

ΣΙΣΑΝΕΣ ΦΩΤΙΟΣ



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπουσα: Φούντη Μαρία, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα 2023

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΤΕΡΥΓΑΣ
ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΣΚΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΧΡΩΜΙΚΩΝ
ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Σισανές Φώτιος

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	6
Περίληψη	9
Abstract	10
1. Εισαγωγή	12
1.1 Ενεργειακό πρόβλημα	12
1.2 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων	13
1.2.1 Κατάσταση στην Ευρωπαϊκή Ένωση	13
1.2.2 Κατάσταση στην Ελλάδα	14
1.2.3 Νοσοκομειακά κτίρια	14
1.2.4 Σημασία κελύφους στην ενεργειακή κατανάλωση.....	15
1.3 Ενεργειακή πολιτική	15
1.3.1 Ευρωπαϊκή νομοθεσία	15
1.3.2 Ελληνική νομοθεσία	17
1.4 Ρόλος των ανοιγμάτων στην εξοικονόμηση ενέργειας.....	17
1.4.1 Ρόλος των παραθύρων	18
1.4.2 Ρόλος της σκίασης	18
1.4.3 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες	19
1.5 Σκοπός.....	19
2. Θεωρητικό Μέρος	21
2.1 Βασικό θεωρητικό υπόβαθρο	21
2.1.1 Εισαγωγή	21
2.1.2 Μετάδοση θερμότητας	21
2.1.3 Ηλιακή ακτινοβολία.....	22
2.2 Ενεργειακή συμπεριφορά υαλοπινάκων	26
2.2.1 Εισαγωγή	26
2.2.2 Ηλιακές- οπτικές ιδιότητες.....	27
2.2.3 Θερμικές ιδιότητες	29
2.2.4 Επίδραση διαστάσεων υαλοπινάκων - WWR	32
2.3 Τεχνολογίες υαλοπινάκων.....	32
2.3.1 Κοινοί υαλοπίνακες:	32
2.3.2 Ενεργειακοί υαλοπίνακες.....	33
2.3.3 «Έξυπνοι» υαλοπίνακες	34
2.3.4 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες	36
2.4 Σκίαση	39
2.4.1 Εισαγωγή	39
2.4.2 Κριτήρια επιλογής συστήματος σκίασης.....	40
2.4.3 Κατηγοριοποίηση συστημάτων σκίασης.....	41
2.4.4 Σκίαση λόγω αστικού σχεδιασμού:	43
2.4.5 Σκίαση λόγω βλάστησης.....	44
2.4.6 Επίδραση σκίασης στην ψύξη	45
2.4.7 Επίδραση σκίασης στον φωτισμό	46
3. Case study – Παιδιατρική πτέρυγα νοσοκομείου Νίκαιας	47

3.1	Συνοπτική περιγραφή κτηρίου και λειτουργίας του	47
3.1.1	Γεωμετρία	47
3.1.2	Τοιχοποιία.....	48
3.1.3	Παράθυρα.....	50
3.1.4	Σκίαση	51
3.1.5	Περίοδοι χρήσης και συνθήκες λειτουργίας κτηρίου	51
3.1.6	Εσωτερικά κέρδη	52
3.1.7	Αερισμός	55
3.1.8	Διείσδυση αέρα	55
3.1.9	Συνθήκες Θερμικής Άνεσης	56
3.1.10	Ορισμός περιόδων θέρμανσης και ψύξης	57
3.2	Συνοπτική περιγραφή συστημάτων ψύξης και θέρμανσης.....	59
3.3	Έλεγχος και πρωτόκολλα ελέγχου	60
4.	Μοντελοποίηση.....	62
4.1	Περιγραφή λογισμικών.....	62
4.1.1	TRNSYS- Transient System Simulation Tool.....	62
4.1.2	GoogleSketchUp 18	63
4.1.3	WINDOW 7.8.....	63
4.2	Μοντελοποίηση κτηρίου και της λειτουργίας του.....	64
4.2.1	Μοντελοποίηση γεωμετρίας	64
4.2.2	Μοντελοποίηση τοιχοποιίας	65
4.2.3	Μοντελοποίηση παραθύρων	66
4.2.4	Μοντελοποίηση σκίασης.....	67
4.2.5	Μοντελοποίηση λοιπών στοιχείων κτηρίου	68
4.3	Μοντελοποίηση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.....	68
4.3.1	Μοντέλα TRNSYS που χρησιμοποιήθηκαν:.....	68
4.3.2	Περιγραφή κυκλωμάτων:	73
4.3.3	Έλεγχος.....	76
4.3.4	Διαστασιολόγηση συστημάτων.....	77
5.	Αποτελέσματα	81
5.1	Εισαγωγή	81
5.1.1	Παρουσίαση σεναρίων	81
5.1.2	Κλιματολογικά δεδομένα	82
5.2	Αποτελέσματα υφιστάμενης κατάστασης	85
5.2.1	Ενεργειακές ανάγκες θερμικών ζωνών	85
5.2.2	Φορτία θέρμανσης και ψύξης ενεργειακών συστημάτων.....	87
5.2.3	Ηλεκτρική κατανάλωση ενεργειακών συστημάτων.....	87
5.2.4	Σύγκριση συνολικών αποτελεσμάτων.....	88
5.3	Σενάρια σκίασης.....	90
5.3.1	Επίδραση του τύπου σκίασης	90
5.3.2	Επίδραση των πρωτόκολλων ελέγχου εσωτερικής σκίασης.....	91
5.3.3	Επίδραση της περιόδου λειτουργίας	94
5.4	Σενάρια υαλοπινάκων- Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα	95

5.4.1	Φωτεινότητα εξωτερικού περιβάλλοντος.....	96
5.4.2	Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.....	98
6.	Συμπεράσματα	100
6.1	Βασικά συμπεράσματα	101
6.2	Προτάσεις για μελλοντική εργασία.....	103
7.	Κατάλογος Σχημάτων.....	105
8.	Κατάλογος Πινάκων.....	107
9.	Πηγές	108

Περίληψη

Είναι γεγονός ότι η ενεργειακή κρίση αποτελεί ένα από τα βασικότερα προβλήματα της εποχής μας. Η ολοένα αυξανόμενη ενεργειακή κατανάλωση σε συνδυασμό με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, έχει οδηγήσει τα κράτη- μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης στη λήψη κατάλληλων μέτρων. Ιδιαίτερο ρόλο διαδραματίζει ο κτηριακός τομέας, καθώς ευθύνεται για το 40% της ευρωπαϊκής ενεργειακής κατανάλωσης και το 36% των εκπομπών CO₂ που σχετίζονται με την ενέργεια, με ανάλογη κατάσταση να επικρατεί και στην Ελλάδα. Οι παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στον τομέα αυτόν έχουν αποδειχτεί αρκετά ελπιδοφόρες, χάρη στην απλότητα, το χαμηλό κόστος και τα άμεσα αποτελέσματα που μπορούν να προσφέρουν.

Στην παρούσα εργασία, μελετάται η μοντελοποίηση και η ενεργειακή συμπεριφορά κτηρίου, που χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό διαφανών επιφανειών με νότιο προσανατολισμό. Στη συνέχεια, αξιολογείται ο ρόλος της σκίασης και των υαλοπινάκων, με έμφαση στους ηλεκτροχρωμικούς, καθώς και η σημασία του ελέγχου και του αυτοματισμού των στοιχείων αυτών.

Η παρούσα μελέτη αφορά τμήμα της παιδιατρικής κλινικής του Γενικού Νοσοκομείου Νίκαιας "Άγιος Παντελεήμων". Η χρήση του κτηρίου είναι, κυρίως, ιατρικού σκοπού ενώ εκτός από τους χώρους ιατρικού ενδιαφέροντος (κλίνες ασθενών, μονάδα αυξημένης φροντίδας κλπ.) υπάρχουν και χώροι γραφείων. Το ερευνητικό του ενδιαφέρον έγκειται στα μεγάλα ανοίγματα, νότιου προσανατολισμού που διαθέτει. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η χρήση διαφορετικών σεναρίων και ειδών σκίασης (εσωτερική ή εξωτερική), απλών ή καινοτόμων, δυναμικών παραθύρων (ηλεκτροχρωμικά). Τέλος, συγκρίθηκαν διαφορετικά πρωτόκολλα λειτουργίας και σενάρια ελέγχου τόσο για τη σκίαση, όσο για τη λειτουργία του ηλεκτροχρωμισμού. Τα κριτήρια διαφοροποίησης αποτέλεσαν η περίοδος λειτουργίας (ετησίως ή κατά την περίοδο ψύξης) και το φυσικό μέγεθος που λαμβάνεται ως παράμετρος ελέγχου (θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος, προσπίπτουσα ακτινοβολία και ηλιοφάνεια).

Για την τριδιάστατη απεικόνιση του τμήματος του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *SketchUp2018*, ενώ η δημιουργία των παραθύρων πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος *WINDOW 7.8*. Επιπλέον, η μοντελοποίηση του κτηρίου, των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης και η διεξαγωγή των προσομοιώσεων έλαβε χώρα με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος *TRNSYS*.

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν τις δυνατότητες που μπορούν να προσφέρουν, υπό το πρίσμα της εξοικονόμησης ενέργειας, η ορθή επιλογή και έλεγχος των συστημάτων σκίασης. Παράλληλα, επιβεβαιώνεται η σημασία των υαλοπινάκων σε συνδυασμό με τις λύσεις που προσφέρουν καινοτόμες τεχνολογίες, όπως εκείνη των ηλεκτροχρωμικών.

Abstract

It is a well known fact that the energy crisis is one of the main problems of our time. Indeed, the ever-increasing energy consumption combined with the greenhouse effect has led the member states of the European Union to take appropriate measures. The building sector plays a vital role, as it is responsible for 40% of European energy consumption and 36% of energy-related CO₂ emissions, with a similar situation prevailing in Greece. Interventions in this area have been proven to be quite promising, thanks to the simplicity, low cost and immediate results they can offer.

In the current paper, the modeling and energy behaviour of a building, characterized by a high percentage of transparent surfaces facing south, is studied. Then, the role of shading and glass panes is evaluated, putting emphasis on electrochromic glass panes, as well as the importance of formulating a strategy for the control of these elements.

The existing energy study concerns the pediatric clinic of the General Hospital of Nikaia, "Agios Panteleimon". The use of the building is mainly for medical purposes, while there are also offices. Its research interest lies in the large, south-facing openings it has. Specifically, the use of different scenarios and types of shading (internal or external), the use of simple or innovative, dynamic windows (electrochromic) was studied. Finally, different operating protocols and control scenarios were compared for both shading and the operation of electrochromism. The differentiation criteria were the period of operation (annual or during the cooling season) and the physical quantities taken as input (outdoor temperature, incident radiation, sunshine).

SketchUp 2018 software was used for the three-dimensional visualization of the part of the building, while the windows were created using the WINDOW 7.8 software. In addition, the energy modeling of the building, the heating and cooling systems and the performance of the measurements and results took place using the TRNSYS computer software.

The results demonstrate the potential that can be offered, in the light of energy savings, by the correct selection and control of shading systems. At the same time, the importance of glass panes is confirmed in combination with the solutions offered by innovative technologies, such as that of electrochromic glass panes.

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κα. Μαρία Φούντη που μου προσέφερε τη δυνατότητα να εκπονήσω την διπλωματική μου εργασία στο Εργαστήριο Ετερογενών Μειγμάτων και Συστημάτων Καύσης.

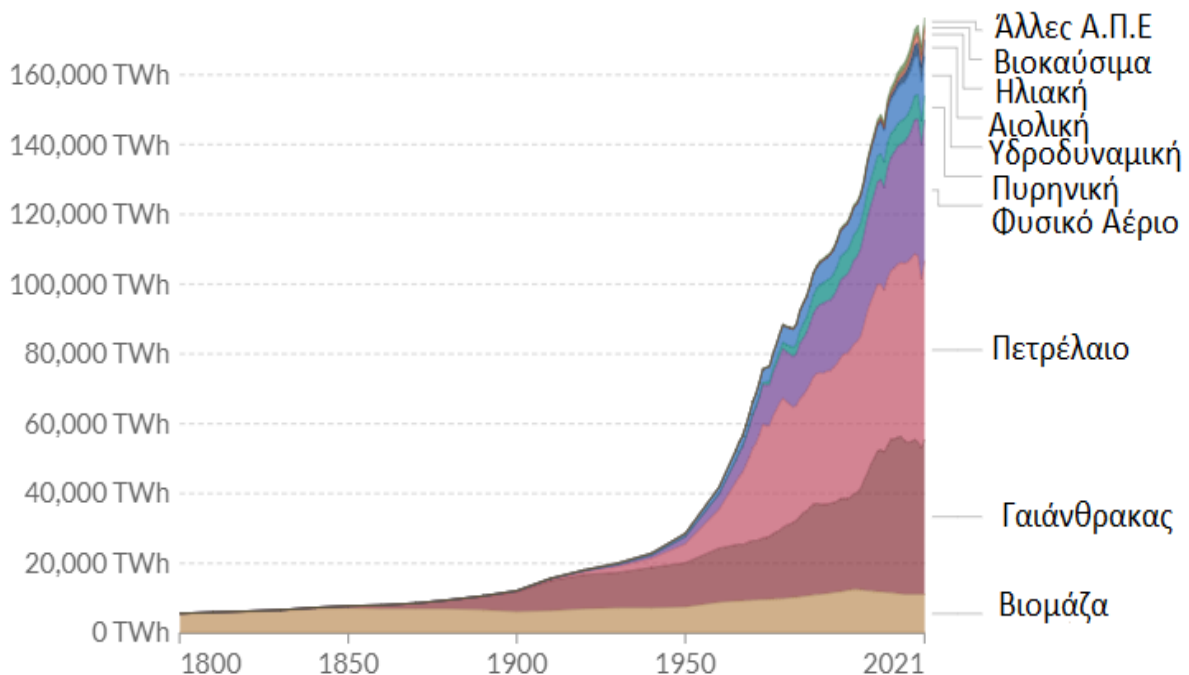
Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Γιάννη Μανδηλαρά που μου εμπιστεύτηκε την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος. Ευχαριστίες, στον Δρ. Γιάννη Ατσόνιο, για τις καίριες παρεμβάσεις και συμβουλές του που συνέλαβαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση της εργασίας. Ευχαριστώ θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Μάνο Κατσιγιάννη για την επιστημονική βοήθεια και συμπαράσταση που μου προσέφερε. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον μεταπτυχιακό ερευνητή Πέτρο Γερογιάννη για την αμέριστη καθοδήγηση και βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του εργαστηρίου Ετερογενών Μειγμάτων και Συστημάτων Καύσης, για την προθυμία τους να παρέχουν οποιαδήποτε βοήθεια και για το φιλικό κλίμα που έχουν δημιουργήσει.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα φιλικά μου πρόσωπα, για όλη τη στήριξη που μου παρείχαν τα χρόνια των σπουδών μου, ειδικότερα τους συμφοιτητές μου Σέργιο Βιλλέτ και Δημήτρη Καλοφωλιά. Τη Βάσω Ρηγάτου, για τη πολύπλευρη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Το πιο μεγάλο ευχαριστώ, το οφείλω στους γονείς μου, οι οποίοι ήταν πάντα δίπλα μου.

1. Εισαγωγή

1.1 Ενεργειακό πρόβλημα

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να οριστεί ως η αλλαγή των κλιματικών δεδομένων και μοτίβων, όπως της μέσης θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία της Γης αυξάνεται, γεγονός που έχει αντίκτυπο στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων, ενώ απειλεί την βιωσιμότητα οικοσυστημάτων παγκοσμίως και προκαλεί πλήθος καταστροφών [1]. Το ενεργειακό πρόβλημα προκύπτει από την προβλεπόμενη μείωση των αποθεμάτων υδρογοναθράκων, σε συνδυασμό με την σημαντική αύξηση που επιφέρει η χρήση τους, ως πηγή ενέργειας, στην εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου. Παράλληλα, η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται συνεχώς, ενώ οι διαθέσιμες ποσότητες των ορυκτών καυσίμων είναι πεπερασμένες, με αποτέλεσμα τον κίνδυνο έλλειψης διαθεσιμότητας. Σύμφωνα με τα υπάρχοντα επίπεδα κατανάλωσης, το πετρέλαιο αποτελεί το πρώτο ορυκτό καύσιμο που αναμένεται να εξαντληθεί. Η αύξηση του πληθυσμού μαζί με τη ραγδαία ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων περιοχών, θα επιφέρει αντίστοιχη αύξηση στις ενεργειακές ανάγκες. Σύμφωνα με τα στοιχεία της *Διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας*, ο πληθυσμός της Γης το 2050 αναμένεται να φτάσει τα 10 δισεκατομμύρια, ενώ η ενεργειακή ζήτηση παγκοσμίως να σημειώσει αύξηση της τάξεως του 50% [2]. Προκειμένου να αποφευχθεί η ενεργειακή κρίση, είναι μείζονος σημασίας η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, μέσω της εκσυγχρόνισης των υφιστάμενων ενεργειακών υποδομών ή/ και της ανάπτυξης νέων τεχνολογιών αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έτσι, ο διπλός στόχος της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος θα επιτευχθεί και παράλληλα δεν θα έχει επιπτώσεις στο βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων.



Σχήμα 1.1: Παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά πηγή (1800-2021) [3]

1.2 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων

1.2.1 Κατάσταση στην Ευρωπαϊκή Ένωση

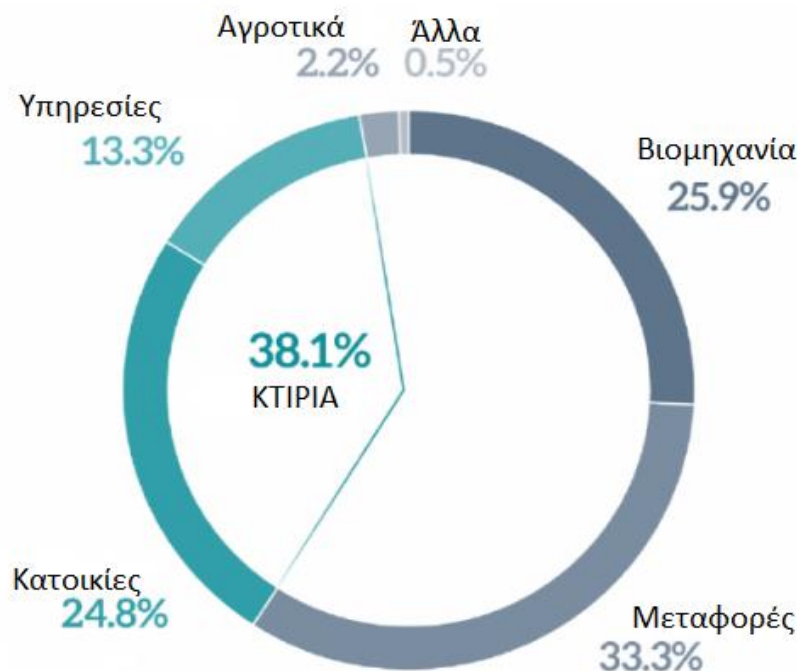
Ο κτιριακός τομέας στην Ευρωπαϊκή Ένωση κατέχει κρίσιμο ρόλο στην ικανοποίηση των ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων, τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και του αποτυπώματος διοξειδίου του άνθρακα. Ταυτοχρόνως, ποιοτικότερα και πιο ενεργειακά αποδοτικά κτίρια θα βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των κατοίκων, θα μετριάσουν την ενεργειακή φτώχεια, ενώ θα επιφέρουν σημαντικά οφέλη στις συνθήκες άνεσης, στις «πράσινες» θέσεις εργασίας, στην οικονομία και στην κοινωνία.

Συγκεκριμένα, είναι υπεύθυνος προσεγγιστικά για:

- το 40% της ευρωπαϊκής ενεργειακής κατανάλωσης
- το 36% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

Ως εκ τούτου, τα κτίρια αποτελούν τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας στην Ευρώπη. Η θέρμανση, η ψύξη και το ζεστό νερό χρήσης καταλαμβάνουν το 80% της ενέργειας που καταναλώνουν οι χρήστες. Κατά την παρούσα κατάσταση, περίπου το 35% των κτιρίων στην Ευρώπη ξεπερνούν ηλικιακά τα 50 έτη, ενώ το 75% είναι ενεργειακά ανεπαρκές. Ταυτοχρόνως, ανακαινίζονται μόνο το 1% των κτηρίων ετησίως. Οι επενδύσεις προς την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων δίνουν έναυσμα στην οικονομία, ειδικά στον κλάδο των κατασκευών, ο οποίος παράγει το 9% του ευρωπαϊκού Ακαθόριστου Εγχώριου Προϊόντος.

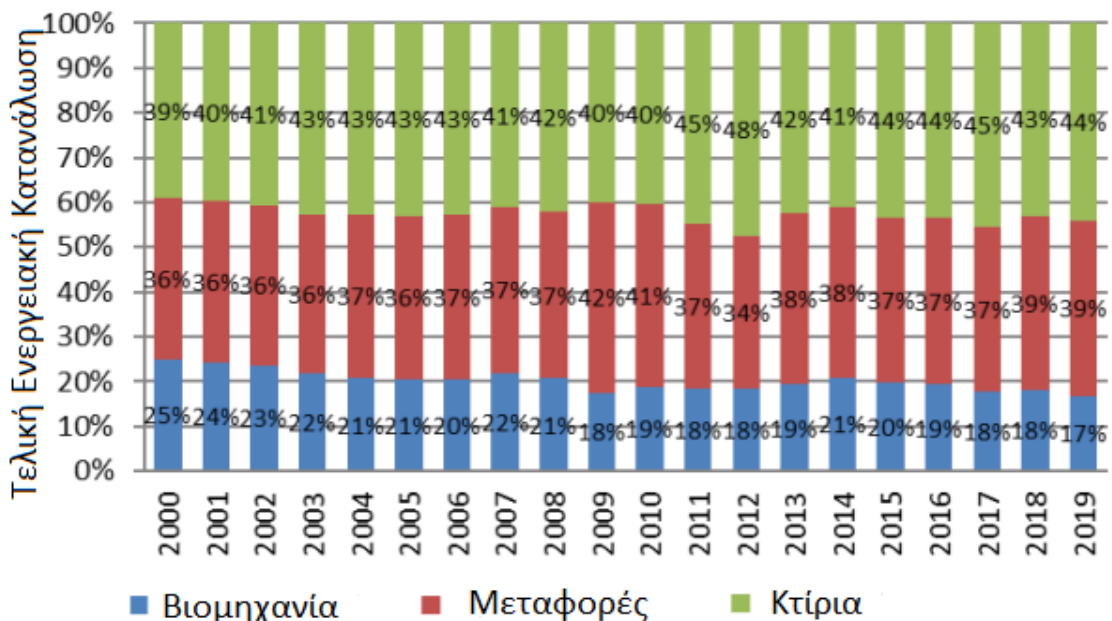
[4]



Σχήμα 1.2: Συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην ΕΕ, το 2014. [5]

1.2.2 Κατάσταση στην Ελλάδα

Αντίστοιχη κατάσταση επικρατεί και στη χώρα μας, με τον κτιριακό τομέα να καταλαμβάνει το 45% της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας, ενώ καταλαμβάνει πάνω από 50% και 90% της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας αντίστοιχα[6]. Το κτιριακό απόθεμα της χώρας πρέπει, σύμφωνα με τις σύγχρονες απαιτήσεις διαβίωσης, να αποκτήσει καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά μέσω της σωστής διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο, εκτός από την ασφάλεια και την αισθητική που μέχρι σήμερα ήταν τα κυριότερα στοιχεία ενός κτηρίου, προστίθεται και η μέριμνα, έτσι ώστε η κατανάλωση ενέργειας να είναι κατά το δυνατόν χαμηλότερη, με ταυτόχρονη εξασφάλιση συνθηκών άνεσης για τους χρήστες[7].



Σχήμα 1.3: Τελική ενεργειακή κατανάλωση (2000-2019). [8]

Αν διακρίνει κανείς την κατανάλωση των κτιρίων ανάλογα με την ηλικία και τα κτιριοδομικά τους χαρακτηριστικά, αυτά που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον ποσοτικά και ποιοτικά είναι τα παλαιότερα. Εκτός από έλλειψη θερμομόνωσης, συχνά χαρακτηρίζονται από ξεπερασμένη τεχνολογία και ανεπαρκή συντήρηση, με αποτέλεσμα την πολύ χαμηλή ενεργειακή απόδοση. Γεγονός αποτελεί, ότι το 89% της ενέργειας καταναλώνεται για τη θέρμανση και το κλιματισμό των κτιρίων, το 7% για το φωτισμό και όλες οι υπόλοιπες ανάγκες απορροφούν συνολικά το 4%[9]. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην αναβάθμιση του υπάρχοντος κτιριακού αποθέματος, διότι με κατάλληλες παρεμβάσεις μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

1.2.3 Νοσοκομειακά κτίρια

Τα μη οικιστικά κτίρια οφείλονται κατά μέσο όρο για το 25% της ενεργειακής κατανάλωσης του ευρωπαϊκού κτιριακού αποθέματος, ενώ αντιπροσωπεύουν έναν ετερογενή τομέα σε

σύγκριση με τον οικιακό[10]. Τα νοσοκομεία έχουν μεγάλο οικολογικό αποτύπωμα, καθώς καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας και απελευθερώνουν δυνητικά επιβλαβείς ρύπους[11]. Υπό το πρίσμα της συνεχιζόμενης υγειονομικής κρίσης, ο ρόλος τους δεν ήταν ποτέ πιο σημαντικός. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, τα πιθανά οικονομικά οφέλη από τη βελτίωση του κλιματικού αποτυπώματος του τομέα υγείας είναι εξέχουσας σημασίας[12]. Τα νοσοκομεία και οι ιατρικές εγκαταστάσεις είναι σημαντικοί καταναλωτές ενέργειας όσον αφορά τη συνολική ενεργειακή ζήτηση και τη ζήτηση ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο [13]. Σύμφωνα με μελέτες, η μέση κατανάλωση ενέργειας στα ευρωπαϊκά νοσοκομεία κυμαίνεται μεταξύ 290 kW/m² (στη Σουηδία και το Βέλγιο) και 555 kW/m² (στην Ολλανδία)[14]. Μια πρόσφατη μελέτη ανασκόπησης τόνισε τη σημασία της θερμικής άνεσης τόσο στην ανάρρωση των ασθενών όσο και στην ενεργειακά αποδοτική διαχείριση των πόρων στα νοσοκομειακά κτίρια[15]. Ως εκ τούτου, ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης καλείται να αντιμετωπίσει μια διπλή πρόκληση: την ικανοποίηση της αυξημένης ζήτησης για υπηρεσίες υγείας με ταυτόχρονη μείωση της ενεργειακής τους κατανάλωσης[16]. Εφίσταται, λοιπόν, η προσοχή στην επιτακτική ανάγκη μελέτης των ενεργειακών προφίλ σε τέτοια σύνθετα κτίρια, προκειμένου να εντοπιστούν βέλτιστες πρακτικές ικανές να μειώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα και να αξιοποιήσουν τις μεγάλες δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας που έχουν τα νοσοκομεία.

1.2.4 Σημασία κελύφους στην ενεργειακή κατανάλωση

Θέτοντας ως στόχο τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και την μείωση των εκπομπών CO₂, οι παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος κρίνονται ως οι πιο ελπιδοφόρες, διότι, με την κατάσταση που επικρατεί, ακόμα και στοιχειώδεις παρεμβάσεις επιφέρουν μεγάλο αντίκτυπο στο ενεργειακό προφίλ του κτιρίου. Ο ελληνικός τομέας των κτηρίων έχει έντονο ενεργειακό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, λόγω χρήσης πρωτογενών υλών, κατανάλωσης φυσικών πόρων και παραγωγής ορυκτών αποβλήτων. Επιπλέον, τα ελληνικά κτίρια χαρακτηρίζονται ως ιδιαιτέρως ενεργοβόρα λόγω της παλαιότητας τους και της μη ενσωμάτωσης σύγχρονης τεχνολογίας σε αυτά[17]. Κάποια χαρακτηριστικά θέματα που αντιμετωπίζουν είναι η μερική ή παντελής έλλειψη θερμομόνωσης, χαμηλές αποδόσεις των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, παλαιάς τεχνολογίας κουφώματα, ελλιπή σκίαση των νότιων και δυτικών όψεών τους, μη επαρκή αξιοποίηση του υψηλού ηλιακού δυναμικού της χώρας, ανεπαρκή συντήρηση συστημάτων θέρμανσης/κλιματισμού με αποτέλεσμα χαμηλή απόδοση[18].

1.3 Ενεργειακή πολιτική

1.3.1 Ευρωπαϊκή νομοθεσία

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού τομέα και των εκπομπών αερίου CO₂, η ΕΕ και τα κράτη-μέλη της, όπως η Ελλάδα, έχει προχωρήσει στη θέσπιση μιας σειράς νομοθετικών πλαισίων στην αναβάθμιση και στην εξειδίκευσή τους. Το 1993, η ΕΕ αναγνωρίζει την ανάγκη λήψης μέτρων με την οδηγία SAVE 93/76/ΕΟΚ, ενώ το 1997 υπογράφεται η πρώτη διεθνής σχετική συνθήκη, το πρωτόκολλο του Κυότο. Το 2002, εκδίδεται από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το

Συμβούλιο της ΕΕ η Οδηγία 2002/91/ΕΚ. Σύμφωνα με την οδηγία αυτή, τίθενται κάποιες βασικές παρεμβάσεις στα κτίρια με σκοπό την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ηλεκτρικές καταναλώσεις, καθώς και τη συμμόρφωση όλων των κρατών-μελών έως τον Ιανουάριο του 2006. Με σκοπό την τόνωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων, η ΕΕ αναδιατύπωσε το παραπάνω νομοθετικό πλαίσιο, καταλήγοντας σε δύο οδηγίες οι οποίες αποτελούν την κύρια σχετική νομοθετική πράξη σε επίπεδο ΕΕ. Το νομοθετικό πλαίσιο αυτό αποτελείται από την Οδηγία *ενεργειακής αποδοτικότητας κτιρίων (Energy Performance of Buildings Directive) 2010/31/EU* και την Οδηγία *ενεργειακής απόδοσης (Energy Efficiency Directive) 2012/27/EU*. Οι κατευθύνσεις που αποφασίστηκαν προβλέπουν την μείωση της εκπομπής CO₂ κατά 8% έως το 2012 και κατά 20% έως το 2020.

Συνδυάζοντας τις οδηγίες, η πολιτική που προωθείται αποσκοπεί στα εξής:

- Επίτευξη υψηλά ενεργειακά αποδοτικού κτιριακού αποθέματος και εκμηδένιση της χρήσης άνθρακα έως το 2050
- Δημιουργία σταθερού επενδυτικού περιβάλλοντος
- Ευαισθητοποίηση και ενημέρωση καταναλωτών και επιχειρηματιών για επιλογές σχετικές με την εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων.

