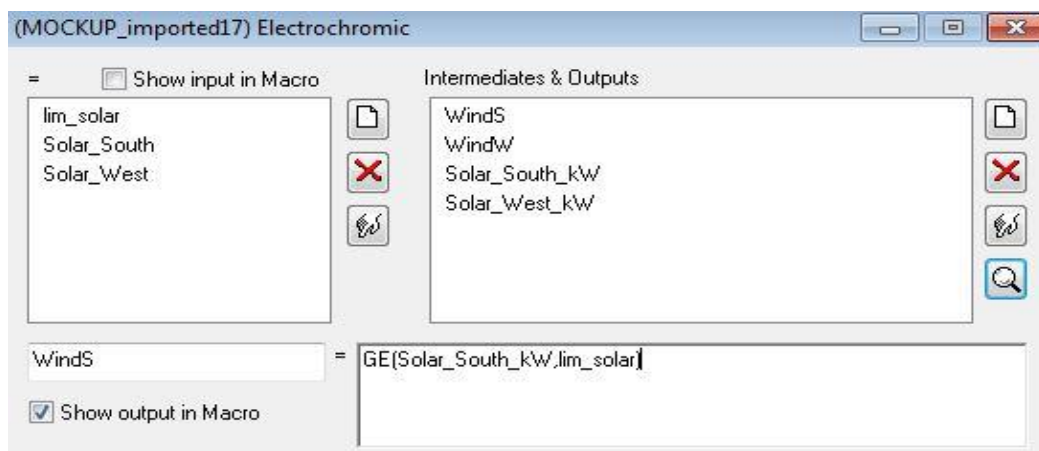
Ένας ολοκληρωτής μπορεί και υπολογίζει την τιμή της μεταβλητής που εισάγεται σ' αυτόν για την χρονική περίοδο που του έχει ορίσει ο χρήστης (π.χ. ένα έτος). Για παράδειγμα, στην περίπτωση αυτής της προσομοίωσης ως μεταβλητή εισάγεται η ισχύς που δαπανάται λέβητα και έτσι το Type 24 υπολογίζει την ενέργεια που καταναλώθηκε για το χρονικό διάστημα που ορίστηκε.



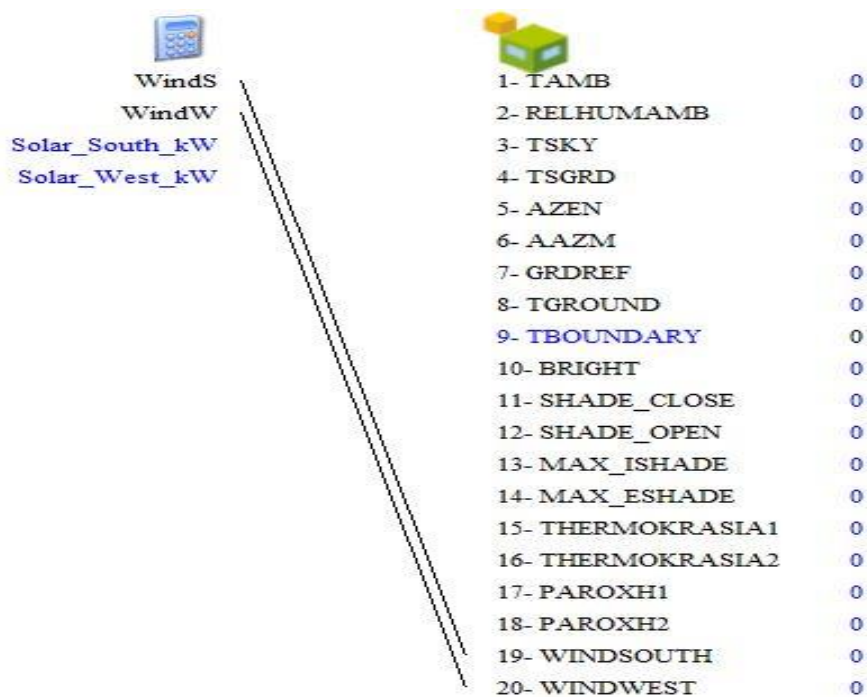
Δημιουργία συναρτήσεων

Στο μοντέλο αυτό ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει δικές του συναρτήσεις και να τις χρησιμοποιήσει για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Στην προσομοίωση αυτή έχουν δημιουργηθεί οι εξής «Συναρτήσεις» :

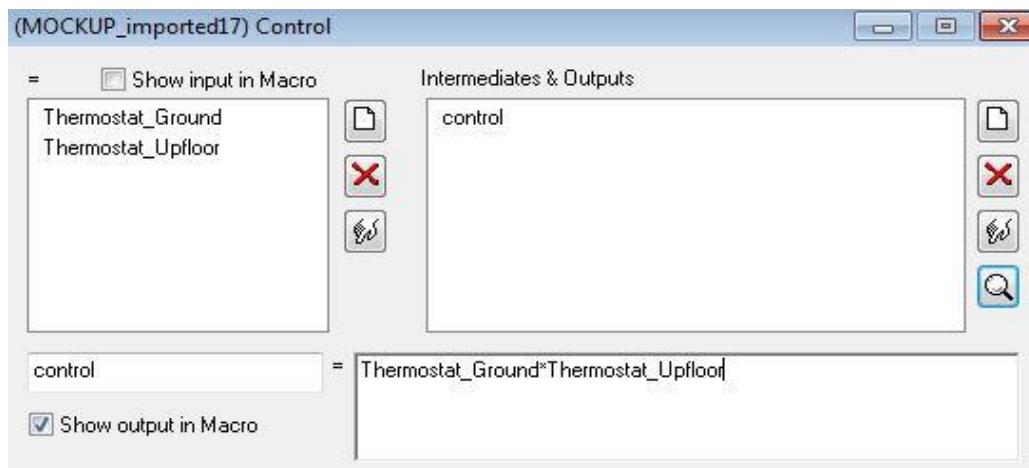
- “Electrochromic” : Με τη συνάρτηση αυτή καθορίζεται το πότε η επιφάνεια των υαλοπινάκων θα σκουραίνει ώστε να αποφεύγεται η διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στους εσωτερικούς χώρους του Mockup (**Εικόνα 9.24 και 9.25**).
- “Control” : Η συνάρτηση αυτή στέλνει σήμα ελέγχου στον λέβητα (στην τιμή εισόδου – ελέγχου του λέβητα) να τίθεται σε λειτουργία όταν θερμοστάτης της μίας τουλάχιστον θερμικής ζώνης στέλνει σήμα για θέρμανση (**Εικόνα 9.26**).
- “Powerkw” : Σε αυτή τη συνάρτηση μετατρέπονται οι μονάδες της θερμικής ισχύος των Fan Coil και του λέβητα από kJ/hs σε kW (**Εικόνα 9.27**).



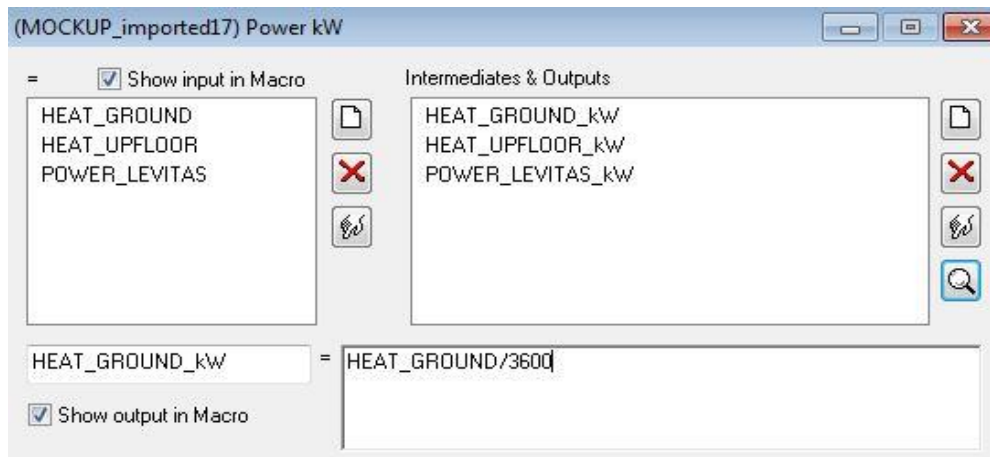
Εικόνα 9.24 : Τιμή ελέγχου της συνάρτησης “Electrochromic” για τον χρωματισμό των υαλοπινάκων.



Εικόνα 9.25 : Σύνδεση της τιμής ελέγχου της συνάρτησης “Electrochromic” με τις τιμές εισόδου του μοντέλου “Building”.



Εικόνα 9.26 : Η εξίσωση της τιμής ελέγχου που στέλνει η συνάρτηση “Control” στην τιμή εισόδου του λέβητα.



Εικόνα 9.27 : Η μετατροπή μονάδων της ισχύος.

9.2.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Για την λειτουργία μιας κλιματιστικής εγκατάστασης είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός το φορτίου (θερμικού ή/και ψυκτικού) που προσφέρει στους εσωτερικούς χώρους ώστε να εξασφαλιστεί η θερμική άνεση. Ακόμα, πρέπει να προσδιορίζεται και να αναφέρεται η ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται για τον σκοπό αυτόν.

Στον **Πίνακα 9.2** αναγράφεται το θερμικό φορτίο που προσδίδουν τα Fan Coil στην θερμική ζώνη του ισογείου και του θερμικού ορόφου για κάθε μήνα του έτους, ώστε να μην επιτραπεί στην εσωτερική θερμοκρασία να γίνει μικρότερη των 21°C .Επίσης, αναφέρονται για κάθε μήνα η κατανάλωση ενέργειας από την καύση πετρελαίου στον λέβητα (σε kWh/m²). Στην κατανάλωση ενέργειας θα έπρεπε να προσμετρηθεί και η δαπάνη της ηλεκτρικής ενέργειας από τα Fan Coil, ωστόσο η ποσότητα αυτή είναι πολύ μικρή και μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν αμελητέα σε σχέση με την ενέργεια του πετρελαίου που καταναλώνεται.

Στο Trnsys το εικονίδιο του λέβητα – καυστήρα (Type 700) δίνει ως τιμή εξόδου την θερμότητα που προσφέρει στο νερό. Για τον υπολογισμό της ενέργειας που εισάγει το καύσιμο, ο οποίος γίνεται στο εικονίδιο Εξισώσεων “Power kW” , πρέπει να διαιρεθεί η θερμότητα αυτή με τον βαθμό απόδοσης του λέβητα που δίνεται στην λίστα παραμέτρων του Type 700. Στη **Σχέση (9.1)** αποτυπώνεται ο υπολογισμός αυτός:

$$\text{Κατανάλωση Ενέργειας πετρελαίου} = \frac{\text{Αποδιδόμενη στο νερό ενέργεια}}{\text{Βαθμός Απόδοσης του λέβητα}} \quad (9.1)$$

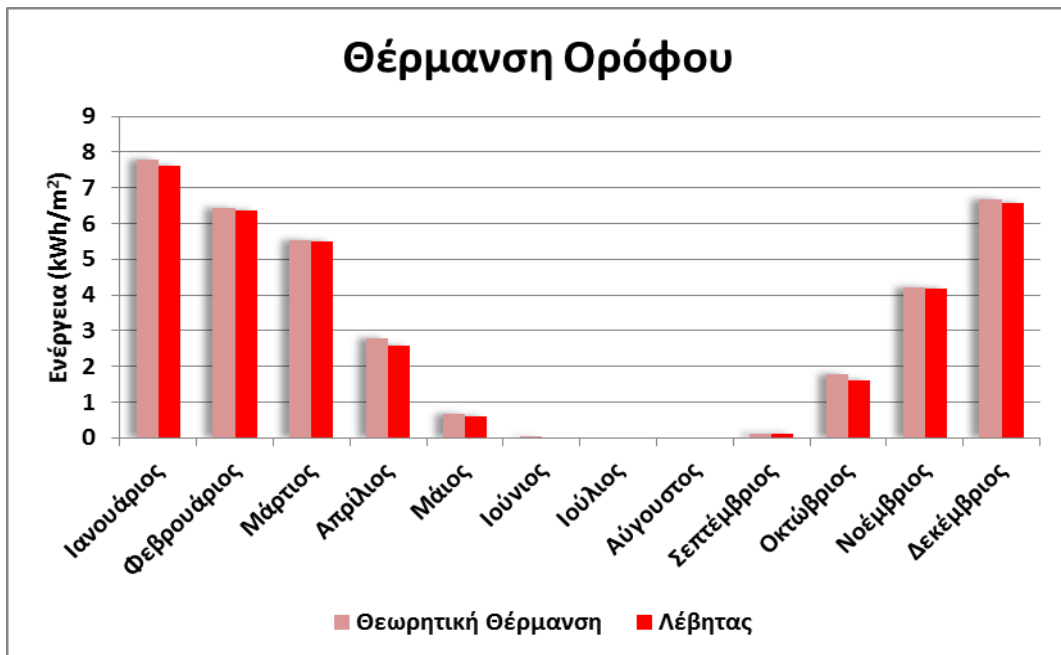
Πίνακας 9.2 : Το θερμικό φορτίο που προσδίδει η εγκατάσταση και η ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται.

Μήνας	Θερμικό Φορτίο Ισογείου (kWh/m ²)	Θερμικό Φορτίο Ορόφου (kWh/m ²)	Κατανάλωση Ενέργειας Πετρελαίου (kWh/m ²)
Ιανουάριος	6.2	7.6	8.5
Φεβρουάριος	5.4	6.4	7.4
Μάρτιος	4.8	5.5	6.7
Απρίλιος	2.3	2.6	3.7
Μάιος	0.5	0.6	0.9
Ιούνιος	0	0	0
Ιούλιος	0	0	0
Αύγουστος	0	0	0
Σεπτέμβριος	0	0.1	0.1
Οκτώβριος	1	1.6	2.2
Νοέμβριος	3.1	4.2	5.1
Δεκέμβριος	5.2	6.6	7.6
Ετήσια	29	35	42

Στα **Διαγράμματα 9.2** και **9.3** συγκρίνεται το θερμικό φορτίο της θερμικής ζώνης του ισογείου και του πρώτου ορόφου, αντίστοιχα, που προσδίδεται από τα Fan Coil με το θερμικό φορτίο που έχει προσδιοριστεί από το ιδεατό σύστημα θέρμανσης που προσφέρει στον χρήστη το Trnsys και έχει ήδη αναφερθεί στον **Πίνακα 9.1** .



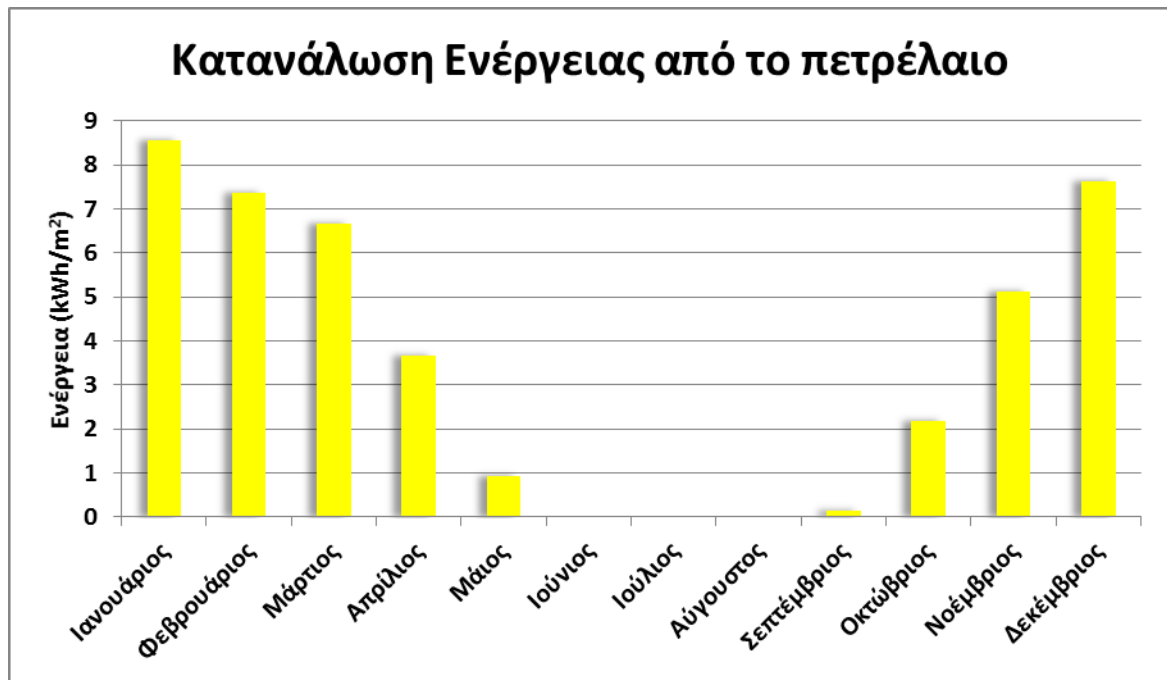
Διάγραμμα 9.2 : Σύγκριση του θερμικού φορτίου της θερμικής ζώνης του ισογείου που προσφέρεται από το γενικό – θεωρητικό σύστημα θέρμανσης σε σχέση με το φορτίο που δίνεται από την εγκατάσταση λέβητα – Fan Coil.



Διάγραμμα 9.3 : Σύγκριση του θερμικού φορτίου της θερμικής ζώνης του πρώτου ορόφου που προσφέρεται από το γενικό – θεωρητικό σύστημα θέρμανσης σε σχέση με το φορτίο που δίνεται από την εγκατάσταση λέβητα – Fan Coil.

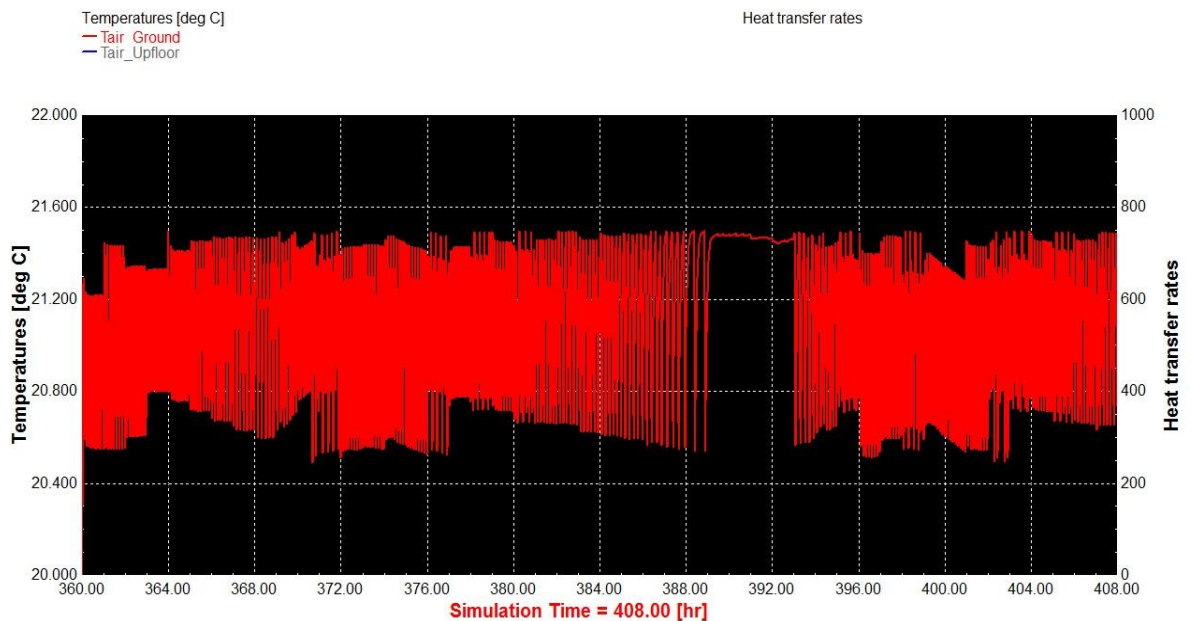
Από τα **Διαγράμματα 9.2** και **9.3** παρατηρείται πως τα αποτελέσματα της θερμικής απόδοσης που προέκυψαν από την εγκατάσταση του λέβητα είναι πολύ κοντά στα αποτελέσματα που δίνει το θεωρητικό σύστημα θέρμανσης.

Στο **Διάγραμμα 9.4** παρουσιάζεται με ραβδόγραμμα η κατανάλωση ενέργειας από το πετρέλαιο σε kWh/m² ανά μήνα του έτους.

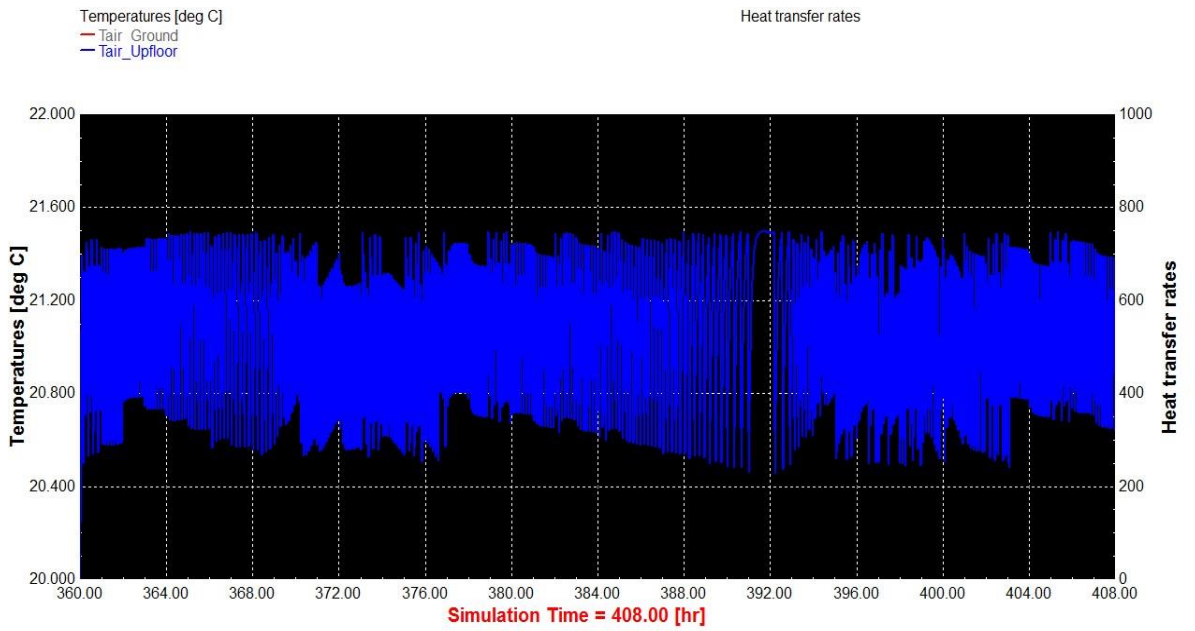


Διάγραμμα 9.4 : Η ενέργεια που δαπανάται λόγω της καύσης πετρελαίου.

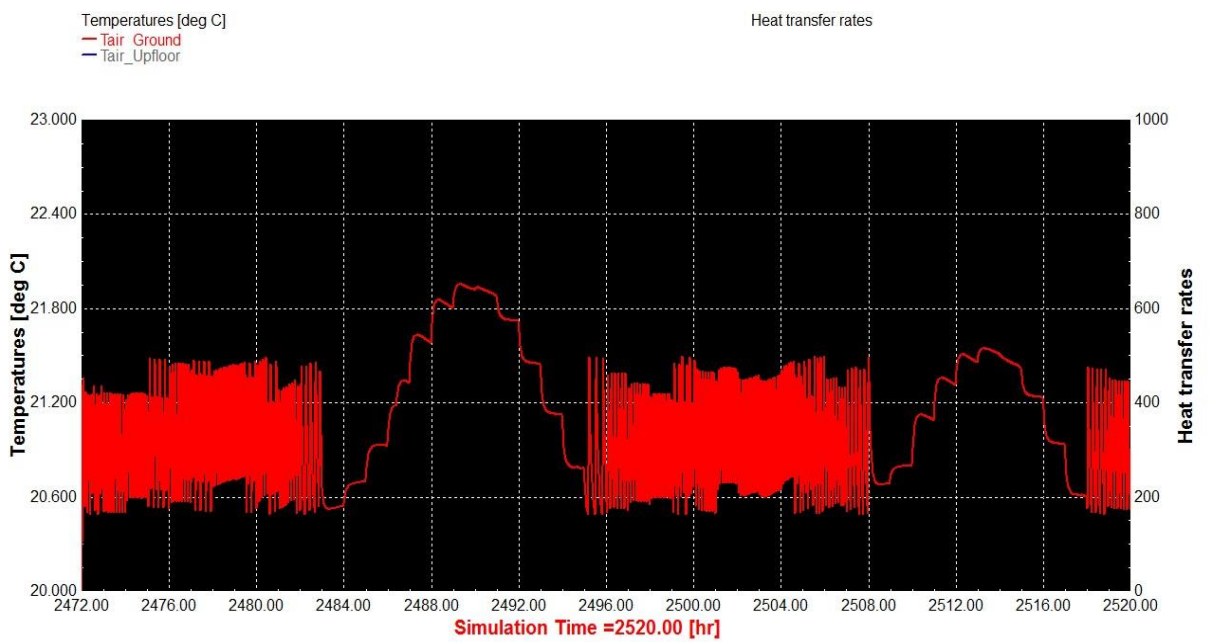
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες της θερμικής ζώνης του ισογείου και του ορόφου υπό την επίδραση της κλιματιστικής εγκατάστασης του λέβητα για τη μέση μέρα των μηνών: Ιανουάριος, Απρίλιος και Οκτώβριος.



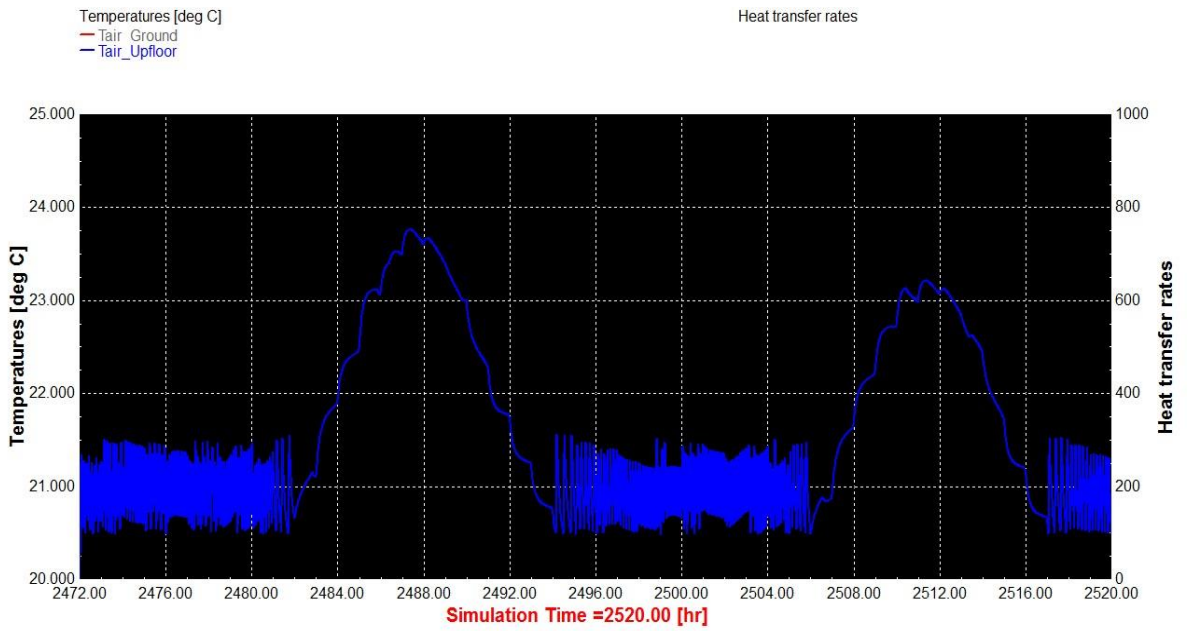
Διάγραμμα 9.5 : Η θερμοκρασία του ισογείου για τη μέση μέρα του Ιανουαρίου.



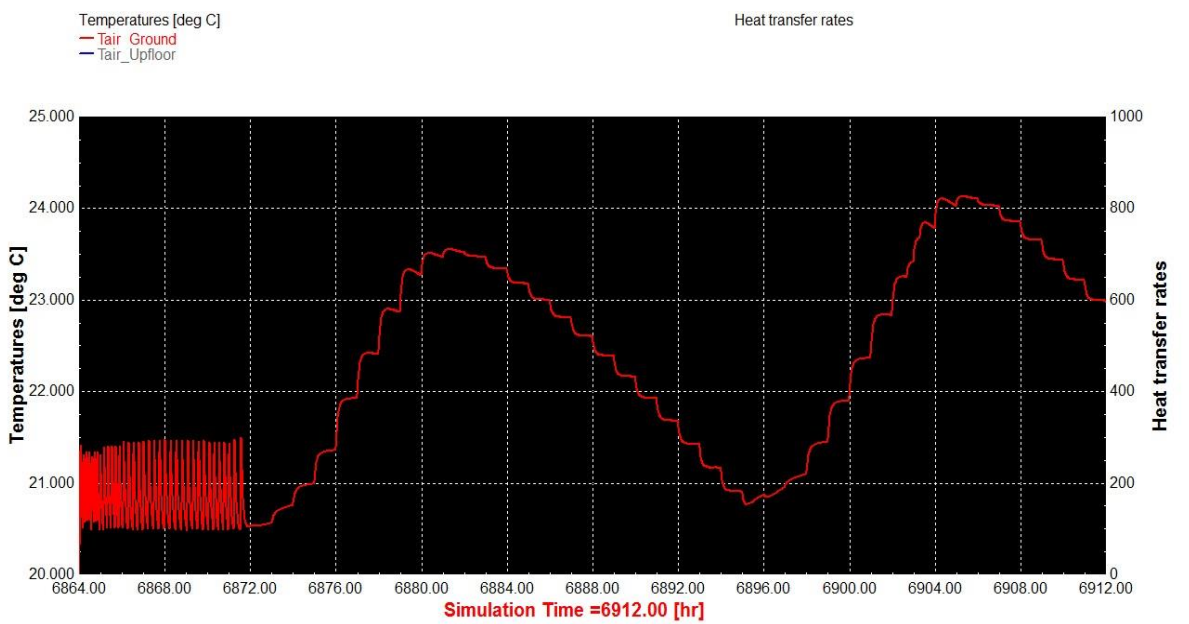
Διάγραμμα 9.6 : Η θερμοκρασία του πρώτου ορόφου για τη μέση μέρα του Ιανουαρίου.



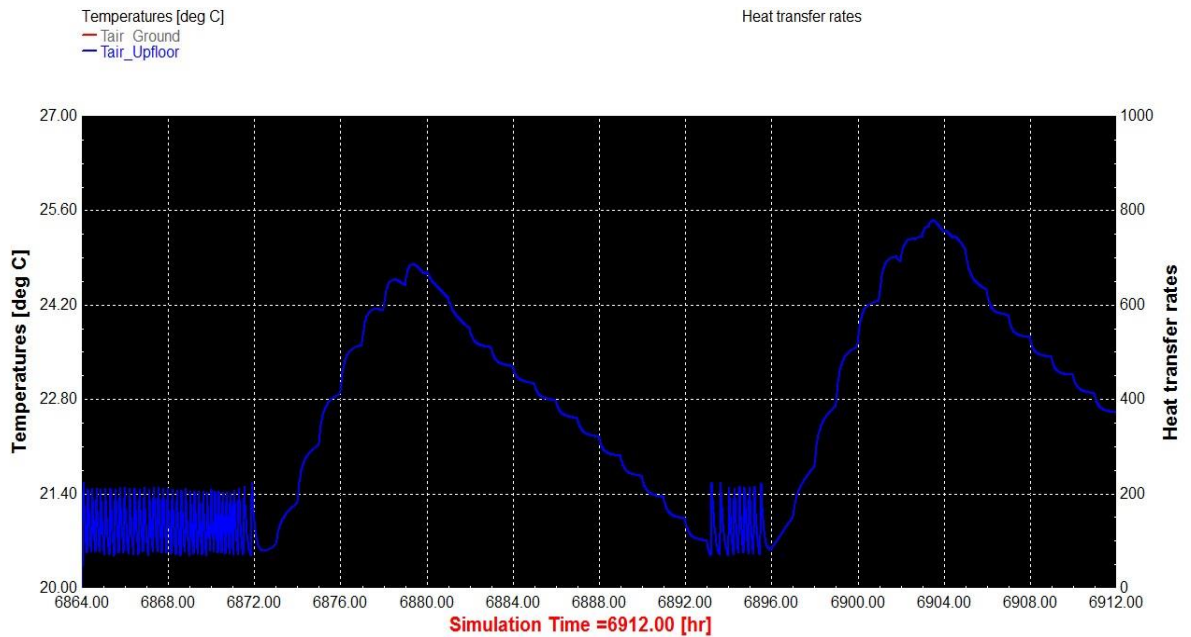
Διάγραμμα 9.7 : Η θερμοκρασία του ισόγειου για τη μέση μέρα του Απριλίου.



Διάγραμμα 9.8 : Η θερμοκρασία του πρώτου ορόφου για τη μέση μέρα του Απριλίου.



Διάγραμμα 9.9 : Η θερμοκρασία του ισόγειου για τη μέση μέρα του Οκτωβρίου.

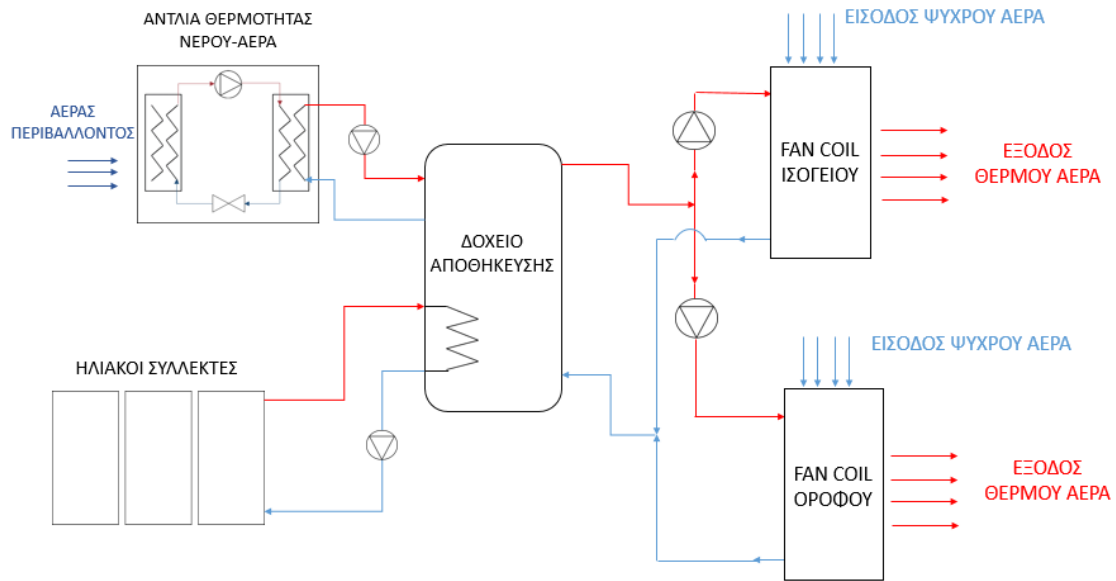


Διάγραμμα 9.10 : Η θερμοκρασία του πρώτου ορόφου για τη μέση μέρα του Οκτωβρίου.

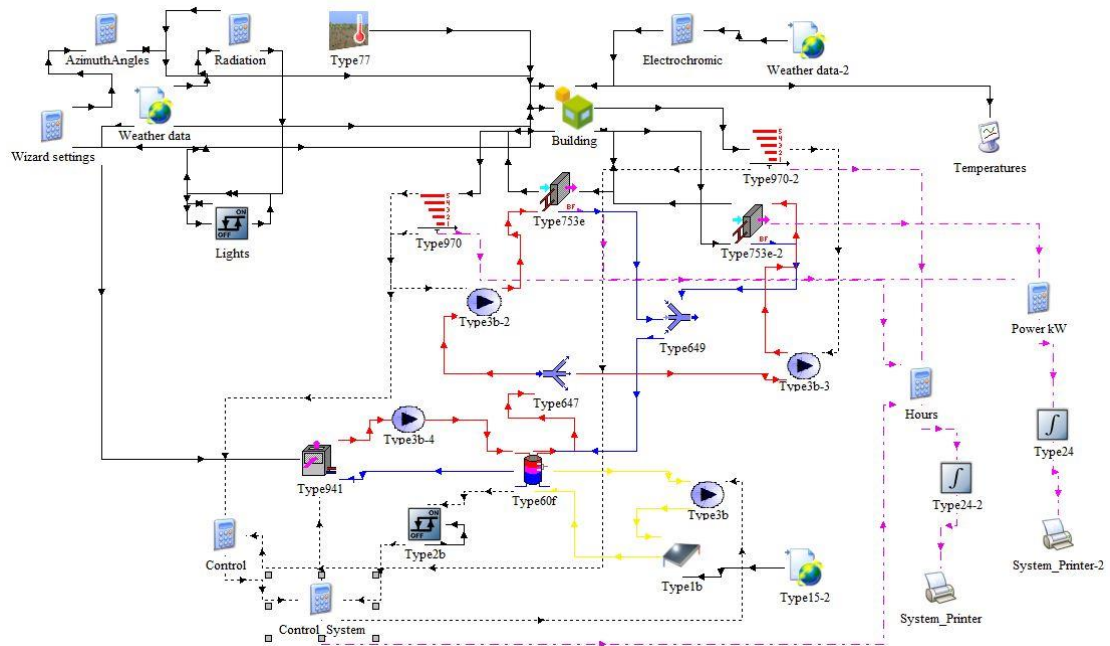
9.3 Εγκατάσταση θέρμανσης με ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας και χρήση Fan Coil

Στη στέγη του κτιρίου θεωρούνται τοποθετημένοι ηλιακοί συλλέκτες οι οποίοι όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια τους θερμαίνουν το νερό που βρίσκονται στις σωληνώσεις τους και αυτό με τη σειρά του θερμαίνει το νερό του δοχείου αποθήκευσης μέσω ενός εναλλάκτη. Το νερό που βρίσκεται στον εναλλάκτη μεταφέρει τη θερμότητα που έχει λάβει στο νερό του δοχείου και επιστρέφει μέσω αντλιών πίσω στους ηλιακούς συλλέκτες πιο ψυχρό. Όταν η ενέργεια που δίνει η ηλιακή ακτινοβολία στους συλλέκτες δεν επαρκεί για να φτάσει τη θερμοκρασία του νερού στο δοχείο τα επιτρεπτά όρια για να λειτουργήσουν τα Fan Coil τίθεται σε λειτουργία η αντλία θερμότητας αέρος – νερού. Η αντλία θερμότητας στέλνει θερμό νερό στο δοχείο ώστε να αναμιχθεί με το ήδη υπάρχον σε αυτό νερό και να αυξήσει τη θερμοκρασία του ως την οριακή τιμή που έχει τεθεί.

Στη συνέχεια, το θερμό νερό του δοχείου αποθήκευσης στέλνεται με τη βοήθεια αντλιών στα δύο Fan Coil (ένα για κάθε θερμική ζώνη) με την ίδια παροχή και θερμοκρασία. Εκεί η θερμότητα από το θερμό νερό μεταφέρεται στον ψυχρό αέρα που μπαίνει στο μηχάνημα και έπειτα ο θερμός αέρας που προκύπτει πηγαίνει με τη βοήθεια του ανεμιστήρα του Fan Coil στο περιβάλλον του χώρου που απαιτεί την θέρμανση.

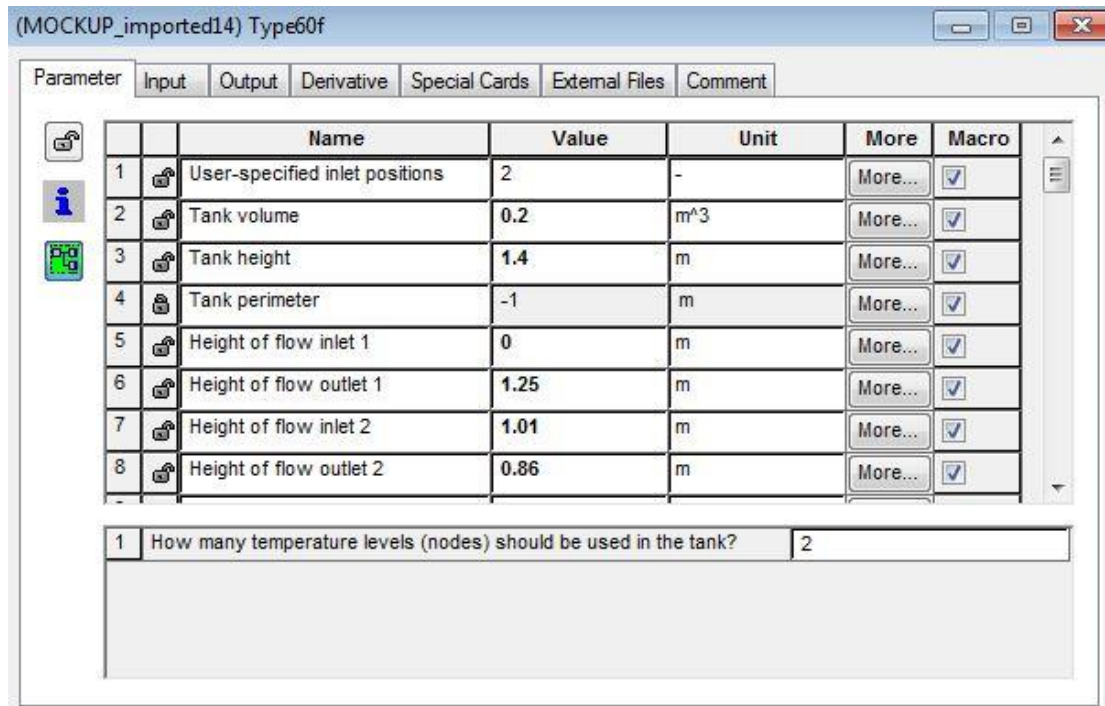


Εικόνα 9.28 : Λειτουργικό διάγραμμα του συστήματος θέρμανσης με ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας και χρήση Fan Coil.

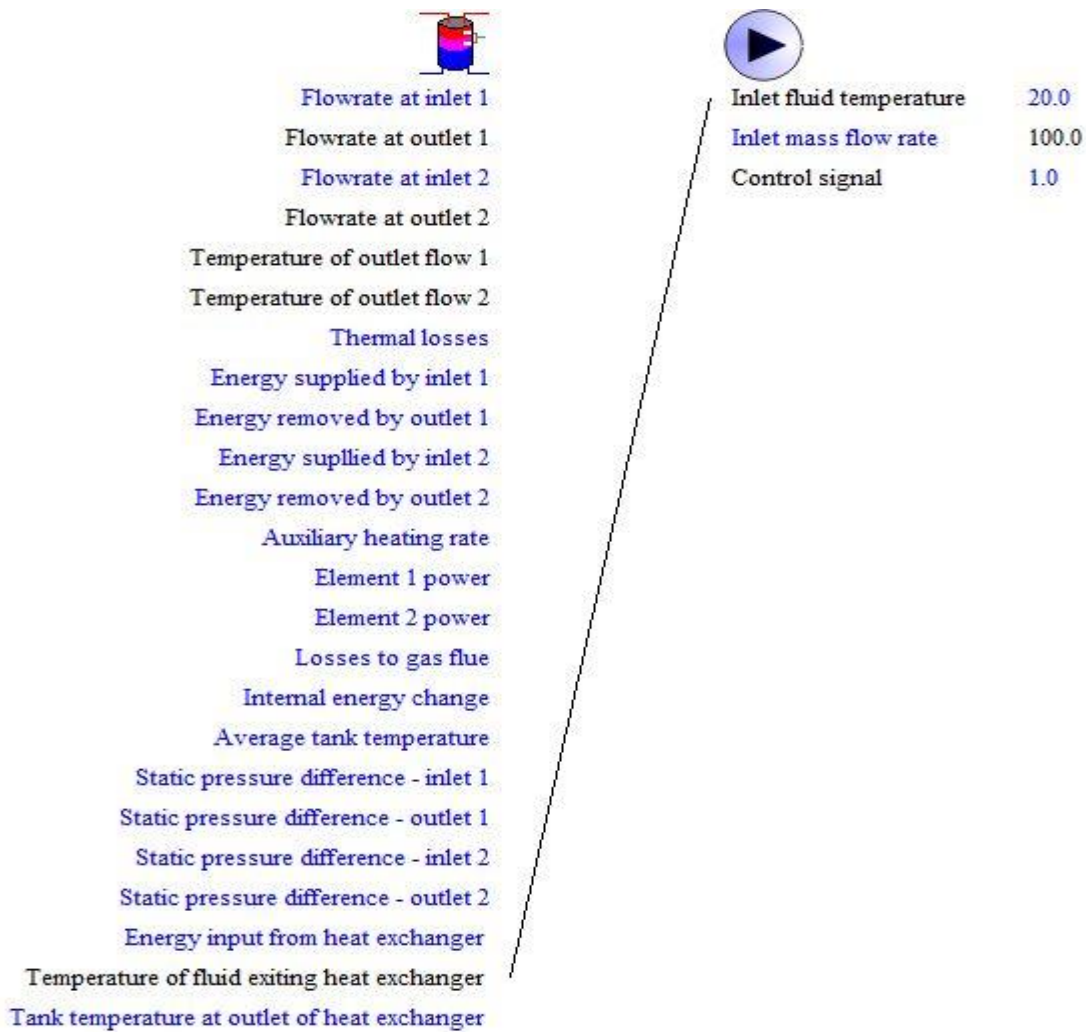


Εικόνα 9.29 : Διάταξη προσομοίωσης του συστήματος θέρμανσης με ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας και χρήση Fan Coil στοTrnsys.