Ήδη, με την υιοθέτηση των κανόνων ενεργειακής απόδοσης, ο κτιριακός τομέας καταναλώνει μισή ενέργεια σε σχέση με το 1980. Αμφότερες οι οδηγίες τροποποιήθηκαν το 2018 και το 2019, ως μέρος των πακέτων για *Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους πολίτες*, στα πλαίσια της *συνθήκης του Παρισιού (2016)*, που ασχολείται με την μείωση των εκπομπών αερίων και την προσαρμογή των κρατών στην κλιματική αλλαγή. Η τροποποίηση της οδηγίας *2018/844/EU* εισάγει νέα στοιχεία και στέλνει ισχυρό πολιτικό μήνυμα, όσον αφορά τη δέσμευση της ΕΕ για εκμοντερνισμό του κτιριακού τομέα, αποσκοπώντας σε τεχνολογικές αναβαθμίσεις και σε αύξηση των κτιριακών ανακαινίσεων. Τον Οκτώβριο του 2020, η Κομισιόν παρουσίασε την στρατηγική της, που αποσκοπεί μέσω οικονομικών παρεμβάσεων στον κατ' ελάχιστον διπλασιασμό του ρυθμού ανακαινίσεων έως το 2030 και στην προώθηση βαθύτερων αλλαγών κατά την πραγματοποίηση αυτών. Το Δεκέμβριο του 2021, πρότεινε μια αναδιατύπωση της οδηγίας *COM(2021) 802 final*. Σύμφωνα με αυτήν, αναβαθμίζεται το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο, αντανακλώντας υψηλότερες προσδοκίες και την ανάγκη προς πίεση για ανάληψη μέτρων και ευθυνών αναφορικά με την κλιματική και κοινωνική δράση. Ακόμα, καθορίζει τους τρόπους επίτευξης κτιριακού αποθέματος με μηδενικές εκπομπές και πλήρη εγκατάλειψη του άνθρακα ως πηγή ενέργειας. Τα προτεινόμενα μέτρα αποσκοπούν στην αύξηση του βαθμού ανακαινίσεων, ειδικά για τα κτίρια χαμηλότερης απόδοσης σε κάθε χώρα. Η αναθεωρημένη οδηγία αποσκοπεί στην μείωση κατά τουλάχιστον 60% των εκπομπών έως το 2030 στον κτιριακό τομέα, σχετικά με το 2015, καθώς και στην κλιματική ουδετερότητα έως το 2050.

Τα βασικά μέτρα που προτείνονται είναι:

- σταδιακή εισαγωγή ελαχίστων προδιαγραφών σχετικά με την ενεργειακή απόδοση, προκειμένου να δοθεί ώθηση στην ανακαίνιση των κτιρίων με την χείριστη απόδοση
- νέα πρότυπα για καινούρια κτίρια και πιο φιλόδοξους στόχους όσον αφορά τις μηδενικές εκπομπές
- αναβαθμισμένη μακροπρόθεσμη στρατηγική ανακαίνισεων
- αυξημένη αξιοπιστία, ποιότητα και ψηφιοποίηση των ενεργειακών πιστοποιητικών - η ενεργειακή κλάση να υπολογίζεται με κοινά κριτήρια
- καθορισμός θεμελιώδους ανακαίνισης - εισαγωγή καταστατικών ανακαίνισης κτιρίων
- εκμοντερνισμός των κτιρίων και των συστημάτων – βέλτιστος συνδυασμός συστημάτων (θέρμανσης, ψύξης, εξαερισμού, φόρτισης ηλεκτρικών μπαταριών, ΑΠΕ)

Ακόμη, η αναθεώρηση της οδηγίας αποσκοπεί στην μετατροπή όλων των κτιρίων σε κτίρια μηδενικής κατανάλωσης (nZEB), έως το 2050. Με βάση την Κομισιόν, ως nZEB ορίζονται τα κτίρια με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση. Οι σχεδόν μηδενικές ενεργειακές τους ανάγκες, χάρη στην ικανοποίηση υψηλών ενεργειακά προδιαγραφών στο κέλυφος και τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, ικανοποιούνται σε μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας[19].

1.3.2 Ελληνική νομοθεσία

Αντίστοιχες παρεμβάσεις, καθώς και εξειδίκευση των ευρωπαϊκών οδηγιών λαμβάνει χώρα και στην Ελλάδα. Το 1979, θεσπίζεται ο *Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΦΕΚ 362Δ/1979)*, με τον οποίο πραγματοποιείται η πρώτη προσπάθεια νομοθέτησης σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια. Το 2008, η Ελλάδα, ως όφειλε απέναντι στις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης εναρμόνισε την εθνική νομοθεσία με την κοινοτική οδηγία, σύμφωνα με τον νόμο 3661/2008, ο οποίος προέβλεπε την υποχρεωτική έκδοση του «*Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων*» (Κ.Εν.Α.Κ). Με τον Κ.Εν.Α.Κ. καθορίζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και των δομικών στοιχείων. Οι απαιτήσεις αυτές έχουν καθοριστεί με σκοπό να επιτευχθεί η βέλτιστη από πλευράς κόστους ισορροπία μεταξύ των συναφών επενδύσεων και των ενεργειακών δαπανών που εξοικονομούνται στη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής του κτιρίου [20].

1.4 Ρόλος των ανοιγμάτων στην εξοικονόμηση ενέργειας

Όπως αναφέρεται ήδη, το κτιριακό κέλυφος αποτελεί το κυριότερο στοιχείο καθορισμού της θερμικής άνεσης και εξασφάλισης ενεργειακής ισορροπίας[21]. Η ύπαρξη μεγάλων όψεων με εκτεταμένες επιφάνειες υαλοπινάκων στα κτίρια, για την εξασφάλιση καθαρής και ανεμπόδιστης θέας από το εσωτερικό στο εξωτερικό περιβάλλον και την μέγιστη εκμετάλλευση του ηλιακού φωτός, έρχεται σε αντίθεση με τις επιταγές για ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων. Η ανάγκη για ενεργειακή αποδοτικότητα προτάσσει την απαίτηση για έλεγχο και προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία, ώστε να αποφεύγεται η αύξηση της ηλιακής θερμότητας και συνεπώς η ανάγκη για κατανάλωση υψηλών ψυκτικών

φορτίων στα κτίρια[22]. Προκειμένου να ρυθμιστεί το ποσό του φωτός και της θερμότητας που εισάγεται στον χώρο, άρα και της αύξησης της εξοικονόμησης ενέργειας και της βελτίωση των συνθηκών άνεσης, χρησιμοποιούνται συστήματα ελέγχου και καθορίζονται πρωτόκολλα χρήσης, τόσο στα παράθυρα όσο και στα συστήματα σκίασης.

1.4.1 Ρόλος των παραθύρων

Από τα στοιχεία του κελύφους ξεχωρίζει το παράθυρο, ως το κυριότερο σημείο για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη θερμική απόδοση των κτιρίων[23]. Η ανάγκη για φυσικό ημερήσιο φωτισμό, καθώς και για οπτική επαφή και θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον, οδηγεί σε αύξηση του ποσοστού χρήσης υαλοπινάκων στο κέλυφος και κατ'επέκταση υψηλότερων θερμικών φορτίων. Συνδυαστικά με τα παραπάνω, παίζουν ρόλο η απλότητα, η περιορισμένη ανάγκη για συντήρηση, το χαμηλό κόστος εγκατάστασης και η παθητική χρήση, που χαρακτηρίζουν τα σταθερά συστήματα σκίασης[24]. Δηλαδή, στις σύγχρονες αρχιτεκτονικές τάσεις, ειδικά στα κτίρια του τριτογενή τομέα, η αναλογία παραθύρων προς τοίχους έχει υψηλή τιμή, προκειμένου να επιτυγχάνεται εξισορρόπηση της οπτικής άνεσης, των θερμικών απωλειών και των ηλιακών κερδών στο εσωτερικό των κτιρίων[25]. Ως στοιχείο του κτιρίου, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του κελύφους και παίζει σημαντικό ρόλο στην αισθητική του. Τα παράθυρα αποτελούν αρκετά οικονομική επιλογή, συγκριτικά με την εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρουν. Η εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας προσφέρει πληθώρα δυνατοτήτων και μεγάλη γκάμα επιλογών προς τον χρήστη. Ενδεικτικά, οι τεχνολογίες σχετίζονται με το πλήθος των φύλλων που περιέχουν (μονά, διπλά, τριπλά κ.ά.), το αέριο πλήρωσης (αέρας, αργό κ.ά.), το είδος του υαλοπίνακα (απλά, έξυπνα- δυναμικά κ.ά.), της ύπαρξης ειδικών επιστρώσεων στην επιφάνειά του, το πρωτόκολλο και το είδος σκίασης κ.ά. Ως ευφυής (smart) ή δυναμικός μπορεί να οριστεί ο υαλοπίνακας, ο οποίος έχει την ικανότητα να εμποδίζει, εν μέρει, την ανεπιθύμητη ηλιακή ακτινοβολία. Στην ουσία, αλλάζει τις ιδιότητες διαπερατότητας φωτός και ηλιακής ακτινοβολίας ως απάντηση σε ένα εξωτερικό ερέθισμα. [26].

1.4.2 Ρόλος της σκίασης

Η μεγάλη συνεισφορά των παραθύρων στο θερμικό φορτίο των κτιρίων, μπορεί να ελεγχθεί διαμέσου της χρήσης συστημάτων σκίασης έτσι, ώστε το κέρδος σε θερμότητα να επιτρέπεται όταν είναι αναγκαίο και να αποτρέπεται όταν γίνεται επιβλαβές[25]. Πρωταρχικός σκοπός των συστημάτων σκίασης, δεν είναι η μείωση των απαιτήσεων για θέρμανση, αλλά η αποφυγή μεγάλων ηλιακών κερδών (που μπορεί να προκαλέσουν υπερθέρμανση και κατεπέκταση αύξηση των ψυκτικών φορτίων και κατανάλωσης ενέργειας), η μείωση της ζήτησης για ψύξη, η εξάλειψη της θάμβωσης και ταυτοχρόνως η μεγιστοποίηση χρήσης του φυσικού φωτός ημέρας[27]. Η τοποθέτηση συστημάτων σκίασης αποτελεί μία από τις πιο αποτελεσματικές λύσεις για τη διαχείριση των ηλιακών κερδών προς το εσωτερικό του κτιρίου. Η εξωτερική σκίαση εξασφαλίζει ότι ο ήλιος ανακλάται, προτού εγκλωβιστεί εντός του κτιρίου και γεμίσει το εσωτερικό του κτιρίου με θερμική ακτινοβολία[28]. Σύμφωνα με μελέτες, τα κατάλληλα συστήματα σκίασης μπορούν να μειώσουν έως και 20% τα ψυκτικά φορτία, που συνεπάγεται μια περίοδο απόσβεσης 3-4 ετών[29]. Η άμεση ακτινοβολία είναι πολύ διαχειρίσιμη, αφού υπάρχουν

τρόποι υπολογισμού της θέσης του ήλιου, σε δεδομένη τοποθεσία και χρονική στιγμή. Εκτιμώντας το άμεσο ηλιακό κέρδος που προκύπτει σε περιόδους υπερθέρμανσης τα συστήματα σκίασης μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη θερμική άνεση και κατ' επέκταση, το ενεργειακό κόστος για την ψύξη, θέρμανση και εξαερισμό του κτιρίου [30]. Η ταξινόμηση των συστημάτων σκίασης, προτείνεται να συμβαίνει, βάσει της θέσης του συστήματος στο κτίριο (εσωτερικά ή εξωτερικά) και το αν είναι κινητό (με χειροκίνητο ή αυτόματο τρόπο) ή σταθερό[31]. Συνήθως οι αρχιτέκτονες και οι σχεδιαστές επιλέγουν το σύστημα εξωτερικής σκίασης, υπολογίζοντας τη διαδρομή του ηλίου πάνω από τα ανοίγματα με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής και τον προσανατολισμό, ώστε να αποτρέπεται η ανεπιθύμητη διέλευση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, προτού εκείνη φτάσει στο κτίριο. Τα εσωτερικά συστήματα χρησιμοποιούνται, ώστε να προστατεύουν τους χρήστες από τις έμμεσες ηλιακές ακτίνες και την θάμβωση.

1.4.3 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες

Όσο περνάνε τα χρόνια, οι υαλοπίνακες που είναι διαθέσιμοι στην αγορά εμφανίζουν δομές με ενισχυμένα χαρακτηριστικά, όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και τις συνθήκες άνεσης που εξασφαλίζουν. Τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα (EC) ή οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες, δηλαδή υαλοπίνακες οι οποίοι αποτελούνται από υλικά με ηλεκτροχρωμικές ιδιότητες. Ουσιαστικά, αποτελούν συσκευές οι οποίες εκμεταλλεύονται την ιδιότητα διαφόρων οξειδίων να χρωματίζονται αντιστρεπτά με την εισαγωγή-εξαγωγή ευκίνητων ιόντων στο πλέγμα τους. Τα παράθυρα αυτά έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν τη διαπερατότητά τους, να ελέγχουν δυναμικά το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο εσωτερικό του κτηρίου, εξοικονομώντας ενέργεια και δημιουργώντας ευχάριστο κλίμα στο εσωτερικό τους. Παράλληλα, σε όλες τις καταστάσεις του παραθύρου δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να βρίσκονται σε οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Με εφαρμογή συνεχούς τάσης μερικών βολτ αυτά τα παράθυρα μεταβάλουν την διαπερατότητά τους και από διαφανή μετατρέπονται σε αδιαφανή. Ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο υπερτερεί σημαντικά σε σχέση με τα καλύτερα παράθυρα για εξοικονόμηση ενέργειας που υπάρχουν στην αγορά σήμερα και παρουσιάζει καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά κατά τη διάρκεια ενός έτους ακόμα και από έναν συμπαγή μονωμένο τοίχο [32].

1.5 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ενεργειακή αξιολόγηση των υαλοπινάκων και των συστημάτων σκίασης σε πραγματικό κτήριο. Η μελέτη αφορά τμήμα του νοσοκομείου «Άγιος Παντελεήμων» και συγκεκριμένα της παιδιατρικής κλινικής, που βρίσκεται στον τρίτο όροφο του κτιρίου «Παιδοχειρουργικής Κλινικής». Η παιδιατρική κλινική διαθέτει, ως επί το πλείστον, νότιο προσανατολισμό με μεγάλα ανοίγματα, γεγονός που την καθιστά ενδιαφέρουσα ερευνητικά και έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην επιλογή του υπό μελέτη κτιρίου. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η γεωμετρική μοντελοποίηση του τμήματος του κτιρίου και ο διαχωρισμός του στις ξεχωριστές θερμικές ζώνες, με χρήση του προγράμματος *SketchUp 2018* και του *TRNSYS-3Dplugin*. Η ακριβέστερη μοντελοποίηση του κτιρίου, όσον αφορά τα στοιχεία του που σχετίζονται με το ενεργειακό του προφίλ, όπως η

τοιχοποιία, η σκίαση, τα εσωτερικά κέρδη κ.ά πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος *TRNBuild*. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση θεωρητικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης για τους χώρους μελέτης. Χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία με βάση τις δεδομένες ενεργειακές ανάγκες, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων. Επίκεντρο της μελέτης αποτέλεσε η επίδραση στοιχείων των υαλοπινάκων και των συστημάτων σκίασης στην εξοικονόμηση ενέργειας, υπό την προϋπόθεση διατήρησης της εσωτερικής θερμοκρασίας κάθε χώρου σε συνθήκες θερμικής άνεσης. Μελετήθηκε η χρήση διαφορετικών σεναρίων και ειδών σκίασης, καθώς επίσης και η χρήση ηλεκτροχρωμικών παραθύρων. Τέλος, συγκρίθηκαν διαφορετικά πρωτόκολλα λειτουργίας και σεναρία ελέγχου της σκίασης, με ημερολογιακά ή θερμοκρασιακά κριτήρια ή με βάση την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Η μοντελοποίηση των παραπάνω, η ενοποίησή τους και η διεξαγωγή των αντίστοιχων προσομοιώσεων έλαβε χώρα με το λογισμικό *TRNSYS*.

2. Θεωρητικό Μέρος

2.1 Βασικό θεωρητικό υπόβαθρο

2.1.1 Εισαγωγή

Η μελέτη που έλαβε χώρα κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αφορά, ως επί το πλείστον, την κάλυψη συγκεκριμένου εύρους θερμοκρασιακών συνθηκών εντός των θερμικών ζωνών. Είναι γνωστό, ότι η θερμότητα τείνει να ρέει αυθόρμητα από θερμότερα σώματα σε ψυχρότερα. Συνεπώς, κατά τους χειμερινούς μήνες επιδιώκεται η θερμότητα να μην εξέρχεται από το εσωτερικό του κτιρίου προς το ψυχρότερο εξωτερικό περιβάλλον, ενώ τους θερινούς μήνες επιδιώκεται το αντίθετο, δηλαδή η ελαχιστοποίηση των απωλειών.

2.1.2 Μετάδοση θερμότητας

Παρακάτω, παρατίθενται συνοπτικά οι τρεις βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας που διαμορφώνουν τη θερμοκρασία εντός του χώρου, δηλαδή η αγωγή, η συναγωγή και η ακτινοβολία.

- Μετάδοση θερμότητας με αγωγή:

Σύμφωνα με το Νόμο του Φουριέ, η μεταφορά θερμότητας με αγωγή εκφράζει τη ροή θερμότητας από ένα σώμα στο άλλο μέσω επαφής και είναι ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας τους. Εκφράζεται ποσοτικά με την μαθηματική σχέση:

$$Q = \lambda A \Delta T / \Delta X$$

όπου Q είναι η ροή θερμότητας, λ η θερμική αγωγιμότητα του θερμαινόμενου υλικού και εξαρτάται από το υλικό που χρησιμοποιούμε προς μελέτη, A η επιφάνεια επαφής και ΔX το πάχος του υλικού.

Σε ένα κτίριο, η μετάδοση θερμότητας μέσω αγωγής συμβαίνει κυρίως σε τοίχους, πάτωμα και οροφή, καθώς και σε επαπτόμενα σε αυτά υλικά, πχ χαλιά. Εκεί η θερμότητα μεταφέρεται σταδιακά, από το θερμότερο μόνιο του δομικού στοιχείου προς το ψυχρότερο και με κατεύθυνση από ή προς το εξωτερικό περιβάλλον ανάλογα τη διαφορά θερμοκρασίας του με το εσωτερικό, λόγω μοριακών αλληλεπιδράσεων.

- Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή:

Η συναγωγή αφορά τη μεταφορά θερμότητας σε κινούμενα ρευστά με εξαναγκασμένη ή φυσική κυκλοφορία και συμβαίνει μέσω μακροσκοπικής μετακίνησης πακέτων ρευστού, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας και πυκνότητας. Κατά τη μετάδοση, ποσότητες υγρού ή αερίου θερμαίνονται και μεταφέρονται σε ψυχρότερη περιοχή, όπου και προκαλούν τη θέρμανσή της. Η μαθηματική σχέση που την εκφράζει είναι:

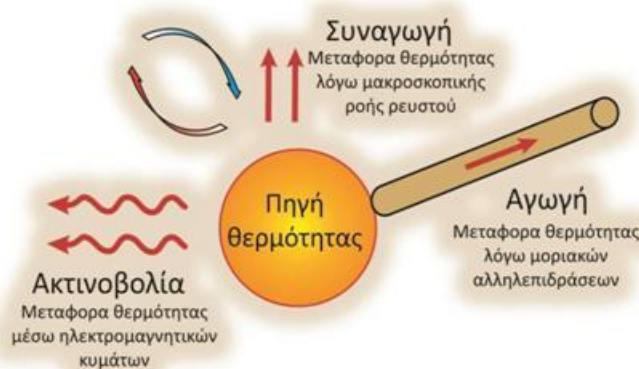
$$Q = hA\Delta T,$$

όπου h είναι ο συντελεστής μεταφοράς ο οποίος εξαρτάται από το ρευστό και από την ταχύτητά του, A η επιφάνεια επαφής και ΔT η θερμοκρασιακή διαφορά ρευστού και επιφάνειας.

Παραδείγματα μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή σε έναν χώρο είναι η μονωτική χρήση του αέρα σε τοίχους και παράθυρα, τα θερμά και ψυχρά ρεύματα και η αλληλεπίδραση τους με τον άνθρωπο κλπ.

- Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία:

Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία αφορά τη μετάδοση όπου λαμβάνει χώρα στο κενό, χωρίς να υπάρχει μέσο διάδοσης, με απτό παράδειγμα τη θερμική ενέργεια του Ήλιου, η οποία ταξιδεύει στο διάστημα υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και θερμαίνει τη Γη. Συνεπώς, όλα τα σώματα με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 0 Κέλβιν εκπέμπουν ακτινοβολία ανάλογη της θερμοκρασίας τους. Στην περίπτωση κτιρίου, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί αυτό του ήλιου που προαναφέρθηκε.



Σχήμα 2.1: Τρεις μέθοδοι μεταφοράς θερμότητας

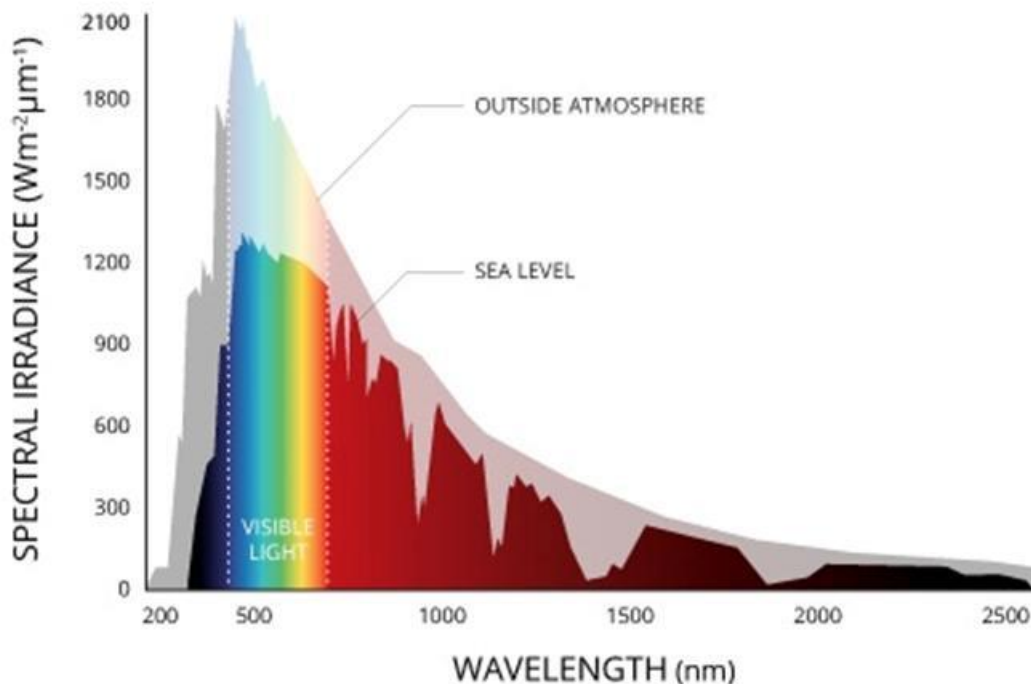
2.1.3 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει ενισχυμένη επίδραση στο μοντέλο που μελετήθηκε, λόγω της σημαντικής της συνεισφοράς στην εξοικονόμηση ενέργειας ενός κτηρίου, καθώς το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας που δέχεται οφείλεται στον ήλιο. Στη δική μας περίπτωση η συνεισφορά αυτή φαίνεται να είναι ακόμη μεγαλύτερη. Στις παρεμβάσεις που ελέγχθηκαν και αφορούν τη σκίαση και τα παράθυρα, όπως αναφέρεται παρακάτω, η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας παίζει τον πρωτεύοντα ρόλο. Επίσης, η Ελλάδα παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 1400-1800 (kWh/(m²·yr)) ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο και χαρακτηρίζεται από σχετικά ήπιους χειμώνες και πολύ θερμά καλοκαίρια, ειδικά στην περιοχή που βρίσκεται το υπό μελέτη νοσοκομείο λόγω του γεωγραφικού του πλάτους και του ανάγλυφου της περιοχής. Τέλος, η πλειοψηφία των ανοιγμάτων έχει νότια κατεύθυνση, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στην ποσότητα της

προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι, κρίθηκε βοηθητική η παρουσίαση κάποιων βασικών θεωρητικών στοιχείων σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία.

2.1.3.1 Φασματική κατανομή

Το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας που δέχεται ένα κτήριο προέρχεται από τον Ήλιο με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, ο οποίος αποτελεί τη βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας. Προσεγγιστικά, ο ήλιος συμπεριφέρεται σαν μια τέλεια πηγή εκπομπής ακτινοβολίας (μέλαν σώμα) σε μια θερμοκρασία κοντά στους 5800K. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, δηλαδή το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες, με βάση την ηλιακή ακτινοβολία φάσματος (Spectral irradiance) και του μήκους κύματος του φωτός (Wavelength) (Σχήμα 2.2). Το καθένα από τα μήκη κύματος αυτού του φάσματος αλληλοεπιδρά (σκεδάζεται και απορροφάται) με διαφορετικό τρόπο με τα συστατικά της γήινης ατμόσφαιρας (π.χ. υδρατμούς, όζον και άλλα αέρια, νεφροσταγόνες, παγοκρυστάλλους) και διεισδύει με διαφορετικό τρόπο στην ατμόσφαιρα της Γης.



Σχήμα 2.2: Φασματική κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας

- Περιοχή υπεριώδους ακτινοβολίας (UV- Ultraviolet) (Μήκη κύματος έως 380 nm):

Η ακτινοβολία αυτού του τύπου δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. Ευθύνεται για μια σειρά επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, όπως η πρόκληση εγκαύματος στο δέρμα και φωτοκερατίτιδας στο μάτι. Χρόνια αποτελέσματα είναι ο καρκίνος και η πρόωγη γήρανση του δέρματος, ενώ στα χρόνια αποτελέσματα του οφθαλμού περιλαμβάνονται ο καταρράκτης, το πτερόγιο και η κερατοπάθεια. Πέρα από τις

επιπτώσεις αυτές, ο αντίκτυπος στο ενεργειακό προφίλ ενός κτιρίου είναι χαμηλός, λόγω του περιορισμένου ποσοστού που εισέρχεται μέσω των υαλοπινάκων[33].

- *Ορατή περιοχή (Μήκος κύματος από 380 έως 780 nm)*

Χαρακτηρίζεται το τμήμα εκείνο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που μπορεί να αντιληφθεί ο άνθρωπος με αισθητήριο όργανο, τον οφθαλμό. Αποτελεί περίπου το 47% της ηλιακής ενέργειας και είναι ζωτικής σημασίας, τόσο για την ηλιακή ενέργεια και θερμικό κέρδος, όσο και για τον φωτισμό που προσφέρει.

- *Περιοχή υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR- Infraredradiation) (Μήκος κύματος από 780 nm έως 2500 nm)*

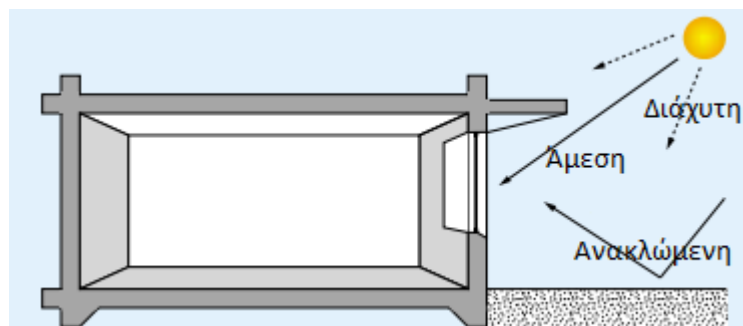
Επίσης δεν γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι, ενώ είναι υπεύθυνη για το 46% της ηλιακής ενέργειας.

2.1.3.2 Εξασθένηση ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα:

Η ηλιακή ακτινοβολία εξασθενεί όσο αυξάνεται η διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα, δηλαδή όσο μεγαλύτερη απόσταση διανύει εντός της. Κατά τη διαδρομή της υπόκειται σκέδαση (αλλαγή κατεύθυνσης) και διασκορπισμό, λόγω της σύγκρουσης με τα μόρια αέρα, σκόνης και υδρατμών, καθώς και λόγω απορρόφησης υπό του O_3 , H_2O και CO_2 .

Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια απ' ευθείας από τον ηλιακό δίσκο ονομάζεται *άμεση*. Η υπόλοιπη ακτινοβολία μαζί με το ποσό μετά από ανάκλαση πάνω στην επιφάνεια της Γης ονομάζεται *διάχυτη*. Η διάχυτη και η άμεση ακτινοβολία αποτελούν τις δύο συνιστώσες του αθροίσματός τους, της *ολικής* ακτινοβολίας.

Συνολικά, η αναλογία μεταξύ άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας εξαρτάται από την απόσταση Ήλιου- Γης, το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο του τόπου, την ηλιακή απόκλιση, το ηλιακό ύψος, την κλίση της επιφάνειας επί της οποίας προσπίπτει, τη λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία διαφόρων κέντρων σκεδάσεως[4].

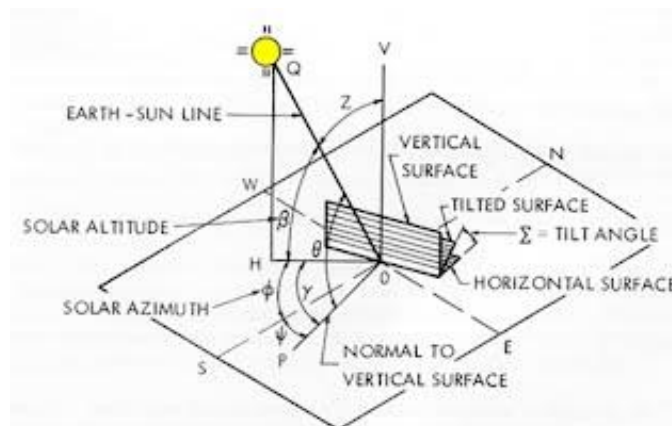


Σχήμα 2.3: Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας

2.1.3.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη και γωνίες

- *Γωνία ζενίθ, θ_z* : είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης ου ήλιου.

- *Ηλιακό ύψος, $90\theta - \theta_z$* , είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ήλιου και την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο
- *Αζιμούθιο επιφάνειας, γ* , είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στη επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση. Το αζιμούθιο επιφάνειας λαμβάνει τιμές από -180° έως 180° με $\gamma = 0^\circ$ στο νότο, $\gamma = 90^\circ$ στη δύση, $\gamma = 180^\circ$ στο βορρά και $\gamma = -90^\circ$ στην ανατολή.
- *Αζιμούθιο ηλίου, γ_s* , είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης.
- *Κλίση επιπέδου, β* , είναι η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδος επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο. Η κλίση επιπέδου κυμαίνεται από 0° έως 180° , λαμβάνοντας τη τιμή 0 για το οριζόντιο επίπεδο και 180° για το κατακόρυφο.
- *Ωριαία γωνία, ω* , είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονά της με ρυθμό $0.25^\circ / \text{min}$, με θετικά ω για τις ώρες μετά μεσημβρίας.
- *Ηλιακή απόκλιση, δ* , είναι η γωνιακή θέση του ηλίου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Οι τιμές που λαμβάνει η ηλιακή απόκλιση κυμαίνονται από -23.45 έως 23.45 , με θετικές τιμές τον βορρά. (Σχήμα 2.4)



Σχήμα 2.4: Γωνίες που σχηματίζονται από τη σχετική κίνηση Γης –Ήλιου[34]

2.1.3.4 Διάκριση σωμάτων

Αναλόγως του τρόπου με τον οποίον τα σώματα εκπέμπουν ακτινοβολία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ημιδιαπερατά ή αδιαφανή:

- Ημιδιαπερατά

Τα σώματα, από τα οποία η συνολικά εκπεμπόμενη ενέργεια προέρχεται από όλη τη μάζα του (και από το εσωτερικό και από την επιφάνειά του). Στην περίπτωση αυτή το φαινόμενο είναι ογκομετρικό φαινόμενο. Παραδείγματα ημιδιαπερατών σωμάτων είναι το γυαλί σε υψηλές θερμοκρασίες, τα αέρια, οι ατμοί κλπ.

- Αδιαφανή:

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από το εσωτερικό του χάνεται χωρίς να μπορέσει να φτάσει στην επιφάνειά του. Άρα, η ακτινοβολία εκπέμπεται μόνο από την επιφάνεια του σώματος

(από πάχος περίπου 1 μm) και το φαινόμενο είναι επιφανειακό. Αδιαφανή σώματα είναι τα διάφορα στερεά σώματα, τα μέταλλα, το ξύλο κλπ. Αδιαφανές είναι, συνήθως, το πλαίσιο ενός παραθύρου.