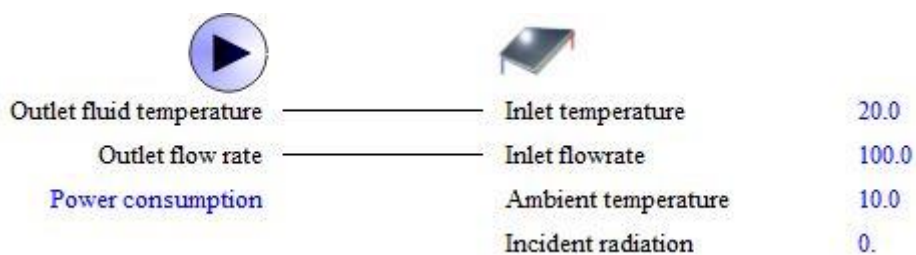
Για τη μοντελοποίηση του συστήματος επιλέχθηκε δοχείο αποθήκευσης όγκου 0.2m^3 (200 lt) ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες θέρμανσης του κτιρίου μελέτης.



Εικόνα 9.32 : Παράμετροι λειτουργίας του δοχείου αποθήκευσης[49].



Εικόνα 9.35 : Σύνδεση δοχείου αποθήκευσης – κυκλοφορητή.



Εικόνα 9.36 : Σύνδεση κυκλοφορητή – ηλιακών συλλεκτών.

9.3.2 Επιλογή χαρακτηριστικών του ηλιακού συστήματος θέρμανσης

Για τον σχεδιασμό και τον υπολογισμό των ηλιακών θερμικών συστημάτων χρησιμοποιείται η προσεγγιστική μέθοδος των καμπυλών f . Η μέθοδος αυτή είναι μια συσχέτιση με την οποία γίνεται εκτίμηση της μηνιαίας απόδοσης των ενεργητικών συστημάτων θέρμανσης χώρων και νερού χρήσης. Στην περίπτωση που μελετάται θα εξεταστεί το θερμικό φορτίο που καλύπτεται από την ηλιακή

ενέργεια, f , μόνο για την θέρμανση χώρων. Για την εφαρμογή της μεθόδου των καμπυλών f χρησιμοποιούνται οι αδιάστατες μεταβλητές X και Y , όπως παρουσιάζονται στις **Σχέσεις (9.2)** και **(9.3)**:

$$X = F_R U_L \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot (T_{ref} - \bar{T}_a) \cdot \Delta\tau \cdot \frac{A_C}{L_S} \quad (9.2)$$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot \frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} \cdot \bar{H}_T \cdot N \cdot \frac{A_C}{L_S} \quad (9.3)$$

Όπου:

$F_R U_L, F_R (\tau\alpha)_n$: Χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη

A_C : Επιφάνεια επίπεδων ηλιακών συλλεκτών (m^2)

$\frac{F'_R}{F_R}$: Ο λόγος του παράγοντα θερμικής απολαβής του συστήματος συλλέκτη εναλλάκτη προς τον αντίστοιχο παράγοντα του συλλέκτη

T_{ref} : Θερμοκρασία αναφοράς ($100\text{ }^\circ\text{C}$)

\bar{T}_a : Μηνιαίως μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της ημέρας ($^\circ\text{C}$)

$\Delta\tau$: Διάρκεια μηνός σε sec

\bar{H}_T : Μηνιαίως μέση ακτινοβολία ημέρας που προσπίπτει στο επίπεδο του συλλέκτη, ανά μονάδα επιφάνειας ($\text{J}/m^2\text{day}$)

N : Πλήθος ημερών του μήνα

$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}$: Ο λόγος του μηνιαίως μέσου γινομένου διαπερατότητας – απορροφητικότητας προς το αντίστοιχο γινόμενο καθέτου πρόσπτωσης. Για συλλέκτη στην Ελλάδα με βέλτιστη κλίση και προσανατολισμό, ο λόγος λαμβάνεται για δύο τζάμια 0.93 και 0.89

L_S : Μηνιαίο ολικό φορτίο θέρμανσης χώρων (J)

Το κλάσμα f του μηνιαίου φορτίου θέρμανσης χώρων που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια εκφράζεται συναρτήσει των αδιάστατων μεταβλητών X και Y από την εξίσωση:

$$f = 1.029 \cdot Y - 0.065 \cdot X - 0.245 \cdot Y^2 + 0.0018 \cdot X^2 + 0.0215 \cdot Y^3 \quad (9.4)$$

Η **Σχέση (9.4)** έχει αναπτυχθεί για χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης $V_0 = 75$ lt νερού / m^2 συλλεκτικής επιφάνειας. Ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για χωρητικότητες $V = 37.5$ $\text{lt}/m^2 - 300$ lt/m^2 , αρκεί η μεταβλητή X να διορθωθεί πολλαπλασιάζοντας την επί τον διορθωτικό παράγοντα χωρητικότητας:

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{V}{V_o}\right)^{-0.25} \quad (9.5)$$

Για να ισχύει η **Σχέση (9.5)** ο λόγος της χωρητικότητας της δεξαμενής νερού να ικανοποιεί την συνθήκη: $0.5 \leq \frac{V}{V_o} \leq 4$. Η αύξηση της χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης βελτιώνει ελαφρά την ετήσια απόδοση της εγκατάστασης.

Το κλάσμα ηλιακής κάλυψης του ετήσιου θερμικού φορτίου, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} f_i \cdot L_i}{\sum_{i=1}^{12} L_i} \quad (9.6)$$

Όπου:

f_i : η ηλιακή κάλυψη του θερμικού φορτίου για κάθε μήνα και

L_i : το θερμικό φορτίο για την θέρμανση των χώρων για κάθε μήνα

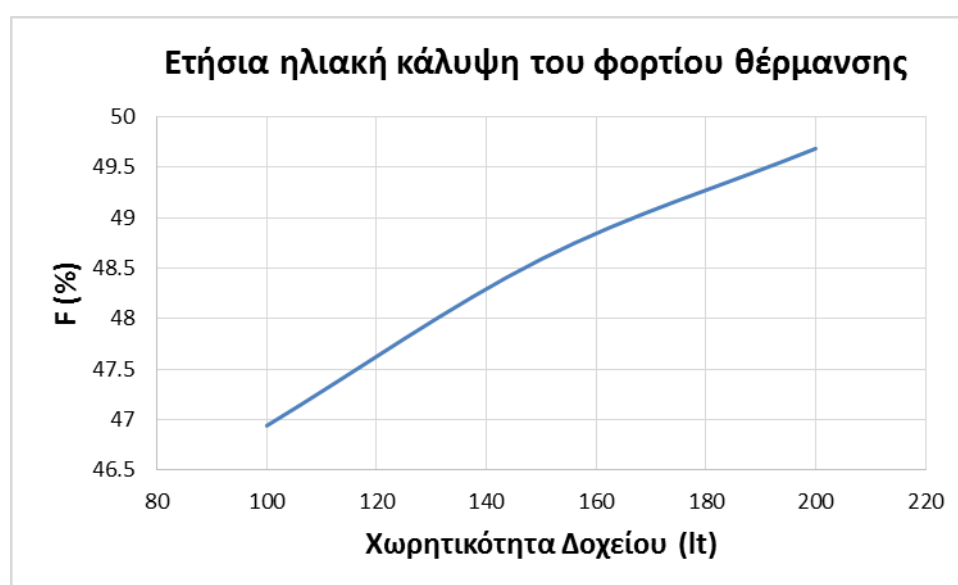
Για την επίτευξη της κάλυψης του 40 – 60% του θερμικού φορτίου (θέρμανση και ΖΝΧ), με βάση τη μέση ηλιοφάνεια στην Ελλάδα και τη μέση απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης των κτιρίων, η επιφάνεια των συλλεκτών ηλιακής ενέργειας θα πρέπει να αντιστοιχεί στο 20% της επιφάνειας του θερμαινόμενου χώρου, ενώ ο απαιτούμενος όγκος αποθήκευσης είναι περίπου δεκαπλάσιος (υπολογισμένος σε λίτρα) [50]. Από την συλλεκτική επιφάνεια περίπου το 80% προσφέρεται για την κάλυψη της θέρμανσης του χώρου και το 20% για το ζεστό νερό χρήσης. Συνεπώς, για την θέρμανση ενός κτιρίου απαιτείται επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών ίση με το 16% της επιφάνειας του θερμαινόμενου χώρου.

Για την συνολική θέρμανση, λοιπόν, του κτιρίου προσομοίωσης και για τις δύο θερμικές ζώνες επιλέγεται ως επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών 4m^2 , δηλαδή το 16% της συνολικής επιφάνειας του θερμαινόμενου χώρου (25m^2). Επιπλέον, για την θέρμανση του χώρου με την δεδομένη επιφάνεια διατίθενται στο εμπόριο τα δοχεία αποθήκευσης με τις εξής χωρητικότητες: 120 lt, 150 lt και 200 lt.

Στον **Πίνακα 9.3** αναφέρονται το ποσοστό της μηνιαία και της ετήσια κάλυψη του φορτίου θέρμανσης από την ηλιακή ενέργεια (τους μήνες θέρμανσης του χώρου) για συλλεκτική επιφάνεια 4m^2 και για χωρητικότητα δοχείου 120 lt, 150 lt και 200 lt. Ενώ στο **Διάγραμμα 9.11** παρουσιάζεται διαγραμματικά η μεταβολή της ετήσιας κάλυψης συναρτήσει της χωρητικότητας του δοχείου αποθήκευσης.

Πίνακας 9.3 : Το ποσοστό της μηνιαία και της ετήσια κάλυψη του φορτίου θέρμανσης από τους ηλιακούς συλλέκτες.

Μήνες	Χωρητικότητα δοχείου 120lt	Χωρητικότητα δοχείου 150lt	Χωρητικότητα δοχείου 200lt
	Ποσοστό της Μηνιαίας Κάλυψης (%)		
Ιανουάριος	25.12	26.42	27.28
Φεβρουάριος	34.54	35.83	36.68
Μάρτιος	57.73	59.38	60.46
Απρίλιος	97.63	98.76	99.87
Οκτώβριος	97.25	98.17	99.83
Νοέμβριος	50.43	52.20	53.38
Δεκέμβριος	32.07	33.64	34.68
	Ποσοστό της Ετήσιας Κάλυψης (%)		
	46.94	48.59	49.69

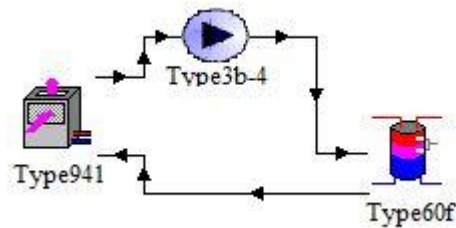


Διάγραμμα 9.11: Η ετήσια ηλιακή κάλυψη του φορτίου θέρμανσης χώρων.

Από το **Διάγραμμα 9.11** και τον **Πίνακα 9.3** παρατηρείται πως η μεγαλύτερη ετήσια κάλυψη, καθώς και η μηνιαία, επιτυγχάνεται με δοχείο αποθήκευσης 200lt. Επιπρόσθετα, από τα τρία αυτά ηλιακά θερμικά συστήματα (με διαφορετική χωρητικότητα η κάθε μία) το μόνο που ικανοποιεί την συνθήκη της **Σχέσης (9.5)** είναι το σύστημα με δοχείο αποθήκευσης 200 lt .Συνεπώς, το θερμικό ηλιακό σύστημα που επιλέγεται, αποτελείται από **ηλιακή συλλεκτική επιφάνεια 4m² και δοχείο 200 lt.**

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί πως η χωρητικότητα που δοχείου που επιλέχθηκε είναι κατάλληλη να χρησιμοποιηθεί και σε εγκατάσταση που η θέρμανση εξαρτάται μόνο από την λειτουργία αντλίας θερμότητας.

9.3.3 Υποσύστημα δοχείο αποθήκευσης – αντλία θερμότητας



Εικόνα 9.37 : Υποσύστημα δοχείο αποθήκευσης – αντλία θερμότητας.



Αντλία θερμότητας αέρα-νερού

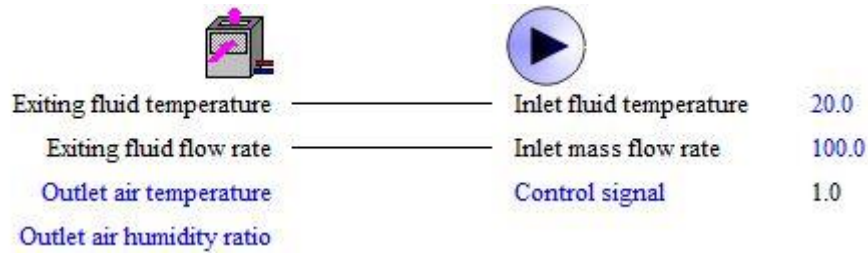
Η αντλία θερμότητας διοχετεύει ζεστό νερό στο δοχείο αποθήκευσης ώστε το νερό που περιέχεται στο δοχείο να έχει θερμοκρασία τουλάχιστον 45°C. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της αντλίας θερμότητας που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στην **Εικόνα 9.38** .

(MOCKUP_imported14) Type941

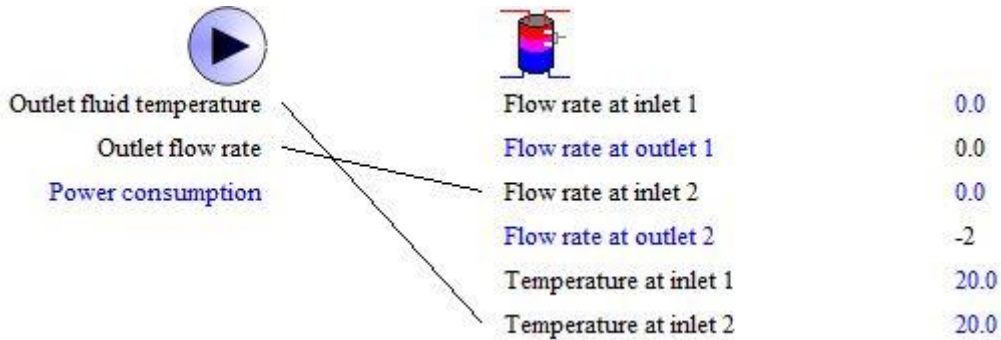
Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						

	Name	Value	Unit	More	Macro
9	Specific heat of DHW stream	4.190	kJ/kg.K	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Blower power	662	kJ/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Total air flow rate	200	l/s	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Rated cooling capacity	14832	kJ/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Rated cooling power	4679	kJ/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Rated heating capacity	9000	kJ/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Rated heating power	2800	kJ/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Capacity of auxiliary	0.0	kJ/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

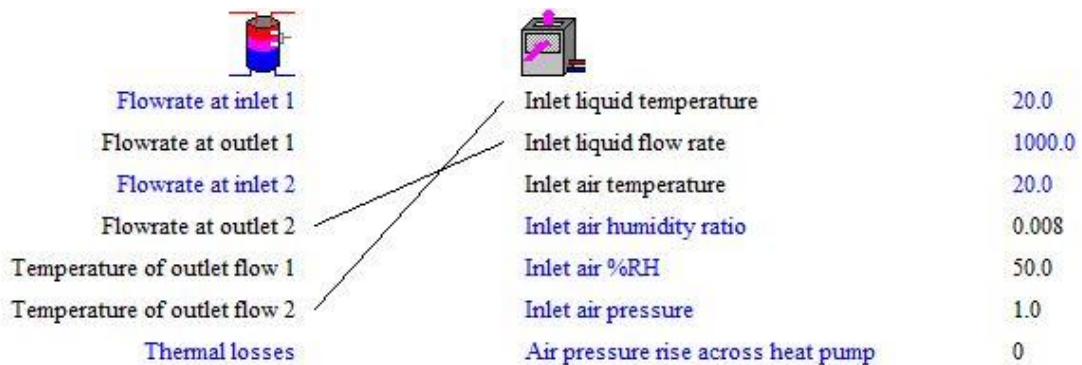
Εικόνα 9.38 : Παράμετροι λειτουργίας της αντλίας θερμότητας.



Εικόνα 9.39 : Σύνδεση αντλίας θερμότητας – κυκλοφορητή.

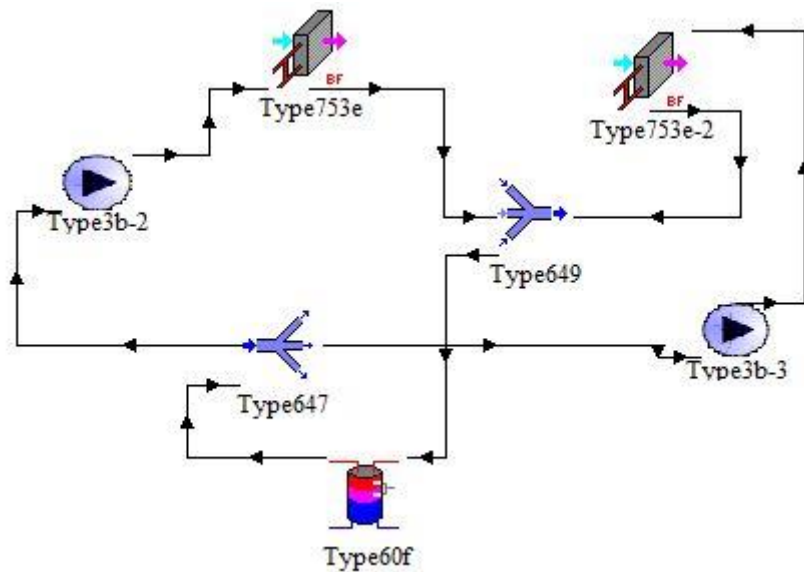


Εικόνα 9.40 : Σύνδεση κυκλοφορητή – δοχείου αποθήκευσης.



Εικόνα 9.41 : Σύνδεση δοχείου αποθήκευσης – αντλίας θερμότητας.

9.3.4 Υποσύστημα δοχείο αποθήκευσης – Fan Coil



Εικόνα 9.42 : Υποσύστημα δοχείο αποθήκευσης – Fan Coil.



Type647

Βαλβίδα εκτροπής

Μια βαλβίδα εκτροπής μπορεί να χωρίσει μια κεντρική ροή ρευστού συγκεκριμένης παροχής και θερμοκρασίας σε πολλές μικρότερες ροές (με μέγιστο αριθμό τις 100). Σ' αυτή την προσομοίωση η βαλβίδα εκτροπής χωρίζει τη ροή του θερμού νερού που βγαίνει από το δοχείο αποθήκευσης σε δύο ροές ίδιας θερμοκρασίας και παροχής ώστε το νερό να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση των δύο θερμικών ζωνών του κτιρίου.



Type753e

Fan Coil

Τα Fan Coils ή αλλιώς σώματα βεβιασμένης κυκλοφορίας είναι εσωτερικές μονάδες που μεταφέρουν την θερμότητα (ή την ψύξη) στους διάφορους χώρους μέσω της τροφοδοσίας τους με νερό, κατάλληλης θερμοκρασίας. Τα Fan Coils παίρνουν νερό στο στοιχείο τους, με θερμοκρασία μεταξύ 35°C και 70°C, και με τη βοήθεια του ανεμιστήρα διανέμουν τη θερμότητα στο χώρο.

(MOCKUP_imported14) Type753e

Parameter Input Output Derivative Special Cards External Files Comment

		Name	Value	Unit	More	Macro
3		Air inlet temperature	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4		Not used	0.005	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5		Air relative humidity	50.0	% (base 100)	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6		Air flow rate	110	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7		Air pressure	1.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8		Air-side pressure drop	0.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
9		Coil bypass fraction	0.15	Fraction	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
10		Setpoint: outlet air temperature	34	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 9.43 : Παράμετροι λειτουργίας του Fan Coil για το ισόγειο.

(MOCKUP_imported14) Type753e-2

Parameter Input Output Derivative Special Cards External Files Comment

		Name	Value	Unit	More	Macro
3		Air inlet temperature	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4		Not used	0.005	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5		Air relative humidity	50.0	% (base 100)	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6		Air flow rate	190	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7		Air pressure	1.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8		Air-side pressure drop	0.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
9		Coil bypass fraction	0.15	Fraction	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
10		Setpoint: outlet air temperature	33	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

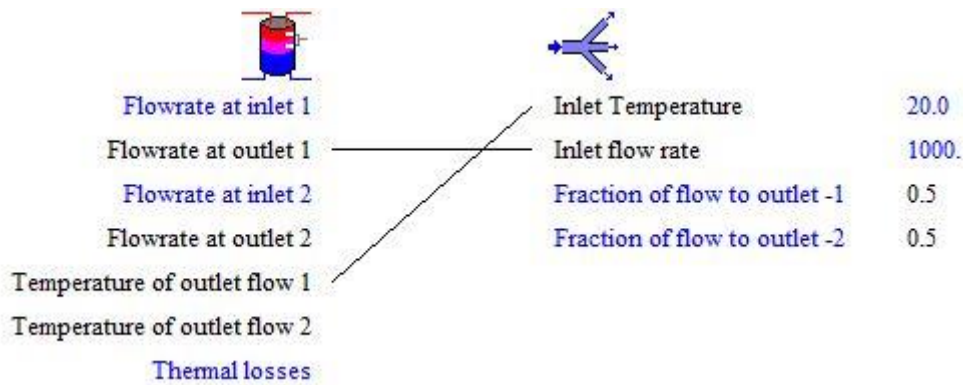
Εικόνα 9.44 : Παράμετροι λειτουργίας του Fan Coil για τον όροφο.



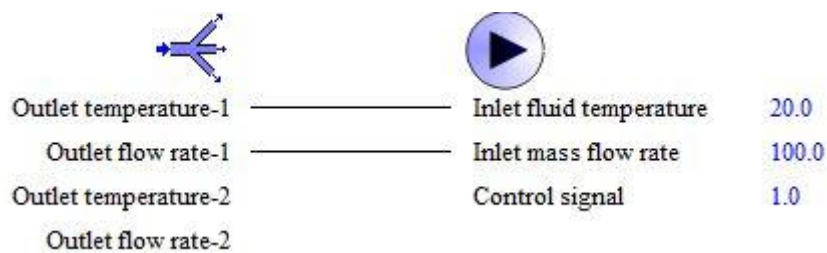
Βαλβίδα ανάμειξης

Η βαλβίδα ανάμειξης «εμπλέκει» πολλές μεμονωμένες ροές (έως 100 ροές για αυτό το μοντέλο προσομοίωσης) με διαφορετική παροχή και θερμοκρασία, σε μία κεντρική ροή. Όσον αφορά την παρούσα προσομοίωση οι ροές εξόδου του ψυχρού νερού από τα Fan Coil αναμιγνύονται στην βαλβίδα αυτή και η ροή που προκύπτει επιστρέφει στο δοχείο αποθήκευσης.

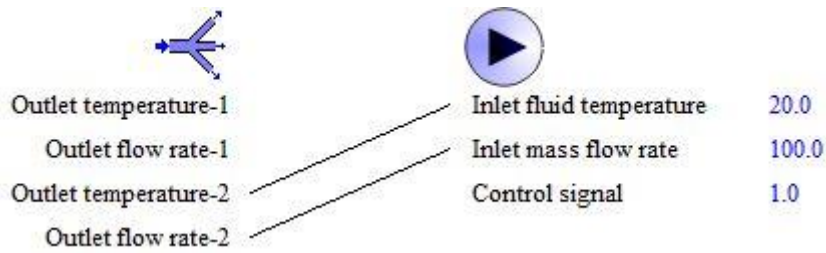
Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου των στοιχείων που τα συνδέουν μεταξύ τους.



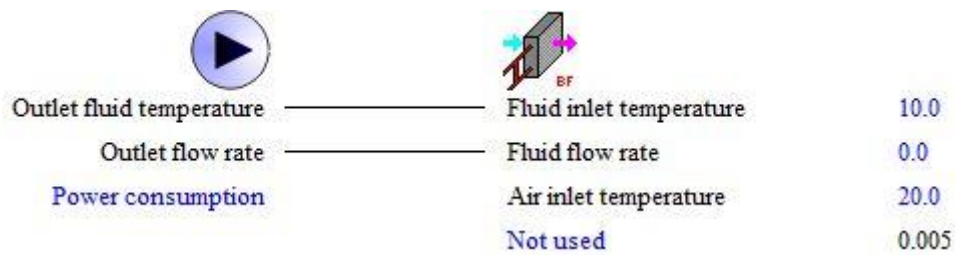
Εικόνα 9.45 : Σύνδεση δοχείου αποθήκευσης – βαλβίδα εκτροπής.



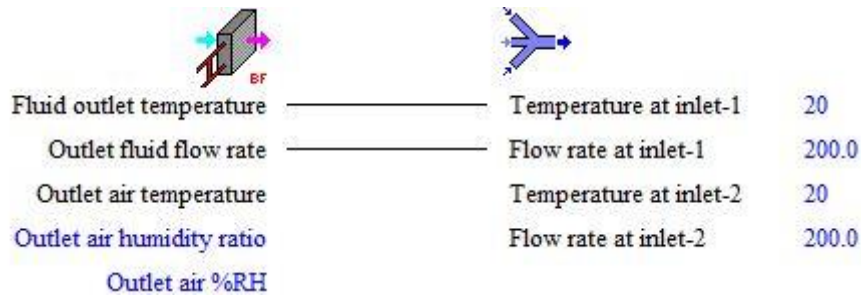
Εικόνα 9.46 : Σύνδεση βαλβίδα εκτροπής – κυκλοφορητής για τη θερμική ζώνη του ισογείου.



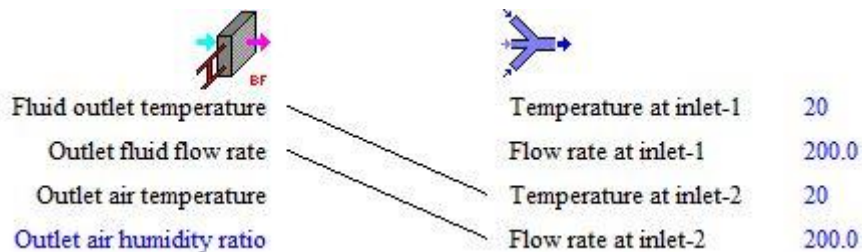
Εικόνα 9.47 : Σύνδεση βαλβίδα εκτροπής – κυκλοφορητής για τη θερμική ζώνη του ορόφου.



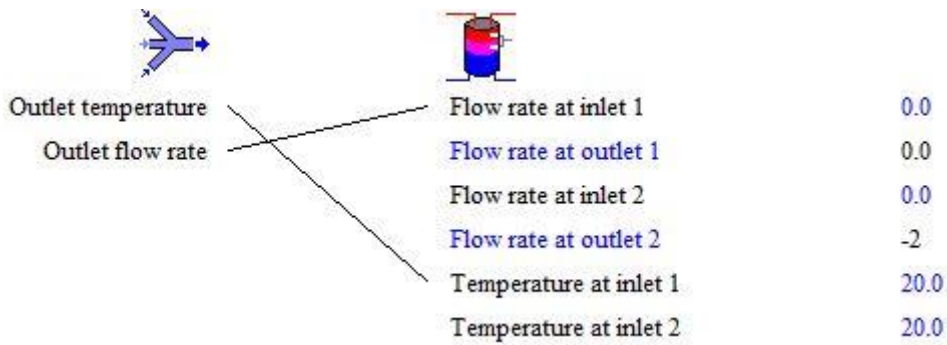
Εικόνα 9.48 : Σύνδεση κυκλοφορητής – FanCoil.



Εικόνα 9.49 : Σύνδεση Fan Coil – βαλβίδα ανάμειξης (για τη θερμική ζώνη του ισογείου).



Εικόνα 9.50 : Σύνδεση Fan Coil – βαλβίδα ανάμειξης (για τη θερμική ζώνη του ορόφου).



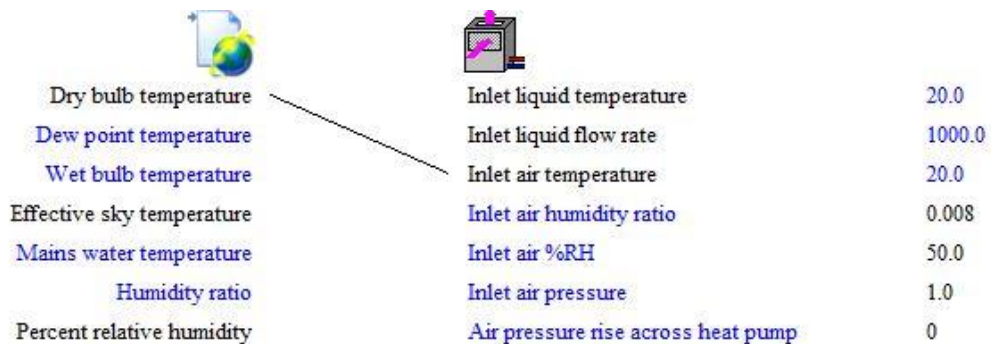
Εικόνα 9.51 : Σύνδεση βαλβίδα ανάμειξης – δοχείο αποθήκευσης.

9.3.5 Επιπλέον στοιχεία και συνθήκες ελέγχου



Δεδομένα Καιρού

Το μοντέλο καιρού διαβάζει της καιρικές συνθήκες για την περιοχή της Αθήνας για όλο το έτος. Για την λειτουργία της παρούσας εγκατάστασης, η αντλία θερμότητας αέρα – νερού λαμβάνει από το μοντέλο καιρού την τιμή της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα για κάθε χρονική στιγμή και οι ηλιακοί συλλέκτες λαμβάνουν από το αρχείο αυτό όλα τα ηλιακά του χαρακτηριστικά.



Εικόνα 9.52 : Σύνδεση αρχείου καιρού – αντλίας θερμότητας.

Dry bulb temperature	Inlet temperature	20.0
Dew point temperature	Inlet flowrate	100.0
Wet bulb temperature	Ambient temperature	10.0
Effective sky temperature	Incident radiation	0.
Mains water temperature	Total horizontal radiation	0.0
Humidity ratio	Horizontal diffuse radiation	0.0
Percent relative humidity	Ground reflectance	0.2
Wind velocity	Incidence angle	45.0
Wind direction	Collector slope	0.
Atmospheric pressure		
Total sky cover		
Opaque sky cover		
Extraterrestrial solar radiation		
Global horizontal radiation (not interpolated)		
Direct normal radiation (not interpolated)		
Solar zenith angle		
Solar azimuth angle		
Total horizontal radiation		
Horizontal beam radiation		
Sky diffuse radiation on the horizontal		
Ground diffuse radiation on the horizontal		
Total diffuse radiation on the horizontal		
Angle of incidence for horizontal		
Total tilted surface radiation for surface		
Beam radiation for surface		
Sky diffuse radiation for surface		
Ground reflected diffuse radiation for surface		
Total diffuse radiation for surface		
Angle of incidence for surface		
Slope of surface		

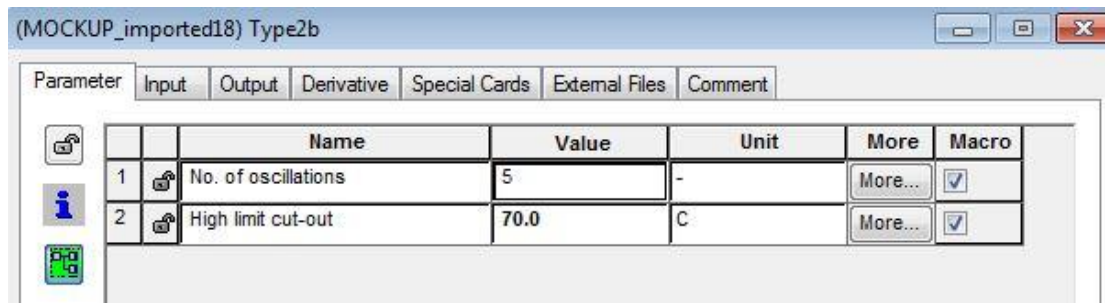
Εικόνα 9.53 : Σύνδεση αρχείου καιρού – ηλιακοί συλλέκτες.



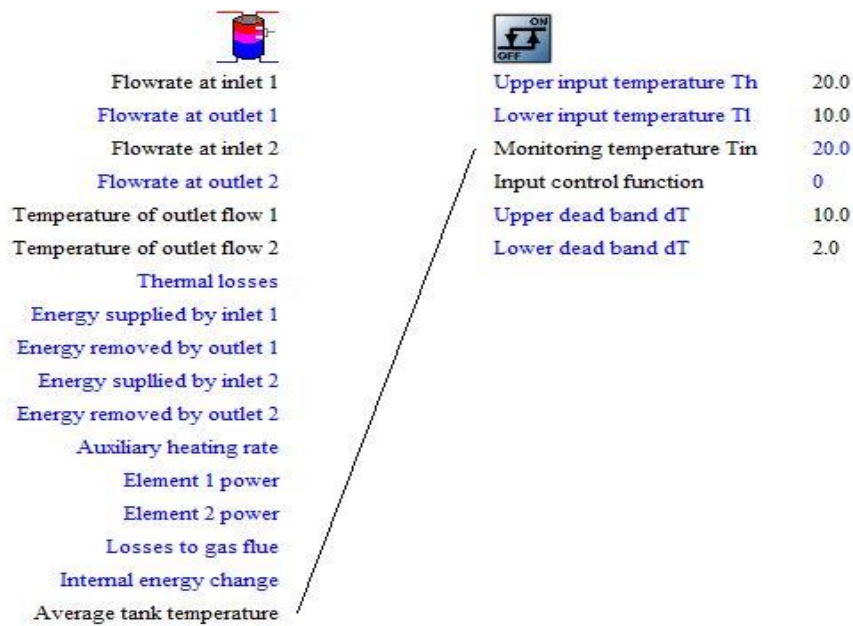
Type2b

Διαφορικός ελεγκτής

Είναι μία συσκευή που συγκρίνει τις εισερχόμενες τιμές του και το αποτέλεσμα που δίνει έχει τιμή 0 ή 1 για την παύση ή την έναρξη, αντίστοιχα, της λειτουργίας. Ο ρόλος του ελεγκτή στο υποσύστημα αντλία θερμότητας – δοχείο αποθήκευσης και στο υποσύστημα ηλιακοί συλλέκτες – δοχείο αποθήκευσης είναι να εξετάζει τη θερμοκρασία του νερού ώστε να μην ξεπερνάει τους 70°C. Αν η θερμοκρασία υπερβεί αυτό το θερμοκρασιακό όριο, ο ελεγκτής δίνει σήμα 1 στην αντλία θερμότητας και στον κυκλοφορητή της συστοιχίας των ηλιακών, αντίστοιχα, ώστε να αρχίσει η λειτουργία θέρμανσης για το εκάστοτε υποσύστημα.



Εικόνα 9.54 : Παράμετροι διαφορικού ελεγκτή.



Εικόνα 9.55 : Σύνδεση διαφορικού ελεγκτή – δοχείο αποθήκευσης.



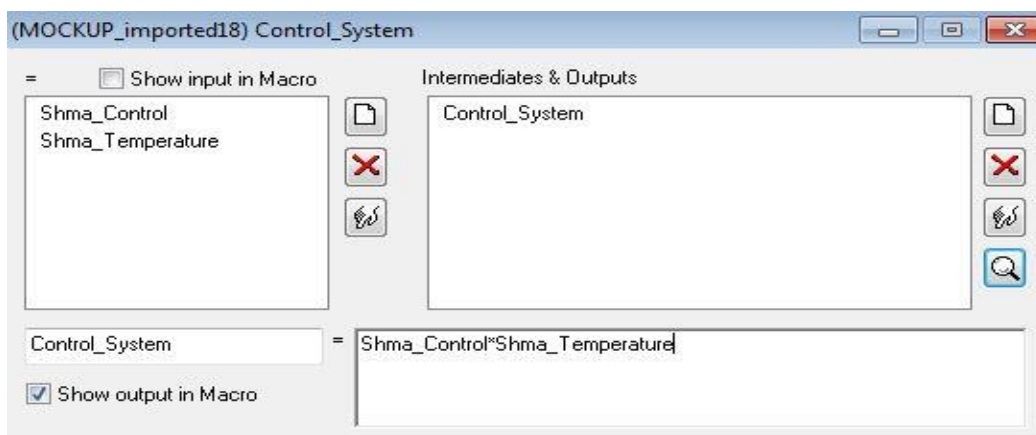
Δημιουργία συναρτήσεων

Στο μοντέλο αυτό ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει δικές του συναρτήσεις και να τις χρησιμοποιήσει για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Στην προσομοίωση αυτή έχουν δημιουργηθεί οι εξής «Συναρτήσεις» :

- “Electrochromic” : Με τη συνάρτηση αυτή καθορίζεται το πότε η επιφάνεια των υαλοπινάκων θα σκουραίνει ώστε να αποφεύγεται η διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στους εσωτερικούς χώρους του Mockup.
- “Control” : Η συνάρτηση αυτή στέλνει σήμα ελέγχου στην αντλία θερμότητας (για θέρμανση) και στο σύστημα των ηλιακών συλλεκτών ώστε να τίθενται σε

λειτουργία ότανοθερμοστάτης της μίας τουλάχιστον θερμικής ζώνης στέλνει σήμα για θέρμανση.

- “Control_Systems” : Η συνάρτηση αυτή λαμβάνει ως τιμές εισόδου τις τιμές ελέγχου από την Εξίσωση “Control” και τον Διαφορικό Ελεγκτή και στέλνει σήμα ελέγχου 1 στην αντλία θερμότητας και τους ηλιακούς συλλέκτες όταν και οι δύο αυτές συνθήκες ελέγχου δίνουν τιμή 1 (**Εικόνα 9.56**).
- “Hours” : Στη συνάρτηση αυτή υπολογίζονται οι ώρες λειτουργίας των Fan Coil και της αντλίας θερμότητας με την βοήθεια των αντίστοιχων σημάτων ελέγχου και του ολοκληρωτή.
- “Powerkw” : Σε αυτή τη συνάρτηση μετατρέπονται οι μονάδες της θερμικής ισχύος των Fan Coil και της αντλίας θερμότητας από kJ/h σε kW.



Εικόνα 9.56 : Η εξίσωση της τιμής ελέγχου που στέλνει η συνάρτηση “Control_System” στην αντλία θερμότητας και στον κυκλοφορητή του ηλιακού συστήματος .

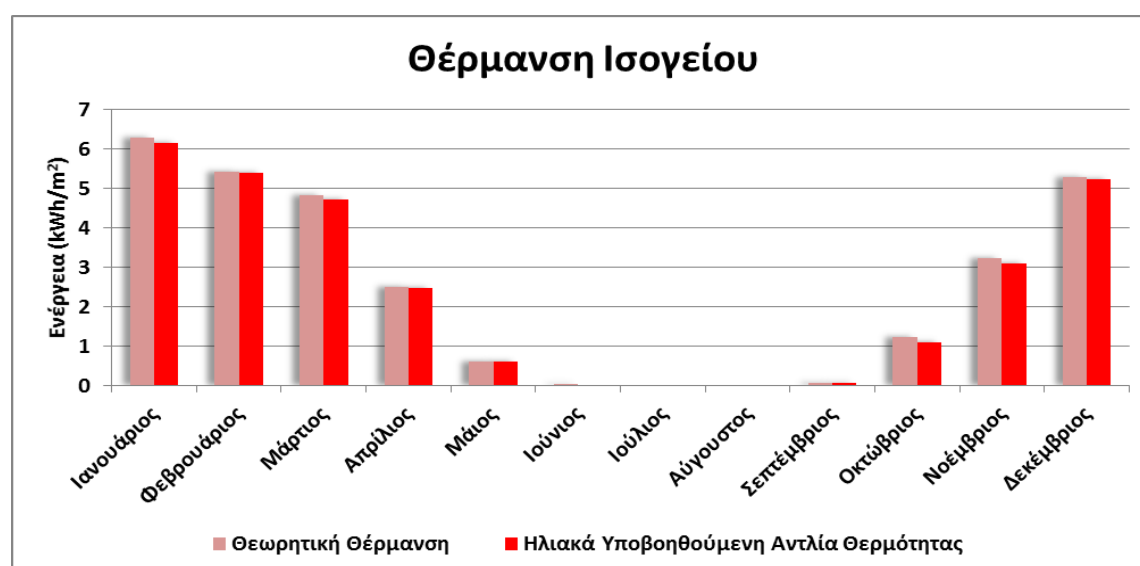
9.3.6 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Στον **Πίνακα 9.4** αναγράφεται το θερμικό φορτίο που προσδίδουν τα Fan Coil στην θερμική ζώνη του ισογείου και του θερμικού ορόφου για κάθε μήνα του έτους, ώστε να μην επιτραπεί στην εσωτερική θερμοκρασία να γίνει μικρότερη των 21°C .Επίσης, αναφέρονται για κάθε μήνα η κατανάλωση ηλεκτρική ενέργεια από την αντλία θερμότητας και τα Fan Coil (σε kWh/m²) και οι ώρες που η αντλία θερμότητας λειτουργεί.

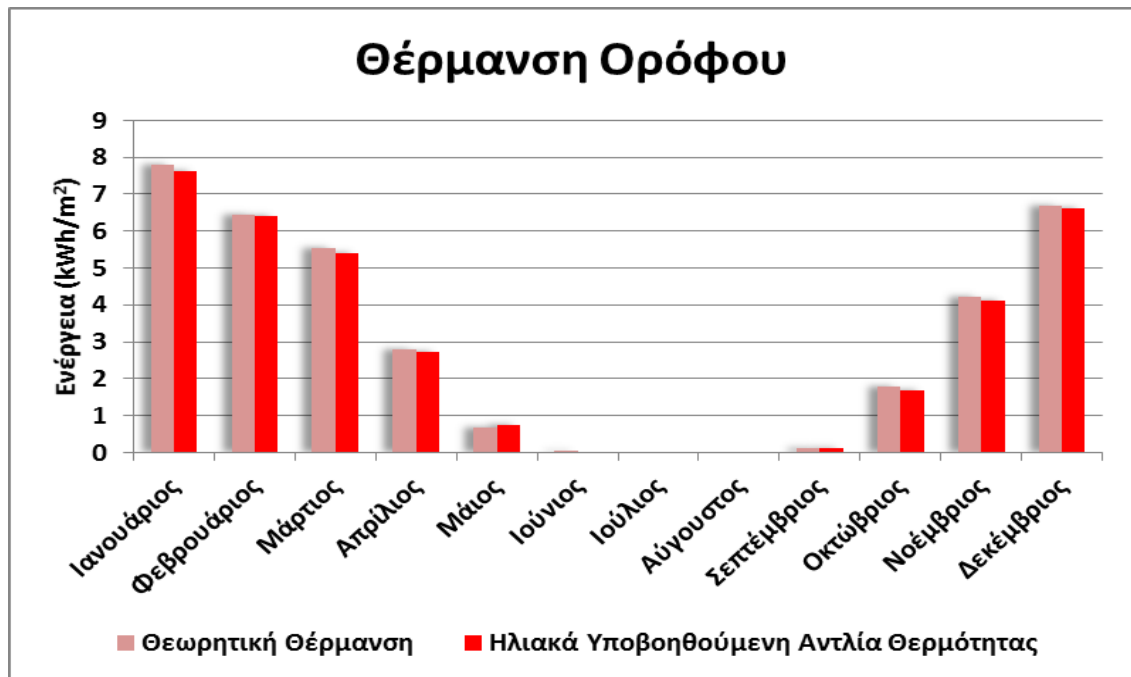
Πίνακας 9.4 : Το θερμικό φορτίο που προσδίδει η εγκατάσταση και το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται.