Να σημειωθεί ότι το πιο βασικό στοιχείο ενός παραθύρου, ο υαλοπίνακας, έχει την ιδιότητα να συμπεριφέρεται άλλωτε ως ημιδιαπερατό και άλλωτε ως αδιαφανές σε υψηλές και μέτριες ή χαμηλές θερμοκρασίες αντίστοιχα, ενώ η διάκριση αυτή δεν σχετίζεται με την ορατότητα ή τη διαφάνεια του.

2.1.3.5 Συντελεστές (Απορρόφησης – Ανάκλασης – Διάβασης)

Όταν σε ένα σώμα προσπίπτει ακτινοβολία, ένα ποσοστό απορροφάται, ένα ποσοστό περνάει δια του σώματος και διαφεύγει και ένα ποσοστό ανακλάται. Προκειμένου να αναλυθεί ακριβέστερα η συμπεριφορά των σωμάτων, σχετικά με τη μεταφορά της ηλιακής ενέργειας και του ορατού τμήματος της ηλιακής ακτινοβολίας, ορίζονται οι αντίστοιχοι συντελεστές:

- Συντελεστής απορρόφησης α

Ορίζεται ως το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται από το σώμα και δίδεται από τη σχέση: $\alpha = I_{\alpha\pi} / I_0$, όπου ως $I_{\alpha\pi}$ εκφράζεται η ισχύς απορροφούμενης ακτινοβολίας και ως I_0 της προσπίπτουσας. Η απορρόφηση εξαρτάται από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, τη γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στο σώμα, τη φύση της απορροφούσας επιφάνειας και τη θερμοκρασία σώματος που εκπέμπει.

- Συντελεστής ανάκλασης ρ

Ορίζεται ως το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται από το σώμα και δίδεται από τη σχέση: $\rho = I_{\alpha\nu} / I_0$, όπου ως $I_{\alpha\nu}$ εκφράζεται η ισχύς της ανακλώμενης ακτινοβολίας και ως I_0 η ισχύς της προσπίπτουσας.

- Συντελεστής διάβασης τ

Ορίζεται ως το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που διέρχεται δια μέσου της μάζας του σώματος και δίδεται από τη σχέση: $\tau = I_{\tau} / I_0$, όπου ως I_{τ} εκφράζεται η ισχύς της διερχόμενης ακτινοβολίας και ως I_0 της προσπίπτουσας. [35]

2.2 Ενεργειακή συμπεριφορά υαλοπινάκων

2.2.1 Εισαγωγή

Οι υαλοπίνακες συνιστούν αναπόσπαστο κατασκευαστικό στοιχείο της πλειονότητας των κτιρίων, λόγω του φυσικού φωτισμού, αερισμού και ορατότητας που παρέχονται με την τοποθέτησή τους. Ταυτόχρονα όμως, αποτελούν σημαντική εστία ενεργειακών απωλειών για το κτίριο. Η συνολική μεταφορά ενέργειας μέσω ενός παραθύρου λαμβάνει χώρα λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς, της ηλιακής ακτινοβολίας και της διείσδυσης αέρα. Η συμπεριφορά τους χαρακτηρίζεται από τις ηλιακές-οπτικές και θερμικές τους ιδιότητες.

2.2.2 Ηλιακές- οπτικές ιδιότητες

Η χρησιμοποίηση των ιδιοτήτων αυτών γίνεται, προκειμένου να ερμηνεύεται η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των πλαισίων των παραθύρων και των υαλοστασίων. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια ενός υλικού ανακλάται, μεταδίδεται και απορροφάται από αυτήν. Το ποσοστό κάθε μίας από τις ενέργειες αυτές, εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, τη γωνία πρόσπτωσης και από τις οπτικές ιδιότητες του υλικού. Η σχέση κάθε τμήματος προς το σύνολο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, καθορίζει τους συντελεστές απορρόφησης, ανάκλασης και διαπερατότητας.

2.2.2.1 Διαπερατότητα τ και διαπερατότητα σε ορατή ακτινοβολία, VT ή τ_{vis}

Στους υαλοπίνακες, η διαπερατότητα σε ορατή ακτινοβολία εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στον χώρο. Κατέχει ιδιαίτερη σημασία, στη διαμόρφωση συνθηκών θερμικής άνεσης, διότι ρυθμίζουν την ποσότητα του φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό των κτιρίων, τη δυνατότητα οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον, καθώς και τη θάμβωση. Χαρακτηρίζεται από μεγάλο εύρος τιμών, αφού λαμβάνει τιμές που ξεπερνούν το 90% σε περιπτώσεις διαφανούς γυαλιού, ενώ μπορεί να λάβει και τιμές μικρότερες του 10% για ανακλαστικές επιφάνειες. Ενδεικτικά, η επιλογή υαλοπίνακα με υψηλό συντελεστή διαπερατότητας εξασφαλίζει τις ανάγκες φωτισμού στον χώρο, αλλά πιθανόν να προκαλεί θάμβωση. Συνήθως, προκειμένου να δοθεί λύση στο πρόβλημα αυτό, η επιλογή υαλοπινάκων με υψηλό συντελεστή VT , συνδυάζεται με το σύστημα σκίασης.

2.2.2.2 Ανακλαστικότητα, ρ

Η αύξηση της τιμής του συντελεστή ρ συνεπάγεται τη μείωση της εισερχόμενης ακτινοβολίας στον χώρο. Για το λόγο αυτό, σε θερμά κλίματα επιλέγονται, συνήθως, υαλοπίνακες με αυξημένη ανακλαστικότητα, ώστε να μειώνονται τα ψυκτικά φορτία. Μαζί με την γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, η ανακλαστικότητα της επιφάνειας εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, από την ποιότητα της επιφάνειας, τα χαρακτηριστικά και το πάχος των επιστρώσεων που πιθανόν διαθέτει ο υαλοπίνακας. Η εξέλιξη της έρευνας στον τομέα αυτόν, προσφέρει την τεχνολογία ειδικών επιστρώσεων σε γυαλί ή πλαστικό, που δύναται να ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία επιλεκτικά, σε συγκεκριμένα εύρη μήκους κύματος.

2.2.2.3 Απορροφητικότητα, α

Η απορροφητικότητα εξαρτάται από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, τη γωνία πρόσπτωσης στο σώμα, τη φύση της απορροφούσας επιφάνειας και τη θερμοκρασία του σώματος που εκπέμπει την ακτινοβολία, ενώ δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία του σώματος που τη δέχεται. Οι επιστρώσεις που διαφοροποιούν και την χρωματική απόχρωση του υαλοπίνακα χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις του σε απορροφητικότητα, ενώ η απορροφητικότητά του αυξάνεται με την προσθήκη χημικών που απορροφούν την ηλιακή ενέργεια. Όσο πιο σκουρόχρωμη είναι μια επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερο μέρος της ορατής επιφάνειας απορροφούν. Ωστόσο, το χρώμα του υαλοπίνακα δεν επιφέρει κάποια επίδραση αναφορικά με την ακτινοβολία, όταν πρόκειται για

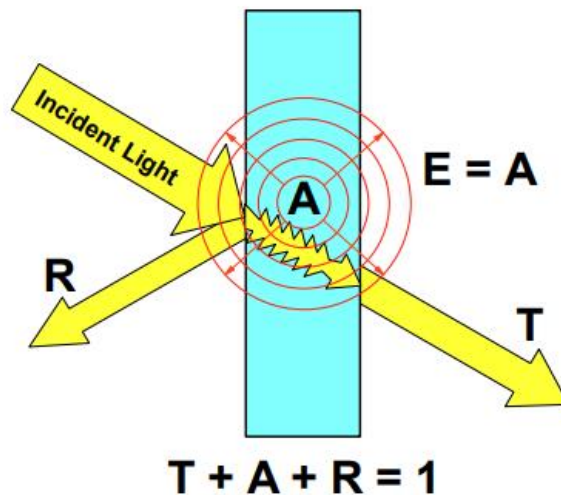
υπέρυθρη ή υπεριώδη. Συγκεκριμένα, ένας απλός διαυγής υαλοπίνακας χαρακτηρίζεται από απορροφητικότητα της τάξεως 5%.

2.2.2.4 Εκπομπή, e

Αρχικά, η ολική ηλιακή ακτινοβολία είναι το άθροισμα της διερχόμενης, της ανακλώμενης και της απορροφόμενης ακτινοβολίας. Δηλαδή, ισχύει η εξίσωση :

$$\tau + \rho + \alpha = 1$$

Ο υαλοπίνακας κατέχει τις ιδιότητες απορρόφησης και επανεκπομπής της ακτινοβολίας με την μορφή της θερμότητας. Η επανεκπομπή γίνεται προς τις δύο κατευθύνσεις, μέσα και έξω του κτιρίου, με αποτέλεσμα να χάνεται θερμότητα. Η δυνατότητα εκπομπής αυτή δηλώνεται με την τιμή e(emissivity). Άρα η ικανότητα εκπομπής ενός υαλοπίνακα, μπορεί να μεταφραστεί και σαν το επίπεδο απορρόφησης του υαλοπίνακα. Όσο μικρότερη είναι η ικανότητα εκπομπής (δηλαδή η απορροφητικότητα), τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάκλαση, άρα και η διατηρούμενη στον χώρο θερμότητα τον χειμώνα ή η ποσότητα που απωθείται προς τα έξω το καλοκαίρι, βελτιώνοντας την θερμική άνεση. Σημαντική βελτίωση στην μείωση της τιμής θερμικής εκπομπής (e) των υαλοπινάκων, φέρει η τεχνική των επιστρώσεων της επιφάνειας των υαλοπινάκων με ένα μικροσκοπικώς λεπτό, θεωρητικώς αόρατο στρώμα μετάλλων ή μεταλλικών οξειδίων. Η ικανότητα εκπομπής επιδρά μόνο στη μεγάλο μήκους υπέρυθρη ακτινοβολία ενώ, ουσιαστικά, δεν φέρει καμία επίπτωση στον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας. Προκειμένου να συνδυαστεί ο έλεγχος της θερμοπερατότητας με τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας, πρέπει να χρησιμοποιηθούν υαλοπίνακες με επιστρώσεις, οι οποίες συνδυάζουν και τις δύο λειτουργίες. (Σχήμα 2.5)[29], [30]



Σχήμα 2.5: Σχέση μεταξύ συντελεστών τ , α , ρ και e σε μονό υαλοπίνακα

2.2.3 Θερμικές ιδιότητες

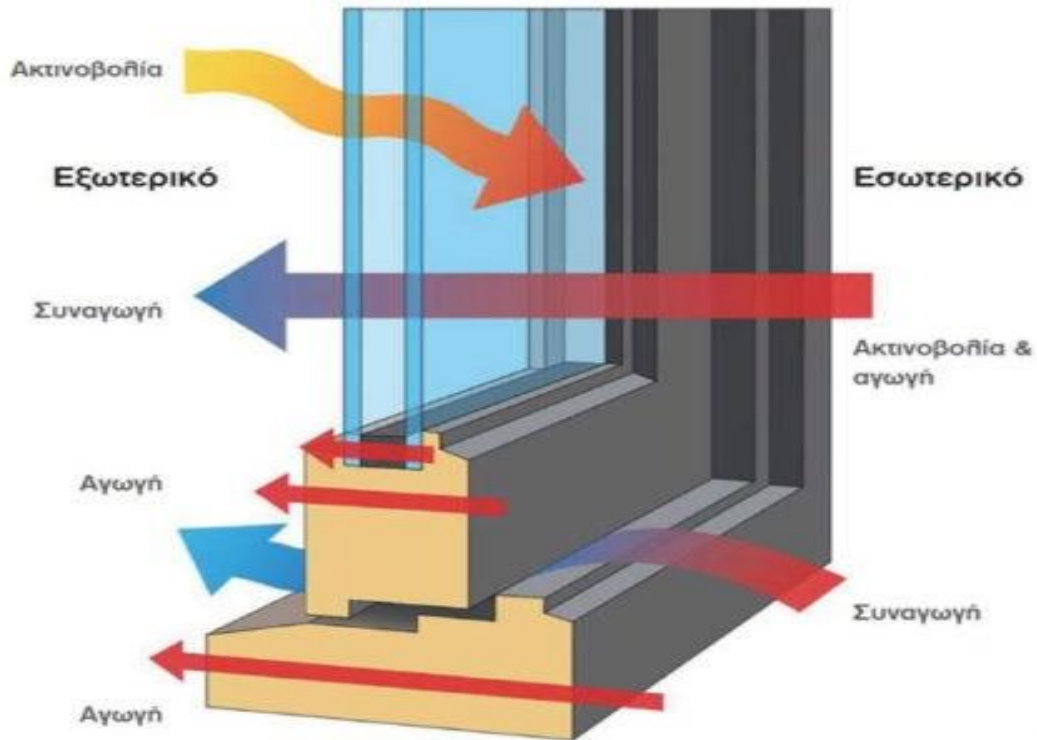
2.2.3.1 Μεταφορά θερμότητας λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς

Όπως συμβαίνει σε όλα τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας, έτσι και στα παράθυρα, όταν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, η θερμότητα εισέρχεται ή εξέρχεται μέσω του υαλοπίνακα και του πλαισίου του παραθύρου. Η ροή θερμότητας αυτή, είναι σύμφωνη με τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας.

- Αναλυτικότερα, μεταφορά θερμότητας με **αγωγή** προκύπτει μεταξύ των υαλοπινάκων και κτιριακών στοιχείων που έρχονται σε επαφή με αυτούς (π.χ. πλαίσιο υαλοπίνακα). Συγκρίνοντας με έναν καλά μονωμένο τοίχο, η μεταφορά θερμότητας μέσω ενός κοινού, παλαιάς τεχνολογίας παραθύρου, είναι πολύ μεγαλύτερη. Ένας μονός υαλοπίνακας έχει παρόμοιες ιδιότητες θερμομόνωσης με ένα φύλλο μετάλλου, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της θερμομόνωσης προέρχεται από τη στρώση αέρα σε κάθε επιφάνεια του υαλοπίνακα. Συνεπώς, καταλήγει να αποτελεί “θερμική οπή” μέσω της οποίας μεταφέρεται δέκα με είκοσι φορές περισσότερη θερμότητα απ’ ότι μέσω του τοίχου.
- Παράλληλα, ύπαρξη ενεργειακών απωλειών λόγω **συναγωγής**, σημειώνεται μεταξύ των υαλοπινάκων και του αέρα εντός ή εκτός του κτιρίου, ενώ σε περιπτώσεις που αυτό υφίσταται, μεταξύ υαλοπινάκων και διάκενων αέρα που βρίσκονται στο εσωτερικό τους. Η ψυχρή εσωτερική επιφάνεια υάλου ψύχει τον εσωτερικό αέρα που εφάπτεται σε αυτήν με αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητάς του. Ο πιο ψυχρός αέρας γίνεται βαρύτερος και κινείται προς τα κάτω ανταλλάσσοντας θέση με τον πιο ψυχρό. Έτσι, δημιουργείται ένα ρεύμα θερμότητας δια συναγωγής, το οποίο μεταφέρεται στον χώρο μέσω ρωγμών του υαλοστασίου. Συνήθως, για την καταπολέμηση των απωλειών αυτών, χρησιμοποιούνται υλικά με χαμηλότερο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας, όπου παρέχει πιο θερμή επιφάνεια υαλοπίνακα. Στην εξωτερική πλευρά του υαλοπίνακα, σημαντική επίδραση στην μεταφορά θερμότητας κατέχει το φιλμ αέρα που εφάπτεται με την επιφάνεια του. Σε περίπτωση όπου φυσάει αέρας, προκαλείται το φαινόμενο της συναγωγής λόγω βεβιασμένης κυκλοφορίας. Η θερμομονωτική ιδιότητα του φιλμ αέρα ελαττώνεται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το ποσό των θερμικών απωλειών. Τέλος, η ύπαρξη διακένου με αέρα μεταξύ των στρώσεων των υαλοπινάκων, διευκολύνει τη μεταφορά θερμότητας λόγω συναγωγής, χάρη στα ρεύματα κυκλοφορίας που προαναφέρθηκαν. Η επίδραση του φαινομένου αυτού μπορεί να περιοριστεί με την κατάλληλη ρύθμιση του διαστήματος του κενού, καθώς και με την κατάλληλη επιλογή πληρωτικού υλικού, με βελτιωμένες ιδιότητες θερμομόνωσης συγκριτικά με τον αέρα.
- Ταυτόχρονα, παρατηρείται μεταφορά θερμότητας δια **ακτινοβολίας** μεταξύ των υαλοπινάκων και των περιβαλλόντων χώρων. Ως γνωστών, κάθε σώμα εκπέμπει θερμική ακτινοβολία, ανάλογη της θερμοκρασίας του. Μεταξύ δύο σωμάτων με

διαφορετική θερμοκρασία, η ροή θερμότητας κατευθύνεται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο. Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο εξαρτάται σημαντικά από τον προσανατολισμό, τη θέση στο κτίριο, το μέγεθος, το σχήμα και το είδος των υαλοπινάκων. Για παράδειγμα, τα ανοίγματα νότιου προσανατολισμού κτιρίων του βόρειου ημισφαιρίου δέχονται το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους χειμερινούς μήνες.

Τη συνδυαστική αυτή μεταφορά θερμότητας αντικατοπτρίζει ο *συντελεστής θερμοπερατότητας* ή *θερμικής διαπερατότητας* U (W/m^2K) του υαλοπίνακα, ο οποίος συνιστά το ρυθμό θερμικών απωλειών, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας, ανά τετραγωνικό μέτρο υαλοπίνακα. Όσο μικρότερη τιμή έχει ο συντελεστής U , τόσο μικρότερη είναι η μετάδοση θερμότητας. Στην ουσία, εκφράζει τη θερμομονωτική ιδιότητα του γυαλιού. Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την τιμή του συντελεστή είναι το υλικό (τα μονωτικά υλικά χαρακτηρίζονται από χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας), ο συνολικός αριθμός υαλοπινάκων, το είδος του αερίου στα διάκενα, τα χαρακτηριστικά και τα περιφερειακά στοιχεία του υαλοπίνακα των επιστρώσεων που πιθανόν υπάρχουν στις διάφορες επιφάνειες και το πάχος. Επιπλέον, και τα περιφερειακά στοιχεία του υαλοπίνακα συνεισφέρουν στο θερμικό ισοζύγιο. Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας του κουφώματος θα πρέπει να προσδιοριστούν η επιφάνεια και ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου και του υαλοπίνακα ανάλογα με τον τύπο τους, καθώς και η γραμμική θερμογέφυρα που σχηματίζεται κατά μήκος της ένωσης της υάλωσης με το πλαίσιο. Θεωρητικά, κατά τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας γίνεται η παραδοχή της κάθετης θερμορροής στην επιφάνεια των υαλοπινάκων. Ωστόσο, τα παράθυρα αποτελούν σύνθετες κατασκευές με διαφορετικά υλικά και γεωμετρίες, όπου πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Πρακτικά, πέραν των υαλοπινάκων, συνυπολογίζονται οι ιδιότητες των πλαισίων και των παραθυροφύλλων, υπό το πρίσμα των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών από τα οποία κατασκευάζονται, αλλά και την επίδρασή τους στη διείσδυση αέρα. Τελικά, συνδυάζοντας τον συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων, μαζί με τα φαινόμενα που παρουσιάζονται στην περιφέρεια του συστήματος του παραθύρου, από το πλαίσιο και τα παραθυρόφυλλα, υπολογίζεται ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του παραθύρου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η τιμή του συνολικού συντελεστή θερμοπερατότητας είναι μεγαλύτερη από αυτή του υαλοπίνακα, καθώς οι υαλοπίνακες παρουσιάζουν μεγαλύτερες μονωτικές ικανότητες σε σχέση με το πλαίσιο. [38]



Σχήμα 2.6: Ενεργειακή συμπεριφορά παραθύρου διπλής υάλωσης

2.2.3.2 Ηλιακό κέρδος- Συντελεστής SHGC (g-value)

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η ακτινοβολία απευθείας από τον ήλιο, η διάχυτη στην ατμόσφαιρα ηλιακή ακτινοβολία, αλλά και η ανακλώμενη στο έδαφος ακτινοβολία του ηλίου δύναται να επιφέρουν θερμικά κέρδη στο κτίριο μέσω των υαλοπινάκων. Το φαινόμενο αυτό πραγματοποιείται ανεξαρτήτως των θερμοκρασιακών διαφορών και εκφράζεται από το συντελεστή ηλιακών θερμικών κερδών στους υαλοπίνακες (*SHGC–Window solar heat gain coefficient*), ο οποίος αποτελεί τον λόγο της εισερχόμενης στο κτίριο ακτινοβολίας μέσω του υαλοπίνακα, προς τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτόν. Οι τιμές του συντελεστή SHGC κυμαίνονται από 0.6 έως 0.8 για ένα μονό υαλοπίνακα και έναν τριπλό αντίστοιχα. Επίσης, τα ηλιακά κέρδη εισέρχονται στον χώρο ανεξαρτήτως της τιμής και του προσήμου της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας.

2.2.3.3 Διείσδυση αέρα

Η διείσδυση αέρα αναφέρεται στην ποσότητα αέρα που θα διεισδύσει μέσα από ένα παράθυρο ή πόρτα στην κλειστή του θέση. Η δοκιμή διαπερατότητας στηρίζεται στην ποιότητα των συστημάτων σφράγισης, μηχανικής και κατασκευής για να εξασφαλιστεί ότι όλα τα τμήματα του ανοίγματος θα σφραγιστούν μαζί καλά και πλήρως. Είναι σημαντικό από την άποψη της άνεσης στους εσωτερικούς χώρους να εξασφαλιστεί η ελάχιστη είσοδος ανέμου και να περιοριστεί η μετακίνηση ενέργειας από το εσωτερικό προς το εξωτερικό

του συστήματος. Η αεροπερατότητα μέσω των παραθύρων οφείλεται στις διαφυγές από τα κουφώματα μέσω χαραμάδων, μέσω των θέσεων συναρμογής με τα περιμετρικά δομικά στοιχεία και μέσω των θέσεων επαφής των σταθερών με τα κινητά φύλλα.

2.2.4 Επίδραση διαστάσεων υαλοπινάκων - WWR

Οι διαστάσεις ενός υαλοπίνακα αποτελούν καθοριστικό παράγοντα διαμόρφωσης της αισθητικής και των συνθηκών χρήσης του κτηρίου. Τα παράθυρα, θεωρούνται ως ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία του κελύφους, διότι εξασφαλίζουν φυσικού φωτισμό και παροχή θέας προς τον χρήστη, ενώ επηρεάζουν σημαντικά τη θερμική συμπεριφορά του κτηρίου. Η αναλογία παραθύρου προς τοίχο (Wall-to-Window Ratio, WWR) εκφράζει την αναλογία μεταξύ της επιφάνειας του εξωτερικού τοίχου που καταλαμβάνεται από το παράθυρο και της συνολικής του επιφάνειας. Γενικά, η αύξηση της τιμής του WWR συνεπάγεται την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης, λόγω των μεγάλων θερμικών απωλειών μέσω των παραθύρων, ειδικά εκείνων με ανατολικό ή δυτικό προσανατολισμό. Ωστόσο, η εξέλιξη της τεχνολογίας στο πεδίο των υαλοπινάκων και των τεχνικών σκίασης επιτρέπει την κατασκευή κτηριακών κελύφων με μεγαλύτερες τιμές WWR, ενώ σε αρκετά σύγχρονα κτίρια προσεγγίζεται το 100%.

2.3 Τεχνολογίες υαλοπινάκων

Η εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας έχει δημιουργήσει πληθώρα διαθέσιμων προϊόντων στοιχείων των παραθύρων, όπως είναι οι υαλοπίνακες. Για την κατάλληλη επιλογή ενός υαλοπίνακα χρειάζεται να ληφθούν υπόψιν μια σειρά παράγοντες όπως, τα κλιματολογικά δεδομένα και το μικροκλίμα της περιοχής, η φυσική θέση και ο προσανατολισμός του κτιρίου, η χρήση του κτηρίου και οι υποκειμενικές ανάγκες και επιθυμίες των χρηστών, το κόστος, η αισθητική κ.ά. Η σύγχρονη αρχιτεκτονική χαρακτηρίζεται από μεγάλα υαλοστάσια, τα οποία επιτρέπουν την αυξημένη είσοδο ηλιακού φωτός και έντονης μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Συνεπώς, λόγω των υαλοστασίων επιφέρεται υπερβολική εισροή ηλιακή ενέργειας το καλοκαίρι και υψηλές θερμικές απώλειες το χειμώνα, τα οποία με τη σειρά τους, επιδρούν στις ανάγκες για θέρμανση και ψύξη. Με την πάροδο των χρόνων και υπό το πρίσμα της μεγάλης σημασίας των παραθύρων στην εξοικονόμηση ενέργειας έχουν αναπτυχθεί καινοτόμες τεχνολογίες που προσφέρουν αξιοσημείωτες δυνατότητες, όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας των κτιρίων. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται συνοπτικά κάποιες βασικές τεχνολογίες υαλοπινάκων, ενώ ακολουθεί η πιο διεξοδική ανάλυση των *ηλεκτροχρωμικών παραθύρων*, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην μοντελοποίηση.

2.3.1 Κοινοί υαλοπίνακες:

Μία πρώτη κατηγοριοποίηση των υαλοπινάκων λαμβάνει χώρα με κριτήριο τον αριθμό των φύλλων γυαλιού που περιέχονται στον υαλοπίνακα του παραθύρου.

2.3.1.1 Μονοί

Η πιο απλή και παλαιότερη μορφή αποτελεί ο μονός υαλοπίνακας, που αποτελείται από μία μόνο στρώση. Παρουσιάζει την χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση μεταξύ των υαλοπινάκων.

2.3.1.2 Πολλαπλοί

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι απλού υαλοπίνακα αποτελούνται από δύο ή τρεις στρώσεις, διπλοί ή τριπλοί υαλοπίνακες αντίστοιχα, ενώ σε ερευνητικό επίπεδο μπορεί να φτάσει και τα πέντε ή έξι φύλλα. Μεταξύ των στρώσεων των υαλοπινάκων, συνήθως, περιέχεται ξηρός αέρας ο οποίος είναι σφραγισμένος. Η αύξηση του πάχους του διάκενου μεταξύ των στρώσεων επιφέρει τη βελτίωση της απόδοσης του παραθύρου, από άποψη ενέργειας και ηχητικής μόνωσης. Σε σχέση με τα συστήματα μόνης υάλωσης, οι διπλοί υαλοπίνακες περιορίζουν σημαντικά τις θερμικές απώλειες λόγω της θερμομονωτικής ιδιότητας του αερίου στο διάκενο, ενώ αντίστοιχη συμπεριφορά παρουσιάζουν οι υαλοπίνακες με περισσότερες φύλλα υάλου.

2.3.2 **Ενεργειακοί υαλοπίνακες**

Με τον όρο ενεργειακοί υαλοπίνακες, εννοούνται οι υαλοπίνακες αυτοί (διπλοί ή τριπλοί), στους οποίους μέσω ειδικής επεξεργασίας έχει εφαρμοστεί πάνω ένα ειδικό φιλμ (στρώμα από αδιαφανή μεταλλικά οξειδία του αργύρου), για να αυξάνεται η θερμομόνωση τους και να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας. Ουσιαστικά, σε ένα από τα φύλλα του υαλοπίνακα έχουν τοποθετηθεί, αδιαφανή μεταλλικά οξειδία – φιλμ τα οποία έχουν την ιδιότητα να απορροφούν αλλά και να εκπέμπουν προς τα έξω την ενέργεια, να ελέγχουν τη διείσδυση του φωτός, της θερμότητας και το φιλτράρισμα της υπεριώδους ακτινοβολίας.

2.3.2.1 Ανακλαστικοί

Ανακλαστικοί είναι οι υαλοπίνακες που η μια πλευρά τους είναι καθρεπτιζόμενη. Ανακλάται σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, ώστε να μην εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο. Έχουν μειωμένη διαπερατότητα και απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα τα μειωμένα ηλιακά κέρδη που φθάνουν στον χώρο. Η αυξημένη ανακλαστικότητα τοποθετείται στο φύλλο που δέχεται την περισσότερη ακτινοβολία και επιτυγχάνεται μέσω επίστρωσης στρωμάτων διαφόρων οξειδίων.

2.3.2.2 Αντιανακλαστικοί

Οι αντι-ανακλαστικοί υαλοπίνακες προσφέρουν οπτικά αποτελέσματα σχεδόν χωρίς καθόλου αντανάκλαση και δημιουργία ειδώλων, όπου το χρώμα και η διαύγεια είναι σημαντικοί παράγοντες. Έτσι, με την επίστρωση του αντίστοιχου αντι- ανακλαστικού φιλμ που τοποθετείται στο φύλλο, επιτρέπεται η διέλευση μεγάλου μέρους της ορατής ακτινοβολίας στον εσωτερικό χώρο, λόγω της υψηλής διαπερατότητας και απορροφητικότητας.

2.3.2.3 Απορροφητικοί

Απορροφούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας (περιορίζουν τη θερμοπερατότητα χωρίς να μειώνουν σημαντικά τη φωτοδιαπερατότητα) και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου. Έχουν το πλεονέκτημα, σε σχέση με τους ανακλαστικούς, ότι δεν δημιουργούν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου.

2.3.2.4 Επιλεκτικοί χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low-e)

Εμποδίζουν μεγάλο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας είτε να εισέρχεται προς το κτίριο, είτε να εκπέμπεται προς το εξωτερικό περιβάλλον (ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο τοποθετούνται). Συνιστώνται για τη μείωση των θερμικών απωλειών (το χειμώνα) ή κερδών (το καλοκαίρι) των κτιρίων, ανάλογα με τις θερμικές απαιτήσεις του κτιρίου και το κλίμα της περιοχής στην οποία βρίσκεται.

2.3.2.5 Έγχρωμοι

Με τη βοήθεια χημικής επεξεργασίας παρουσιάζουν χαμηλή θερμοπερατότητα, αλλά και μειωμένη φωτοδιαπερατότητα και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου.

2.3.2.6 Θερμομονωτικοί

Ονομάζονται οι υαλοπίνακες στους οποίους χρησιμοποιείται ως αέριο πλήρωσης, κατά ποσοστό της τάξεως του 5-10%, κάποιο ευγενές αέριο, συνήθως αργό, κρυπτό ή ξένο, αντί του ξηρού αέρα ή υπάρχει κενό αέρος. Οι υαλοπίνακες αυτοί λαμβάνουν την ονομασία τους, χάρη του γεγονότος ότι η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει ενισχυμένα θερμικά χαρακτηριστικά[35]. Σε αυτήν την κατηγορία υαλοπινάκων μπορούν να ταξινομηθούν και οι θερμομονωτικοί, παρόλο που δεν διαθέτουν κάποια ειδική επίστρωση, ωστόσο η ενίσχυση των ιδιοτήτων τους, αφορά το πληρωτικό υλικό του διακένου.

2.3.3 «Έξυπνοι» υαλοπίνακες

Ως έξυπνος, ορίζεται ο υαλοπίνακας ο οποίος έχει τη δυνατότητα να εμποδίζει ένα ποσοστό της ανεπιθύμητης ηλιακής ακτινοβολίας κατά το δοκούν. Πρακτικά, κατέχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει τις οπτικές- ηλιακές του ιδιότητες, συναρτήσει ενός εξωτερικού ερεθίσματος. Έχουν προκύψει αρκετές ακόμη τεχνολογίες και συστήματα υαλοπινάκων, εκτός από όσες παρουσιάζονται παρακάτω, η ανάλυση των οποίων ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας εργασίας και αναφέρονται επιγραμματικά για λόγους πληρότητας. Τέτοιες τεχνολογίες υαλοπινάκων είναι οι εξής: υαλοπίνακες με αεροτζέλ, φωτοβολταϊκοί, με υλικά αλλαγής φάσης, αυτοκαθαριζόμενοι, πρισματικοί, ολογραφικοί, με διαφανή μονωτικά υλικά, με μεμβράνες μεταβλητής διαπερατότητας κ.ά.