Μήνας	Θερμικό φορτίο Ισογείου (kWh/m ²)	Θερμικό φορτίο Ορόφου (kWh/m ²)	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (kWh/m ²)	Ώρες Λειτουργίας της Αντλίας Θερμότητας
Ιανουάριος	6.3	7.8	4.6	61.2
Φεβρουάριος	5.4	6.4	3.8	45.4
Μάρτιος	4.8	5.5	3.1	37.4
Απρίλιος	2.5	2.8	1.4	11.9
Μάιος	0.6	0.7	0.5	8.13
Ιούνιος	0	0	0	0
Ιούλιος	0	0	0	0
Αύγουστος	0	0	0	0
Σεπτέμβριος	0.1	0.1	0.1	2
Οκτώβριος	1.2	1.8	1	7.4
Νοέμβριος	3.2	4.2	2.6	30.3
Δεκέμβριος	5.3	6.7	4.1	62.4
Ετήσια	29.4	36	21	266

Στα **Διαγράμματα 9.12** και **9.13** συγκρίνεται το θερμικό φορτίο της θερμικής ζώνης του ισογείου και του πρώτου ορόφου, αντίστοιχα, που προσδίδεται από τα Fan Coil με το θερμικό φορτίο που έχει προσδιοριστεί από το γενικό σύστημα θέρμανσης που προσφέρει στον χρήστη το Trnsys και έχει ήδη αναφερθεί στον **Πίνακα 9.1** .



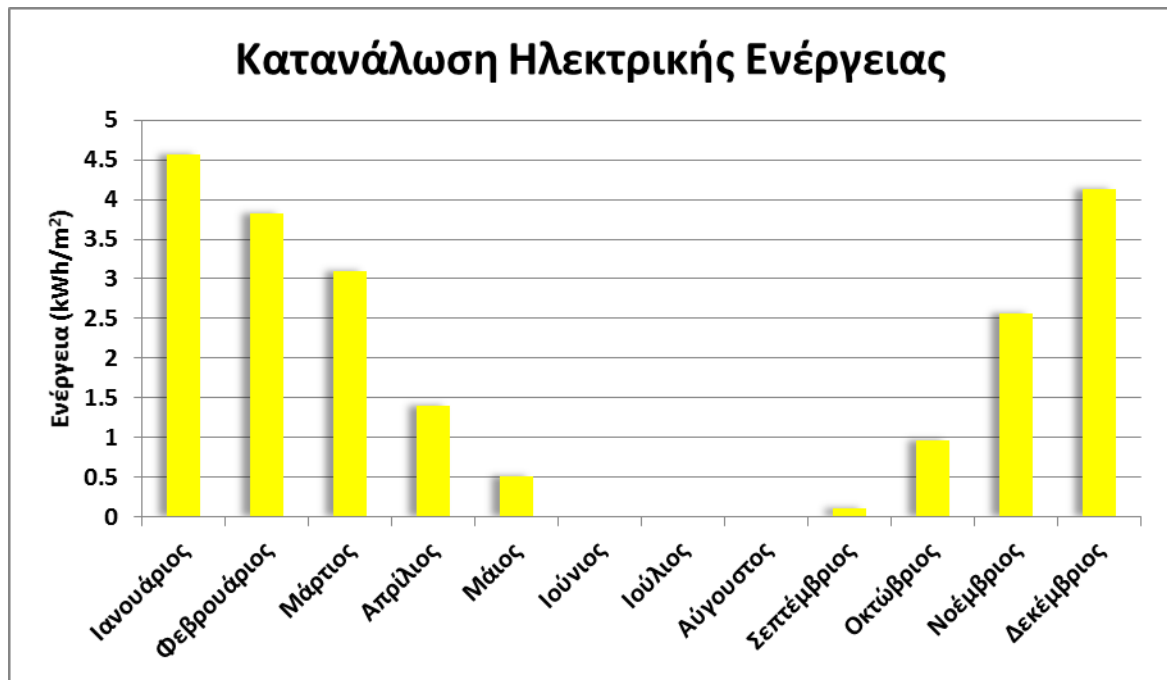
Διάγραμμα 9.12 : Σύγκριση του θερμικού φορτίου της θερμικής ζώνης του ισογείου που προσφέρεται από το γενικό – θεωρητικό σύστημα θέρμανσης σε σχέση με το φορτίο που δίνεται από την εγκατάσταση ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας.



Διάγραμμα 9.13 : Σύγκριση του θερμικού φορτίου της θερμικής ζώνης του πρώτου ορόφου που προσφέρεται από το γενικό – θεωρητικό σύστημα θέρμανσης σε σχέση με το φορτίο που δίνεται από την εγκατάσταση ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας.

Από τα **Διαγράμματα 9.12** και **9.13** παρατηρείται πως τα αποτελέσματα της θερμικής απόδοσης που προέκυψαν από την εγκατάσταση της ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας είναι πολύ κοντά στα αποτελέσματα που δίνει το θεωρητικό σύστημα θέρμανσης.

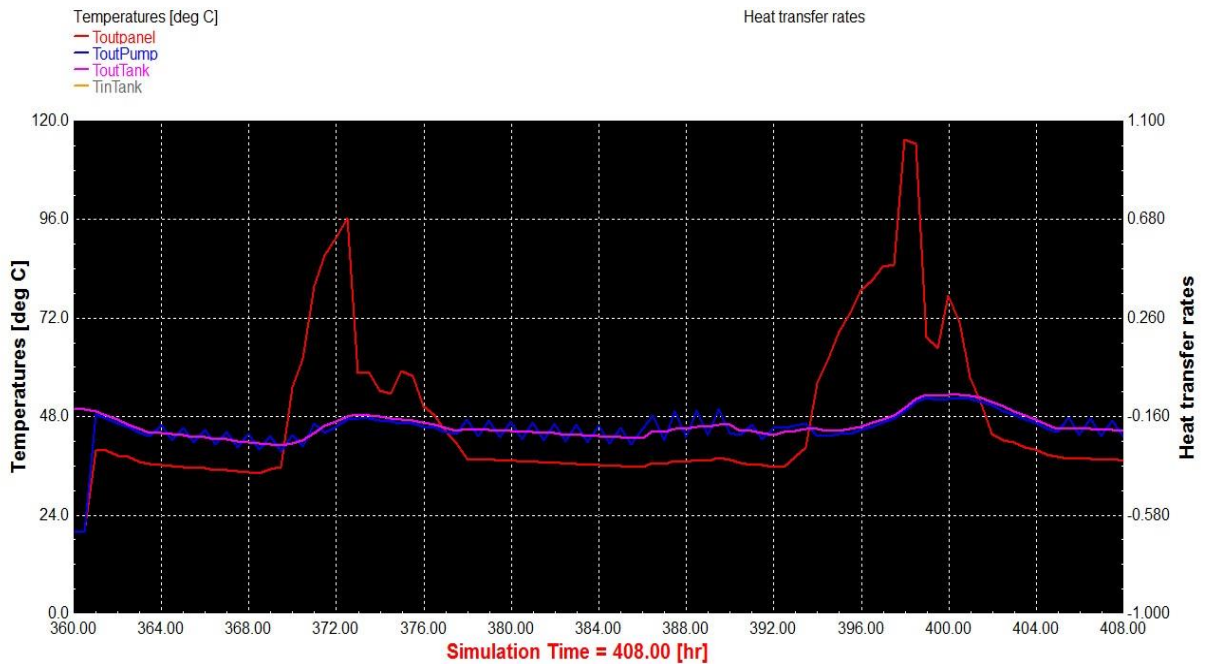
Στο **Διάγραμμα 9.14** παρουσιάζεται με ραβδόγραμμα την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά μήνα του έτους.



Διάγραμμα 9.14 : Η ηλεκτρική ενέργεια που δαπανάται για την θέρμανση του Mockup.

Από το **Διάγραμμα 9.14** διαπιστώνεται πως ο μήνας του έτους που καταναλώνεται η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για την θέρμανση του Mockup είναι ο Ιανουάριος.

Κατά την διάρκεια του χειμώνα, ο Ιανουάριος εκτός του ότι είναι ο ψυχρότερος μήνας του χρόνου, είναι ο μήνας κατά τον οποίο η ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία σε νότιες επιφάνειες λαμβάνει την μικρότερη τιμή του χρόνου. Αυτό σημαίνει ότι οι ηλιακοί συλλέκτες αυτή προσφέρουν το μικρότερο ηλιακό κέρδος τον μήνα που απαιτείται το μεγαλύτερο ποσό θέρμανσης για το κτίριο. Για να γίνει, λοιπόν, αντιληπτή η συνεισφορά της ηλιακής ακτινοβολίας στο σύστημα της θέρμανσης, στο **Διάγραμμα 9.15** απεικονίζεται η θερμοκρασία του νερού καθώς εξέρχεται από τη συστοιχία των ηλιακών συλλεκτών, της αντλίας θερμότητας και του δοχείου αποθήκευσης για τη μέση μέρα του Ιανουαρίου.

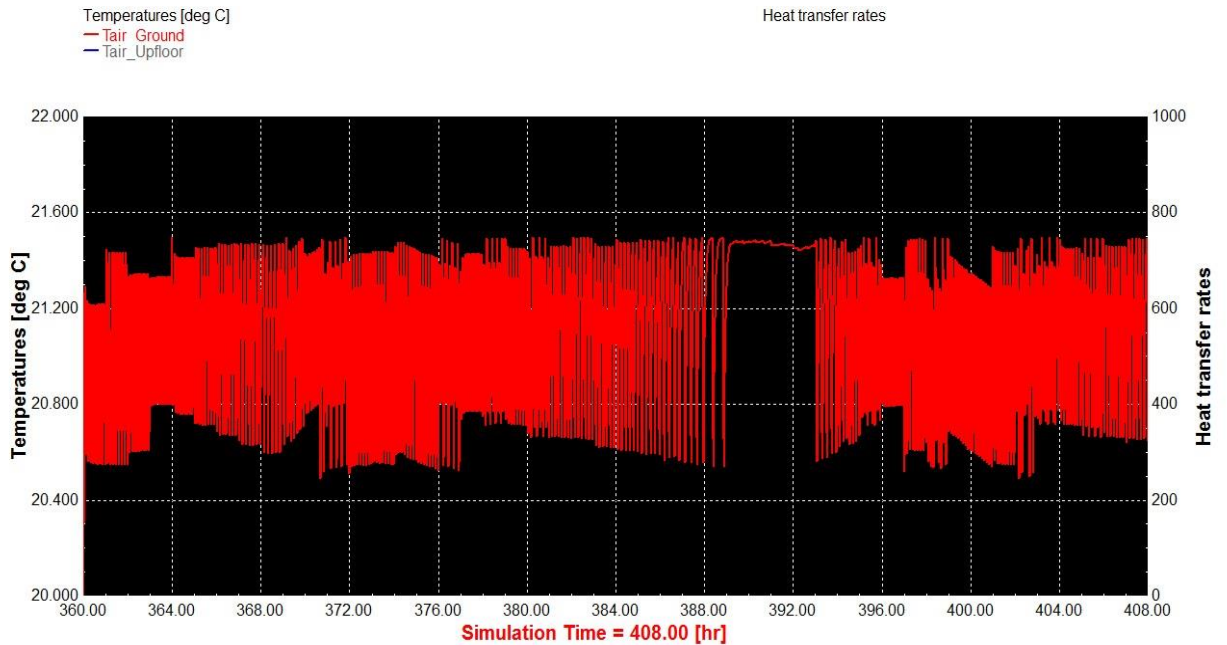


Διάγραμμα 9.15: Η θερμοκρασία του νερού κατά την έξοδο του από τους ηλιακούς συλλέκτες, την αντλία θερμότητας και το δοχείο αποθήκευσης, για τη μέση μέρα του Ιανουαρίου.

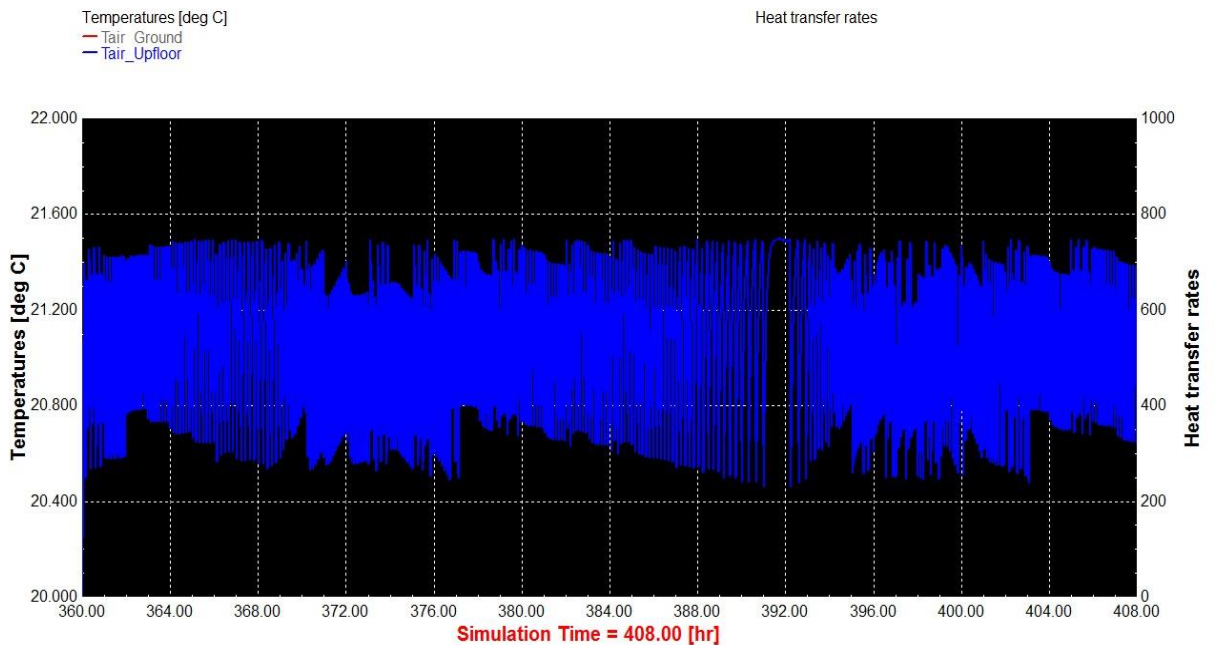
Επειδή το πρόγραμμα Trnsys ξεκινάει τους υπολογισμούς θέτοντας κάποιες αρχικές τιμές για τις μεταβλητές, δίνει λανθασμένα αποτελέσματα για τις πρώτες ώρες που εκτελείται. Για να εκτυπωθούν λοιπόν οι πραγματικές θερμοκρασίες του νερού για τη μέση μέρα του μήνα, προγραμματίζεται η προσομοίωση να εκτελεστεί για ένα εικοσιτετράωρο πριν μέχρι το τέλος της μέσης μέρας. Συνεπώς, η μέση μέρα απεικονίζεται στο **Διάγραμμα 9.15** κατά το χρονικό διάστημα 384 έως 408 ώρες.

Στο διάστημα αυτό φαίνεται η θερμοκρασία του νερού που εξέρχεται από τους συλλέκτες (κόκκινη καμπύλη) η οποία επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στους συλλέκτες και γίνεται μέγιστη στις δύο το μεσημέρι. Όταν το νερό στον συλλέκτη αρχίζει να θερμαίνεται και ξεπεράσει τους 45°C μεταφέρει θερμότητα μέσω ενός εναλλάκτη στο νερό του δοχείου αποθήκευσης (μοβ καμπύλη). Στην περίπτωση λοιπόν που η θερμότητα που προσφέρουν οι ηλιακοί συλλέκτες μπορεί να διατηρήσει την θερμοκρασία του νερού του δοχείου άνω των 45°C, η αντλία θερμότητας τίθεται εκτός λειτουργίας. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία του νερού του δοχείου είναι μικρότερη των 45°C και απαιτείται θέρμανση των χώρων η αντλία θερμότητας ξεκινάει να λειτουργεί στέλνοντας ζεστό νερό (μπλε καμπύλη) στο δοχείο ώστε να αυξήσει τη θερμοκρασία του νερού του δοχείου (και το οποίο θα σταλεί στη συνέχεια για τη λειτουργία των Fan Coil). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται για το 1/5 περίπου της διάρκειας της ημέρας η θέρμανση των χώρων να γίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία.

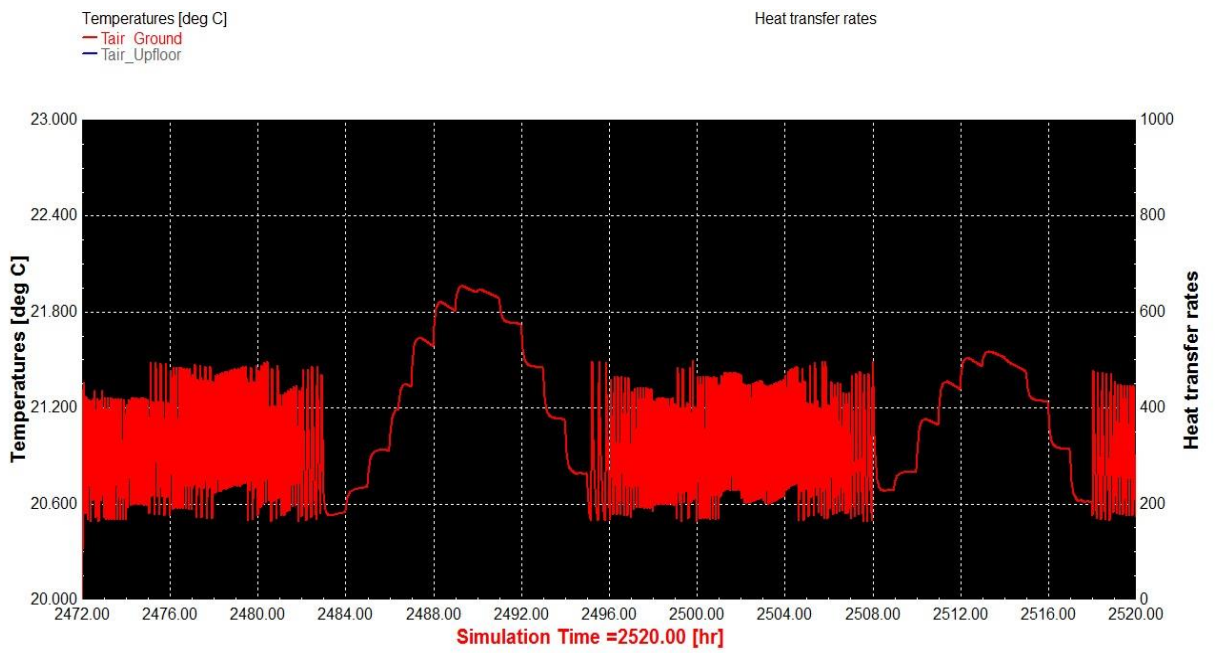
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες της θερμικής ζώνης του ισογείου και του ορόφου υπό την επίδραση της κλιματιστικής εγκατάστασης του λέβητα για τη μέση μέρα των μηνών: Ιανουάριος, Απρίλιος και Οκτώβριος.



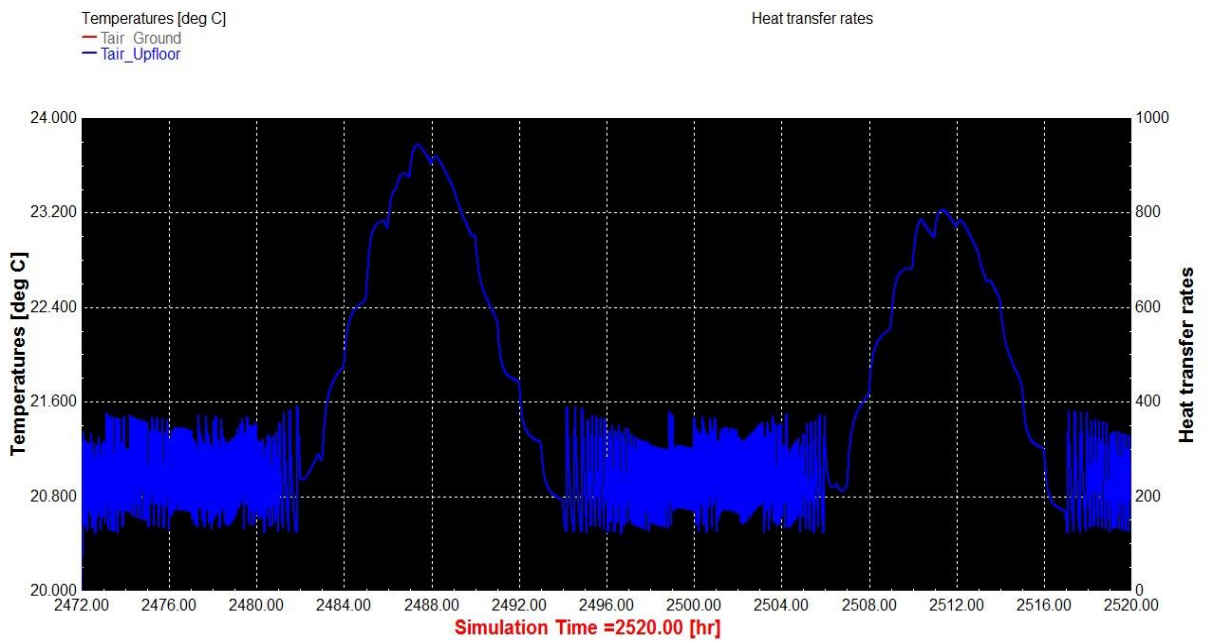
Διάγραμμα 9.16: Η θερμοκρασία του ισογείου για τη μέση μέρα του Ιανουαρίου.