2.3.3.1 Υγρών κρυστάλλων (LCW)

Με την εφαρμογή τάσης μετατρέπονται από γαλακτόχρωμοι σε διαφανείς, υπό την επίδραση ενός φιλμ, το οποίο περιέχει μικροσκοπικές σφαίρες υγρών κρυστάλλων διασκορπισμένες σε ένα πολυμερές υγρό. Κατά την περίπτωση που το ηλεκτρικό ερέθισμα απουσιάζει, οι υγροί κρύσταλλοι είναι διασκορπισμένοι, έχοντας ως αποτέλεσμα τις

ακτίνες του φωτός να υφίστανται τυχαίες διαθλάσεις. Αποτέλεσμα αυτού είναι η λευκή ή ημιδιαφανή, σχεδόν γαλακτώδη απόχρωση του υαλοπίνακα. Αντιθέτως, με την εφαρμογή ηλεκτρικού ερεθίσματος, οι υγροί κρύσταλλοι ευθυγραμμίζονται προς την ίδια κατεύθυνση και με αυτό τον τρόπο οι υαλοπίνακες είναι διάφανοι. Χρησιμοποιούνται, κυρίως, χάρη στην επίδρασή τους στην οπτική διαπερατότητα του παραθύρου, ενώ δεν επηρεάζουν σημαντικά το ενεργειακό προφίλ του χώρου. [39]

2.3.3.2 Φωτοχρωμικοί (PC)

Είναι υαλοπίνακες των οποίων οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με το ποσό της προσπίπτουσας σε αυτούς ηλιακής ακτινοβολίας. Η φωτοδιαπερατότητά τους μειώνεται με την αύξηση της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας, υπό την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας λόγω της χημικής αντίδρασης που λαμβάνει χώρα. Κατά την αποχρωματισμένη κατάσταση η διαπερατότητα τους προσεγγίζει εκείνη του απλού γυαλιού. Συνήθως, κατασκευάζονται με τη μορφή φιλμ το οποίο προσκολλάται στην εσωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα. Κατά την έκθεση του υαλοπίνακα στην ηλιακή ακτινοβολία, προκαλείται ο αναστρέψιμος χρωματισμός του γυαλιού. Αιτία του παραπάνω φαινομένου, αποτελεί η διαφορά μεταξύ της φασματικής απορρόφησης μεταξύ των ενεργειακών στρώσεων του γυαλιού και των πρόσθετων ουσιών. [40]

2.3.3.3 Θερμοχρωμικοί (TC)

Είναι υαλοπίνακες των οποίων οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Με την αύξηση της θερμοκρασίας μεταβάλλονται από διαφανείς σε γαλακτόχρωμοι. Αποτελούνται από ένα ενδιάμεσο στρώμα ασφαλείας, το οποίο έχει κατασκευαστεί με εξώθηση ειδικών θερμοχρωμικών υλικών σε πολυβινυλοβουτυράλη (PVB). Το ενδιάμεσο αυτό στρώμα ελασματοποιείται μεταξύ δύο θερμικών ενισχυμένων ή σκληρυμένων πλακιδίων γυαλιού και στο τέλος τοποθετείται σε μια μονωμένη γυάλινη μονάδα (IGU) με μια επίστρωση χαμηλής εκπομπής.

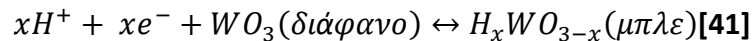
2.3.3.4 Συσκευές αιωρούμενων σωματιδίων (SPD)

Η αρχή λειτουργίας των συσκευών αιωρούμενων σωματιδίων είναι παρόμοια με εκείνη των υγρών κρυστάλλων, καθώς αποτελούνται από ένα φιλμ το οποίο εμπεριέχεται μεταξύ δύο φύλλων γυαλιού ή πλαστικού. Μέσα στο φιλμ υπάρχουν σωματίδια σε σχήμα ράβδου, τα οποία αιωρούνται εντός ενός ρευστού και βρίσκονται ανάμεσα σε δύο ηλεκτρικούς αγωγούς. Οι αγωγοί αυτοί είναι κατασκευασμένοι από μια λεπτή διαφανή πλαστική μεμβράνη. Κατά τη διάρκεια φόρτισής τους, τα αιωρούμενα σωματίδια ευθυγραμμίζονται με αποτέλεσμα τη διέλευση του ηλιακού φωτός και τη διαύγεια του υαλοπίνακα. Αντιθέτως, κατά τη φάση αποφόρτισης τα αιωρούμενα σωματίδια προσανατολίζονται τυχαία, με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της εισόδου του ηλιακού φωτός και τον σκούρο χρωματισμό (μπλε, γκρι ή μαύρο) του υαλοπίνακα. [39]

2.3.3.5 Αεριοχρωμικοί (GC)

Η λειτουργία των GC υαλοπινάκων βασίζεται στην ιδιότητα που παρουσιάζουν κάποια αέρια, να μεταβάλλουν τα οπτικά τους χαρακτηριστικά υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Στο

εσωτερικό του διακένου του υαλοπίνακα χρησιμοποιείται αναγωγικό αέριο, με το πιο σύνηθες να αποτελεί το οξείδιο του βολφραμίου (WO_3) ή κάποιο μείγμα υδρογόνου με αργό. Το υλικό αυτό, εμπεριέχεται σε πορώδες φιλμ, πάχους $< 1\mu m$, το οποίο συχνά καλύπτεται από ένα επίσης πολύ λεπτό φιλμ από λευκόχρυσο. Η αεριοχρωμική συμπεριφορά των άμορφων στρωμάτων οξειδίων του βολφραμίου σχετίζεται με τη διπλή εισαγωγή/ εξαγωγή ιόντος και ηλεκτρονίου, όπως περιγράφεται από την παρακάτω αντίδραση:



2.3.4 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες

Ηλεκτροχρωμισμός είναι η ιδιότητα μιας συσκευής να αλλάζει τα οπτικά του χαρακτηριστικά με αναστρέψιμο τρόπο κατά την εφαρμογή εξωτερικού δυναμικού, ενώ σχετίζεται με διεργασίες εισαγωγής και εξαγωγής ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα μεταβάλλουν σταδιακά τη διαπερατότητά τους μεταξύ δύο οριακών καταστάσεων: την πλήρως διαυγή τους φάση (καθαρή), όπου δεν λαμβάνεται μέριμνα για την παρεμπόδιση της ηλιακής ακτινοβολίας και την φάση πλήρους χρωματισμού (σκούρα), όπου επιθυμείται ο περιορισμός της ηλιακής ακτινοβολίας (Σχήμα 2.7). Η εναλλαγή της διαπερατότητας του υαλοπίνακα, κατά τη διάρκεια χρωματισμού ή αποχρωματισμού, συνεπάγεται την αντίστοιχη μεταβολή της ανακλαστικότητας, της απορροφητικότητας και της εκπομπής. Με την εφαρμογή ηλεκτρικού δυναμικού (περί τα 3- 5 Volt DC) οι ηλεκτροχρωμικές συσκευές χρωματίζονται με βαθύ μπλε χρώμα. Με αντιστροφή της πολικότητας της τάσης που εφαρμόζεται, επανέρχονται στην αρχική, διαυγή κατάσταση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «αντιστρεπτός χρωματισμός». Ακόμα, συνδυάζεται συχνά με επίστρωση low-e, ώστε να μειώνεται η εισαγωγή της υπέρυθρης ακτινοβολίας στο χώρο.



Σχήμα 2.7: Εναλλαγή οπτικών χαρακτηριστικών ηλεκτροχρωμικού υαλοπίνακα

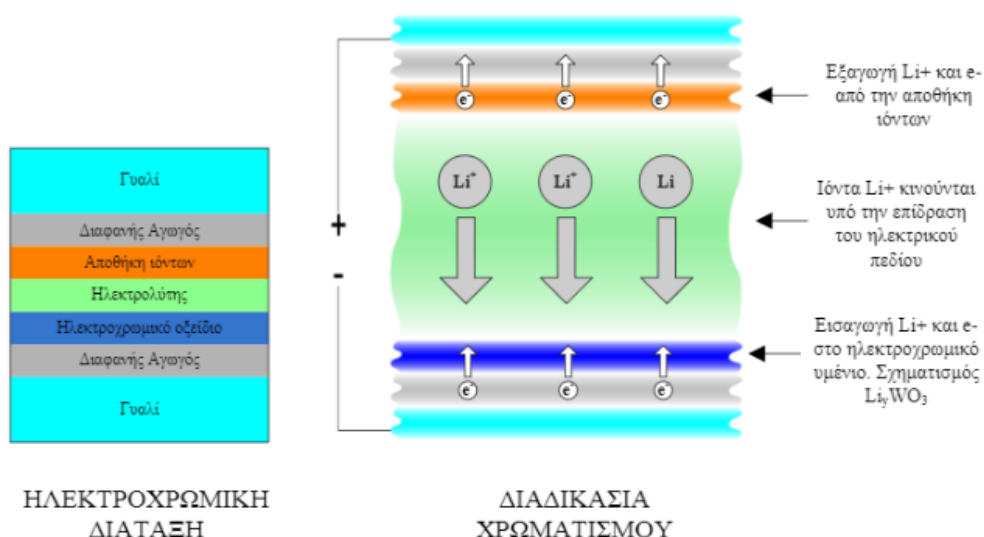
2.3.4.1 Αρχή λειτουργίας

Οι ηλεκτροχρωμικές συσκευές είναι διατάξεις που εκμεταλλεύονται την ιδιότητα διαφόρων οξειδίων (οξείδιο του βολφραμίου, WO_3 , του μολυβδαινίου, MoO_3 , ή του βαναδίου, V_2O_5)

να χρωματίζονται αντιστρεπτά με την εισαγωγή- εξαγωγή ευκίνητων ιόντων (υδρογόνου H^+ , λιθίου Li^+ ή νατρίου Na^+) στο πλέγμα τους.

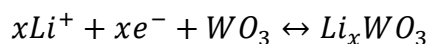
Μια τυπική ηλεκτροχρωμική συσκευή έχει δομή 5 στρωμάτων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8 και αποτελείται από:

- I. Διαφανές και ηλεκτρικά αγώγιμο υμένιο (φιλμ), σε υπόστρωμα γυαλιού.
- II. Ηλεκτροχρωμικού μένιο, που είναι το οπτικά ενεργό τμήμα της συσκευής (συνήθως WO_3).
- III. Ηλεκτρολύτη με υψηλή ιοντική αγωγιμότητα (πολυμερές ή στερεό).
- IV. Υμένιο αποθήκη ιόντων (V_2O_5 , NiO_2 , και άλλα).
- V. Ένα δεύτερο διαφανές και αγώγιμο υμένιο.

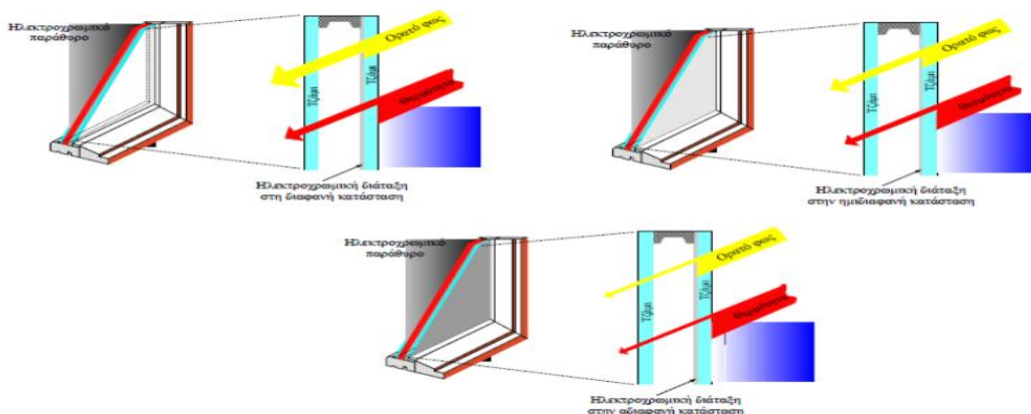


Σχήμα 2.8: Ηλεκτροχρωμική συσκευή

Τονίζεται ότι, το πάχος των στρωμάτων αυτών είναι εξαιρετικά λεπτό, της τάξης των μερικών εκατοντάδων νανομέτρων. Μια τέτοια συσκευή λειτουργεί ως εξής: με την εφαρμογή ηλεκτρικού δυναμικού μερικών Volt, και πολώνοντας αρνητικά το ηλεκτροχρωμικού μένιο (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, όπως αποτυπώνεται παρακάτω:



Η αναγωγή του WO_3 προκύπτει από τη μεταβολή του σθένους του βολφραμίου από W^{6+} σε W^{5+} λόγω παρεμβολής του ιόντος Li^+ . Ένα άλλο χαρακτηριστικό των συσκευών αυτών είναι ότι διαθέτουν «μνήμη ανοιχτού κυκλώματος», δηλαδή παραμένουν στην κατάστασή τους (χρωματισμένη ή διαυγή) όταν δεν εφαρμόζεται τάση στα άκρα τους. Έτσι, δε χρειάζονται συνεχή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, παρά μόνο για την αλλαγή των ιδιοτήτων τους. Τον υπόλοιπο χρόνο δεν καταναλώνουν ενέργεια. Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα διαθέτουν την ικανότητα να μεταβάλλουν τη διαπερατότητά τους, δίνοντας την 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 που χρησιμοποιούν. Με εφαρμογή συνεχούς τάσης μερικών βολτ τα παράθυρα αυτά μεταβάλλουν την διαπερατότητά τους και από διαφανή μετατρέπονται σε αδιαφανή. Στο Σχήμα 2.9 φαίνεται η μεταβολή της οπτικής διαπερατότητας και η ροή θερμότητας κατά τη διάρκεια λειτουργίας ενός ηλεκτροχρωμικού παραθύρου.



Σχήμα 2.9: Μεταβολή οπτικής διαπερατότητας και ροής θερμότητας EC παραθύρου [40]

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: είδος και πάχος υλικών, είδος ηλεκτρολύτη, είδος κρυστάλλου που χρησιμοποιείται κ.λ.π. 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 μένισμα 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. Η χρήση ειδικών επιστρώσεων χαμηλής

εκπεμφιμότητας (ως διάφανα ηλεκτρόδια ή ως προστατευτικά υμένα) θεωρείται απαραίτητη για την αύξηση της διάρκειας ζωής της διάταξης αλλά και τη μείωση των θερμικών κερδών μέσω του παραθύρου (κυρίως το καλοκαίρι). Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί (σε ερευνητικό επίπεδο) ηλεκτροχρωμικά με χρήση υπερλεπτών υμένων ευγενών μετάλλων (αργύρου ή χρυσού), στα οποία είναι δυνατή η ανάκλαση της μεγαλύτερης ποσότητας την υπέρυθρης ακτινοβολίας, ακόμα και στη χρωματισμένη κατάσταση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για περιοχές με θερμό κλίμα, που απαιτούν αυξημένη κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό το καλοκαίρι.

Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με αντίστοιχες συμβατικές παθητικές συσκευές. Κάποια βασικά από αυτά απαριθμούνται παρακάτω:

- ✓ Εξοικονόμηση ενέργειας και βελτιωμένη ενεργειακή συμπεριφορά
- ✓ Μειωμένα φορτία για ψύξη και ανάγκης για τεχνητό φωτισμού
- ✓ Υποκειμενική ρύθμιση επιπέδου φωτεινότητας
- ✓ Παρεμπόδιση της εισόδου τόσο της άμεσης όσο και της διάχυτης ακτινοβολίας και ικανότητα ελέγχου της προκαλούμενης οπτικής όχλησης
- ✓ Συμβολή στη δημιουργία κατάλληλου μικροκλίματος στον εσωτερικό χώρο των κτηρίων.
- ✓ Χαμηλό κόστος συντήρησης
- ✓ Αισθητική έλξη ενός δυναμικά μεταβαλλόμενου στοιχείου του κελύφους[42]

2.3.4.2 Έλεγχος ηλεκτροχρωμικών παραθύρων

Ο έλεγχος των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων πραγματοποιείται ποικιλοτρόπως, καθώς εξαρτάται από το αντίστοιχο όφελος που επιδιώκει να προσκομίσει ο χρήστης. Η μέθοδος ελέγχου των ηλεκτροχρωμικών, συνήθως, συντελείται με κριτήριο είτε ενός φυσικού μεγέθους, είτε εποχιακού, είτε με συνδυασμό αυτών. Κατά βάση, τα φυσικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται από το σύστημα ελέγχου είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η εσωτερική ή εξωτερική θερμοκρασία, η εσωτερική φωτεινότητα, λαμβάνοντας υπόψιν το είδος της ασχολίας των χρηστών, π.χ. σε περίπτωση εργασίας μπροστά σε υπολογιστή αποκτά ιδιαίτερη σημασία ο έλεγχος της θάμβωσης. Κατά τον έλεγχο αυτόν, όταν η τιμή του χρησιμοποιούμενου μεγέθους ξεπεράσει μια συγκεκριμένη τιμή, τότε ο υαλοπίνακας μεταβαίνει στη χρωματισμένη του κατάσταση. Ακόμα, το πρωτόκολλο λειτουργίας ενός ηλεκτροχρωμικού παραθύρου ενδέχεται να σχεδιάζεται συναρτήσει του χρόνου, σε ημερήσια ή ημερήσια βάση. Το σύστημα ελέγχου θα πρέπει να είναι κατάλληλα ρυθμισμένο με κάποια υστέρηση έτσι, ώστε να μην εναλλάσσεται η κατάσταση του EC σε περίπτωση ενός παροδικού φαινομένου, π.χ. η ολιγόλεπτη εμφάνιση ενός σύννεφου, αποφεύγοντας την γρηγορότερη φθορά και την δυσφορία των χρηστών[43].

2.4 Σκίαση

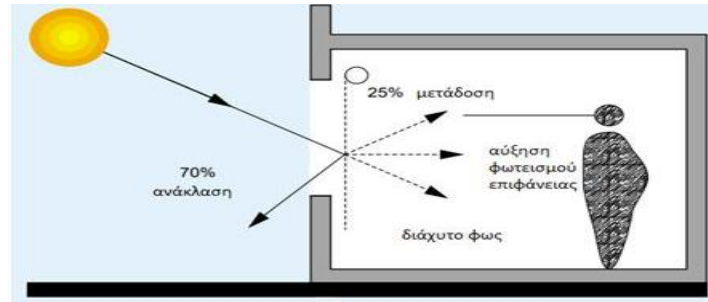
2.4.1 Εισαγωγή

Η βασική παράμετρος που επηρεάζει την ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτηρίου, ιδιαίτερα για την περίπτωση του υπό μελέτη σεναρίου, αποτελούν οι ηλιακές ακτίνες που

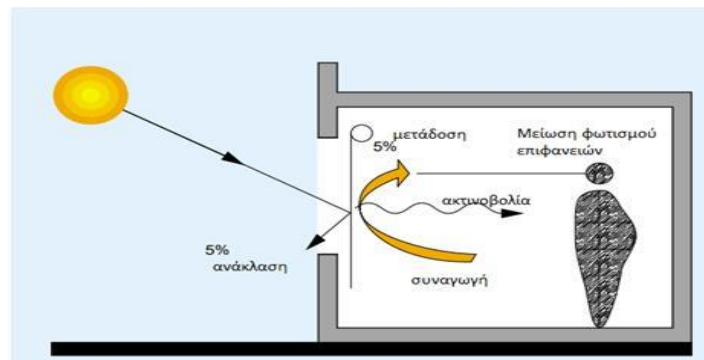
καταφθάνουν στην επιφάνεια του. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ωφέλιμη για την περίοδο του χρόνου που χρειάζεται θέρμανση, ενώ για την περίοδο ψύξης είναι ανεπιθύμητη, προκειμένου να ικανοποιούνται οι συνθήκες θερμικής άνεσης. Βασική στρατηγική προστασίας από ανεπιθύμητα ηλιακά κέρδη αποτελούν τα συστήματα σκίασης, με κύριο στόχο την εμπόδιση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό της διάχυτης και ανακλώμενης. Ο διαχωρισμός αυτός κρίνεται αναγκαίος, λόγω της διαφορετικής γωνίας με το οριζόντιο επίπεδο που παρουσιάζει η προσπίπτουσα ακτινοβολία κάθε τύπου. Η σκίαση, χάρη στην απλότητα, την ευελιξία στη χρήση και την αποτελεσματικότητά της αποτελεί μία από τις πιο συνήθεις παρεμβάσεις στο κέλυφος, σε όλες τις κλιματικές ζώνες, τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη της Γης. Οι βασικοί τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται ο έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι οι συσκευές σκίασης, ο προσανατολισμός του κτηρίου, κυρίως των ανοιγμάτων, οι οπτικές και θερμικές ιδιότητες των αδιαφανών επιφανειών, ο αστικός σχεδιασμός λόγω της σκίασης που προκαλείται από γειτνιάζοντα κτίρια και η βλάστηση. Οι δύο τελευταίες παράμετροι δεν επηρεάζουν τη σκίαση του υπό μελέτη σεναρίου και αναφέρονται για λόγους πληρότητας, καθώς μελετάται ο τέταρτος όροφος του νοσοκομείου που πρακτικά δεν επηρεάζεται από την γύρω περιοχή.

2.4.2 Κριτήρια επιλογής συστήματος σκίασης

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο επηρεάζεται από τις ιδιότητες ανάκλασης και απορρόφησης της εξωτερικής επιφάνειας, που επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από το χρώμα και το υλικό της εξωτερικής επιφάνειας (*Εικόνες 2.10 και 2.11*). Συνήθως, χρησιμοποιούνται σταθερές συσκευές, χάρη στην απλότητα, την ανθεκτικότητα, την ελάχιστη ανάγκη συντήρησης και του χαμηλού κόστους που προσφέρουν. Ταυτόχρονα, είναι αρκετά αποτελεσματικά καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αφού συνδυάζουν το μπλοκάρισμα του καλοκαιρινού ηλίου, ο οποίος βρίσκεται ψηλά, με τη δυνατότητα διέλευσής του τον χειμώνα, όπου ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά. Τα συστήματα σκίασης αποτελούν απαραίτητο εργαλείο στην εξοικονόμηση ενέργειας των κτιρίων, ενώ διασφαλίζουν την οπτική άνεση, την ιδιωτικότητα των χώρων και την αποτροπή κλοπών. Ακόμα, παρουσιάζουν μεγάλη συμβολή κατά την αντιμετώπιση του φαινομένου της θάμβωσης. Διάφορες τεχνολογίες παρέχουν συσκότιση, ασφάλεια, ανακύκλωση αέρα, προστασία υαλοπινάκων από βροχή, ηχομόνωση και θερμομόνωση, αποτελούν επιπλέον προσθήκη ή μέρος του κτηριακού κελύφους και επηρεάζουν την αισθητική του. Η επίδραση των συστημάτων σκίασης που τοποθετείται στο κτίριο, παίζει βασικό ρόλο στη θερμική και οπτική του συμπεριφορά, διότι στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελεί δομικό του στοιχείο. Γι' αυτόν το λόγο είναι σημαντικό κατά την επιλογή τους να εκτιμούμε διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργικότητα και την απόδοσή του. Η επιλογή της στρατηγικής σκίασης καθορίζεται από τις ίδιες τις ανάγκες και τη χρήση του κτιρίου, της τοποθεσίας, του προσανατολισμού του, τα κλιματολογικά δεδομένα και τις συνθήκες φωτισμού της περιοχής. Ακόμη, πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως οι ανάγκες ηλιοπροστασίας, η επίδραση των γειτονικών ακινήτων και, φυσικά, το υποκειμενικό στοιχείο της αισθητικής. Ενδεχομένως, παίζουν ρόλο τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε περίπτωση που έχουν προαποφασιστεί.



Σχήμα 2.10: Πρόπτωση ηλιακής ακτινοβολίας σε ανοιχτόχρωμη επιφάνεια



Σχήμα 2.11: Πρόπτωση ηλιακής ακτινοβολίας σε σκουρόχρωμη επιφάνεια

2.4.3 Κατηγοριοποίηση συστημάτων σκίασης

Η σκίαση μπορεί να τοποθετείται στην εσωτερική ή εξωτερική μεριά της πρόσοψης, σε κρεμαστού τύπου πρόσοψη, είτε ενταγμένη εντός των διπλών ή τριπλών υαλοπινάκων. Σε κάθε περίπτωση, αφορά τον τρόπο και το ποσοστό αποκοπής της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Τέλος, δύναται να συνδυαστούν με σύστημα ελέγχου προκειμένου η σκίαση να είναι μόνιμη ή να ακολουθεί κάποιο επιθυμητό προφίλ λειτουργίας, να είναι σταθερά ή κινητά, οριζόντια, κατακόρυφα και κεκλιμένα, ελέγχοντας την κλίση και τον προσανατολισμό τους. Ο έλεγχος και ο σχεδιασμός της σκίασης αποσκοπεί στην ηλιακή προστασία κατά την περίοδο ψύξης και στην εισαγωγή ηλιακών κερδών, φυσικού φωτισμού και φυσικής κυκλοφορίας του αέρα, σε ορισμένους τύπους κτιρίων, κατά την περίοδο θέρμανσης.

2.4.3.1 Σε σχέση με τη θέση τους ως προς τον υαλοπίνακα

- Εξωτερικές συσκευές σκίασης:

Τα εξωτερικά συστήματα σκίασης αποτρέπουν την ανεπιθύμητη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του σπιτιού, αντανακλώντας μεγάλο μέρος της και επανεκπέμποντάς την προς το φυσικό περιβάλλον, προτού εκείνη φτάσει στο κτίριο (Σχήμα 2.12). Αποτελούν την πιο αποτελεσματική μέθοδο σκίασης, διότι ανακόπτουν και διαχέουν το μεγαλύτερο μέρος των ηλιακών κερδών, προτού η ηλιακή ακτινοβολία φτάσει στην επιφάνεια του κτηρίου. Ωστόσο, τείνουν να είναι πιο ακριβή επιλογή εγκατάστασης και διατήρησης, ενώ επηρεάζουν σημαντικά την αισθητική του κτιρίου. Μπορεί να επιτευχθεί

εποχιακά εξωτερική σκίαση, μέσω βλάστησης με φυλλοβόλα και αειθαλή δέντρα. Τυπικές σταθερές επιλογές εξωτερικής σκίασης αποτελούν οι οριζόντιοι πρόβολοι, τα κάθετα πτερύγια, οι μόνιμες τέντες και τα παραθυρόφυλλα. Κινητά εξωτερικά σκίαστρα αποτελούν οι περσίδες, τα στόρια, οι τέντες και τα παραθυρόφυλλα τα οποία διαθέτουν σύστημα προσαρμογής ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, συστήματα αυτοματισμού κλπ. Είναι αρκετά αποτελεσματικά στον έλεγχο του άμεσου, διάχυτου και ανακλώμενου φωτός και έτσι, ρυθμίζουν τα ηλιακά κέρδη καθώς και τα επίπεδα φωτισμού. Τα εξωτερικά είναι συνήθως παραθυρόφυλλα, τέντες, πρόβολοι, κατακόρυφες και οριζόντιες περσίδες.

- Εσωτερικές συσκευές σκίασης:

Τα εσωτερικά συστήματα σκίασης, ανακλούν ένα μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας λόγω του συντελεστή ανάκλασης της επιφάνειάς τους, αλλά μεταφέρουν μέρος της ηλιακής θερμικής ακτινοβολίας προς το εσωτερικό της θερμικής ζώνης, μέσω συναγωγής (Σχήμα 2.12). Οι εσωτερικές συσκευές, ενώ προστατεύουν τους χρήστες από τις έμμεσες ηλιακές ακτίνες και τη θάμβωση, το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας απορροφάται από τη ζώνη και διαχέεται στον χώρο. Οι εσωτερικές συσκευές δεν εμποδίζουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, έως ότου περάσει τον υαλοπίνακα. Η κύρια χρήση τους έγκειται στην ικανότητά τους να ρυθμίζουν την διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία, η οποία αποτελεί τη βασική αιτία θάμβωσης. Έτσι, η επίδρασή τους στα εισερχόμενα θερμικά κέρδη είναι περιορισμένη, εκτός από την περίπτωση που είναι εφοδιασμένες με ειδική ανακλώμενη επιφάνεια. Συχνά, για την εμπόδιση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται, συνδυαστικά με την εσωτερική σκίαση, ανακλαστικά υλικά ή υαλοπίνακες. Οι εσωτερικές συσκευές, τις περισσότερες φορές, είναι ανασυρόμενες και ρυθμιζόμενες. Τυπικά συστήματα αποτελούν τα ρόλερ, τα πλισέ, οι περσίδες, τα πάνελ, τα ρόμαν, τα εσώφυλλα και οι κουρτίνες. Τις περισσότερες φορές ρυθμίζονται και συντηρούνται εύκολα, ενώ, σε γενικές γραμμές, αποτελούν πιο οικονομική επιλογή. Ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη επιλέγονται κουρτίνες και στόρια ή περσίδες, οι οποίες ρυθμίζουν τη λαμπρότητα του φωτός και την ανακατεύθυνση του αντίστοιχα. Τα εσωτερικά σκίαστρα, συνήθως αποτελούνται από κουρτίνες, βενετικές περσίδες και υφασμάτινα ή συνθετικά ρολά.

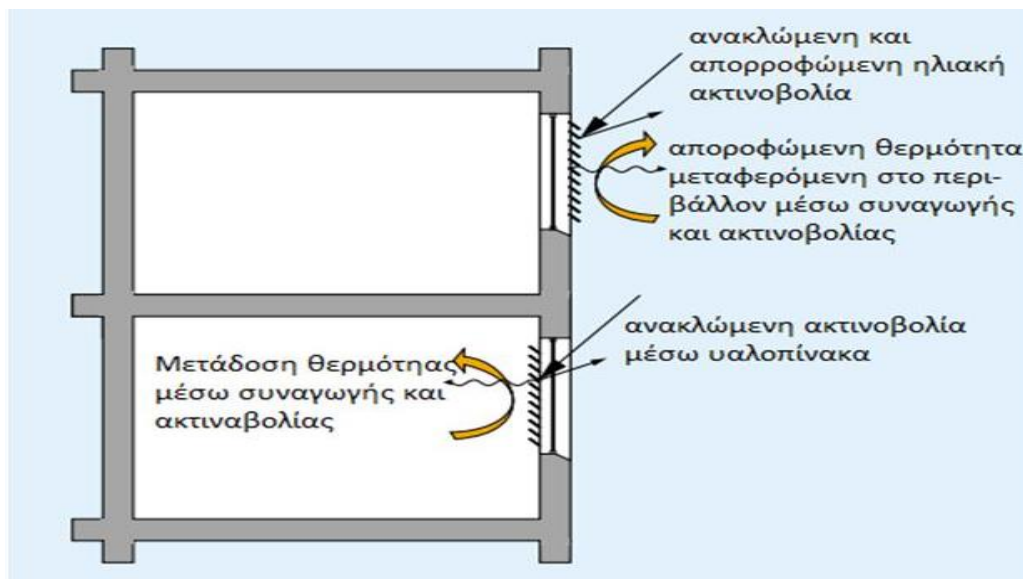
2.4.3.2 Σε σχέση με την ευελιξία τους:

- Σταθερές συσκευές:

Συνήθως, αφορούν την εξωτερική σκίαση και σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με την αρχιτεκτονική και την αισθητική της πρόσοψης του κτηρίου. Οι τυπικές μορφές που συναντάται είναι τα χωνευτά παράθυρα, οι οριζόντιοι πρόβολοι, τα κάθετα πτερύγια, συσκευές τύπου κλωβός κ.ά. Η εγκατάστασή τους είναι, σε γενικές γραμμές, φτηνή και απλή. Είναι αρκετά αποτελεσματικά, όσον αφορά την παρεμπόδιση της άμεσης ακτινοβολίας, αλλά λιγότερο αποτελεσματική στη ρύθμιση της διάχυτης και ανακλώμενης. Βασικό κριτήριο επιλογής και σχεδίασης των σταθερών συστημάτων σκίασης αποτελεί ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων. Η ορθή τοποθέτηση των συστημάτων είναι η τοποθέτησή τους στην πρόσοψη με νότιο προσανατολισμό. Έτσι, παρέχεται σκίαση μόνο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ επιτρέπεται η διέλευση των ηλιακών ακτίνων το χειμώνα.