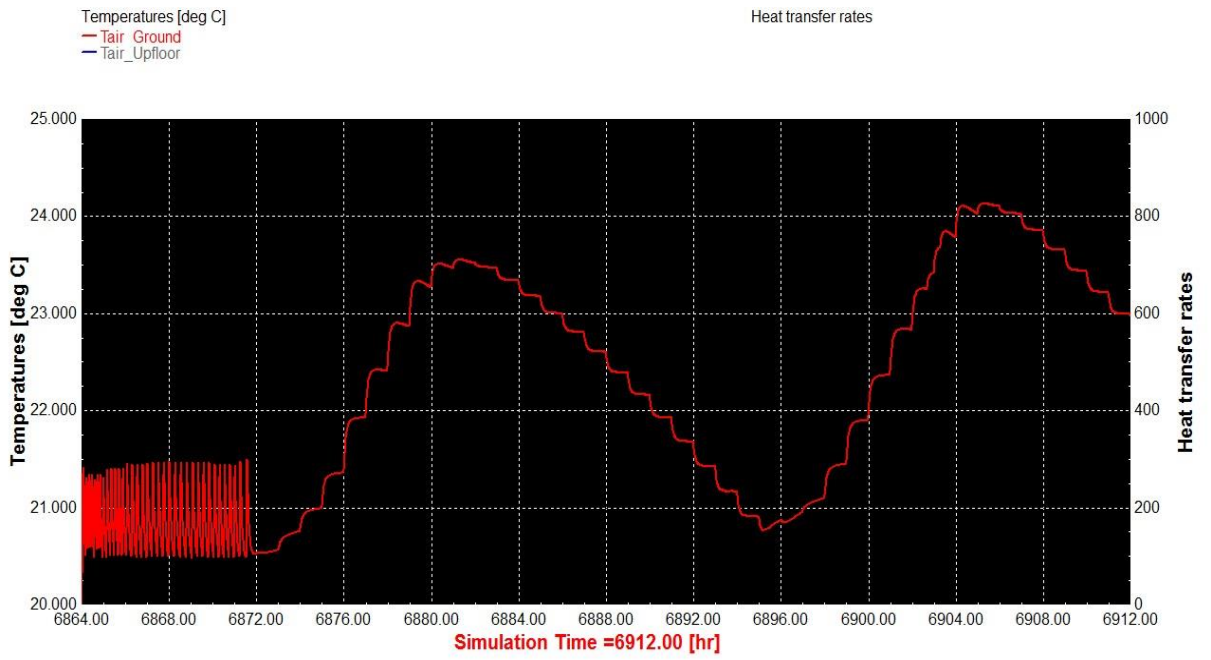
Διάγραμμα 9.17: Η θερμοκρασία του πρώτου ορόφου για τη μέση μέρα του Ιανουαρίου.



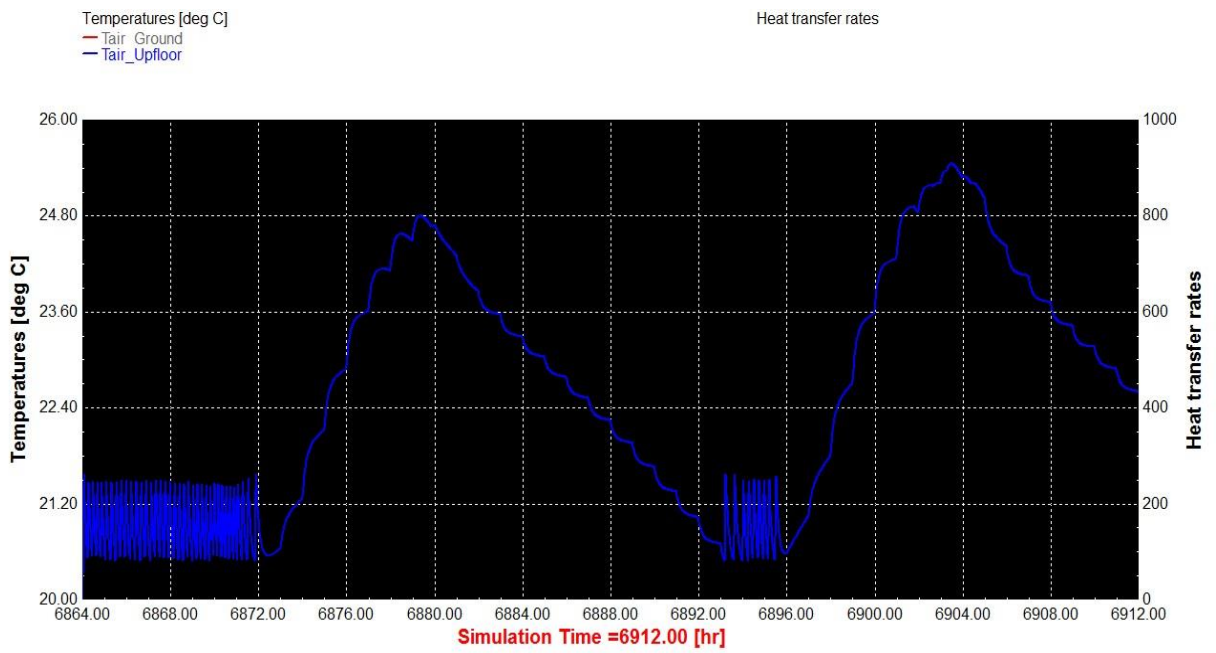
Διάγραμμα 9.18: Η θερμοκρασία του ισογείου για τη μέση μέρα του Απριλίου.



Διάγραμμα 9.19: Η θερμοκρασία του πρώτου ορόφου για τη μέση μέρα του Απριλίου.



Διάγραμμα 9.20: Η θερμοκρασία του ισόγειου για τη μέση μέρα του Οκτωβρίου.



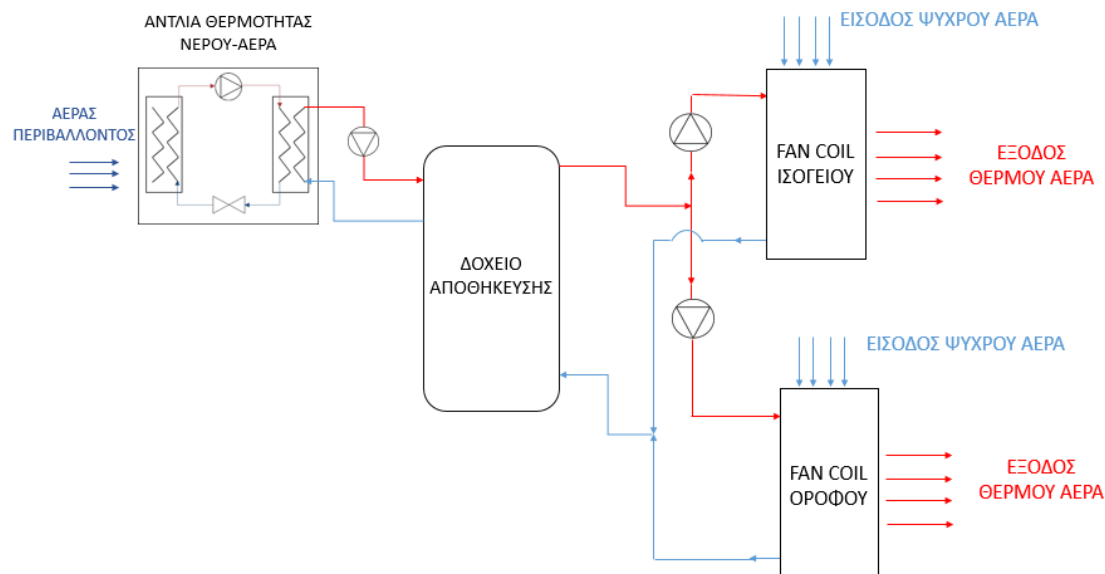
Διάγραμμα 9.21: Η θερμοκρασία του πρώτου ορόφου για τη μέση μέρα του Οκτωβρίου.

9.4 Εγκατάσταση θέρμανσης με αντλία θερμότητας αέρα – νερού και χρήση Fan Coil

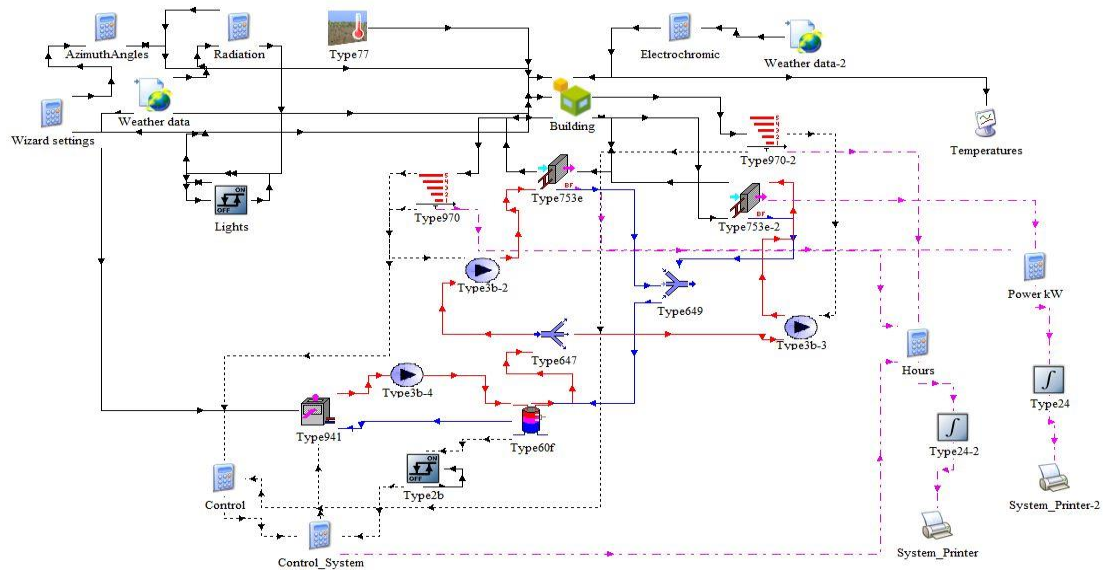
Στην εγκατάσταση αυτή μία αντλία θερμότητας αέρος – νερού εκμεταλλεύεται την θερμότητα του αέρα περιβάλλοντος μέσω ενός ψυκτικού μέσου το οποίο με τη σειρά του μεταφέρει την θερμότητα, που παρέλαβε από τον αέρα, σε μία παροχή νερού. Η παροχή του ζεστού νερού οδηγείται στο δοχείο αποθήκευσης ώστε να αναμειχθεί και να θερμάνει το ήδη υπάρχον σ' αυτό νερό.

Στη συνέχεια, το θερμό νερό του δοχείου αποθήκευσης στέλνεται με τη βοήθεια αντλιών στα δύο Fan Coil (ένα για κάθε θερμική ζώνη) με την ίδια παροχή και θερμοκρασία. Εκεί η θερμότητα από το θερμό νερό μεταφέρεται στον ψυχρό αέρα που μπαίνει στο μηχάνημα και έπειτα ο θερμός αέρας που προκύπτει πηγαίνει με τη βοήθεια του ανεμιστήρα του Fan Coil στο περιβάλλον του χώρου που απαιτεί την θέρμανση.

Η εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας είναι όμοια με την εγκατάσταση της ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας, η δομή της οποίας παρουσιάστηκε παραπάνω. Η μόνη διαφορά που παρατηρείται είναι ότι στην εγκατάσταση που εξετάζεται σε αυτή την παράγραφο δεν υπάρχει το ηλιακό. Γι' αυτόν τον λόγο, θα παραταθεί παρακάτω μόνο η ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτής της διάταξης, παραλείποντας την περιγραφή των στοιχείων που απαρτίζουν την παρούσα εγκατάσταση και που έχουν ήδη αναλυθεί στην **Παράγραφο 9.3**.



Εικόνα 9.57 : Λειτουργικό διάγραμμα του συστήματος θέρμανσης με αντλία θερμότητας αέρα – νερού και χρήση Fan Coil.



Εικόνα 9.58 : Διάταξη προσομοίωσης του συστήματος θέρμανσης με αντλία θερμότητας αέρα – νερού και χρήση Fan Coil στο Trnsys.

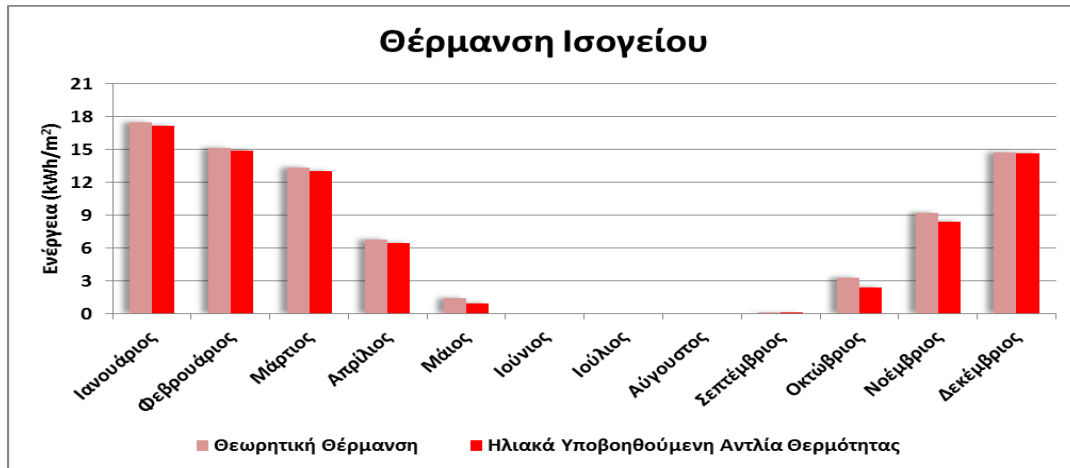
9.4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 9.5 αναγράφεται το θερμικό φορτίο που προσδίδουν τα Fan Coil στην θερμική ζώνη του ισογείου και του θερμικού ορόφου για κάθε μήνα του έτους, ώστε να μην επιτραπεί στην εσωτερική θερμοκρασία να γίνει μικρότερη των 21°C .Επίσης, αναφέρονται για κάθε μήνα η κατανάλωση ηλεκτρική ενέργεια από την αντλία θερμότητας και τα Fan Coil (σε kWh/m²) και οι ώρες που η αντλία θερμότητας λειτουργεί.

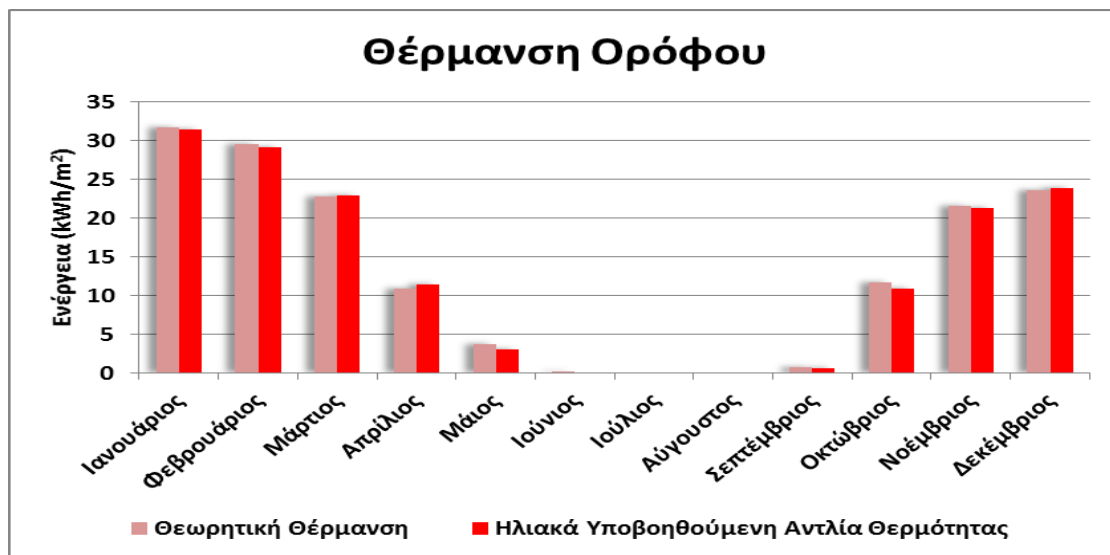
Πίνακας 9.5 : Το θερμικό φορτίο που προσδίδει η εγκατάσταση και το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται.

Μήνας	Θερμικό Φορτίο Ισογείου (kWh/m ²)	Θερμικό Φορτίο Ορόφου (kWh/m ²)	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (kWh/m ²)	Ώρες Λειτουργίας της Αντλίας Θερμότητας
Ιανουάριος	6.3	7.8	5.4	202.8
Φεβρουάριος	5.4	6.4	4.8	175.3
Μάρτιος	4.8	5.5	4.1	169
Απρίλιος	2.5	2.8	2.2	103.3
Μάιος	0.6	0.7	0.6	26.4
Ιούνιος	0	0	0	0
Ιούλιος	0	0	0	0
Αύγουστος	0	0	0	0
Σεπτέμβριος	0.1	0.1	0.1	3.2
Οκτώβριος	1.2	1.8	1.5	58.7
Νοέμβριος	3.2	4.2	3.3	133.5
Δεκέμβριος	5.3	6.7	4.7	170
Ετήσια	29.4	36	26.7	1042.1

Στα **Διαγράμματα 9.22** και **9.23** συγκρίνεται το θερμικό φορτίο της θερμικής ζώνης του ισογείου και του πρώτου ορόφου, αντίστοιχα, που προσδίδεται από τα Fan Coil (Πραγματικές Τιμές) με το θερμικό φορτίο που έχει προσδιοριστεί από το γενικό σύστημα θέρμανσης (Θεωρητικές Τιμές) που προσφέρει στον χρήστη το Trnsys και έχει ήδη αναφερθεί στον **Πίνακα 9.1**.



Διάγραμμα 9.22 : Σύγκριση του θερμικού φορτίου της θερμικής ζώνης του ισογείου που προσφέρεται από το γενικό – θεωρητικό σύστημα θέρμανσης σε σχέση με το φορτίο που δίνεται από την εγκατάσταση ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας.



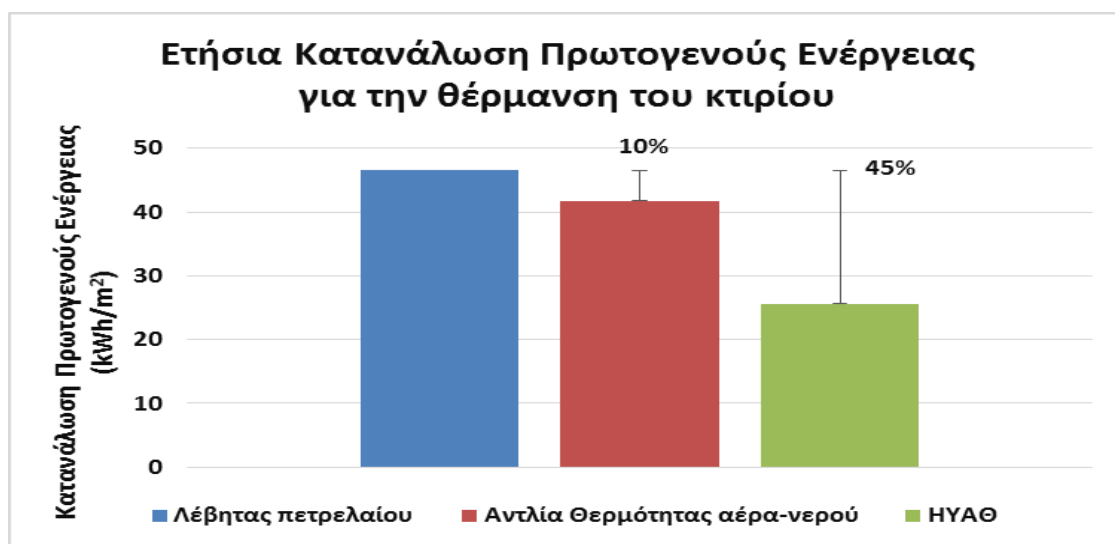
Διάγραμμα 9.23 : Σύγκριση του θερμικού φορτίου της θερμικής ζώνης του πρώτου ορόφου που προσφέρεται από το γενικό – θεωρητικό σύστημα θέρμανσης σε σχέση με το φορτίο που δίνεται από την εγκατάσταση ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας.

Από τα **Διαγράμματα 9.22** και **9.23** παρατηρείται πως τα αποτελέσματα της θερμικής απόδοσης που προέκυψαν από την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας είναι πολύ κοντά στα αποτελέσματα που δίνει το θεωρητικό σύστημα θέρμανσης.

Στο **Διάγραμμα 9.24** παρουσιάζεται με ραβδόγραμμα την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά μήνα του έτους.

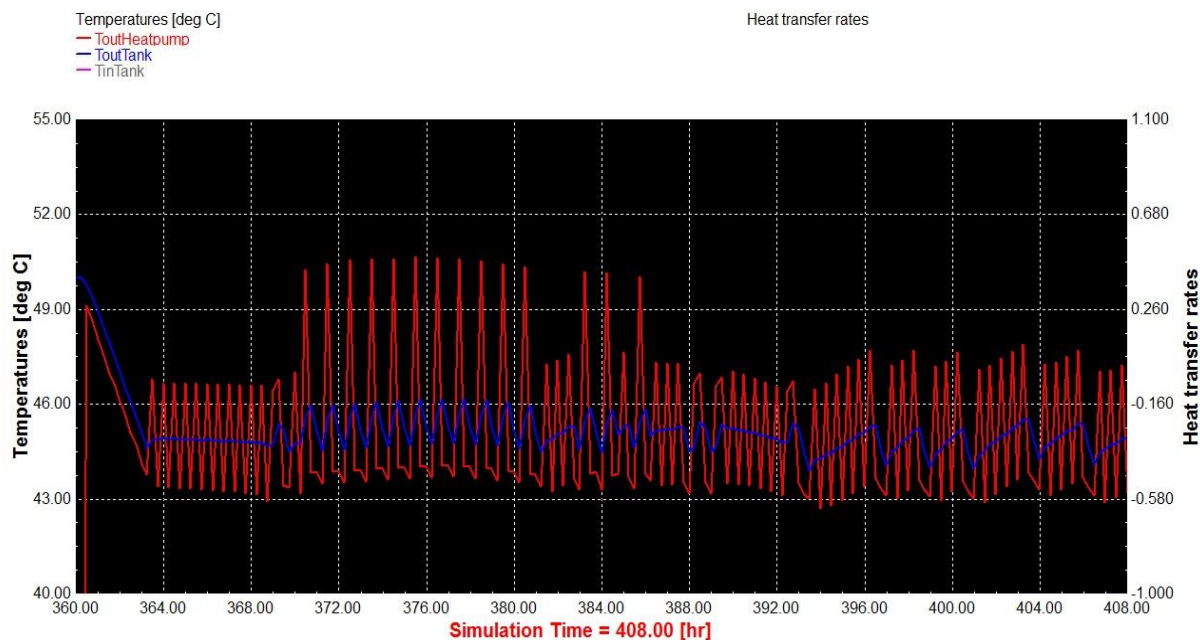


Διάγραμμα 9.24 : Η ηλεκτρική ενέργεια που δαπανάται για την θέρμανση του Mockup.