- Ρυθμιζόμενες ή κινητές συσκευές:

Οι συσκευές αυτές βρίσκονται εσωτερικά, εξωτερικά ή ανάμεσα σε διπλούς ή τριπλούς υαλοπίνακες. Η ικανότητα ρύθμισης, τις περισσότερες φορές, αφορά την εσωτερική σκίαση, λόγω της ευκολίας που προσφέρει. Ωστόσο, μπορεί να εφαρμοστεί και σε εξωτερικά συστήματα έτσι, ώστε με την κατάλληλη ρύθμιση να μπλοκάρει την άμεση, χαμηλής κλίσης, την διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία και να ρυθμίζει τη θάμβωση. Η δυνατότητα ρύθμισης της συσκευής προσφέρει τη δυνατότητα βελτιστοποίησης της γωνίας του σε σχέση με τις εξωτερικές συνθήκες. Σε αντίθεση με τις σταθερές συσκευές, μπορεί να λειτουργήσει με τέτοιον τρόπο, ώστε να ελέγχεται το επίπεδο φωτεινότητας. Από την άλλη, αποτελούν πιο ακριβή στρατηγική σκίασης, με μεγαλύτερη ανάγκη συντήρησης. Συχνά, για να αποδώσουν τα επιθυμητά αποτελέσματα πρέπει να συνδυαστούν από σύστημα αυτοματισμού. Για παράδειγμα μπορεί να ελέγχεται από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ή να έχει εποχιακή χρήση για συγκεκριμένη χρονική περίοδο κατά τη διάρκεια του έτους.



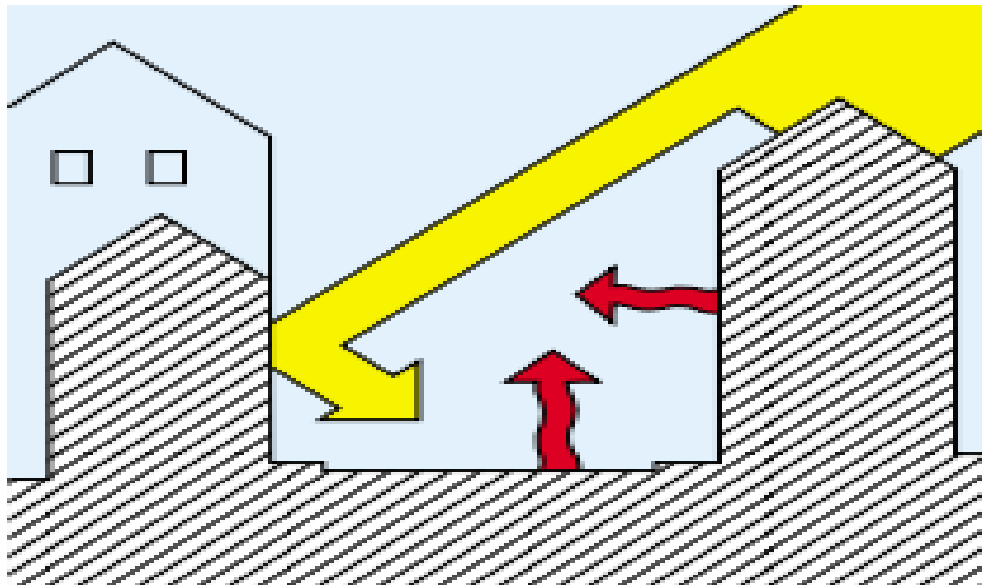
Σχήμα 2.12: Σύγκριση εσωτερικής και εξωτερικής σκίασης

2.4.4 Σκίαση λόγω αστικού σχεδιασμού:

Ο αστικός σχεδιασμός, ειδικά σε περιοχές πιο θερμών κλιμάτων, αποσκοπεί στην παροχή σκίασης και δροσισμού, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και ηλιακής ακτινοβολίας, κατά του θερινούς μήνες, καθώς και το πρόβλημα θάμβωσης που προκαλείται από την άμεση και ανακλώμενη ακτινοβολία. Οι πιο κρίσιμες μέθοδοι αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος είναι οι στενοί δρόμοι μεταξύ των κτηρίων και η αλληλοσκίασή τους, ενώ συχνά γίνεται χρήση ανακλαστικών επιφανειών και σκιάστρων. (Εικόνες 2.13 και 2.14)



Σχήμα 2.13: Στενός δρόμος μεταξύ κτηρίων στη Βιέννη



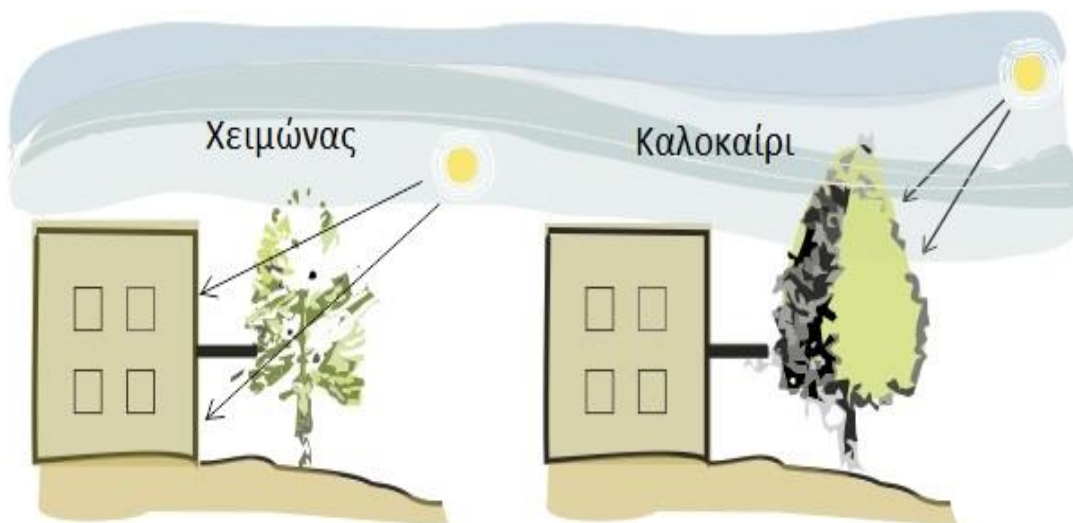
Σχήμα 2.14: Σκίαση από γειτνιάζοντα κτίρια

2.4.5 Σκίαση λόγω βλάστησης

Η στρατηγική φύτευση δέντρων, θάμνων και κλημάτων στον περιβάλλοντα χώρο ή συνδυασμένο με συστήματα σκίασης και κατασκευών όπως πέργολες και προβόλους, επηρεάζουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στον χώρο, καθώς και το μικρόκλιμα της περιοχής. Ακόμα, η σκίαση με βλάστηση δύναται να σκιάσει ολόκληρους τοίχους και επιφάνειες, πέραν των υαλοπινάκων, μειώνοντας τα θερμικά ηλιακά κέρδη από συναγωγή, και ακτινοβολία (Σχήμα 2.15). Η επίδραση της βλάστησης στο ενεργειακό προφίλ του κτηρίου, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος, την κατηγορία και την ηλικία της βλάστησης. Για παράδειγμα, με την επιλογή τοποθέτησης φυλλοβόλων δέντρων η σκίαση παρέχεται μόνο όταν είναι επιθυμητή, δηλαδή το καλοκαίρι, ενώ με αιθαλή υφίσταται όλο το έτος (Σχήμα 2.16).



Σχήμα 2.15: Σκίαση λόγω βλάστησης



Σχήμα 2.16: Επίδραση στην ηλιακή ακτινοβολία που καταφθάνει στο κτήριο με χρήση φυλλοβόλων δέντρων

2.4.6 Επίδραση σκίασης στην ψύξη

Τα συστήματα σκίασης διαδραματίζουν διαφορετικούς ρόλους, με κυρίαρχο να αποτελεί την προστασία από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και την συνεπαγόμενη θέρμανση του εσωτερικού του κτηρίου. Η προστασία αυτή επιτυγχάνεται σημαντικά από τη σκίαση των ανοιγμάτων και των παραθύρων του κτηρίου, ενώ μπορεί να εφαρμοστεί επιφέροντας σημαντικό αντίκτυπο σε περίπτωση έλλειψης μόνωσης. Η σκίαση αυτή παρέχει τη δυνατότητα σημαντικής μείωσης των αναγκών του δωματίου σε ψύξη, η οποία μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την εξοικονόμηση ενέργειας. Η επίδραση αυτή, έγκειται στο γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία κατέχει πρωταγωνιστικό ρόλο στα ψυκτικά φορτία που έχει ανάγκη ο χώρος, Επίσης, η επίδραση της άμεσης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας

είναι μεγαλύτερη από εκείνη της διάχυτης, καθώς μεταφέρεται αμέσως προς το εσωτερικό του χώρου. Ταυτόχρονα, η ικανότητα πρόβλεψης της κατεύθυνσης της άμεσης ακτινοβολίας, δύναται να εμποδιστεί πιο αποτελεσματικά από τις εξωτερικές συσκευές σκίασης, σε αντίθεση με τις άλλες συνιστώσες της ακτινοβολίας όπου το εύρος των ακτινών πρόσπτωσής τους μπορεί να ελεγχθεί ευκολότερα από εσωτερικά σκίαστρα, αλλά με περιορισμένη απόδοση.

2.4.7 Επίδραση σκίασης στον φωτισμό

Η σκίαση μπορεί να επιφέρει μείωση του επιπέδου φωτισμού του χώρου. Έτσι, σε περίπτωση χρήσης τεχνητού φωτισμού, μπορεί να επιφέρει μερική αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας, χωρίς αυτό να επηρεάζει τα μεγάλα οφέλη της όσον αφορά την ανάγκη για ψύξη. Σε κτίρια μη οικιακής χρήσης, όπως είναι το νοσοκομείο που μελετάται, επιδιώκεται η μείωση της θάμβωσης στην περιοχή του παραθύρου και η ταυτόχρονη αύξηση του επιπέδου φωτισμού στο εσωτερικό του χώρου. Το παραπάνω, συνήθως επιτυγχάνεται με χρήση κινητού συστήματος, ιδανικά εξωτερικού, με ανακλώμενη επίστρωση στην άνω επιφάνεια. Όσον αφορά την ποιότητα του φωτισμού ενός χώρου, η διάχυση του φωτός στο πεδίο της όρασης κατέχει σημαντικότερο ρόλο σε σχέση με τη συνολική ποσότητα φωτισμού. Έτσι, κρίνονται εξαιρετικά σημαντικές οι τεχνολογίες που προσφέρουν αναδιανομή και ανακατεύθυνση του φωτός, τυπικά προς το εσωτερικό του δωματίου, με μείωση της πιθανής θάμβωσης. Άρα, συμπεραίνεται ότι τα πιο αποδοτικά συστήματα αναλαμβάνουν διπλό ρόλο: την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας χάρη στην μείωση των ψυκτικών φορτίων και την μείωση της χρήσης τεχνητού φωτισμού χάρη στη βελτίωση της κατανομής των φωτεινών ακτινών εντός της ζώνης. [34]

Πίνακας 3.1: Βασικά στοιχεία θερμικών ζωνών

Θερμική ζώνη	Χρήση	Εμβαδόν (m ²)
Med_1	Αίθουσα ασθενών	23.80
Med_2	Αίθουσα ασθενών	28.27
Med_3	Αίθουσα ασθενών	25.45
Med_4	Αίθουσα ασθενών	32.29
Med_5	Αίθουσα ασθενών	29.42
Med_6	Αίθουσα ασθενών	29.20
Med_7	Αίθουσα ασθενών	19.89
Med_8	Αίθουσα ασθενών	31.01
Of_1	Γραφείο	16.48
Of_2	Γραφείο	22.78
Of_3	Γραφείο	20.48

3.1.2 Τοιχοποιία

Η ενεργειακή μελέτη είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αρχιτεκτονική, καθώς η διαμόρφωση του κτηριακού κελύφους καθορίζει ουσιαστικά και την αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον. Οι θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών του σεναρίου είναι γνωστές από προγενέστερη μελέτη. Αποτελείται από δύο τύπους κατακόρυφων δομικών στοιχείων, τους εσωτερικούς τοίχους, όταν πρόκειται για σύζευξη δύο θερμικών ζωνών και τους εξωτερικούς, όταν πρόκειται για επαφή με το περιβάλλον. Έγινε η παραδοχή ότι όλοι οι εσωτερικοί και οι εξωτερικοί τοίχοι αντίστοιχα είναι όμοιοι μεταξύ τους. Ακόμα, για λόγους πληρότητας ορίστηκαν και τα οριζόντια δομικά στοιχεία, δάπεδο και οροφή, παρά την ελάχιστη επίδραση που έχουν στη θερμική συμπεριφορά του κτηρίου. (Πίνακας 3.2: Συντελεστής Θερμοπερατότητας επιφανειών)

Πίνακας 3.2: Συντελεστής Θερμοπερατότητας επιφανειών

Επιφάνεια	Συντελεστής Θερμοπερατότητας (U-value) [W/(m ² K)]
Εξωτερικοί Τοίχοι	0.70
Εσωτερικοί Τοίχοι	1.90
Δάπεδο	0.50
Οροφή	1.90

Ο φέροντας μηχανισμός του κτιρίου αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ το περίβλημα είναι αμόνωτο. Για τους εσωτερικούς τοίχους χρησιμοποιήθηκε πλινθοδομή, με επίχρισμα και στις δύο πλευρές, ενώ για τους εξωτερικούς επιλέχθηκε η δομή 'επίχρισμα-τούβλο-κενό- τούβλο- επίχρισμα'. Τα υλικά από τα οποία αποτελείται η κάθε κατηγορία τοίχοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Ιδιότητες δομικών υλικών

Δομικά υλικά	Πυκνότητα ρ [kg/m ³]	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ		Ειδική θερμοχωρητικότητα C _p	
		[W/(mK)]	[kJ/hmK]	[J/(kgK)]	[kJ/kgK]
Οπτοπλινθοδομή	1000	0.49	1.764	1000	1
Ασβεστοκονίαμα	1800	0.87	3.13	1000	1
Τσιμεντοκονίαμα	2000	1.4	5.04	1100	1.1
Γαρμπιλόδεμα	1500	0.64	2.3	1000	1
Ξηρός αέρας (20°C)	1.23	0.025	1	1008	1

Αντίστοιχα, στον Πίνακα 3.4, παρουσιάζεται το πάχος, από το οποίο αποτελείται η επίστρωση με το εκάστοτε υλικό. Ταυτοχρόνως, η σειρά με την οποία παρουσιάζονται στον ίδιο πίνακα, αποτελεί την πραγματική διαστρωμάτωση του τοίχου. Μέσω του συνυπολογισμού της επίδρασης στην θερμοχωρητικότητα κάθε στρώσης υλικού, υπολογίζεται ο συνολικός συντελεστής (συντελεστής- U) κάθε κατηγορίας τοίχου, που εκφράζει τον ρυθμό μετάδοσης θερμότητας.

Η μεθοδολογία, σύμφωνα με την οποία πραγματοποιείται ο υπολογισμός, είναι η εξής: Ο βαθμός θερμομονωτικής προστασίας ενός αδιαφανούς δομικού στοιχείου προσδιορίζεται από το συντελεστή θερμοπερατότητας (U). Ο συντελεστής U ορίζεται από το αντίστροφο του αθροίσματος των θερμικών αντιστάσεων των διαδοχικών στρώσεων του δομικού στοιχείου στη θεωρούμενη κατά παραδοχή μονοδιάστατη και κάθετη στην επιφάνειά του ροή θερμότητας μέσω αυτού και των αντίστοιχων θερμικών αντιστάσεων των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου η στρώσεων ορίζεται από τον τύπο:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_\delta + R_a} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$$

όπου:

U [W/(m²·K)] : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,

n [-] : το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,

d [m] : το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου,

λ [W/(m·K)] : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης,

R_δ [m²·K/W] : η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος,

R_i [m²·K/W] : η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,

R_a [$m^2 \cdot K/W$] : η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.[4]

Πίνακας 3.4: Ανάλυση επιφανειών

Κατηγορία Τοίχου	Υλικό	Πάχος (m)	Συνολικό πάχος (m)	Συνολικός Συντελεστής -U
Εσωτερικός	Ασβεστοκονίαμα	0.010	0.186	1.900
	Τούβλο	0.259		
	Αέρας	0.050		
	Τούβλο	0.258		
	Ασβεστοκονίαμα	0.010		
Εξωτερικός	Ασβεστοκονίαμα	0.013	0.587	0.700
	Τούβλο	0.160		
	Ασβεστοκονίαμα	0.013		
Πάτωμα	Τσιμεντοκονίαμα	0.060	0.260	1.901
	Γαρμπιλόδεμα	0.200		

3.1.3 Παράθυρα

Όπως αναλύεται διεξοδικά στο θεωρητικό μέρος της εργασίας, ένα από τα βασικότερα στοιχεία της τρισδιάστατης γεωμετρίας αποτελεί ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων και οι υαλοπίνακες. Οι διαστάσεις και ο προσανατολισμός των παραθύρων παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5: Στοιχεία παραθύρων θερμικών ζωνών

Θερμική ζώνη	Προσανατολισμός	Επιφάνεια παραθύρου [m^2]	WWR
Med_1	Νότιος	3.27	0.22
Med_2	Νότιος	3.27	0.27
Med_3	Νότιος	3.27	0.25
Med_4	Νότιος	3.22	0.20
Med_5	Νότιος	4.03	0.27
Med_6	Νότιος	3.22	0.21
Med_7	Νότιος	2.62	0.26
Med_8	Δυτικός	5.98	0.22
Of_1	Νότιος	2.63	0.26
Of_2	Νότιος	2.63	0.26
Of_3	Νότιος	3.20	0.30

Η υφιστάμενη κατάσταση του εν λόγω κτηρίου, περιλαμβάνει διπλούς υαλοπίνακες, πλαίσιο αλουμινίου και αέρα ως πληρωτικό μέσο, με δεδομένα θερμικά και οπτικά χαρακτηριστικά, τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.6). Επίσης, παρουσιάζονται οι οπτικές και θερμικές ιδιότητες των δύο ακραίων καταστάσεων των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων που χρησιμοποιούνται στα αντίστοιχα σενάρια.

Πίνακας 3.6: Ιδιότητες παραθύρων

Κατηγορία παραθύρου	Συντελεστής U [W/(m ² K)]	Συντελεστής g [-]	Διαπερατότητα σε ορατή ακτινοβολία [-]
Υφιστάμενο	2.7	0.75	0.81
Ηλεκτροχρωμικό Clear	0.833	0.359	0.536
Ηλεκτροχρωμικό Dark	0.833	0.106	0.135

3.1.4 Σκίαση

Όπως αναφέρεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο της θεωρίας, η σκίαση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο σενάριο που μελετάται, δεδομένου του νότιου προσανατολισμού του μεγαλύτερου μέρους του κτηρίου, εφόσον εκεί η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και τα ηλιακά κέρδη είναι αυξημένα. Ως υφιστάμενη κατάσταση θεωρήθηκε ότι κάθε θερμική ζώνη διαθέτει εσωτερική σκίαση η οποία πραγματοποιείται με χρήση κουρτίνας και συντελεστή σκίασης 0.85. (Συντελεστής σκίασης 1: Πλήρης σκίαση -Συντελεστής σκίασης 0: Καθόλου σκίαση). Ο χρονισμός της σκίασης ελέγχεται με βάση τη συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία του παραθύρου και συνοδεύεται από συγκεκριμένο πρωτόκολλο λειτουργίας. Το πρωτόκολλο αυτό, το οποίο θεωρείται σε όλη την εργασία ως η υφιστάμενη κατάσταση, αποτελείται από τις εξής, δύο, συνθήκες:

- I. Ο συντελεστής σκίασης ενεργοποιείται όταν η προσπίπτουσα ακτινοβολία στον υαλοπίνακα ξεπεράσει τα 160 W/m² και απενεργοποιείται όταν γίνει μικρότερη των 140 W/ m², δηλαδή διαθέτει 20 W/m² υστέρηση.
- II. Το σύστημα σκίασης ενεργοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης, ενώ το υπόλοιπο διάστημα να παραμένει μονίμως κλειστό, δηλαδή οι κουρτίνες είναι μονίμως ανοικτές.

Η υιοθέτηση αυτής της στρατηγικής ελέγχου, αποσκοπεί στην εκμετάλλευση των ωφέλιμων ηλιακών θερμικών φορτίων τις περιόδους θέρμανσης και τον περιορισμό τους κατά την περίοδο ψύξης.

3.1.5 Περίοδοι χρήσης και συνθήκες λειτουργίας κτηρίου

Οι πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ενός κτηρίου μπορεί να διαφέρουν κατά περίπτωση, ανάλογα τη χρήση και τους χρήστες του κτηρίου. Επομένως, είναι απαραίτητο να καθοριστεί το προφίλ των χρηστών, προκειμένου να προσδιοριστεί η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας, καθώς και οι συνθήκες θερμικής άνεσης [4]. Υπενθυμίζεται ότι, ο

διαχωρισμός του κτηρίου σε θερμικές ζώνες έγινε με βάση τον αρχιτεκτονικό διαχωρισμό των δωματίων και ότι οι ζώνες αυτές αναφέρονται σε αίθουσες ασθενών και γραφεία. Αυτό συνέβη προκειμένου να επιτευχθεί οικονομία στο πλήθος των δεδομένων εισόδου και στον υπολογιστικό χρόνο, καθώς απαραίτητα δεδομένα είναι παρόμοια. Σύμφωνα με το προφίλ λειτουργίας του κτηρίου, η δραστηριότητα των χρηστών δεν παραμένει ίδια για όλες τις ώρες τις ημέρας και της εβδομάδας. Το γεγονός αυτό επηρεάζει το ενεργειακό προφίλ του μοντέλου, καθώς η διαφοροποίηση αυτή επιφέρει αλλαγή στα εσωτερικά κέρδη της εκάστοτε θερμικής ζώνης. Αυτό οφείλεται στα εσωτερικά θερμικά κέρδη και στις ανάγκες για αερισμό που εξαρτώνται από το πλήθος των ανθρώπων που δραστηριοποιούνται εντός της ζώνης.

Πίνακας 3.7: Περίοδος λειτουργίας κτηρίου

Χρήση θερμικής ζώνης	Χρήση κτηρίου [άτομα/m ²]	
	Εντός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
Αίθουσα ασθενών	0.15	0.05
Γραφείο	0.17	0.17

Συγκεκριμένα, στις θερμικές ζώνες των ιατρείων, παρατηρείται τριπλάσια κίνηση (0.15 άτομα/m²) κατά τη διάρκεια των ωρών 08:00 – 16:00 τις ημέρες από Δευτέρα έως Παρασκευή σε σχέση με τις υπόλοιπες ώρες τις εβδομάδας και ημέρες της εβδομάδας (0.05 άτομα/m²). Για το λόγο αυτό, το ωράριο των καθημερινών, 8 π.μ με 4 μ.μ., θεωρείται και ορίζεται ως η τυπική βάρδια και το υπόλοιπο διάστημα θεωρείται εκτός βάρδιας. Στα γραφεία η χρήση θεωρήθηκε ίση με 0.17 άτομα/m² σταθερά για όλες τις ώρες και ημέρες της εβδομάδας (Πίνακας 3.7).

3.1.6 Εσωτερικά κέρδη

3.1.6.1 Από ανθρώπους

Κάθε άτομο ανάλογα τη δραστηριότητα του, εκλύει θερμότητα υπό τη μορφή αισθητού και λανθάνοντος φορτίου. Το αισθητό φορτίο οφείλεται στην ακτινοβολία του σώματός του και τη μεταφορά θερμότητας από το σώμα του στον αέρα. Ο συντελεστής ακτινοβολίας θεωρήθηκε ίσος με 0.3 (συνεπώς 0.7 ο συντελεστής μεταφοράς) και φυσικά εξαρτάται από την ένδυση και τη δραστηριότητα του ατόμου. Το λανθάνον φορτίο οφείλεται στην αναπνοή και στην εφίδρωση κάθε ανθρώπου και είναι τόσο μεγαλύτερο, όσο αυξάνεται η δραστηριότητα του ατόμου. Ο υπολογισμός της έκλυσης θερμότητας των ανθρώπων, έγινε με βάση την περίοδο χρήσης που αναφέρεται παραπάνω (Πίνακας 3.7), τη μέση τυπική τιμή έκλυσης θερμότητας ανά άτομο, λαμβάνοντας υπόψη την αντίστοιχη μέση δραστηριότητα των χρηστών στις διάφορες κατηγορίες κτηρίων, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 και ΕΛΟΤ EN 13779:2008 και ο μέσος συντελεστής παρουσίας χρηστών, ο οποίος ορίζεται ως το ποσοστό του χρόνου, κατά το οποίο είναι παρόντες οι χρήστες στο χώρο (Πίνακας 3.8).

Πίνακας 3.8: Εσωτερικά κέρδη από ανθρώπους

Χρήση θερμικής ζώνης	Θερμική ισχύς ανά άτομο [W/άτομο]	Κέρδη [W/m ²]	
		Εντός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
Αίθουσα ασθενών	70	10.5	3.5
Γραφείο	80	13.6	13.6

3.1.6.2 Από ηλεκτρικό εξοπλισμό:

Η θερμότητα από ηλεκτρικό –κατά το πλείστων- εξοπλισμό (ηλεκτρικές συσκευές) αλλά και δευτερευόντως από άλλες συσκευές, είναι η τρίτη βασική κατηγορία εσωτερικών κερδών στα κτήρια. Αυτή η θερμότητα εκλύεται με ακτινοβολία και μεταφορά όπως συμβαίνει και με τις άλλες κατηγορίες εσωτερικών κερδών, σε αναλογία που εξαρτάται από το είδος της συσκευής. Η αναλογία των τμημάτων ακτινοβολίας- μεταφοράς δεν επηρεάζει ιδιαίτερα και δεν υπεισέρχεται σε απλουστευμένους υπολογισμούς. Στη συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών η ενέργεια εισέρχεται στο χώρο υπό τη μορφή αισθητής θερμότητας. Ο συνυπολογισμός του εξοπλισμού στα φορτία του κτηρίου γίνεται βάσει του συντελεστή ετεροχρονισμού, μέσω του οποίου αντιστοιχίζεται η πραγματική –κατά μέσο όρο– λειτουργία των συσκευών στους χώρους κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ημέρας, τις μέσες τιμές ισχύος ηλεκτρικών συσκευών για κάθε τύπο κτηρίου και τον μέσο συντελεστή πραγματικού χρόνου λειτουργίας του κτηρίου και κατά συνέπεια των ηλεκτρικών συσκευών (Πίνακας 3.10)

Πίνακας 3.9: Εσωτερικά κέρδη από ηλεκτρολογικό εξοπλισμό [4]

Χρήση θερμικής ζώνης	Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός [W/m ²]
Γραφείο	8
Αίθουσα ασθενών	8

Πίνακας 3.10: Συντελεστές λειτουργίας και ετεροχρονισμού[4]

Χρήση θερμικής ζώνης	Μέσος συντελεστής Ετεροχρονισμού [-]	Μέσος συντελεστής Λειτουργίας [-]
Γραφείο	0.30	0.30
Αίθουσα ασθενών	0.5	0.75

3.1.6.3 Από ηλεκτροφωτισμό:

Για τα εσωτερικά κέρδη από ηλεκτροφωτισμό στους υπολογισμούς λαμβάνεται υπόψη η εγκατεστημένη ισχύς των φωτιστικών, ο μέσος συντελεστής ετεροχρονισμού και ο μέσος συντελεστής λειτουργίας. Οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την εκλυόμενη στο χώρο θερμική ισχύ λόγω του συστήματος ηλεκτροφωτισμού είναι το είδος του λαμπτήρα και του φωτιστικού, το ύψος του χώρου και της τοποθέτησης του φωτιστικού, η ύπαρξη ψευδοροφής και η ύπαρξη συστήματος εξαερισμού του χώρου τοποθέτησης των

φωτιστικών (αν υπάρχει ψευδοροφή). Σε κάθε χώρο η εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού λαμβάνεται ανάλογα με τη στάθμη φωτισμού (Πίνακας 3.11).

Πίνακας 3.11: Εσωτερικά κέρδη από ηλεκτροφωτισμό [4]

Χρήση θερμικής ζώνης	Στάθμη φωτισμού [lux]	Ισχύς για κτήριο αναφοράς [W/m ²]
Αίθουσα ασθενών	100	3.2
Γραφείο	500	16

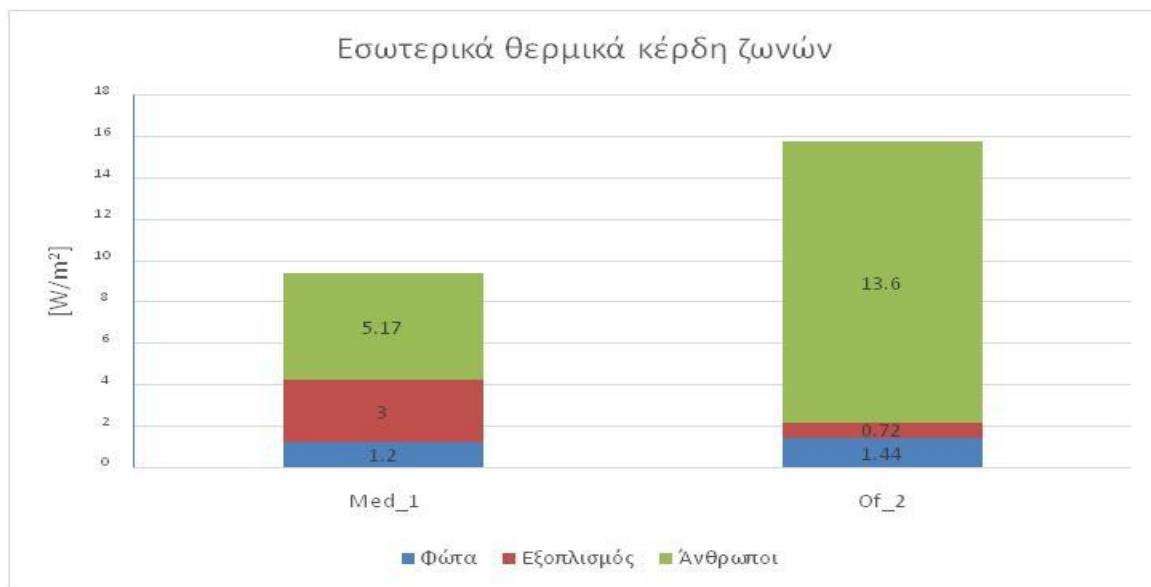
3.1.6.4 Συνολικά εσωτερικά κέρδη

Τα συνολικά εσωτερικά κέρδη για κάθε τύπο ζώνης παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.2. Κατά τους υπολογισμούς, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη και ο φωτισμός των μη θερμαινόμενων χώρων θεωρούνται μηδενικά (Πίνακας 3.12).

Πίνακας 3.12: Σύνολο εσωτερικών θερμικών κερδών

Χρήση θερμικής ζώνης	Άνθρωποι [W/m ²]		Ηλεκτροφωτισμός [W/m ²]	Ηλεκτρικός εξοπλισμός [W/m ²]
	Εντός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας		
Αίθουσα ασθενών	10.5	3.5	1.2	3
Γραφείο	13.6	13.6	1.44	0.72

Τα παραπάνω εσωτερικά θερμικά κέρδη για μία τυπική θερμική ζώνη από την αντίστοιχη πηγή παρουσιάζονται γραφικά παρακάτω (Σχήμα 3.2)



Σχήμα 3.2: Εσωτερικά κέρδη θερμικών ζωνών Med_1 και Of_2

Όπως φαίνεται στο σχήμα, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη από τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό στις αίθουσες ασθενών είναι περισσότερα από αυτά στα γραφεία, ενώ για τα κέρδη από ανθρώπους και από φώτα, συμβαίνει το αντίθετο. Επειδή τα θερμικά κέρδη από ανθρώπους είναι περισσότερο ποσοτικά, τα συνολικά κέρδη των αιθουσών ασθενών είναι μεγαλύτερα από αυτά των ιατρείων, καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

3.1.7 Αερισμός

Για την εξασφάλιση συνθηκών υγιεινής στο εσωτερικό κάθε κτηρίου και κάθε ανεξάρτητου τμήματος κτηρίου απαιτείται η ανανέωση του αέρα, δηλαδή η αντικατάσταση μέρους του εσωτερικού αέρα από νωπό αέρα περιβάλλοντος.

Οι απαιτήσεις νωπού αέρα ανά κατηγορία (χρήση) καθορίστηκαν έτσι, ώστε να καλύπτεται ο ελάχιστος απαιτούμενος αερισμός, λαμβάνοντας υπόψιν τον αριθμό των χρηστών.

Οι ανάγκες σε νωπό αέρα κάθε ζώνης παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 3.13):

Πίνακας 3.13: Αερισμός θερμικών ζωνών [4]

Χρήση Θερμικής Ζώνης	Νωπός αέρας [m ³ /h/άτομο]	Χρήση ζώνης [άτομα/m ²]		Νωπός αέρας [1/h]	
		Εντός Λειτουργίας	Εκτός Λειτουργίας	Εντός Λειτουργίας	Εκτός Λειτουργίας
Αίθουσα ασθενών	25	0.15	0.05	1.25	0.42
Γραφείο	30	0.17	0.17	1.7	0.17

3.1.8 Διείσδυση αέρα

Για τον υπολογισμό του αερισμού του κτηρίου λαμβάνεται υπόψη ξεχωριστά ο αερισμός από τις διαφυγές αέρα λόγω αεροστεγανότητας του κτηρίου (διείσδυση αέρα από χαραμάδες κουφωμάτων κ.ά.), από τη χρήση φυσικού αερισμού (άνοιγμα παραθύρων) για την επίτευξη άνετων και υγιεινών συνθηκών διαβίωσης και από τη χρήση μηχανικού αερισμού στην περίπτωση που υπάρχει ανάλογη διάταξη. Ο αερισμός λόγω ύπαρξης χαραμάδων στα κουφώματα εξαρτάται από το μήκος των χαραμάδων, την ποιότητα των κουφωμάτων (βαθμός αεροστεγανότητας), τον αριθμό (και την επιφάνεια) των ανοιγμάτων στις εξωτερικές επιφάνειες του κτηρίου.

Για τον υπολογισμό της διείσδυσης του αέρα μέσω του κουφώματος επιλέχθηκε η αντίστοιχη τυπική τιμή της T.O.T.E.E. και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.14. Με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάθε θερμικής ζώνης και του αντίστοιχου παραθύρου που διαθέτει υπολογίζεται η διείσδυση αέρα σε αυτήν και παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.14).

Πίνακας 3.14: Διείσδυση αέρα σε κάθε θερμική ζώνη

Ζώνη	Όγκος ζώνης [m ³]	Εμβαδόν παραθύρου [m ²]	Διείσδυση αέρα [1/h]
Med_1	71.4	3.26	0.31
Med_2	84.81	3.26	0.26
Med_3	76.35	3.19	0.28
Med_4	96.87	3.21	0.23
Med_5	88.26	2.02	0.16
Med_6	87.59	3.21	0.25
Med_7	59.67	3.2	0.36
Med_8	93.03	5.96	0.44
Of_1	49.44	2.62	0.36
Of_2	68.34	2.62	0.26
Of_3	61.43	3.19	0.3

Πίνακας 3.15: Διείσδυση αέρα στα κουφώματα[4]

Είδος ανοίγματος	Διείσδυση του αέρα
	Παράθυρο [m ³ /h/m ²]
Κουφώματα με μεταλλικό ή συνθετικό υλικό χωρίς πιστοποίηση	
Κούφωμα με διπλό υαλοπίνακα	6.8

3.1.9 Συνθήκες Θερμικής Άνεσης

Θερμική άνεση είναι ο βαθμός ικανοποίησης στην αντίληψη των ανθρώπων σχετικά με τις συνθήκες που βιώνουν στο θερμικό τους περιβάλλον. Είναι δηλαδή ένας δείκτης που εκφράζει το πόσο καλά νιώθει κάποιος βρισκόμενος σε ένα δεδομένο θερμικό περιβάλλον και πόσο ικανοποιημένος είναι από αυτό ώστε να μην επιθυμεί την αλλαγή του. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμική άνεση χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: τους ατομικούς και τους περιβαλλοντικούς.

I. Ατομικοί παράγοντες:

Πρόκειται για παραμέτρους που επηρεάζουν την αντίληψη του ατόμου για τη θερμική άνεση και έχουν σχέση με το ίδιο το άτομο και τις ιδιαιτερότητές του. Η ηλικία, η σωματική άσκηση, η κατάσταση της υγείας κ.α.είναι παράμετροι που επιδρούν σημαντικά στο αίσθημα της θερμικής άνεσης. Άτομα μεγάλης ηλικίας συνήθως νιώθουν άνετα όταν η θερμοκρασία χώρου είναι μεγαλύτερη. Το ίδιο συμβαίνει σε άτομα που νοσηλεύονται σε νοσοκομεία ενώ το ακριβώς αντίθετο, αλλά με παροδικό χαρακτήρα, σε εγκύους. Επίσης άτομα που αθλούνται θέλουν γενικά ηπιότερες θερμοκρασίες στους χώρους άθλησης.

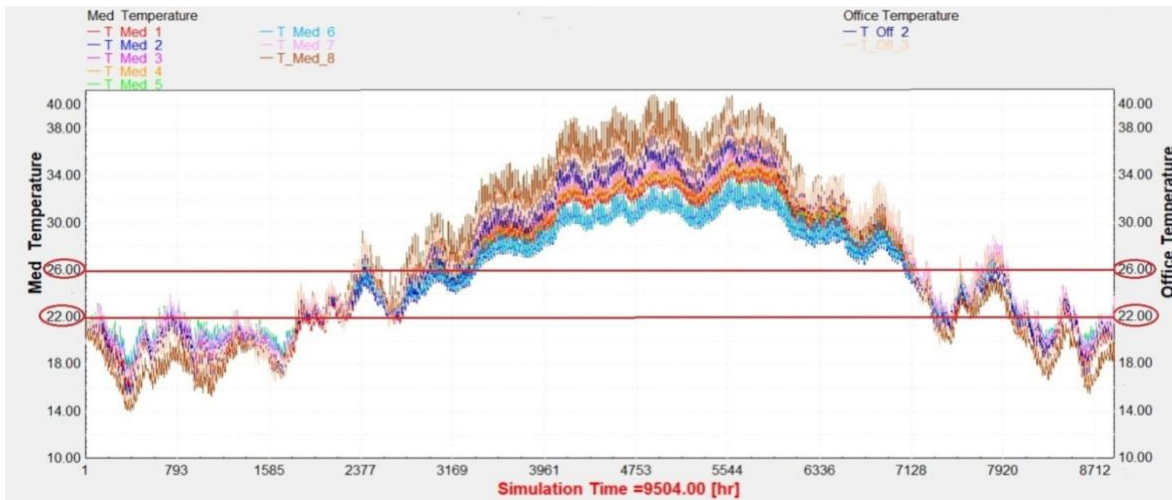
Αυτά είναι μερικά παραδείγματα που δείχνουν ότι ο άνθρωπος επιδρά σημαντικά στη διαμόρφωση του δείκτη θερμικής άνεσης.

II. Περιβαλλοντικοί παράγοντες:

Έχουν να κάνουν με τις εξωγενείς συνθήκες που επιδρούν και διαμορφώνουν την αντίληψη θερμικής άνεσης του ατόμου όπως η θερμοκρασία, οι ακτινοβολίες, η υγρασία και η ροή του αέρα. Πρόκειται για παράγοντες για τους οποίους η αντικειμενικότητα της φύσης τους και η καθολικότητα της επίδρασής τους στον άνθρωπο τους κάνει περισσότερο πρόσφορους να ελεγχθούν και να διαμορφώσουν το γενικό αίσθημα της θερμικής άνεσης. Επιπλέον, οι υαλοπίνακες και τα συστήματα σκίασης κατέχουν ενισχυμένο ρόλο, όσον αφορά τις συνθήκες θερμικής άνεσης που διαμορφώνονται στον χώρο, λόγω της σημαντικής τους επίδρασης στις θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν, καθώς και στο φαινόμενο της θάμβωσης. Επίσης, ανεξάρτητα της μέσης θερμοκρασίας του χώρου, η αίσθηση άμεσης πρόσπτωσης ηλιακών ακτινών δημιουργεί την αίσθηση της υπερθέρμανσης. Η ενεργειακή μελέτη που πραγματοποιήθηκε, είχε ως βασικό κριτήριο την ικανοποίηση του παράγοντα της θερμοκρασίας, όπου θεωρήθηκε για όλες τις ζώνες το θερμοκρασιακό εύρος 22-26 °C

3.1.10 Ορισμός περιόδων θέρμανσης και ψύξης

Προκειμένου να ελέγχεται καλύτερα η λειτουργία στοιχείων του κτηρίου, κατά βάση των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης και της σκίασης, διαχωρίζεται το έτος σε χρονικές περιόδους θέρμανσης και ψύξης. Το κριτήριο διαχωρισμού αποτέλεσαν οι χρονικές περίοδοι, όπου η θερμοκρασία των θερμικών ζωνών ξέφευγε των ορίων που θεσπίστηκαν για να ικανοποιούν τις συνθήκες θερμικής άνεσης, δηλαδή τους 22- 26 °C. Ο διαχωρισμός αυτός, έλαβε χώρα χωρίς την ύπαρξη κάποιου ενεργειακού συστήματος, αλλά υπό την επίδραση όλων των υπόλοιπων σχετικών στοιχείων και της εσωτερικής σκίασης, όπως ορίστηκαν να ισχύουν κατά την υφιστάμενη κατάσταση, π.χ. πρωτόκολλο σκίασης κλπ. (Σχήμα 3.3)



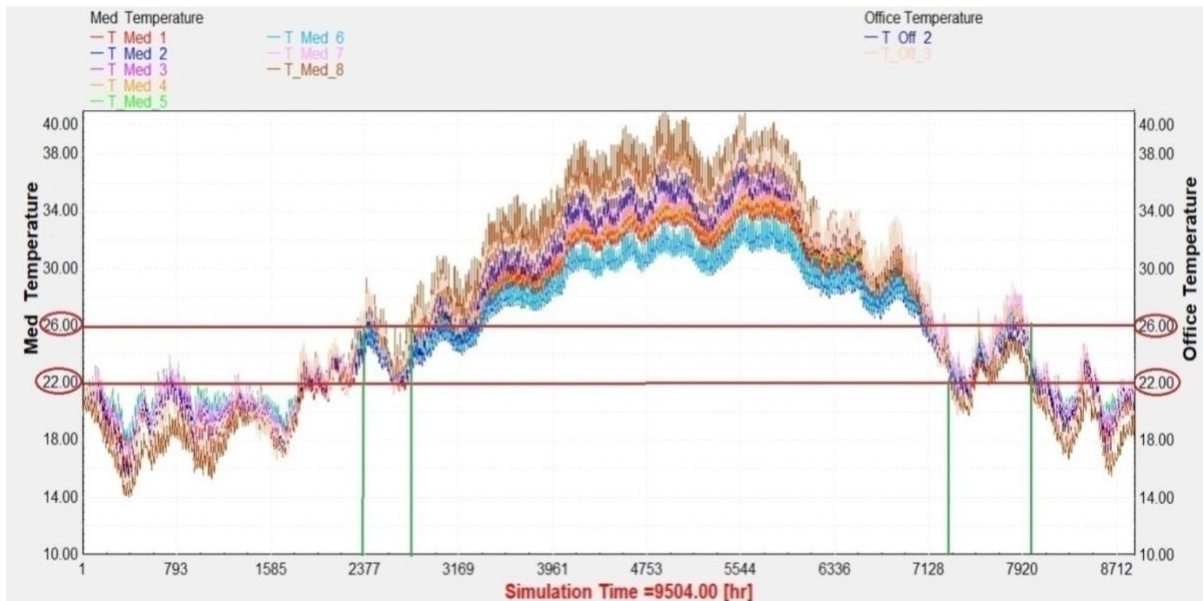
Σχήμα 3.3: Θερμοκρασία θερμικών ζωνών καθ’ όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, χωρίς την ύπαρξη συστημάτων θέρμανσης και ψύξης

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 3.3) αποτυπώνονται οι χρονικές περίοδοι όπου απαιτείται θέρμανση (κάτω από την γραμμή των 22°C) και ψύξη (πάνω από την γραμμή των 26°C). Παρατηρείται ότι υπάρχει αλληλοεπικάλυψη των δύο περιόδων για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, όπου λαμβάνει χώρα και θέρμανση και ψύξη, γεγονός που οφείλεται στα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής. Τα διαστήματα αυτά οριοθετούνται από τη 10^η Απριλίου έως την 24^η Απριλίου και από την 1^η Νοεμβρίου έως τη 27^η Νοεμβρίου. Συνολικά, το μοντέλο θερμαίνεται και ψύχεται ταυτοχρόνως για διάστημα 42 ημερών. (Σχήμα 3.4)

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ο διαχωρισμός του έτους σε περιόδους ψύξης και θέρμανσης και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.16. Ο διαχωρισμός αυτός υιοθετείται σε όλη την εργασία.

Πίνακας 3.16: Περίοδοι θέρμανσης- ψύξης

Περίοδος	Χρονικό Διάστημα
Θέρμανσης	1 ^η Ιανουαρίου έως 24 ^η Απριλίου και 1 ^η Νοεμβρίου έως 31 ^η Δεκεμβρίου
Ψύξης	10 ^η Απριλίου έως 27 ^η Νοεμβρίου



Σχήμα 3.4: Αλληλοεπικάλυψη περιόδων θέρμανσης και ψύξης

3.2 Συνοπτική περιγραφή συστημάτων ψύξης και θέρμανσης

Στο υπάρχον σενάριο λειτουργούν παράλληλα δύο βασικά κυκλώματα, η θέρμανση και η ψύξη, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες που χρειάζεται να καλύψουν. Επειδή η παρούσα εργασία εξετάζει την επίδραση της σκίασης σε ένα μέρος του κτιρίου και όχι σε ολόκληρο το κτίριο, επιλέχθηκαν θεωρητικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης αντί για τα πραγματικά που είναι κεντρικό σύστημα θέρμανσης και ψύξης.

1. Ψύξη

Η ψύξη θεωρήθηκε ότι εξασφαλίζεται με χρήση ξεχωριστής μονάδας κλιματιστικού διαιρούμενου τύπου (τύπου split) για κάθε θερμική ζώνη, τα οποία αφαιρούν θερμότητα από το χώρο. Όλες οι συσκευές κλιματισμού λειτουργούν βασιζόμενες στην ίδια αρχή λειτουργίας, αυτήν του ψυκτικού κύκλου και αποτελούνται από τα στοιχεία: συμπιεστή, συμπυκνωτή, εκτονωτική βαλβίδα και εξατμιστή. Τα κλιματιστικά τύπου split αποτελούνται από μια εξωτερική μονάδα μέσα στην οποία βρίσκεται ο συμπιεστής και ο συμπυκνωτής, και από μια ή περισσότερες εσωτερικές μονάδες μέσα στις οποίες βρίσκονται ο εξατμιστής και η εκτονωτική βαλβίδα. Ο ψυκτικός κύκλος έχει τέσσερα στάδια και βασίζεται στην αλλαγή της κατάστασης που κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο μέσα στο σύστημα: Αρχικά, το ψυκτικό μέσο εισέρχεται σε αέρια μορφή με χαμηλή πίεση στο συμπιεστή, όπου θερμαίνεται και αυξάνεται η πίεσή του. Έπειτα, κατευθύνεται προς τον συμπυκνωτή, όπου αποβάλλει τη θερμότητά του στο περιβάλλον και μετατρέπεται σε υπόψυκτο υγρό υψηλής πίεσης. Το υγρό υψηλής πίεσης διέρχεται από τη βαλβίδα εκτόνωσης, η οποία μειώνει την πίεση και επομένως η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τη θερμοκρασία του χώρου που ψύχεται. Το ψυκτικό υγρό, πλέον χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας, κατευθύνεται προς τον εξατμιστή όπου απορροφά θερμότητα από τον αέρα του εσωτερικού χώρου. Το αέριο επιστρέφει στον συμπιεστή και ο κύκλος επαναλαμβάνεται από την αρχή. [44]

II. Θέρμανση

Η *θέρμανση* θεωρήθηκε ότι πραγματοποιείται με χρήση σώματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (Fan Coil Unit- FCU), που είναι τοποθετημένο σε κάθε θερμική ζώνη σε συνδυασμό με αντλία θερμότητας αέρα- νερού. Τα Fan Coils είναι εσωτερικές κλιματιστικές μονάδες οι οποίες συνδέονται σε κύκλωμα νερού και μεταδίδουν θερμική ενέργεια εντός του χώρου. Η λειτουργία τους βασίζεται στην εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα που δημιουργείται από τον ανεμιστήρα που διαθέτουν. Η θερμότητα του αέρα περιβάλλοντος παρέχεται μέσω του ζεστού νερού το οποίο οδηγείται στο εσωτερικό της μονάδας και ρέει ανάμεσα στα στοιχεία. Το ζεστό νερό που τροφοδοτούν τα Fan Coil παρέχεται μέσω της λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας αέρα-νερού. Η αντλία θερμότητας έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει ενέργεια από έναν χώρο χαμηλής θερμοκρασίας σε έναν χώρο υψηλότερης. Οι αντλίες θερμότητας αέρα-νερού λειτουργούν ακριβώς όπως τα κλιματιστικά, αντί όμως να μεταφέρουν την ενέργεια κατευθείαν στον αέρα την μεταφέρουν στο νερό των Fan Coil και η λειτουργία τους αποτελεί την αντίστροφη διαδικασία του ψυκτικού κύκλου. Για να λειτουργήσει σωστά μια αντλία θερμότητας, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να υπάρχει στο δίκτυο του νερού μια ελάχιστη ποσότητα νερού. Για την εύρυθμη λειτουργία, πέρα του νερού που υπάρχει στο δίκτυο χρησιμοποιείται μικρό δοχείο αδράνειας, ώστε να διατηρεί την απαραίτητη θερμοκρασία επί πολύ χρόνο και να είναι άμεσα διαθέσιμο. Πρόκειται για δοχείο με καλή θερμομόνωση, εγκατεστημένο σε ειδικό, προστατευμένο από τις καιρικές συνθήκες χώρο. Τέλος, με λειτουργία κυκλοφορητή μεταφέρεται το ζεστό νερό από το δοχείο προς τις τερματικές μονάδες θέρμανσης, καθώς και από το δοχείο προς την αντλία θερμότητας. [45]

3.3 Έλεγχος και πρωτόκολλα ελέγχου

3.3.1.1 Συστήματα θέρμανσης και ψύξης

Όπως αναφέρεται παραπάνω, για οποιαδήποτε παρέμβαση στο κτήριο θεωρείται ως προϋπόθεση η ικανοποίηση της διατήρησης της μέσης θερμοκρασίας κάθε θερμικής ζώνης εντός του θερμοκρασιακού εύρους των 22-26°C. Η παραπάνω συνθήκη εξασφαλίζεται με την ορθή λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Αρχικά, το κάθε κύκλωμα λειτουργεί κατά την αντίστοιχη περίοδο του έτους, δηλαδή περίοδος θέρμανσης ή ψύξης. Κάθε θερμική ζώνη είναι εξοπλισμένη με θερμοστάτη χώρου, ο οποίος αποστέλλει το κατάλληλο σήμα στο εκάστοτε σύστημα, δέχοντας ως είσοδο την εσωτερική θερμοκρασία. Για λόγους πιο ομαλής διαμόρφωσης του θερμοκρασιακού προφίλ εντός του χώρου, και αποφυγή ανεπιθύμητων ενεργοποιήσεων και απενεργοποιήσεων των συστημάτων, οι θερμοστάτες λειτουργούν με υστέρηση 3°C. Έτσι, η ρύθμιση του θερμοστάτη προβλέπει την εκπομπή σήματος εκκίνησης της θέρμανσης, σε περίπτωση που η εσωτερική θερμοκρασία λάβει τιμή μικρότερη των 23.5 °C, ενώ εκπέμπει σήμα εκκίνησης της ψύξης, σε περίπτωση που ξεπεράσει τους 24.5 °C.

Ακόμα, το σύστημα θέρμανσης προϋποθέτει την ύπαρξη άμεσα διαθέσιμου ζεστού νερού και σε κατάλληλη θερμοκρασία εντός της δεξαμενής, προκειμένου να καλύπτει τις ανάγκες των τερματικών μονάδων. Η συνθήκη αυτή εξασφαλίζεται με χρήση θερμοστάτη παρόμοιας λειτουργίας με εκείνον των θερμικών ζωνών, με μοναδική διαφορά ότι ελέγχει

τη θερμοκρασία του υγρού της δεξαμενής. Ο θερμοστάτης αυτός λαμβάνει ως επιθυμητή θερμοκρασία τους 55°C, ενώ η υστέρησή του είναι 5 °C.

3.3.1.2 Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα

Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα μεταβαίνουν από την κατάσταση διαύγειας προς την κατάσταση πλήρους χρωματισμού και αντιστρόφως, με βάση το πρωτόκολλο ελέγχου που ορίζεται. Πραγματοποιείται δοκιμή για τον έλεγχο των ηλεκτροχρωμικών με βάση την άμεση προσπίπτουσα κάθετη ακτινοβολία και με φωτεινότητα του εξωτερικού περιβάλλοντος. Πρακτικά, η λειτουργία είναι παρόμοια με το θερμοστάτη, καθώς η εναλλαγή λαμβάνει χώρα όταν η επιλεγμένη είσοδος ξεπεράσει μια προκαθορισμένη τιμή. Η τιμή αυτή αποτελεί αντικείμενο διερεύνησης και μελετάται σε επόμενο κεφάλαιο. Επίσης, ως πρωτόκολλα λειτουργίας δοκιμάζονται η χρήση της ιδιότητας του ηλεκτροχρωμισμού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και όσο διαρκεί η περίοδος ψύξης που ορίζεται από τις ανάγκες του μοντέλου. Ως υφιστάμενη κατάσταση ελέγχου των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων ορίζεται η λειτουργία τους καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με είσοδο το φυσικό μέγεθος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ η μετάβαση από τη διαυγή στην πλήρως χρωματισμένη κατάσταση λαμβάνει χώρα στην τιμή 150 W/ m².

4. Μοντελοποίηση

4.1 Περιγραφή λογισμικών

4.1.1 TRNSYS- Transient System Simulation Tool

Γενικά χαρακτηριστικά:

Το TRNSYS είναι ένα πλήρες και επεκτάσιμο λογισμικό προσομοίωσης, κατάλληλο για δυναμική μελέτη συστημάτων, όπως πολυζωνικά κτήρια, στο ζητούμενο χρόνο και για τον λόγο αυτό, αποτελεί ένα αρκετά δημοφιλές εργαλείο ανάμεσα σε μηχανικούς και ερευνητές. Προσφέρει τη δυνατότητα μοντελοποίησης μεγάλου πλήθους τεχνολογικών εφαρμογών, από απλά συστήματα θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού έως τη σχεδίαση και μοντελοποίηση κτηρίων και του εξοπλισμού τους, συμπεριλαμβανομένων τις στρατηγικές ελέγχου, τις συμπεριφορές των κατοίκων, εναλλακτικές μεθόδους ενεργειακών συστημάτων (αιολικά, ηλιακά, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου), κλπ. Ακόμα, η αρθρωτή του δομή, η διάθεση του πηγαίου κώδικα του πυρήνα και της μοντελοποίησης των εξαρτημάτων προς τους τελικούς χρήστες, διευκολύνει την περαιτέρω επέκταση των υπάρχουσών λειτουργιών και προσαρμογή τους στις ανάγκες του εκάστοτε σεναρίου. Παρέχεται η δυνατότητα συνεργασίας συμβατών λογισμικών για την ακριβέστερη είσοδο δεδομένων, την επεξεργασία και παρουσίαση αποτελεσμάτων κλπ. Παραδείγματα τέτοιων λογισμικών είναι το SketchUp 2018, το WINDOW7.8, το MATLAB, το Microsoft Excel κ.ά.

Κάποιες από τις εφαρμογές που περιλαμβάνει είναι:

- Ηλιακά συστήματα (ηλιοθερμικά και ΦΒ)
- Κτήρια χαμηλής ενέργειας και συστήματα HVAC με αναβαθμισμένα χαρακτηριστικά σχεδιασμού (φυσικός εξαερισμός, πλάκες θέρμανσης/ψύξης, διπλή πρόσοψη, κλπ.)
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συμπαγωγή, κυψέλες καυσίμων
- Πλήθος λειτουργιών σχετικά με δυναμική προσομοίωση.

Αρχή λειτουργίας:

Οι προσομοιώσεις στο *TRNSYS* δημιουργούνται συνδέοντας ξεχωριστά στοιχεία-μοντέλα (Types) σε ένα σύνολο στοιχείων, με παρόμοιο τρόπο όπως θα συνέβαινε σε μία πραγματική εγκατάσταση. Το κάθε εξάρτημα αναπαριστά ένα κομμάτι του συνολικού συστήματος, το οποίο μοντελοποιείται από τις αντίστοιχες μαθηματικές εξισώσεις που ποσοτικοποιούν τη λειτουργία του, όπως αντλίες, σωλήνες, ηλιακούς συλλέκτες, κλπ. Το κάθε Type αποτελείται από δύο τύπους εισόδου δεδομένων, *INPUTS* και *PARAMETERS*, για δεδομένα που μεταβάλλονται στον χρόνο ή όχι αντίστοιχα. Επίσης σε κάθε Type προκύπτουν τα δεδομένα εξόδου (*OUTPUTS*). Το πρόγραμμα διαθέτει μεγάλη βιβλιοθήκη με πάνω από 100 Types για τον χρήστη. Η επεκτασιμότητα του TRNSYS έγκειται στη δυνατότητα του χρήστη να παρέμβει στην τροποποίηση του εκάστοτε Type όσο και στην δημιουργία καινούριου.

4.1.1.1 Simulation Studio

Το βασικό γραφικό περιβάλλον του *TRNSYS* είναι το *Simulation Studio*. Σε αυτό, λαμβάνει χώρα η δημιουργία των projects, συνδέοντας τα *Types* μεταξύ τους και ορίζοντας τις παραμέτρους. Οι πληροφορίες του σεναρίου αποθηκεύονται στο αντίστοιχο αρχείο του project, ενώ κατά το 'τρέξιμο' της προσομοίωσης, το *Studio* δημιουργεί αυτόματα ένα αρχείο εισόδου, το οποίο περιέχει όλες τις πληροφορίες σε μορφή κειμένου. Περιέχει διαχειριστή εξόδου (*output manager*), από τον οποίο έχει τη δυνατότητα να ελέγξει ποιες μεταβλητές θα ολοκληρωθούν, εκτυπωθούν ή/και παρουσιασθούν γραφικά. Ακόμα, περιέχει διαχειριστή σφαλμάτων, ο οποίος δίνει τη δυνατότητα διεξοδικής παρακολούθησης όσων λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

4.1.1.2 TRNBuild

Για την περαιτέρω επεξεργασία ενός πολυζωνικού κτηρίου, που μοντελοποιείται με το *Type 56* στο *Simulation Studio*, προσφέρεται η δυνατότητα στον χρήστη μεγαλύτερης εποπτείας και ρύθμισης των επιθυμητών παραμέτρων, μέσω του περιβάλλοντος του *TRNBuild*. Μέσω αυτού, μοντελοποιείται η θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου διαιρεμένο σε διαφορετικές θερμικές ζώνες, εισάγοντας τα απαραίτητα δεδομένα. Παρέχεται η δυνατότητα λεπτομερούς καθορισμού της κατασκευής του κελύφους, καθώς και οτιδήποτε σχετίζεται με τον καθορισμό της θερμικής συμπεριφοράς του κτηρίου, όπως τις οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων, προγραμματισμό θέρμανσης και ψύξης, καθορισμός της σκίασης, της στρατηγικής ελέγχου της κ.ά. Το *TRNBuild* παράγει το αντίστοιχο αρχείο που περιγράφει το κτίριο και περιέχει όλες τις πληροφορίες που το αφορούν.

4.1.2 **GoogleSketchUp 18**

Το *TRNSYS* χρησιμοποιεί το *TRNSYS3d*, ως επιπρόσθετο πρόγραμμα για να εισάγει την ακριβή γεωμετρία του υπό μελέτη κτηρίου, η οποία παράγεται με χρήση του *SketchUp*. Το *SketchUp* είναι ένα 3D πρόγραμμα σχεδίασης, αρκετά δημοφιλές ανάμεσα σε μηχανικούς, αρχιτέκτονες αλλά και απλούς χρήστες, λόγω μεγάλης ευκολίας του στην χρήση αλλά και στις πολλές δυνατότητες που προσφέρει. Παράλληλα με την λεπτομερή σχεδίαση του κελύφους, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να διαμορφώσει τις οριακές συνθήκες, τον προσανατολισμό, τους υαλοπίνακες, τη σκίαση, τη λειτουργικότητα του κτιρίου, το ανάγλυφο του εδάφους κ.ά. Με την επέκταση του *TRNSYS3d*, το κτίριο σχεδιάζεται με βάση τον διαχωρισμό σε θερμικές ζώνες, έτσι ώστε να μελετηθούν ακριβέστερα τα φαινόμενα μεταφοράς ενέργειας. Ακόμα, καθορίζονται οι σχέσεις σύζευξης μεταξύ των θερμικών ζωνών και οι συνθήκες που επικρατούν. Το αρχείο που παράγεται με τις πληροφορίες της γεωμετρίας και της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου, εισάγεται στο *type56* στο *Simulation Studio* και παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες.