Διάγραμμα 9.25 : Ραβδόγραμμα σύγκρισης της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τα συστήματα θέρμανσης (λέβητα πετρελαίου, αντλία θερμότητας αέρα-νερού και ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας).

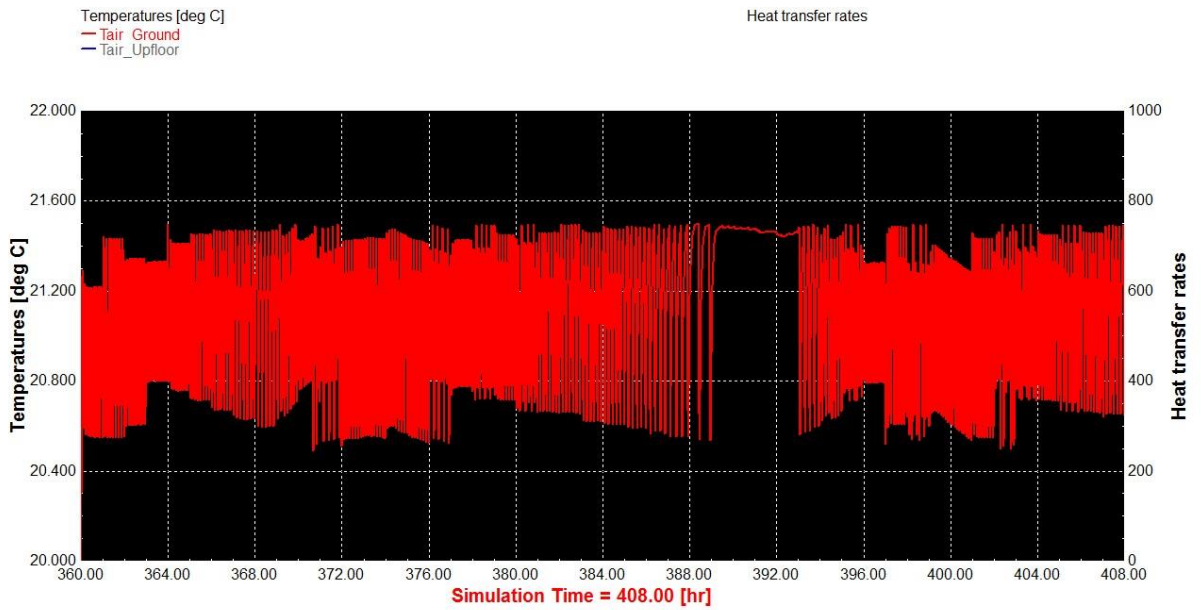
Στο παρακάτω **Διάγραμμα 9.26** απεικονίζεται η θερμοκρασία του νερού καθώς εξέρχεται από την αντλία θερμότητας και το δοχείο αποθήκευσης για τη μέση μέρα του Ιανουαρίου.



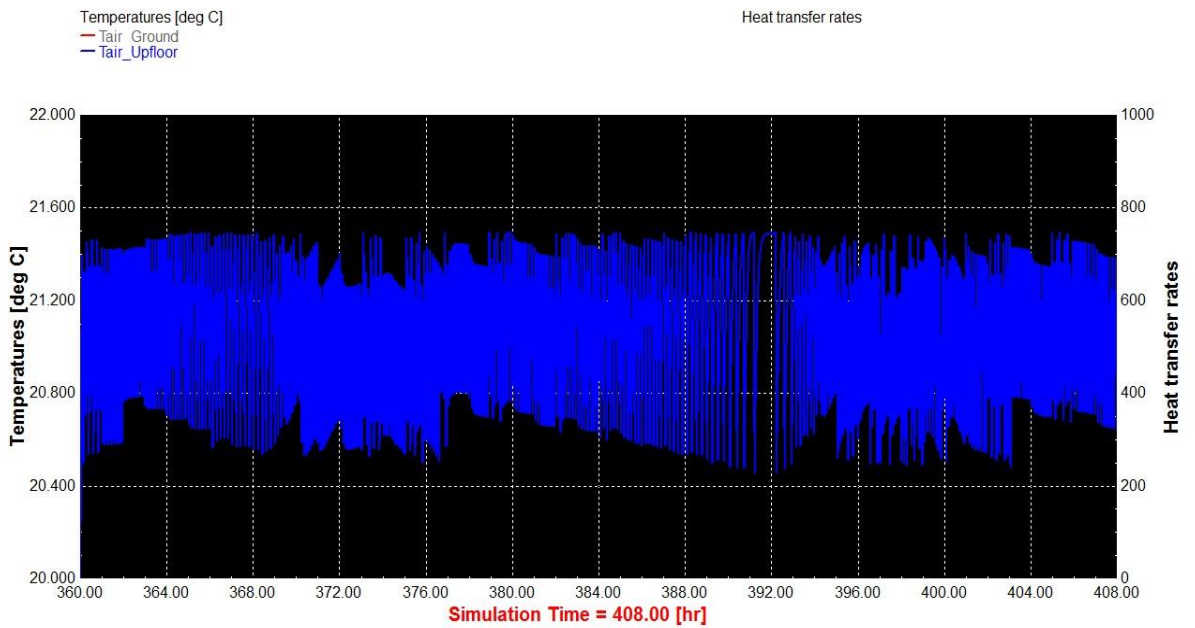
Διάγραμμα 9.26: Η θερμοκρασία του νερού κατά την έξοδο του από τους ηλιακούς συλλέκτες, την αντλία θερμότητας και το δοχείο αποθήκευσης, για τη μέση μέρα του Ιανουαρίου.

Στο **Διάγραμμα 9.26** απεικονίζονται οι θερμοκρασίες του νερού κατά την έξοδο του από την αντλία θερμότητας (κόκκινη καμπύλη) και κατά την εκροή του από το δοχείο αποθήκευσης (μπλε καμπύλη). Συγκρίνοντας λοιπόν το διάγραμμα αυτό με το αντίστοιχο **Διάγραμμα 9.15** παρατηρείται πως για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στα Fan Coil στους 45°C (και άνω), η αντλία θερμότητας στην περίπτωση που εξετάζεται θα πρέπει να λειτουργεί περισσότερες ώρες απ' ότι δουλεύει στο ηλιακά υποβοηθούμενο σύστημα. Μάλιστα, παρατηρώντας και τους **Πίνακες 9.4** και **9.5** γίνεται αντιληπτό πως η αντλία θερμότητας στην περίπτωση αυτή λειτουργεί τέσσερις φορές περισσότερες ώρες από την ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία.

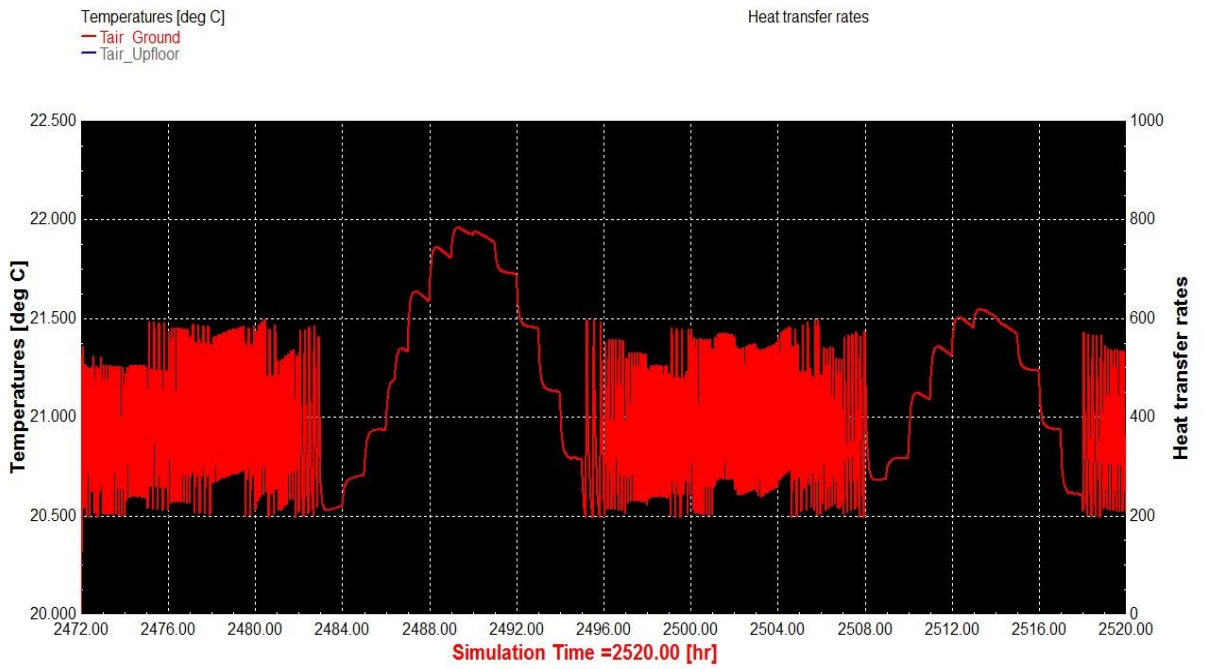
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες της θερμικής ζώνης του ισογείου και του ορόφου υπό την επίδραση της κλιματιστικής εγκατάστασης του λέβητα για τη μέση μέρα των μηνών: Ιανουάριος, Απρίλιος και Οκτώβριος.



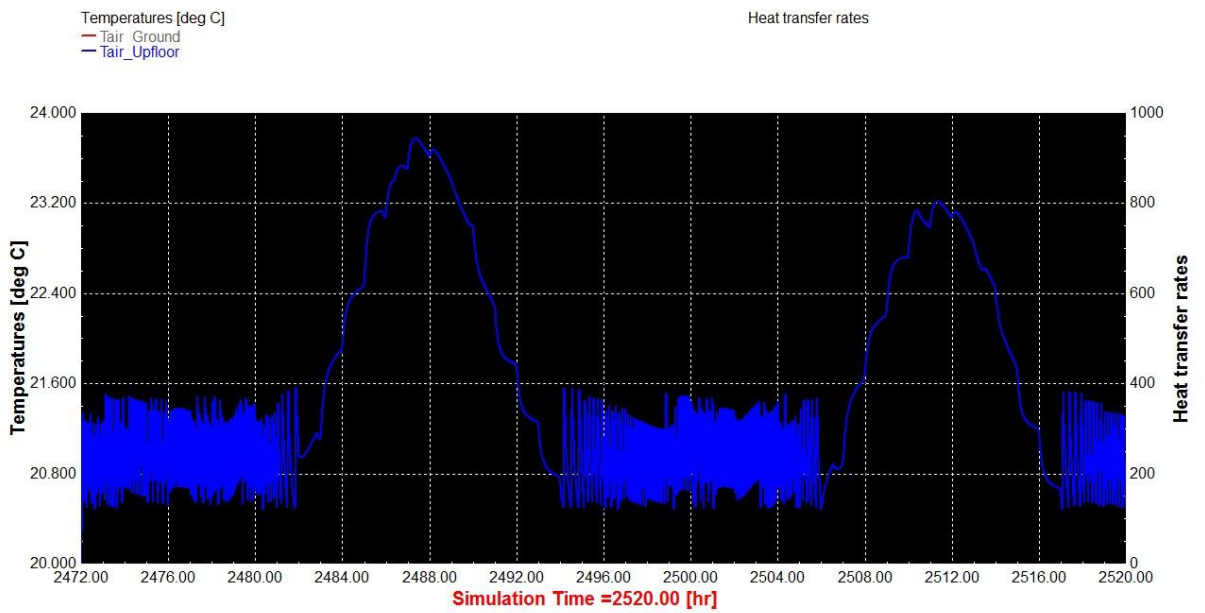
Διάγραμμα 9.27: Η θερμοκρασία του ισόγειου για τη μέση μέρα του Ιανουαρίου.



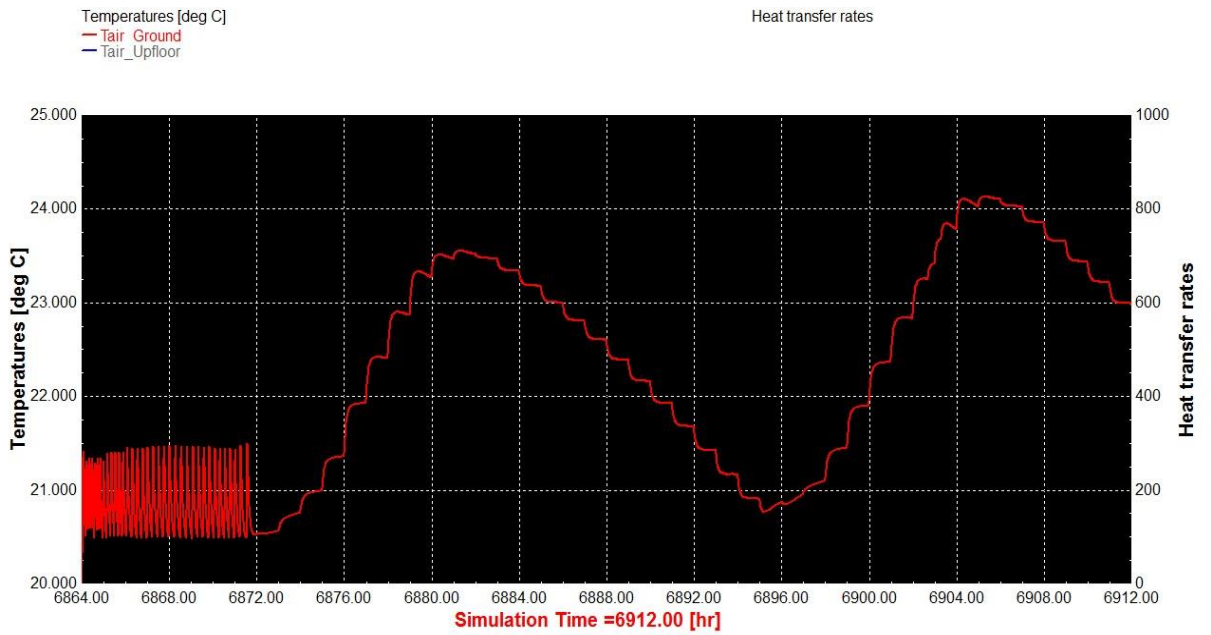
Διάγραμμα 9.28: Η θερμοκρασία του πρώτου ορόφου για τη μέση μέρα του Ιανουαρίου.



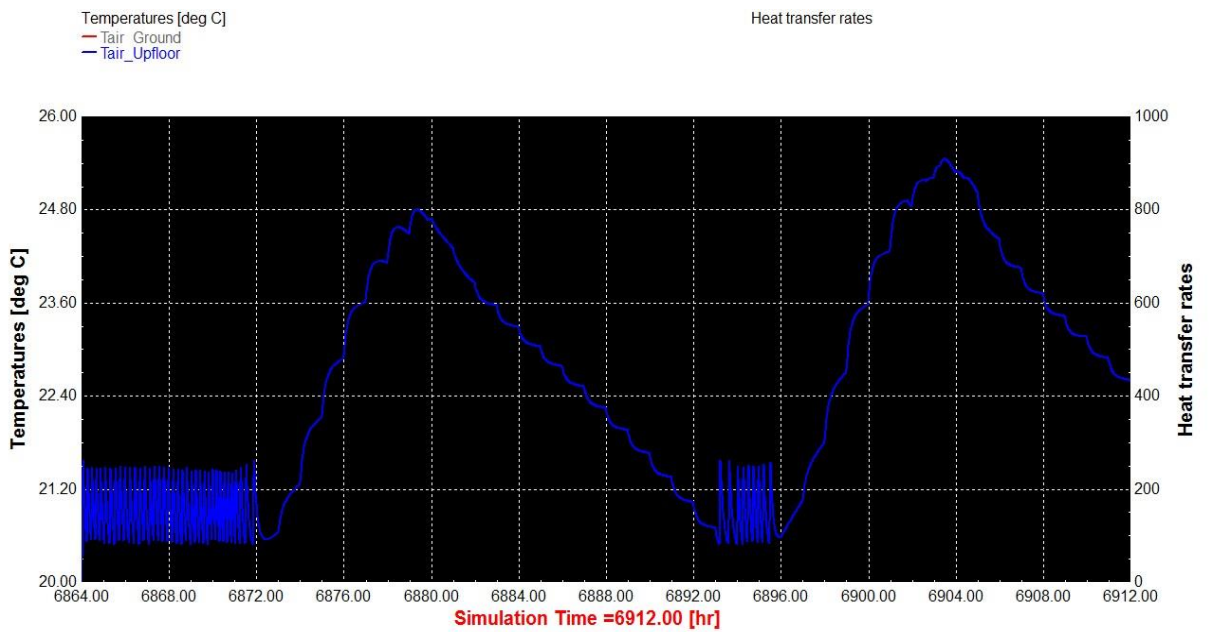
Διάγραμμα 9.29 : Η θερμοκρασία του ισογείου για τη μέση μέρα του Απριλίου.



Διάγραμμα 9.30 : Η θερμοκρασία του πρώτου ορόφου για τη μέση μέρα του Απριλίου.



Διάγραμμα 9.31: Η θερμοκρασία του ισογείου για τη μέση μέρα του Οκτωβρίου.



Διάγραμμα 9.32: Η θερμοκρασία του πρώτου ορόφου για τη μέση μέρα του Οκτωβρίου.

9.5 Συμπεράσματα

Προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία στους χώρους ενός κτιρίου πρέπει να εξασφαλιστεί κατάλληλη μονάδα παραγωγής θερμότητας καθώς και το σύστημα μεταφοράς της στα επιλεγέντα σημεία. Ο συνηθέστερος τρόπος

παραγωγής θερμότητας λαμβάνει χώρα σε συγκροτήματα λεβήτων-καυστήρων (με την καύση στερεών, υγρών ή αερίων καυσίμων), με τον λέβητα πετρελαίου να κατέχει πρωταγωνιστικό ρόλο. Ωστόσο, η τάση της εποχής για οικονομικότερους και οικονομικότερους τρόπους θέρμανσης έχει προκαλέσει την εφαρμογή νέων και εναλλακτικών συστημάτων θέρμανσης, όπως είναι οι αντλίες θερμότητας και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Γι' αυτούς τους λόγους, μελετήθηκε η θερμική απόδοση μιας αντλίας θερμότητας αέρα – νερού και μιας ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας αέρα – νερού, κάνοντας χρήση ενός δοχείου αποθήκευσης νερού και δύο Fan Coil ως συστήματα μεταφοράς θερμότητας, ώστε να γίνει σύγκριση τους με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης λέβητα – καυστήρα πετρελαίου.

Παρατηρώντας τους πίνακες και τα διαγράμματα που προέκυψαν από την προσομοίωση των τριών αυτών συστημάτων θέρμανσης, διαπιστώνεται πως χάρη στα Fan Coil και την ικανοποιητική θέρμανση του νερού, που πραγματοποιούν και τα συστήματα αυτά, η (απολύτως ικανοποιητική) θερμική απόδοση που προσδίδεται στις θερμικές ζώνες του Moscow είναι ίδια και για τα τρία συστήματα θέρμανσης που μελετήθηκαν. Κατά συνέπεια, η μόνη ενεργειακή αξιολόγηση μπορεί να κρίνει την συνολική αποδοτικότητα των συστημάτων αυτών είναι το ποσό της ενέργειας που καταναλώθηκε για να προσφέρει το κάθε σύστημα αυτή τη θερμική απόδοση στο κτίριο.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της καταναλισκόμενης ενέργειας συμπεραίνεται ότι την μεγαλύτερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε kWh/m², σε ετήσιο αλλά και μηνιαίο επίπεδο, αποδίδεται από το θερμικό σύστημα λέβητα πετρελαίου. Συνεπώς, η χρήση της αντλίας θερμότητας αέρα – νερού, είτε με ηλιακή βοήθεια είτε χωρίς, είναι καλύτερη επιλογή (τουλάχιστον ως προς το κριτήριο που εξετάζεται) από τον λέβητα πετρελαίου.

Τα δύο συστήματα θέρμανσης των αντλιών θερμότητας λειτουργούν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο αλλά παρ' όλα αυτά η ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας δουλεύει λιγότερες ώρες και κατά συνέπεια δαπανά λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από το σύστημα της αντλίας θερμότητας μόνο. Αυτό συμβαίνει διότι η ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας είναι σε λειτουργία μόνο τα 2/3 της ημέρας. Την υπόλοιπη μέρα το νερό του δοχείου θερμαίνεται με τη βοήθεια των συλλεκτών από την ηλιακή ακτινοβολία και χάρη στη χρήση του δοχείου αποθήκευσης το ζεστό νερό διατηρείται, στα θερμοκρασιακά όρια λειτουργίας των Fan Coil, περίπου 5 ώρες μετά την παύση της μετάδοσης θερμότητας από τους συλλέκτες. Έτσι, επιτυγχάνεται η κάλυψη των αναγκών θέρμανσης του κτιρίου με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την πλήρη αξιολόγηση των θερμικών συστημάτων που εξετάστηκαν, στο Κεφάλαιο 11 υλοποιείται η οικονομική ανάλυση των συστημάτων αυτών για την χρονική διάρκεια των 20 ετών.

Κεφάλαιο 10^ο – Οικονομική αξιολόγηση των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων

10.1 Οικονομική ανάλυση υαλοπινάκων

Τα τελευταία χρόνια γίνονται μελέτες για τη βελτίωση των θερμομονωτικών ιδιοτήτων των υαλοπινάκων που εφαρμόζονται στα κτίρια ώστε να μειωθούν όσο το δυνατό περισσότερο οι θερμικές και ψυκτικές απαιτήσεις των κτιρίων και κατά συνέπεια η καταναλισκόμενη ενέργεια για την επίτευξη αυτών αναγκών. Βελτιώνοντας όμως τις θερμομονωτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων αυξάνεται και το κόστος αγοράς τους. Συνεπώς, για την επιλογή και εφαρμογή των υαλοπινάκων θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και ο παράγοντας της καταναλισκόμενης ενέργειας και ο παράγοντας του κόστους της υάλωσης.

Στο παρόν κεφάλαιο της εργασίας αναλύονται τα οικονομικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεσσάρων τύπων υαλοπινάκων, που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 8 και γίνεται οικονομική σύγκριση των ηλεκτροχρωμικών με τους άλλους τύπους των υαλοπινάκων για την εφαρμογή τους στο Μοσκύρ.