4.1.3 **WINDOW 7.8**

Το *TRNBuild* διαθέτει περιορισμένη βιβλιοθήκη παραθύρων, ενώ τα διαθέσιμα παράθυρα δεν ανταποκρίνονταν στις ανάγκες της παρούσας εργασίας, καθώς τα οπτικά και θερμικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη υαλοπινάκων απείχαν σημαντικά. Για ακριβέστερη μοντελοποίηση και εισαγωγή των υαλοπινάκων, κουφωμάτων και πλαισίων έγινε χρήση

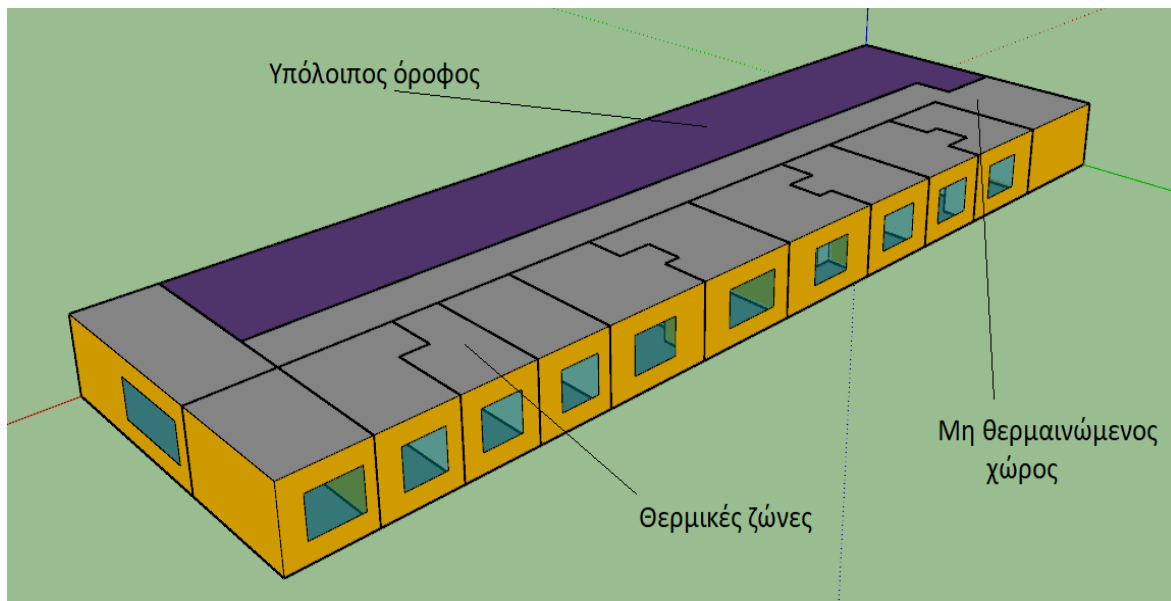
του λογισμικού *WINDOW 7.8*. Μέσω αυτού, υπολογίζονται οι συνολικές τιμές των σχετικών μεταβλητών (π.χ.θερμοπερατότητα, συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, συντελεστές ηλιακού θερμικού κέρδους, σταθερές σκίασης κ.ά.). Διαθέτει βιβλιοθήκη με πλούσια γκάμα υλικών για το πλαίσιο, τον υαλοπίνακα και του αερίου πλήρωσης μεταξύ των υαλοπινάκων σε περίπτωση πολλών στρώσεων. Με βάση το ζητούμενο πάχος και εμβαδόν, υπολογίζονται οι τελικές τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών του παραθύρου (SHGC, U). Τέλος, εισάγεται το επιθυμητό παράθυρο στην αντίστοιχη βιβλιοθήκη του *TRNBuild* και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σενάριο που μελετάται.

4.2 Μοντελοποίηση κτηρίου και της λειτουργίας του

Η σχεδίαση και ο διαχωρισμός στις επιθυμητές θερμικές ζώνες έγινε από το λογισμικό *GoogleSketchUp 2018*, με χρήση του *TRNSYS3dplugin*. Ο καθορισμός των λειτουργιών και ιδιοτήτων του κτηρίου που σχετίζονται με τις ενεργειακές του ανάγκες, δηλαδή η τοιχοποιία, τα παράθυρα, η σκίαση, το προφίλ λειτουργίας, τα εσωτερικά κέρδη, η σκίαση, ο αερισμός και η διείσδυση αέρα έλαβε χώρα μέσω του λογισμικού *TRNBuild*. Παρακάτω, ακολουθεί η μέθοδος μοντελοποίησης των παραπάνω στοιχείων.

4.2.1 Μοντελοποίηση γεωμετρίας

Για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου που μελετάται, έγινε χρήση του αρχιτεκτονικού σχεδίου. Η γεωμετρία του κτηρίου, οι διαστάσεις των διαφανών και αδιαφανών δομικών στοιχείων μοντελοποιήθηκαν με βάση την πραγματική κάτοψη που μελετάται. Εφόσον στο σενάριο αυτό η θερμότητα μεταφέρεται μόνο μέσω των κατακόρυφων δομικών στοιχείων, η σχεδίαση των υπόλοιπων ορόφων κρίθηκε περιττή. Το ύψος όλων των ζωνών θεωρήθηκε ως τρία μέτρα. Το Σχήμα 4.1 παρουσιάζει την υπομελέτη γεωμετρία σε περιβάλλον *SketchUp*. Η κόκκινη και πράσινη γραμμή ορίζει το δυτικό και το νότιο προσανατολισμό, αντίστοιχα. Ο ενδιάμεσος διάδρομος του ορόφου θεωρήθηκε μη θερμαινόμενος χώρος (ΜΘΧ), δηλαδή χώρος ενεργειακά αδρανής. Δεν διαθέτει σύστημα θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού/ μηχανικού αερισμού.



Σχήμα 4.1: Τριδιάσταση αποτύπωση μελετούμενου ορόφου μέσω SketchUp

Το τμήμα του ορόφου πέραν των χώρων που μελετώνται και του διαδρόμου, μοντελοποιούνται ως φυσική σκίαση, ενώ τα αδιαφανή δομικά στοιχεία που μεσολαβούν θεωρούνται αδιαβατικά (Σχήμα 4.1).

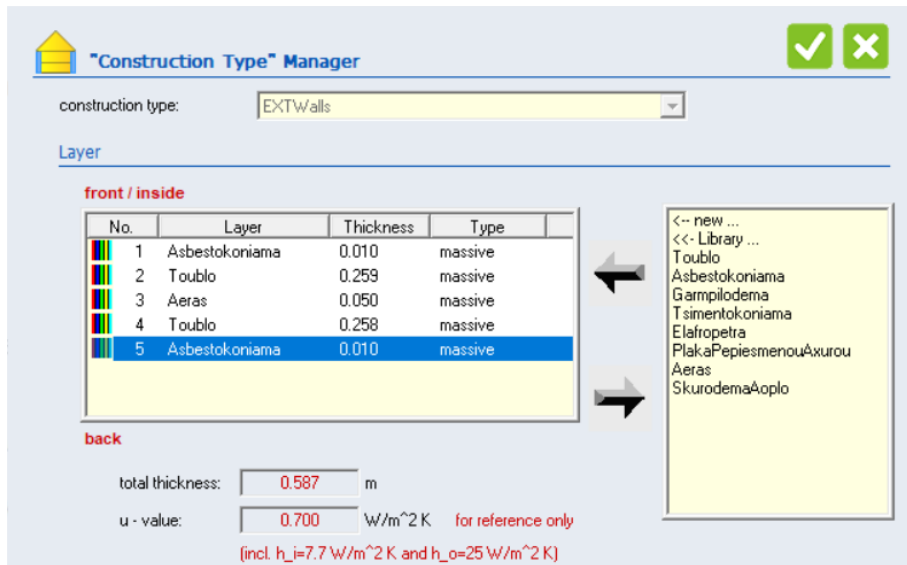
Σπουδαίο ρόλο στην θερμική συμπεριφορά του κτηρίου παίζει το γεγονός ότι, η μεταφορά θερμότητας καθ' ύψος θεωρείται αμελητέα, δηλαδή δεν υφίστανται θερμικές απώλειες από τα οριζόντια δομικά στοιχεία (πάτωμα και ταβάνι), τα οποία θεωρούνται αδιαβατικά. Συνεπώς, τα αδιαβατικά δομικά στοιχεία ορίζονται ως 'ιδανικά', ενώ για τα μη αδιαβατικά καθορίζονται οι συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον με το οποίο εφάπτονται, το εξωτερικό περιβάλλον ή η γειτνιάζουσα θερμική ζώνη για εξωτερικό και εσωτερικό τοίχο αντίστοιχα.

Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκαν οι ενεργειακές ανάγκες/καταναλώσεις για δέκα θερμικές ζώνες, εξαιτίας υπολογιστικών περιορισμών του λογισμικού. Προσομοιώθηκαν όλες οι θερμικές ζώνες του Σχήματος 3.1, θεωρώντας το διάδρομο ως μη θερμαινόμενο χώρο και τη ζώνη Of_1 με ιδεατά συστήματα θέρμανσης/ψύξης. Επιλέχθηκε να αφαιρεθεί η συγκεκριμένη θερμική ζώνη καθώς επηρέαζε ελάχιστα το ενεργειακό προφίλ του κτιρίου, σε σχέση με τις υπόλοιπες, ενώ δεν παρουσίαζε κάποιο ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον. Αυτό συμβαίνει λόγω της ενδιάμεσης θέσης που κατέχει εντός του κτηρίου σε σχέση με τις υπόλοιπες και επειδή αποτελεί τη θερμική ζώνη με την μικρότερη επιφάνεια. Ταυτόχρονα, η παραδοχή αυτή, φάνηκε να μην επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη.

4.2.2 Μοντελοποίηση τοιχοποιίας

Εφόσον η μελέτη που πραγματοποιείται είναι αμιγώς ενεργειακή, το βασικό μέγεθος που απασχόλησε είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας U , κάθε δομικού στοιχείου.

Δεδομένου αυτού, έλαβε χώρα η μοντελοποίηση της τοιχοποιίας μέσω του *TRNBuild*, επιλέγοντας τα υλικά και τα πάχη τους με βάση την ποιοτική και ποσοτική ταύτιση με την τελική υφιστάμενη κατάσταση. Τα δομικά υλικά με τις ιδιότητές τους που εισήχθησαν είναι τα: Οπτόπλινθοι, Ασβεστοκονίαμα, Τσιμεντοκονίαμα, Γαρμπιλόδεμα και ο Ξηρός αέρας (στους 20°C). Οι ιδιότητες των παραπάνω υλικών και οι λεπτομέρειες της τοιχοποιίας αποτυπώνονται στους πίνακες: (Πίνακας 3.3 και Πίνακας 3.4 αντίστοιχα). Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα για την περίπτωση της εισαγωγής των υλικών του εξωτερικού τοίχου σε περιβάλλον TRNSYS.



Σχήμα 4.2: Μοντελοποίηση εξωτερικού τοίχου μέσω TRNBuild

4.2.3 Μοντελοποίηση παραθύρων

Η μοντελοποίηση των παραθύρων πραγματοποιήθηκε μέσω του *WINDOW 7.8*. Η μικρή απόκλιση που παρατηρείται με τις πραγματικές τιμές (Πίνακας 4.1), θεωρείται ότι έχει μικρή επίδραση στο ενεργειακό προφίλ του κτηρίου, η οποία θεωρήθηκε αμελητέα.

Ακόμη, μοντελοποιήθηκαν οι δύο καταστάσεις των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων που μελετήθηκαν, οι οποίες παρουσιάζονται, επίσης, στον ίδιο πίνακα. Η λειτουργία του ηλεκτροχρωμισμού μοντελοποιήθηκε συνοπτικά ως εξής: Αρχικά, κατασκευάστηκαν μέσω του λογισμικού *WINDOW 7.8*, οι δύο ξεχωριστές καταστάσεις των EC παραθύρων σαν να επρόκειτο για διαφορετικά παράθυρα. Έπειτα, εισήχθησαν στη βιβλιοθήκη του *TRNBuild*, όπου τους δίνεται ένας συγκεκριμένος αριθμός μητρώου (ID). Εντός του περιβάλλοντος αυτού, το παράθυρο που επιλέγεται δηλώνεται με την επιλογή του επιθυμητού ID. Τέλος, με χρήση «έξυπνης» συνάρτησης στο περιβάλλον του *Simulation Studio*, ανάλογα με τη στρατηγική ελέγχου που καταστρώνεται, αλλάζει το παράθυρο που χρησιμοποιείται, δηλαδή η κατάσταση του ηλεκτροχρωμικού.

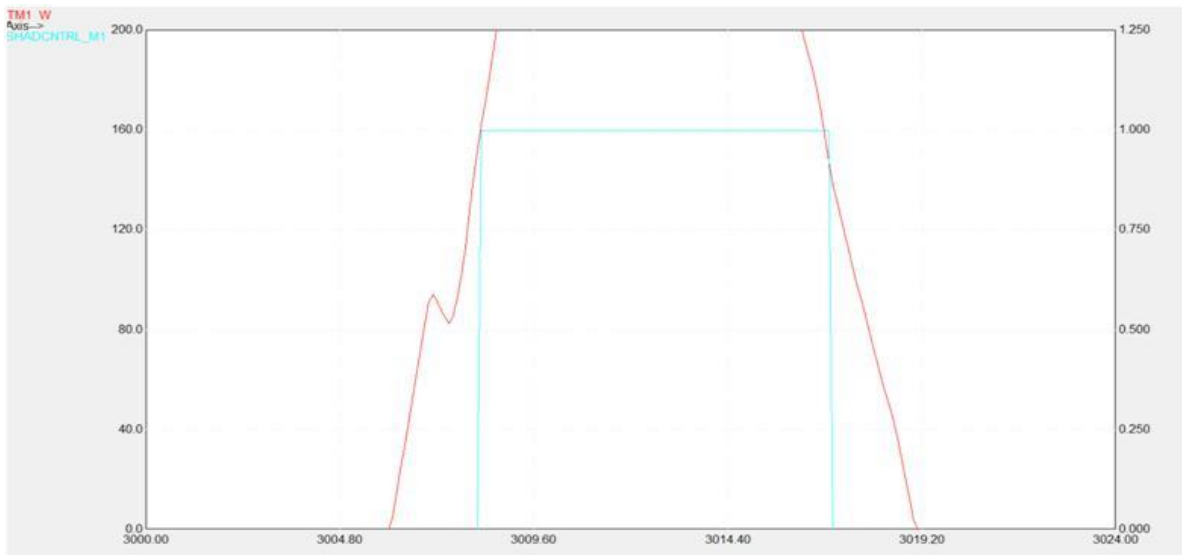
Πίνακας 4.1: Ιδιότητες παραθύρων κατά τη μοντελοποίηση μέσω WINDOW 7.8

Κατηγορία παραθύρου	Συντελεστής U [W/(m ² K)]	Συντελεστής g [-]	Διαπερατότητα σε ορατή ακτινοβολία [-]
Μοντέλο	2.711	0.757	0.822
Υφιστάμενο	2.7	0.75	0.81
Ηλεκτροχρωμικό- Clear	0.83	0.359	0.536
Ηλεκτροχρωμικό- Dark	0.83	0.106	0.135

Όπως αναφέρθηκε, για τη μελέτη της συμπεριφοράς του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου μοντελοποιήθηκαν οι δύο ακραίες καταστάσεις, η διαυγής (Clear) και η πλήρως χρωματισμένη (Dark).

4.2.4 Μοντελοποίηση σκίασης

Η μοντελοποίηση της σκίασης έλαβε χώρα μέσω ειδικής λειτουργίας που διαθέτει το *TRNBuild*. Η σκίαση, θεωρείται ως μια «στρώση» υλικού με δεδομένα χαρακτηριστικά, η οποία τοποθετείται είτε στο εσωτερικό, είτε στο εξωτερικό του τοίχου, αντίστοιχα με το είδος της σκίασης που χρησιμοποιείται. Ο συντελεστής σκίασης εκφράζει το ποσοστό της σκίασης της επιφάνειας του παραθύρου. Ο έλεγχος των συντελεστών σκίασης με χρήση του *TRNSYS* πραγματοποιείται με δύο τρόπους, είτε αφορά καθόλου σκίαση, είτε μόνο εξωτερική, είτε μόνο εσωτερική, είτε ταυτοχρόνως εσωτερική και εξωτερική σκίαση: Πρώτον, με έλεγχο εκτός του περιβάλλοντος του *TRNBuild*, πχ μέσω κάποιου INPUT που λαμβάνεται από το *Simulation Studio*. Δεύτερον, με βάση την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία του παραθύρου, που ρυθμίζεται από ειδικό παράθυρο εντός του *TRNBuild*, η οποία και επιλέχθηκε στην παρούσα εργασία. Όπως αναφέρεται στην περιγραφή της υπάρχουσας κατάστασης, το πρωτόκολλο λειτουργίας των συστημάτων σκίασης, ανεξαρτήτως είδους, έχει ως εξής: Η σκίαση λειτουργεί μόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης, ενώ ελέγχεται με βάση την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Συγκεκριμένα ενεργοποιείται όταν εκείνη ξεπεράσει τα 160 W/m² και απενεργοποιείται όταν γίνει μικρότερη των 140 W/m². (Σχήμα 4.3)



Σχήμα 4.3: Έλεγχος σκίασης στην υπάρχουσα κατάσταση με βάση τη συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στον υαλοπίνακα

4.2.5 Μοντελοποίηση λοιπών στοιχείων κτηρίου

Αρχικά, μέσω των δυνατοτήτων που προσφέρει το *TRNBuild* και το *Simulation Studio*, ορίστηκαν τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας και χρήσης (*Schedules*) του κτιρίου από τους χρήστες και τα ηλεκτρικά μηχανήματα, καθώς και ο καθορισμός των περιόδων θέρμανσης και ψύξης. Ακόμα, με βάση τα πραγματικά δεδομένα της υφιστάμενης κατάστασης λειτουργίας του κτηρίου, που αποτυπώνονται στο *Κεφάλαιο 3*, έλαβε χώρα η μοντελοποίηση του φυσικού αερισμού (*Ventilation*) και της διείσδυσης αέρα (*Infiltration*), των εσωτερικών θερμικών κερδών (*Thermal Gains*) από τους χρήστες, τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό και τα φώτα.

4.3 Μοντελοποίηση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης

Η ενοποίηση όλων των παραπάνω δεδομένων και μοντέλων, καθώς και η μοντελοποίηση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης έλαβε χώρα με χρήση του λογισμικού *TRNSYS*. Εκεί, καθορίζονται τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά, οι φυσικές και «λογικές» συνδέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων, η ρύθμιση των πρωτοκόλλων λειτουργίας κ.ά. Η προσομοίωση των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης βασίστηκε στην υφιστάμενη κατάσταση, όπως περιγράφεται στο *Κεφάλαιο 3*, λαμβάνοντας υπόψιν συγκεκριμένες παραδοχές.

4.3.1 Μοντέλα TRNSYS που χρησιμοποιήθηκαν:

- A. Κοινά:** Αποτελούν τα μοντέλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σε όλα τα σενάρια που έλαβαν χώρα.
 - **Πολυζωνικό κτίριο (Building/Type56).** Αποτελεί τον πυρήνα όλων των προσομοιώσεων, καθώς εκφράζει τις συνθήκες που επικρατούν στο πολυζωνικό κτήριο που μοντελοποιήθηκε. Το Type αυτό προσομοιάζει τα θερμοφυσικά

χαρακτηριστικά του κτιρίου χωρισμένο σε διαφορετικές θερμικές ζώνες. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η γεωμετρία, ο προσανατολισμός, ενεργειακή συμπεριφορά των εσωτερικών του στοιχείων κλπ. Προσφέρεται, έτσι, η δυνατότητα υπολογισμού πλήθους πληροφοριών αναφορικά με τις συνθήκες που επικρατούν εντός του κτηρίου, για παράδειγμα η εσωτερική θερμοκρασία. Οι παράμετροι και οι είσοδοι/έξοδοι του στοιχείου αυτού επεξεργάζονται και εισάγονται στο *Simulation Studio* μέσω του περιβάλλοντος *TRNBuild*.



Σχήμα 4.4: Type56

- **Μετεωρολογικά δεδομένα (Weather/Type 15-6).** Το Type αυτό εισάγει τα μετεωρολογικά δεδομένα που είναι απαραίτητα για τα συστήματα και το κτήριο, όπως παραμέτρους θερμοκρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας και υγρασίας. Συγκεκριμένα, τα πλησιέστερα διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα που διαθέτει το *TRNSYS* είναι αυτά της περιοχής «Ελληνικό», τα οποία χρησιμοποιήθηκαν με το *Meteonorm*.



Σχήμα 4.5: Type15-6

- **Εξίσωση (Equation).** Το Type αυτό παρέχει χρήσιμες δυνατότητες στα σενάρια του *Simulation Studio*, όπως να επεξεργάζεται τα δεδομένα με τρόπους που δεν παρέχονται από τα υπόλοιπα μοντέλα, να ορίζει σταθερές και μεταβλητές και να ορίζει συνθήκες. Παρέχεται η δυνατότητα λογικών πράξεων Boolean, εκτός από μαθηματικών, συναρτήσεων με μεταβλητή τον πραγματικό χρόνο κ.ά. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι ή έξοδοι σε κάποιο άλλο Type, είτε να λάβουν τιμές από εξωτερικό αρχείο.



Σχήμα 4.6: Equation

- **Θερμοστάτης (Thermostat/ Type166).** Το Type αυτό προσομοιώνει έναν απλό θερμοστάτη δωματίου on/off, δηλαδή ως έξοδο δίνει σήμα "1" όταν ενεργοποιείται, αλλιώς δίνει "0". Επίσης, ορίζεται η παράμετρος του θερμοκρασιακού εύρους (Temperature deadband), που εκφράζει την υστέρηση του συστήματος ελέγχου αυτού, δηλαδή το περιθώριο που παρέχεται για ρύθμιση της εξόδου και στην πράξη αποτελεί το μισό της επιλεγμένης τιμής ('προς τα πάνω' και 'προς τα κάτω').



Σχήμα 4.7: Type166

B. Σύστημα Θέρμανσης: Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν μόνο στο κύκλωμα θέρμανσης είναι τα εξής:

- **Αντλία θερμότητας αέρα – νερού (HP/ Type917).** Το Type αυτό προσομοιώνει μία μονοβάθμια αντλία θερμότητας αέρα – νερού. Κατά τη λειτουργία της σε συνθήκες θέρμανσης ρυθμίζει τη θερμοκρασία του κυκλώματος νερού απορροφώντας ενέργεια από τον αέρα περιβάλλοντος. Δημιουργεί κλειστό κύκλωμα νερού με τη δεξαμενή (Tank) και δρα σαν θερμό στοιχείο εναλλάκτη, καθώς ζεσταίνει το νερό της δεξαμενής.



Σχήμα 4.8: Type917

- **Μονάδα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα-Fan Coil (Heat_#Zone/ Type 996).** Το Type αυτό προσομοιώνει θερμαντικό σώμα εξαναγκασμένης ροής τύπου Fan Coil Unit (FCU) και χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του αέρα εντός κάθε θερμικής ζώνης. Το μοντέλο αυτό εναλλάσσει θερμότητα μεταξύ του αέρα της θερμικής ζώνης και του κυκλώματος νερού της δεξαμενής. Διαθέτει αρχείο με κατάλογο των χαρακτηριστικών λειτουργίας του, όπως την ονομαστική του ισχύ και την παροχή αέρα έτσι, ώστε με γραμμική παρεμβολή αυτών και των εισόδων του να προκύπτει η απόκριση της μονάδας.



Σχήμα 4.9: Type966

- **Κυλινδρική κάθετη δεξαμενή (Tank/ Type158).** Το Type αυτό προσομοιώνει το δοχείο αποθήκευσης σταθερού όγκου. Διαθέτει έως δύο εισόδους και δύο εξόδους ρευμάτων. Το ένα ρεύμα αφορά το δίκτυο της αντλίας θερμότητας, ενώ το άλλο τις τερματικές μονάδες. Στην πράξη αποτελεί έναν εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ του θερμού ρεύματος νερού που παρέχει η αντλία θερμότητας και των ψυχρών ρευμάτων των τερματικών μονάδων που επιστρέφουν στη δεξαμενή μέσω του συλλέκτη. Η δεξαμενή δύναται να χωριστεί σε ισόθερμους κόμβους έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται πιο ρεαλιστικός έλεγχος της θερμοκρασίας εντός του δοχείου. Κάθε κόμβος αλληλεπιδρά με αυτόν που βρίσκεται από πάνω και από κάτω του με μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας και μάζας, καθώς και με το περιβάλλον μέσω των θερμικών απωλειών.



Σχήμα 4.10: Type158

- **Περίοδος θέρμανσης (Winter_Heating_Force/ Type14k).** Το Type αυτό προσφέρει τη δυνατότητα ορισμού της χρονικής περιόδου όπου τα συστήματα λειτουργούν σε συνθήκες θέρμανσης. Στο χρονικό διάστημα αυτό δίνουν ως έξοδο σήμα "1", ενώ στο υπόλοιπο δίνουν "0".



Σχήμα 4.11: Type14k

- **Αντλία σταθερών στροφών (Pump_#Zone/ Type114):** Το Type αυτό προσομοιώνει τους κυκλοφορητές της γραμμής νερού που χρησιμοποιείται για να διακινήσει και να ρυθμίσει την εισερχόμενη ροή νερού από την αντλία θερμότητας προς το fancoil, καθώς και από την δεξαμενή προς την αντλία θερμότητας.



Σχήμα 4.12: Type114

- **Βαλβίδα ανάμιξης (Mixer/ Type649):** Στο Type αυτό αναμειγνύονται όλες οι επιστροφές των τερματικών μονάδων θέρμανσης και εισάγονται ως μια, πλέον, παροχή στη δεξαμενή. Η χρήση βαλβίδας ανάμιξης, εκτός των άλλων, διευκολύνει αρκετά την προσομοίωση, διότι το Type158 διαθέτει περιορισμένο αριθμό εισόδων.



Σχήμα 4.13: Type649

- **Βαλβίδα εκτροπής (Diverter/ Type647):** Ομοίως με τη βαλβίδα ανάμιξης, η βαλβίδα εκτροπής λύνει το πρόβλημα των περιορισμένων εξόδων που προσφέρει το μοντέλο της δεξαμενής. Με χρήση της βαλβίδας αυτής, το θερμό νερό που εξέρχεται της δεξαμενής διαμοιράζεται προς τον κυκλοφορητή και συνεπώς τη τερματική μονάδα κάθε ζώνης.



Σχήμα 4.14: Type647

i) **Σύστημα Ψύξης:** Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στο κύκλωμα ψύξης είναι τα εξής:

- **Κλιματιστικό διαιρούμενου τύπου (AC-split) (Cool_Zone/Type954c):** Το Type αυτό προσομοιώνει τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα κλιματιστικό διαιρούμενου τύπου. Βασίζεται στην αρχή λειτουργίας του ψυκτικού κύκλου και αποτελείται από τα στοιχεία: συμπιεστή, συμπυκνωτή, εκτονωτική βαλβίδα και εξατμιστή. Ο όρος split (διαιρούμενο) χαρακτηρίζει μια οικογένεια κλιματιστικών συσκευών, τα επιμέρους στοιχεία των οποίων δεν βρίσκονται στο ίδιο πλαίσιο αλλά σε δύο διαφορετικά: στη λεγόμενη εξωτερική μονάδα που περιέχει το συμπιεστή και το συμπυκνωτή και στην εσωτερική μονάδα που περιέχει τον εξατμιστή και την εκτονωτική βαλβίδα. Οι αντίες θερμότητας αέρα-αέρα προσλαμβάνουν ενέργεια από το εξωτερικό περιβάλλον και την μεταφέρουν απευθείας στον αέρα που κυκλοφορεί στον εσωτερικό χώρο. Η προσομοίωση της αρχής λειτουργίας τους με κατάλογο δεδομένων είναι όμοια με εκείνη των FCU's.



Σχήμα 4.15: Type954c

- **Ανεμιστήρας σταθερών στροφών (Fan_Zone/ Type146):** Το Type αυτό προσομοιώνει τον ανεμιστήρα του κλιματιστικού. Πρακτικά δεν έχει κάποια επιπλέον λειτουργία καθώς το κλιματιστικό τον εμπεριέχει, ωστόσο το μοντέλο παρουσίασε καλύτερη υπολογιστική συμπεριφορά.



Σχήμα 4.16: Type146

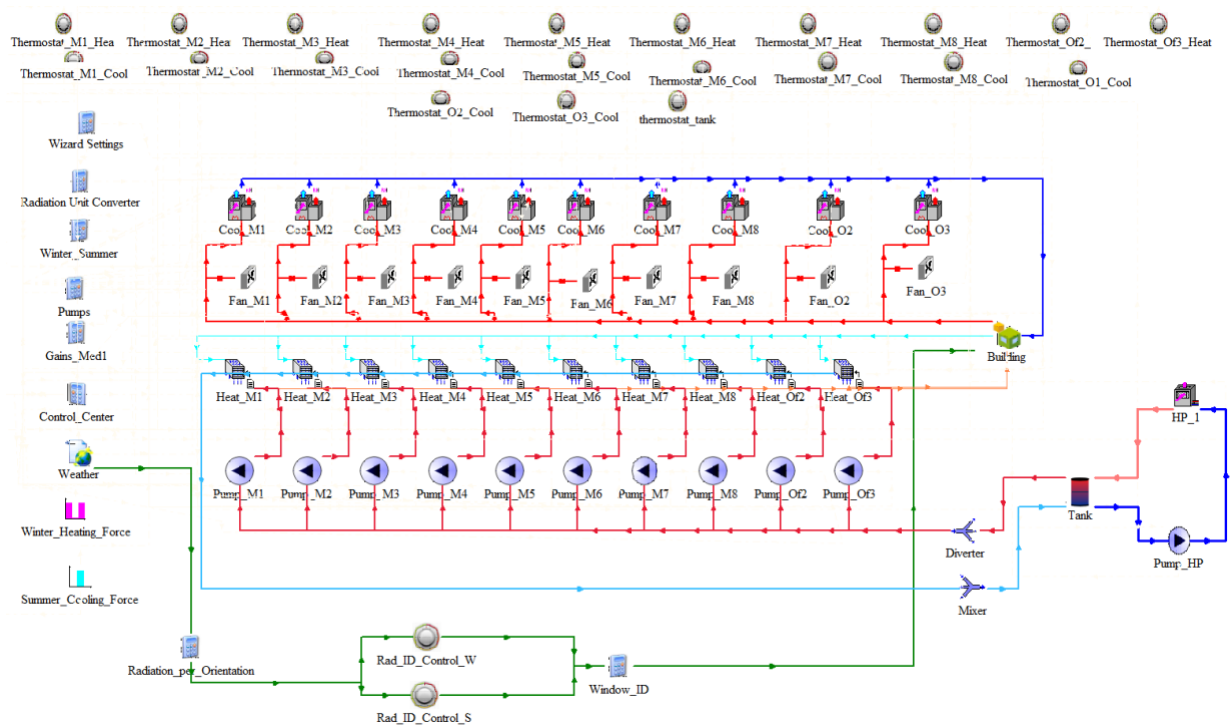
- **Περίοδος ψύξης (Summer_Cooling_Force/ Type14I):** Παρόμοια με το Winter_Heating_Force, το Type αυτό προσφέρει τη δυνατότητα ορισμού της χρονικής περιόδου όπου τα συστήματα ψύξης λειτουργούν. Στο χρονικό διάστημα αυτό δίνουν ως έξοδο σήμα "1", ενώ στο υπόλοιπο δίνουν "0".



Σχήμα 4.17: Type14I

4.3.2 Περιγραφή κυκλωμάτων:

Το πλήρες μοντέλο της προσομοίωσης που έλαβε χώρα παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.18). Κεντρικό ρόλο καταλαμβάνει το *Type56* που εκφράζει το μοντέλο του κτηρίου (με την ονομασία «*Building*»). Παρουσιάζεται στο κέντρο και συνδέεται με την πλειοψηφία των υπόλοιπων *Types*.



Σχήμα 4.18: Simulation Studio: Πλήρες Κύκλωμα

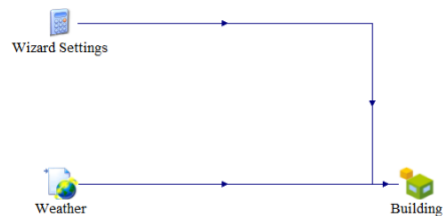
Πάνω από το *Type56* βρίσκεται το κύκλωμα ψύξης (κλιματιστικά split). Με ανοιχτό κόκκινο χρώμα συμβολίζεται το ρεύμα θερμού αέρα του χώρου που εισέρχεται στα κλιματιστικά, ενώ με μπλε του ψυχρού αέρα που αποδίδουν τα κλιματιστικά στον χώρο.