Στον **Πίνακα 10.1** αναγράφονται το κόστος αγοράς των υαλοπινάκων το ετήσιο κόστος για την κάλυψη της θερμικής και ψυκτικής απόδοσης στο κτίριο προσομοίωσης (θεωρώντας ως τιμή κόστους της ενέργεια την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας 0.12 €/kWh) καθώς και το συνολικό κόστος για κάθε είδος υαλοπίνακα για την διάρκεια των 10 ετών.

Πίνακας 10.1 : Τα κόστη που προκύπτουν από την εφαρμογή κάθε τύπου υαλοπίνακα στο κτίριο προσομοίωσης [51,52].

Κόστος	Υαλοπίνακας		
	Τριπλός με αέρα	Τριπλός με αργό	Ηλεκτροχρωμικός
Αγορά υαλοπίνακα (€/m ² υαλοπίνακα)	125	140	500
Αγορά υαλοπίνακα για τη συνολική επιφάνεια στο Μοσκύρ(€)	472.5	529.2	1890
Κόστος για την ετήσια ενεργειακή απόδοση κτιρίου (€/m ² κτιρίου)	5.6	5.3	5.2
Κόστος για την ετήσια ενεργειακή απόδοση του Μοσκύρ(€)	417.3	401.1	396.2

Στον **Πίνακα 10.2** παρουσιάζεται ο χρόνος απόσβεσης του αρχικού κόστους αγοράς του κάθε τύπου υαλοπίνακα.

Πίνακας 10.2 :Ο χρόνος απόσβεσης του κάθε τύπου υαλοπινάκων συγκρίνοντας τα με το κόστος ενέργειας που προκαλείται με την εφαρμογή του μονού υαλοπίνακα.

Υαλοπίνακας	Κόστος Αγοράς (€)	Ετήσια Εξοικονόμηση (€)	Έτη απόσβεσης
Τριπλός με αργό	529.2	16.2	32.7
Ηλεκτροχρωμικό	1890	21.09	89.6

10.2 Σύγκριση των τύπων υαλοπινάκων με το ηλεκτροχρωμικό σε οικονομικό επίπεδο

Συγκρίνοντας τα οικονομικά οφέλη που υλοποιούνται με την εφαρμογή διαφορετικών τύπων παραθύρων διαπιστώνεται πως το μεγαλύτερο κέρδος που προκύπτει από την θέρμανση του χώρου εξασφαλίζεται με την εφαρμογή των ηλεκτροχρωμικών και του τριπλού υαλοπίνακα με χρήση αργού αερίου. Όμως, το κόστος αγοράς των ηλεκτροχρωμικών είναι πολύ υψηλό σε σχέση με τις τιμές των άλλων υαλοπινάκων, αυξάνοντας έτσι κατά πολύ την συνολική οικονομική δαπάνη του κτιρίου. Επιπλέον, το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την απόσβεση του κεφαλαίου αγοράς των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων είναι πολύ μεγαλύτερο από τα έτη απόσβεσης του τριπλού με αργό. Συνεπώς, η καλύτερη ενεργειακή και οικονομική λύση που προκύπτει είναι ο τριπλός υαλοπίνακας με αργό ως αέριο στα διάκενα του.

Κεφάλαιο 11^ο – Οικονομική αξιολόγηση των θερμικών εγκαταστάσεων

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης έχει άμεση σχέση με τη θερμική και οικονομική απόδοση του στο κτίριο που εφαρμόζονται. Γι' αυτό τον λόγο, στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει οικονομική ανάλυση και αξιολόγηση των θερμικών εγκαταστάσεων που μελετήθηκαν για την εφαρμογή τους στο Μοσκυρ. Το κόστος κάθε θερμικού συστήματος εξαρτάται από το αρχικό κόστος του, δηλαδή το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των επιμέρους στοιχείων που το αποτελούν και το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης.

11.1 Εγκατάσταση θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου

Στον Πίνακα 11.1 αναφέρονται το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των επιμέρους μελών του συστήματος καθώς και τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας του. Επίσης, επισυνάπτονται τόσο το κόστος αγοράς ενός τεμαχίου του στοιχείου (π.χ. το κόστος ενός κυκλοφορητή) που χρησιμοποιείται όσο και το κόστος αγοράς όλων των τεμαχίων του αντίστοιχου στοιχείου (π.χ. το κόστος για όλους τους κυκλοφορητές) που συμμετέχουν στο θερμικό σύστημα.

Πίνακας 11.1: Το αρχικό κόστος και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας του θερμικού συστήματος[53,54,56-58].

Στοιχείο του συστήματος	Κόστος ανά τεμάχιο στοιχείου	Συνολικό κόστος στοιχείου
Αρχικό Κόστος (Αγοράς και Εγκατάστασης)		
Λέβητας πετρελαίου	1200€	1200€
Fan Coil	360 €	720 €
Κυκλοφορητής	95€	190 €
Συνολικό Αρχικό Κόστος	-	2110 €
Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης		
Ενέργεια από την καύση πετρελαίου	0.11 €/kWh	144.8€
Συντήρηση λέβητα - καυστήρα	50 €	50 €
Συντήρηση Fan Coil	20 €	40 €
Συνολικό Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης	-	234.8 €

11.2 Εγκατάσταση θέρμανσης με ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας αέρα – νερού

Στον Πίνακα 11.2 αναφέρονται το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των επιμέρους μελών του συστήματος καθώς και τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας του. Επίσης, επισυνάπτονται τόσο το κόστος αγοράς ενός τεμαχίου του στοιχείου (π.χ. το κόστος ενός ηλιακού συλλέκτη) που χρησιμοποιείται όσο και το κόστος αγοράς όλων των τεμαχίων του αντίστοιχου στοιχείου (π.χ. το κόστος για όλη τη συστοιχία των ηλιακών συλλεκτών) που συμμετέχουν στο θερμικό σύστημα.

Πίνακας 11.2: Το αρχικό κόστος και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας του θερμικού συστήματος[54 – 57,59].

Στοιχείο του συστήματος	Κόστος ανά τεμάχιο στοιχείου	Συνολικό κόστος στοιχείου
Αρχικό Κόστος (Αγοράς και Εγκατάστασης)		
Αντλία Θερμότητας	2300 €	2300 €
Δοχείο Αποθήκευσης	540 €	540 €
Ηλιακοί Συλλέκτες	150 €/m ² συλλέκτη	750 €
Fan Coil	360 €	720 €
Κυκλοφορητής	95€	380 €
Συνολικό Αρχικό Κόστος	-	4670 €
Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης		
Ηλεκτρική Ενέργεια	0.12 €/kWh	54.8€
Συντήρηση συλλεκτών και δοχείου	-	28 €
Συντήρηση Fan Coil	20€	40 €
Συνολικό Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης	-	122.80 €

Η αντλίες θερμότητας δεν χρησιμοποιούν καυστήρα και δεν εμφανίζουν καύση επομένως δεν χρειάζεται κάθε χρόνο συντήρηση, όπως συμβαίνει με τους λέβητες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η λειτουργία τους μπορεί να συγκριθεί μ' αυτή ενός κοινού ψυγείου και συνεπώς έχει μηδαμινά έξοδα συντήρησης [60].

11.3 Εγκατάσταση θέρμανσης με αντλία θερμότητας αέρα – νερού

Στον Πίνακα 11.3 αναφέρονται το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των επιμέρους μελών του συστήματος καθώς και τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας του.

Πίνακας 11.3: Το αρχικό κόστος και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας του θερμικού συστήματος[54,56,57,59].

Στοιχείο του συστήματος	Κόστος ανά τεμάχιο στοιχείου	Συνολικό κόστος στοιχείου
Αρχικό Κόστος (Αγοράς και Εγκατάστασης)		
Αντλία Θερμότητας	2300 €	2300 €
Δοχείο Αποθήκευσης	540 €	540 €
Fan Coil	360 €	720 €
Κυκλοφορητής	95€	285€
Συνολικό Αρχικό Κόστος	-	3845€
Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης		
Ηλεκτρική Ενέργεια	0.12 €/kWh	83.13 €
Συντήρηση δοχείου αποθήκευσης	-	18 €
Συντήρηση Fan Coil	20€	40 €
Συνολικό Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης	-	141.13 €

11.4 Εύρεση και σύγκριση του χρόνου απόσβεσης

Με την βοήθεια των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, γίνεται σύγκριση του αρχικού κόστους και του κόστους κατανάλωσης ενέργειας της ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας και της αντλίας θερμότητας αέρα – νερού με τα αντίστοιχα κόστη της εγκατάστασης λέβητα πετρελαίου. Κατά αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται ο χρόνος απόσβεσης του αρχικού κεφαλαίου (δηλαδή του αρχικού κόστους) της εκάστοτε εγκατάστασης, όπως παρουσιάζεται στον **Πίνακα 11.4**.

Πίνακας 11.4 : Ο χρόνος απόσβεσης των συστημάτων θέρμανσης συγκρίνοντας τα με το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης του λέβητα πετρελαίου.

Σύστημα Θέρμανσης	Αρχικό Κόστος (€)	Ετήσια Εξοικονόμηση (€)	Έτη Απόσβεσης
Ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας	4670	118.1	39.5
Αντλία θερμότητας αέρα-νερού	3845	93.5	41.1

11.5 Σύγκριση των συστημάτων θέρμανσης σε οικονομικό επίπεδο

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την οικονομική ανάλυση που έγινε για τα τρία συστήματα θέρμανσης είναι πως το αρχικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης της ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας είναι υψηλότερο από τους άλλους τύπους εγκαταστάσεων. Επιπρόσθετα, διαπιστώνεται πως το αρχικό κόστος της ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας αποσβένεται σε λιγότερο χρόνο απ' ότι το αντίστοιχο κόστος της αντλίας θερμότητας αέρα – νερού. Συνεπώς, η ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας αέρα – νερού αποτελεί την πιο βιώσιμη επιλογή συστήματος θέρμανσης.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Εστιάζοντας σε ορισμένα σημεία της παρούσας διπλωματικής εργασίας δίνεται αφορμή να αναφερθούν αρκετά θέματα που μπορούν να αναλυθούν και μελετηθούν περεταίρω σε κάποια μελλοντική έρευνα.

Ένα από τα θέματα αυτά είναι η μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς του Mock-up λαμβάνοντας υπόψιν στους υπολογισμούς την επίδραση των θερμογεφυρών των δομικών υλικών του κελύφους του κτιρίου. Μια τέτοια ανάλυση έχει ως στόχο τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών κατά μήκος κάθε θερμογέφυρας καθώς και τον προσδιορισμό της συμμετοχής των θερμογεφυρών τόσο στον έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας όσο και στον έλεγχο της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

Επίσης, θα ήταν ενδιαφέρον να γίνει η ενεργειακή προσομοίωση των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων σε μια περιοχή με έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Με αυτόν τον τρόπο, θα γινόταν περισσότερο κατανοητή η επίδραση των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων στην θερμική άνεση και την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου που εφαρμόζονται.

Μία άλλη προσδοκώμενη μελέτη είναι η επίτευξη της ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου Mock-up με άλλα υπολογιστικά προγράμματα, όπως το EnergyPlus και το ANSYS, ώστε τα αποτελέσματά τους να συγκριθούν και να αξιολογηθούν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό TRNSYS.

Τέλος, για το θέμα των ενεργειακών εγκαταστάσεων θα μπορούσε να μελετηθούν κατάλληλα ενεργειακά συστήματα για την ταυτόχρονη κάλυψη της θέρμανσης, της ψύξης και των απαιτήσεων ZNX. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να είναι η εγκατάσταση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας καθώς και ο συνδυασμός της με ηλιακούς συλλέκτες. Συνεπώς, η ενεργειακή και η οικονομική αξιολόγηση των συστημάτων αυτών θα ήταν μια ενδιαφέρουσα μελέτη.

Βιβλιογραφία

- [1] Sheila J. Hayter, Alicen Kandt, Renewable Energy Applications for Existing Buildings, National Renewable Energy Laboratory (NREL), 22-23 September 2011
- [2] K.G. Droutsas, S. Kontoyiannidis, E.G. Dascalaki, C.A. Balaras, Ranking cost effective energy conservation measures for heating in Hellenic residential buildings, Energy and Buildings, Volume 70, February 2014, Pages 318-332
- [3] Elena G. Dascalaki, Constantinos A. Balaras, Simon Kontoyiannidis, Kalliopi G. Droutsas, Modeling energy refurbishment scenarios for the Hellenic residential building stock towards the 2020 & 2030 targets, Energy and Buildings, Available online 2 June 2016
- [4] K.G. Droutsas, S. Kontoyiannidis, E.G. Dascalaki, C.A. Balaras, Mapping the energy performance of Hellenic residential buildings from EPC (energy performance certificate) data, Energy, Volume 98, 2016, Pages 284 – 295
- [5] Ιωάννης Ψαρράς, Κανονισμός Ενεργειακής Αποδοτικότητας Κτιρίων – KENAK, διαθέσιμο από το 2017 στο: <https://docplayer.gr/43408291-7-kanonismos-energeiakis-apodotikotitas-ktirion-kenak.html>
- [6] Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων και την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης, Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Απρίλιος 2012
- [7] Minas Iatridis, Fotini Karamani, Energy Efficiency trends and policies in Greece, September 2015, διαθέσιμο στο: <http://www.odyssee-mure.eu/publications/national-reports/energy-efficiency-greece.pdf>
- [8] ΓΙΑΝΝΙΟΥ ANNA, Ο ενεργειακός σχεδιασμός στην πολεοδομία. Βιοκλιματικά υλικά δόμησης, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Ιούλιος 2004
- [9] M. Casini, Active dynamic windows for buildings: A review, Renewable Energy 119, (2018), 923 – 934
- [10] Ruben Baetens, Bjorn Petter Jelle, Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic, Solar Energy Materials & Solar Cells 94, (2010), 87–105
- daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review
- [11] Τσιμπανός Παναγιώτης, Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην εσωτερική θερμική άνεση κτιρίων, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2008
- [12] Κίμων Αντωνόπουλος, Θερμικά – Ηλιακά Συστήματα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2015, σελίδες 3 – 5

[13] Τσιτομενέας Στέφανος, Ισοζύγιο φυσικών ακτινοβολιών και κλιματική αλλαγή, διαθέσιμο από Απρίλιο 2015 στο: <https://www.pemptousia.gr/2013/04/isozigio-fisikon-aktinovolion-ke-kl/>

[14] Κομπελίτου Μαρία, Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ξενοδοχειακή μονάδα, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιανουάριος 2009

[15] Παπαευθυμίου Σπ. , Διερεύνηση των φυσικών παραμέτρων λειτουργίας και βελτιστοποίησης ηλεκτροχρωμικών διατάξεων, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2001

[16] Selkowitz S.E. , Rubin M. , Lee E.S. , Sullivan R. , A review of electrochromic window performance factors, Lawrence Berkeley National Laboratory, NBNL 35486, UC 1600, 1994

[17] Sullivan M. , Rubin M. , Selkowitz S. , Energy performance analysis of prototype electrochromic windows, LBNL 39905, 1996

[18] Syrrakou E. , Papaefthimiou S. , Yianoulis P. , Environmental assessment of advanced glazing, Solar Energy Materials and Solar Cells 85(2), 2005, p. 205 – 240

[19] Azens A , E. Avendano, J. Backholm, L. Berggren, G. Gustavsson, R. Karmhag, G.A. Niklasson, A. Roos, C.G. Granqvist, Flexible foils with electrochromic coatings: science, technology and applications, Materials Science and Engineering B, Article in Press, 2005

[20] Karlsson J. , Roos A. , Annual energy window performance versus glazing thermal emittance-the relevance of very low emittance values, Thin Solid Films 392(2), 2001, p. 345 – 348

[21] <https://interen.gr/2015/08/11/%CE%B6%CE%AE%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CE%BB%CF%89%CF%83%CE%B7-%CE%B5%CE%BD%CE%AD/>

[22] Τσαγγέτας Πάρις, Κατασκευή και μελέτη πειραματικής εγκατάστασης για μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας δομικών υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2015

[23] Mandilaras I, Atsonios I, Zannis G, Founti M.: Thermal performance of a building envelope incorporating ETICS with vacuum insulation panels and EPS. Energy and Buildings.

[24] Soteris A. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications, Progress in Energy and Combustion Science 30, 2004, p. 231-295

[25] <http://www.galaxysolar.gr/1A725604.el.aspx>

[26] <http://www.climatologic.gr/>

- [27] <https://www.homepower.com/>
- [28] <http://www.zeroenergybuildings.org/>
- [29] Σταμάτης Πέρδιος, Ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις, εκδόσεις ΤΕΚΕΚδοτική, ISBN 978-960-8257-58-0, 2009
- [30] John A. Duffie, Solar Engineering of Thermal Processes, 4th Edition , 2013 by John Wiley & Sons
- [31] US Army Corps of Engineers, Central Solar Hot Water Systems Design Guide, Fraunhofer, VEA, GEF, December 2011
- [32] Βάβουρας Στέργιος, Ηλιακό σύστημα για την θέρμανση και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε κτίριο κατοικίας, Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2016
- [33] Δάβαρη Αγγελική, Αλεξανδρόπουλος Παναγιώτης, Υπολογιστική προσομοίωση ενός υβριδικού συστήματος ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, Πτυχιακή Εργασία, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας, 2017
- [34] http://pyrgos4u.blogspot.com/2012/06/blog-post_2542.html
- [35] Χριστοδουλάκη Ρόζα, Θερμικά Ηλιακά Συστήματα Ζεστού Νερού Χρήσης και Θέρμανσης Κολυμβητικών Δεξαμενών, ΚΑΠΕ, 2009
- [36] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος Τ.Ε.Ε. , Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Α΄ Έκδοση, Αθήνα Ιούνιος 2011
- [37] Αηδόνης Αριστοτέλης, Εφαρμογές Τεχνολογιών Εξοικονόμησης και ηλιακής ενέργειας στα κτίρια, διαθέσιμο στο:
http://library.tee.gr/digital/books_notee/book_60566/book_60566_aidonis.pdf ,
Νοέμβριος 2016
- [38] <http://gr.superenac.com/solar-air-conditioner/hybrid-solar-air-conditioner/12000btu-acdc-solar-assisted-air-conditioning.html>
- [39] Χρηματοπούλου Μ. , Προσομοίωση ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2009
- [40] Δήμτσας Δημήτριος, Προσομοίωση κτιρίου μηδενικής ενέργειας με το λογισμικό TRNSYS, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2016
- [41] Κατσαπρακάκης Δημήτρης, Μονιάκης Μύρων, Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Συγγράμματα και Βοηθήματα, ISBN: 978-960-603-339-1, 2015
- [42] Γιαννάκος Νικόλαος, Αντλίες θερμότητας σε συστήματα θέρμανσης σχεδιασμός – ενεργειακή αξιολόγηση, Διπλωματική Εργασία, Θεσσαλονίκη 2014

[43] Ασημάκη Γ. Δελή, Προσομοίωση ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας με το λογισμικό TRNSYS, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2014

[44]<https://www.best-shop.gr/product/ecoplus-swbc-13-5h-bp/>

[45] Ατσόνιος Ι., Πειραματικές Μέθοδοι για Μελέτη Θερμικής Συμπεριφοράς Κελύφους Κτιρίων, Αθήνα 2012

[46] Κίμων Αντωνόπουλος, Κλιματισμός, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2015, σελίδες 121 – 123

[47]<https://www.roi-kadoglou.gr/shop/petrelaiou/lebhtes/%CF%87%CF%85%CF%84%CE%BF%CF%83%CE%AF%CE%B4%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%82-%CE%BB%CE%AD%CE%B2%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82-de-dietrich-gt-228-100-kw/>

[48] Τεχνικά Χαρακτηριστικά Συλλεκτών Επιλεκτικών και Κενού, διαθέσιμο στο: https://www.interplast.gr/sites/default/files/tehnika_haraktiristika_iliakon_syllekton_final_v2.pdf

[49] Τεχνικό Εγχειρίδιο, διαθέσιμο στο: https://www.helioakmi.com/images/stories/pdf/ELLHNIKO_VEVIAS_0708.pdf

[50] Tom Bosschaert, Energy and cost analysis of double and triple glazing, February 2009, διαθέσιμο στο: http://media.except.nl/media/uploaded_files/asset_files/Energy_and_cost_benefit_analysis_of_double_and_triple_glazing.pdf

[52] Daniela Lisi, Electrochromic Glass, διαθέσιμο στο: <http://www.antonio.licciulli.unisalento.it/tesine2003/ELECTROCHROMIC%20GLASS.pdf>

[53]<http://www.koulouriservice.gr/sintirisi-atomikou-kaustira-petrelaiou-apo-45e/>

[54]<https://www.naftemporiki.gr/printStory/723802>

[55]<https://mpakis.gr/services/suntirisi-iliakou-thermosifwna/>

[56]<https://power4u.gr/thermanski/kykloforites/oloi-oi-kukloforites.html>

[58]<https://www.in2life.gr/home/buy/article/367983/levhtas-petrelaiou-poso-tha-moy-kostisei.html>

[59] NanoDomi, Τιμοκατάλογος Λιανικής Αντλίες θερμότητας, διαθέσιμο στο: http://www.nanodomi.com/Datasheet/Nanodomi_cat_NewTimes_GR.pdf

[60]<http://www.aircoline.gr/FDFD466A.el.aspx>

[61] Ανακοίνωση της Επιτροπής στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών σχετικά με την κινητοποίηση των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών για τη διευκόλυνση της μετάβασης προς μια ενεργειακά αποδοτική οικονομία με χαμηλές εκπομπές άνθρακα, Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου 2002/91/EC, Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Βρυξέλλες, Μάρτιος 2009

[62] Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19ης Μαΐου 2010 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, Επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Μάιος 2010

[63] ΟΔΗΓΙΑ (ΕΕ) 2018/2001 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 11ης Δεκεμβρίου 2018 για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, Επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Δεκέμβριος 2018

[64] <https://www.alumil.com/greece/homeowners/service-support/plan-your-project/customization-options/glass-options>

[65] Λαμπρόπουλος Χρήστος, Ηλιοστάσια με μεμβράνες, Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Ηράκλειο 2014

[66] <https://interen.gr/2015/08/11/%CE%B6%CE%AE%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CE%BB%CF%89%CF%83%CE%B7-%CE%B5%CE%BD%CE%AD/>