Κάτω από το *Type56* του κτηρίου εμφανίζεται το σύστημα θέρμανσης. Στο σύστημα θέρμανσης αλληλεπιδρούν δύο κυκλώματα νερού και ένα κύκλωμα αέρα. Με γαλάζιο χρώμα συμβολίζεται το ρεύμα ψυχρού αέρα του εσωτερικού χώρου που επιστρέφει στις θερματικές μονάδες θέρμανσης, ενώ με πορτοκαλί του θερμού αέρα που εισάγουν στις θερμικές ζώνες. Το κύκλωμα νερού που βρίσκεται αριστερά της δεξαμενής αποτελείται από τα Fan Coils, τους κυκλοφορητές τους και τις βαλβίδες εκτροπής και ανάμιξης. Με σκούρο κόκκινο χρώμα συμβολίζεται το θερμό ρεύμα νερού, με το οποίο τροφοδοτεί η δεξαμενή τα FCU's, ενώ με γαλάζιο το ψυχρό ρεύμα που επιστρέφει στη δεξαμενή. Δεξιά της δεξαμενής, με ροζ χρώμα συμβολίζεται το ζεστό νερό, με το οποίο τροφοδοτεί η αντλία θερμότητας αέρα-νερού τη δεξαμενή. Με μπλε χρώμα συμβολίζεται το ψυχρό νερό που επιστρέφει στην αντλία θερμότητας από τη δεξαμενή. Στα πάνω και κάτω μέρη εμφανίζονται τα στοιχεία της προσομοίωσης που σχετίζονται με τον έλεγχο, παραδείγματος χάρη οι θερμοστάτες. Αριστερά, αποτυπώνονται τα βοηθητικά *Types* που αποδίδουν

απαραίτητες πληροφορίες κατά τη διεξαγωγή της προσομοίωσης, όπως των κλιματολογικών δεδομένων.

4.3.2.1 Κοινά χαρακτηριστικά:

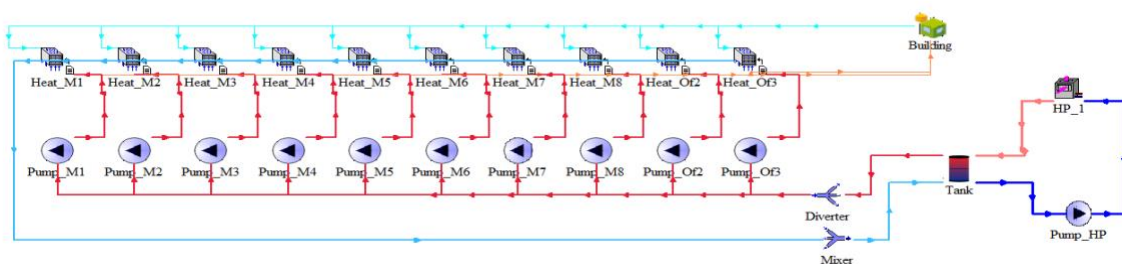
Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης είναι ίδια για κάθε θερμική ζώνη με μοναδική διαφορά τους τη διαστασιολόγησή. Απαραίτητο στοιχείο της μελέτης αποτελεί η ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου. Οι ανάγκες αυτές καθορίζονται από το κτήριο και τις λειτουργίες του, δηλαδή όλα τα στοιχεία με βάση τα οποία έγινε η μοντελοποίηση του. Σημαντικό ρόλο κατέχουν οι καιρικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κοντινή περιοχή του νοσοκομείου που μελετάται. Με το *Type15-6* παρέχονται τα απαραίτητα δεδομένα στο κτήριο και στα συστήματα θέρμανσης/ψύξης αναφορικά με τα δεδομένα του εξωτερικού αέρα, όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η ακτινοβολία κ.ά. Τέλος, κάποια δεδομένα που δεν ορίζονται από κάποιο *type*, όπως για παράδειγμα η γωνία του προσανατολισμού του κτηρίου ορίζονται μέσω *equation* απ' ευθείας από το χρήστη.



Σχήμα 4.19: Κλιματολογικές συνθήκες

4.3.2.2 Σύστημα θέρμανσης:

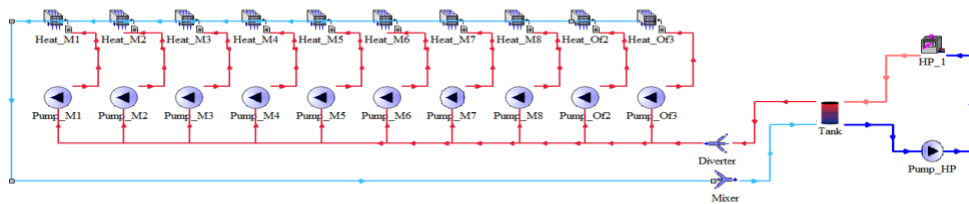
Το σύστημα θέρμανσης για κάθε θερμική ζώνη αποτελείται από δύο κυκλώματα, αέρα και νερού, τα οποία λειτουργούν παράλληλα και εναλλάσσουν θερμότητα μεταξύ τους στη μονάδα ανεμιστήρα-στοιχείου (FCU) (Σχήμα 4.20).



Σχήμα 4.20: Σύστημα θέρμανσης

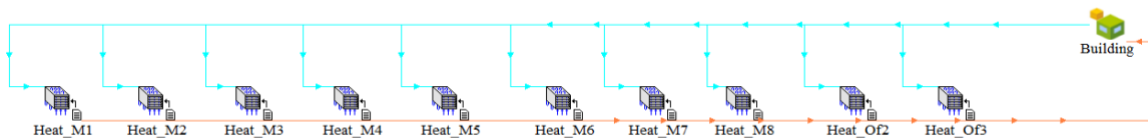
Κύκλωμα νερού (Σχήμα 4.22): Αποτελείται από δύο υποκυκλώματα με κοινό στοιχείο τη δεξαμενή αποθήκευσης. Αρχικά, στόχος της διάταξης είναι η παροχή και διατήρηση ζεστού νερού σε επαρκή θερμοκρασία στα FCU's έτσι, ώστε να μεταφέρουν την απαραίτητη

Θερμότητα στα ρεύματα αέρα. Για την επίτευξη αυτού, συνδέεται δοχείο αποθήκευσης, που λειτουργεί ως δεξαμενή ζεστού νερού άμεσα διαθέσιμου προς χρήση. Το ρευστό εντός της δεξαμενής κυκλοφορεί, συνεπώς υπάρχει ανακατανομή της μάζας του με ρεύματα διαφορετικής θερμοκρασίας. Λόγω της διαφοράς πυκνοτήτων που προκαλείται από τη διαφορά θερμοκρασίας, τα πιο ζεστά στοιχεία ρευστού, ως ελαφρύτερα, κινούνται προς το πάνω μέρος της δεξαμενής και αντιστρόφως με τα πιο ψυχρά. Για την προσομοίωση αυτού του φαινομένου και επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας, το δοχείο χωρίζεται καθ' ύψος, από το ψηλότερο στοιχείο του δοχείου ως τον πυθμένα του σε πέντε κόμβους. Η θέρμανση του νερού εντός της δεξαμενής εξασφαλίζεται με τη χρήση αντλίας θερμότητας αέρα-νερού. Το νερό της δεξαμενής εισάγεται στην αντλία θερμότητας με τη βοήθεια κυκλοφορητή. Η αντλία αναρροφά ρευστό από τον τελευταίο "ψυχρότερο" κόμβο της δεξαμενής. Αφού το θερμάνει προσδίδοντάς του ενέργεια από το περιβάλλον, το καταθλίβει στον ανώτερο "θερμό" κόμβο. Τα FCU's αναρροφούν ζεστό νερό από τον πρώτο κόμβο της δεξαμενής με χρήση κυκλοφορητή, το οποίο αφού προσδώσει την απαραίτητη θερμότητα στο ρεύμα αέρα για να θερμάνει τον χώρο του δωματίου, επιστρέφει πιο ψυχρό στον τελευταίο κόμβο της δεξαμενής. Το ζεστό ρεύμα νερού, κατανέμεται από τη δεξαμενή προς τις τερματικές μονάδες μέσω μιας βαλβίδας εκτροπής, ενώ τα ρεύματα που επιστρέφουν συλλέγονται σε μία βαλβίδα ανάμιξης και εισάγονται ξανά στη δεξαμενή.



Σχήμα 4.21: Σύστημα θέρμανσης: Κύκλωμα νερού

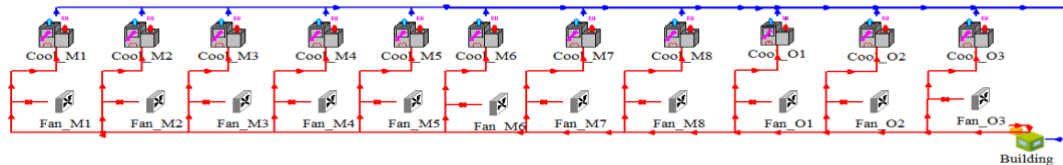
Κύκλωμα αέρα (Σχήμα 4.21): Το κύκλωμα αέρα αποτελείται από τη μονάδα ανεμιστήρα-στοιχείου κάθε χώρου και το κτήριο, δηλαδή του αέρα κάθε θερμικής ζώνης. Το ζεστό νερό εντός του FCU θερμαίνει τον αέρα του χώρου, ενώ ο ψυχρός επιστρέφει προς τη μονάδα θέρμανσης, μέσω της εξαναγκασμένης ανακυκλοφορίας που επιβάλλεται.



Σχήμα 4.21: Σύστημα θέρμανσης: Κύκλωμα αέρα

4.3.2.3 Σύστημα ψύξης:

Το κλιματιστικό διαιρούμενου τύπου, αφού λάβει το απαραίτητο σήμα από το θερμοστάτη, απορροφά ενέργεια και μειώνει τη θερμοκρασία από το ζεστό αέρα εντός της θερμικής ζώνης, την οποία διαχέει στο περιβάλλον. Υπενθυμίζεται ότι η χρήση ανεμιστήρων με ξεχωριστό type στο *Simulation Studio*, έγινε διότι κατ' αυτόν τον τρόπο παρατηρήθηκε πιο ομαλή υπολογιστική λειτουργία (Σχήμα 4.22).



Σχήμα 4.22: Σύστημα ψύξης

4.3.3 Έλεγχος

Οι χρονικές περίοδοι ορίστηκαν στο *SimulationStudio* μέσω των μοντέλων *Type14k* και *Type14l* για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα.

- **Θερμοστάτες:**

Θερμοστάτης Χώρου (Thermostat_#Zone):

Κάθε θερμική ζώνη διαθέτει δύο θερμοστάτες χώρου, έναν για θέρμανση και έναν για ψύξη, οι οποίοι λαμβάνουν ως τιμή εισόδου τη θερμοκρασία της θερμικής ζώνης που ελέγχουν. Η λειτουργία τους είναι ίδια με μοναδικές διαφορές τη ζητούμενη θερμοκρασία και το σήμα εξόδου. Οι επιθυμητές θερμοκρασίες για τους δύο τύπους θερμοστάτη ορίστηκαν ως 23.5°C και 24.5°C για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα, δεδομένου του θερμοκρασιακού εύρους που θεωρήθηκε ως 3°C. Πρακτικά, ο θερμοστάτης που ρυθμίζει τη θέρμανση δίνει σήμα "1" για τη λειτουργία θέρμανσης όταν η θερμοκρασία της ζώνης γίνει μικρότερη των 22°C, το οποίο παραμένει μέχρι τους 25°C όπου πλέον δίνει "0". Ο θερμοστάτης που ρυθμίζει την ψύξη δίνει σήμα "1" για τη λειτουργία ψύξης όταν η θερμοκρασία του χώρου ξεπεράσει τους 26°C, ενώ λαμβάνει την τιμή "0" όταν η θερμοκρασία γίνει μικρότερη των 23°C. Κατά τη μοντελοποίηση θεωρήθηκαν δύο διαφορετικοί θερμοστάτες για θέρμανση και ψύξη, διότι σε περίπτωση χρήσης ενός κοινού, προκαλούνταν προβλήματα κατά την προσομοίωση

Θερμοστάτης Δεξαμενής (Thermostat_Tank):

Ο θερμοστάτης αυτός, τύπου "ON/OFF", ελέγχει τη θερμοκρασία της δεξαμενής και λαμβάνει ως σήμα εισόδου τον ανώτατο κόμβο της. Ως επιθυμητή θερμοκρασία θεωρήθηκαν οι 55°C με εύρος 5°C.

- **Έλεγχος συστημάτων ψύξης και θέρμανσης:**

Όλα τα σήματα εισόδου από τους θερμοστάτες και τον καθορισμό των περιόδων ψύξης και θέρμανσης εισάγονται σε μια αριθμομηχανή (equation), το οποίο παίζει ρόλο ενός

“Κέντρου ελέγχου” για τη λειτουργία των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης. Εκεί, συνδυάζονται κατάλληλα μεταξύ τους με λογικές (Boolean) και αριθμητικές πράξεις και προκύπτουν οι επιθυμητές έξοδοι σημάτων λειτουργίας, τα οποία κατευθύνονται στα ενεργειακά συστήματα και όπου αλλού χρειάζεται. Συγκεκριμένα, ως summeγορίζεται η περίοδος θέρμανσης και ως winter η περίοδος ψύξης. Το σήμα για ψύξη ενεργοποιείται και φτάνει στο κλιματιστικό, όταν ταυτόχρονα δίνει σήμα ο εκάστοτε θερμοστάτης ψύξης κάθε ζώνης. Ο έλεγχος της θέρμανσης πραγματοποιείται παρομοίως. Εφόσον τα σήματα της περιόδου και του θερμοστάτη συντρέχουν, λαμβάνει σήμα λειτουργίας η αντλία και το FCU της εκάστοτε θερμικής ζώνης. Επιπλέον, προκειμένου η δεξαμενή να διαθέτει άμεσα νερό στην κατάλληλη θερμοκρασία όποτε χρειαστεί, ο θερμοστάτης της ρυθμίζει την αντλία θερμότητας, κατά την περίοδο θέρμανσης.

- **Έλεγχος σκίασης και ηλεκτροχρωμικών παραθύρων:**

Ο έλεγχος της περιόδου λειτουργίας της σκίασης και των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων είναι παρόμοιος με εκείνον των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

4.3.4 Διαστασιολόγηση συστημάτων

Η ενεργειακή μελέτη προϋποθέτει την κατάλληλη επιλογή των ενεργειακών συστημάτων, ποιοτικά και ποσοτικά. Εφόσον επιλέχθηκαν οι τύποι των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν και η συνδεσμολογία τους, ορίζονται οι αριθμητικές τιμές των κρίσιμων παραμέτρων τους, όπως η ισχύς και η παροχή τους. Η διαστασιολόγηση πραγματοποιείται για τα κύρια στοιχεία του σεναρίου, δηλαδή δεν ερευνώνται οι σωληνώσεις, οι βάνες και άλλα δευτερεύοντα στοιχεία. Βασικό κριτήριο διαστασιολόγησης των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης αποτέλεσε η κάλυψη των θερμικών αναγκών του κτηρίου κατά τη «δυσμενέστερη περίπτωση», δηλαδή προκειμένου να υπερκαλύπτονται οι μέγιστες ενεργειακές ανάγκες κάθε ζώνης. Οι μέγιστες ανάγκες θέρμανσης και ψύξης κάθε θερμικής ζώνης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.2). Ακόμα, έλαβε χώρα υπερδιαστασιολόγηση με συντελεστή 1.1-1.25 για λόγους ασφαλείας στα βασικά και βοηθητικά ενεργειακά συστήματα κάθε κυκλώματος. Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις έγινε μικρή αναπροσαρμογή των τιμών έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια και πιο εύρυθμη λειτουργία. Σε κάθε περίπτωση, απαραίτητη προϋπόθεση αποτέλεσε η επικράτηση των ζητούμενων θερμοκρασιακών συνθηκών, σε κάθε θερμική ζώνη καθ’ όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Κατά τη διάρκεια της διαστασιολόγησης των συστημάτων, όσον αφορά τα υπόλοιπα στοιχεία του κελύφους επικρατούσε η υφιστάμενη κατάσταση.

Πίνακας 4.2: Μέγιστες θερμικές ανάγκες ζωνών για την υφιστάμενη κατάσταση

Ζώνη	Θέρμανση [W]	Συντ. Ασφαλείας [-]	Ψύξη [W]	Συντ. Ασφαλείας [-]
Med1	815.73	897.30	1201.98	1322.18
Med2	741.23	815.35	1061.70	1167.87
Med3	667.19	733.91	1006.71	1107.38
Med4	776.59	854.24	1360.21	1496.23

Med5	746.32	820.95	1170.64	1287.70
Med6	732.68	805.95	1075.07	1182.58
Med7	529.08	581.99	949.24	1044.16
Med8	1111.50	1391.88	2142.52	2356.78
Of2	730.88	803.97	1224.08	1346.49
Of3	918.77	1378.15	1304.14	1434.56

Ακολουθεί πιο διεξοδική ανάλυση διαστασιολόγησης των βασικών στοιχείων κάθε ενεργειακού κυκλήματος:

○ *Κύκλωμα ψύξης:*

Κλιματιστικό διαιρούμενου τύπου:

Αρχικά, επιλέχθηκε κλιματιστικό από την αγορά ως πρότυπο, με τα τεχνικά του χαρακτηριστικά και τις αναλογίες που τα συνδέουν να αποτελούν τη βάση της διαστασιολόγησης. Έγινε κανονικοποίηση των λειτουργικών του χαρακτηριστικών ως προς την συνολική του ψυκτική ικανότητα και με βάση αυτήν επιλέχθηκαν η συνολική ψυκτική ικανότητα, η ψυκτική ισχύς και η συνολική παροχή αέρα κάθε μονάδας ψύξης. Για την αναλογία μεταξύ αισθητής και συνολικής ψυκτικής ικανότητας επιλέχθηκε η τυπική τιμή για νοσοκομειακούς χώρους ως 0.8, με βάση τα πρότυπα της ASHRAE. Τέλος, θεωρήθηκε ότι οι ισχύς των εσωτερικών και εξωτερικών ανεμιστήρων που περιέχονται στο μοντέλο είναι σταθερές και ίσες με 20W και 40W αντίστοιχα, ίδια για κάθε ζώνη.

Υπενθυμίζεται ότι, οι ανεμιστήρες που εμφανίζονται στην προσομοίωση μέσω TRNSYS εξυπηρετούν την ομαλότερη λειτουργία του λογισμικού κατά την προσομοίωση, ενώ δεν παρουσιάζουν φυσική σημασία. Για το λόγο αυτό, διαστασιολογήθηκαν ως μοντέλα μηδενικής ισχύος και παροχής ίσης με την παροχή του αντίστοιχου κλιματιστικού.

○ *Κύκλωμα θέρμανσης:*

-*Μονάδα ανεμιστήρα-στοιχείου:*

Αρχικά, για τη διαστασιολόγηση των μονάδων ανεμιστήρα-στοιχείου ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με τα κλιματιστικά διαιρούμενου τύπου. Επιλέχθηκε μονάδα ανεμιστήρα-στοιχείου και έλαβε χώρα κανονικοποίηση των λειτουργικών της χαρακτηριστικών με βάση την ικανότητα θέρμανσης, διατηρώντας σταθερές τις αναλογίες που συνδέουν τα λειτουργικά της χαρακτηριστικά. Οι θερμικές ανάγκες κάθε ζώνης οδήγησαν στην επιλογή των λειτουργικών στοιχείων της αντίστοιχης μονάδας (Πίνακας 4.5). Θεωρήθηκε ότι η ισχύς κάθε ανεμιστήρα που εμπεριέχεται στη μονάδα λήφθηκε ως 40 W και ο βαθμός απόδοσης του ως 0.9.

-*Αντλία θερμότητας αέρα-νερού:*

Η αντλία θερμότητας εξασφαλίζει την απαραίτητη θερμοκρασία του νερού στο δοχείο. Αρχικά επιλέχθηκε αντλία θερμότητας από το εμπόριο, ικανή να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης με βάση το συνολικό εμβαδόν των θερμικών ζωνών. Στη

συνέχεια, έλαβε χώρα η υποδιαστασιολόγησή της με κριτήριο την συνολική ικανότητα θέρμανσης, με σκοπό την ακριβέστερη και οικονομικότερη επιλογή συστήματος για την υφιστάμενη εγκατάσταση, διατηρώντας σταθερές τις αναλογίες που συνδέουν τα λειτουργικά της χαρακτηριστικά (Πίνακας 4.5).

-Κυκλοφορητές:

Οι κυκλοφορητές που επιλέχθηκαν είναι ίδιοι μεταξύ τους, ενώ έγινε ρύθμιση της απαραίτητης παροχής που χρειάζεται να διακινήθει, με βάση τις ανάγκες των θερμαντικών σωμάτων και της αντλίας θερμότητας που προηγήθηκε (Πίνακας 4.5).

-Δεξαμενή:

Ο όγκος της δεξαμενής επιλέχθηκε ως 50 L, προκειμένου να εξασφαλίζεται η εύρυθμη λειτουργία του συστήματος, με κριτήριο την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών και των σφαλμάτων σύγκλισης. Θεωρήθηκε ότι είναι τοποθετημένη σε εσωτερικό περιβάλλον θερμοκρασίας σταθερής και ίσης με 20°C (Πίνακας 4.5).

Πίνακας 4.3: Διαστασιολόγηση κλιματιστικού διαιρούμενου τύπου

Θερμική Ζώνη	Συνολική ψυκτική ικανότητα [W]	Αισθητή ψυκτική ικανότητα [W]	Ψυκτική Ισχύς [W]	Συνολική παροχή αέρα [l/s]
Med_1	1216.4	973.1	301.7	580
Med_2	1167.9	934.3	289.7	512
Med_3	1107.4	885.9	274.7	485
Med_4	1466.3	1173.0	363.7	656
Med_5	1287.7	1030.2	319.4	564
Med_6	1330.8	1040.7	322.7	597
Med_7	1023.3	818.6	253.8	472
Med_8	1525.0	1220.0	378.3	750
Of_2	1346.5	1077.2	334.0	590
Of_3	1219.4	975.5	302.5	581

Πίνακας 4.4: Διαστασιολόγηση τερματικών μονάδων θέρμανσης

Θερμική Ζώνη	Ικανότητα Θέρμανσης [W]	Ονομαστικό COP [-]	Ογκομετρική παροχή αέρα [m ³ /h]	Παροχή νερού [kg/hr]
Med_1	897.3	4.73	144.81	121.02
Med_2	815.4	4.79	131.58	109.97
Med_3	733.9	4.79	118.44	98.98
Med_4	854.2	4.75	132.49	115.21

Med_5	821.0	4.77	130.07	110.72
Med_6	805.9	4.90	93.92	108.70
Med_7	582.0	4.73	141.61	78.49
Med_8	1391.9	4.70	224.63	187.72
Of_2	804.0	4.73	129.75	108.43
Of_3	1378.1	4.74	222.41	185.87

Πίνακας 4.5: Διαστασιολόγηση αντλίας θερμότητας, κυκλοφορητή και δεξαμενής

Αντλία Θερμότητας		Κυκλοφορητής	
Ικανότητα Θέρμανσης [W]	5500	Ισχύς	147 W
Θερμική Ισχύς [W]	1121.13	Δεξαμενή	
Ονομαστικό COP [-]	5.52		
Ογκομετρική παροχή αέρα [m ³ /h]	1690.50	Χωρητικότητα	50 L
Ογκομετρική παροχή νερού [m ³ /h]	1.09		

5. Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Τα αποτελέσματα που ακολουθούν αποτυπώνονται σε διαγράμματα του *TRNSYS* ή με χρήση του λογισμικού *Excel*, όπου έλαβε χώρα περαιτέρω επεξεργασία. Οι υπολογισμοί, τα αποτελέσματά των οποίων παρουσιάζονται στη συνέχεια του κεφαλαίου, πραγματοποιήθηκαν ημερησίως, μηνιαίως ή ετησίως. Οι ετήσιες προσομοιώσεις επεκτάθηκαν στις 9504 ώρες, έναντι των 8760 ωρών που περιέχονται σε ένα έτος. Στην ουσία, αντικαθίσταται ο Ιανουάριος του τρέχοντος έτους από αυτόν του επόμενου, προκειμένου να αποφευχθούν ανακρίβειες λόγω των αρχικών τιμών. Το χρονικό βήμα (*timestep*) όλων των προσομοιώσεων επιλέχθηκε να είναι τα έξι λεπτά, δηλαδή λαμβάνονται δέκα στιγμιαίες τιμές κάθε ώρα. Επίσης, για τις αριθμητικές μεθόδους των υπολογισμών επιλέχθηκε ως ακρίβεια σύγκλισης και προσέγγισης 0.01 ή 1%. Τα παραπάνω κρίθηκαν επαρκή για την επίτευξη της επιθυμητής λεπτομέρειας των υπολογισμών και της ομαλής λειτουργίας του λογισμικού.

5.1.1 Παρουσίαση σεναρίων

Η παρούσα μελέτη θέτει στο επίκεντρο τη σημασία της σκίασης και των υαλοπινάκων, υπό το πρίσμα της επίδρασής τους στην εξοικονόμηση ενέργειας μέσω μείωσης των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου, συνεπώς, την ελάττωση της λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Όσον αφορά τη σκίαση, συγκρίνονται τα αποτελέσματα χρήσης εσωτερικής και εξωτερικής σκίασης και πραγματοποιείται διερεύνηση του βέλτιστου πρωτοκόλλου ελέγχου. Όσον αφορά τους υαλοπίνακες, συγκρίνεται η χρήση των ηλεκτροχρωμικών- «έξυπνων» παραθύρων ως εναλλακτική έναντι των διπλών-«κοινών», καθώς και η διερεύνηση διαφορετικών πρωτοκόλλων της εναλλαγής της κατάστασης των ηλεκτροχρωμικών (από *clear* σε *dark*).

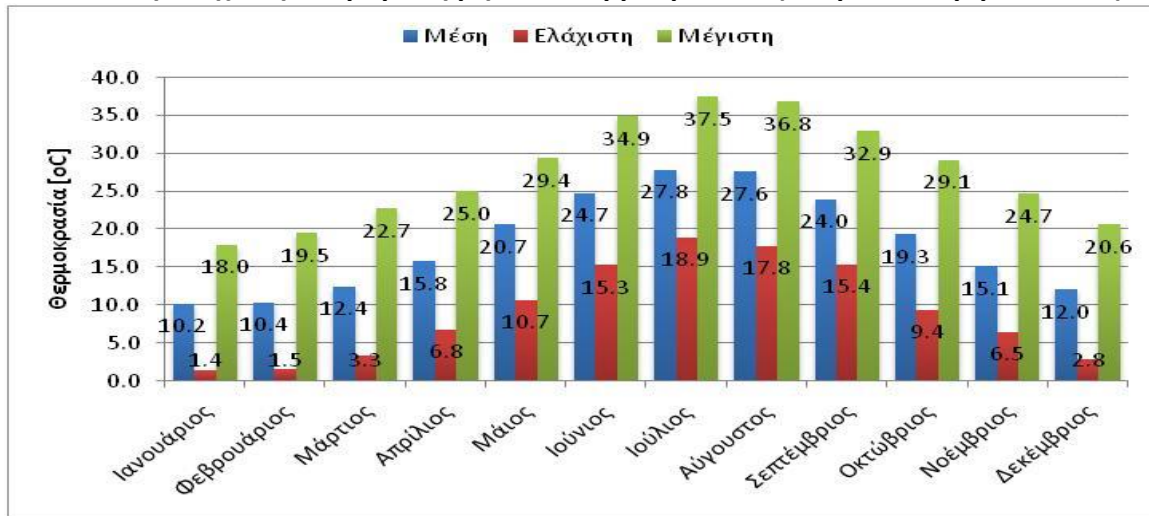
Συγκεκριμένα, τα σενάρια που εξετάζονται είναι τα εξής:

- I. Αποτελέσματα ενεργειακής συμπεριφοράς της υφιστάμενης κατάστασης.
- II. Σενάρια σχετικά με τη σκίαση:
 - a) Σύγκριση διαφορετικών τύπων σκίασης: εσωτερική, εξωτερική, μηδενική και ταυτόχρονης εσωτερικής και εξωτερικής σκίασης.
 - b) Διερεύνηση πρωτόκολλου ελέγχου εσωτερικής και εξωτερικής σκίασης, με κριτήριο την προσπίπτουσα ακτινοβολία στον υαλοπίνακα και την περίοδο λειτουργίας της σκίασης.
- III. Σενάρια σχετικά με τη χρήση και το πρωτόκολλο ελέγχου των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων:
 - a) Διερεύνηση πρωτόκολλου ελέγχου με κριτήριο την φωτεινότητα.
 - b) Διερεύνηση πρωτόκολλου ελέγχου με κριτήριο την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

5.1.2 Κλιματολογικά δεδομένα

Για την καλύτερη εποτεία της ενεργειακής συμπεριφοράς των θερμικών ζωνών και των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, παρατίθενται κάποια χρήσιμα κλιματολογικά δεδομένα, αναφορικά με τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου. Τα δεδομένα αυτά παίζουν τον κύριο ρόλο, όσον αφορά το ενεργειακό προφίλ που διαμορφώνεται στο κτίριο, ενώ τα περισσότερα χρησιμοποιούνται ως είσοδοι στα συστήματα με τα οποία πραγματοποιούνται οι αντίστοιχοι έλεγχοι.

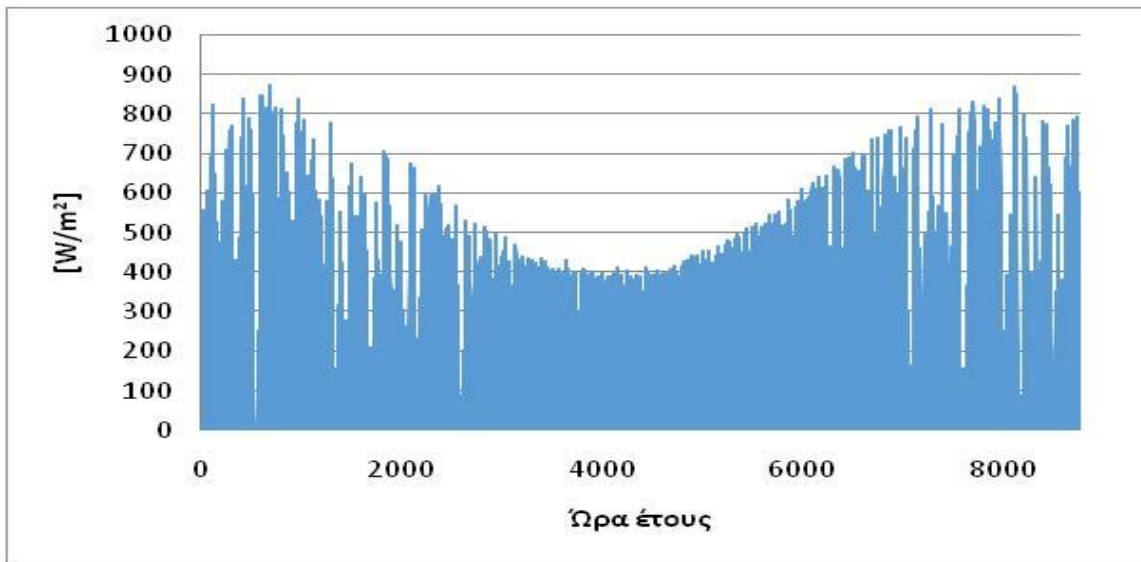
- **Μέση ελάχιστη και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος:**



Σχήμα 5.1: Μέση, ελάχιστη και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1, η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται από 10.2 °C έως 27.8 °C. Η μέγιστη και ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία είναι 37.5 °C και 1.4 °C αντίστοιχα.

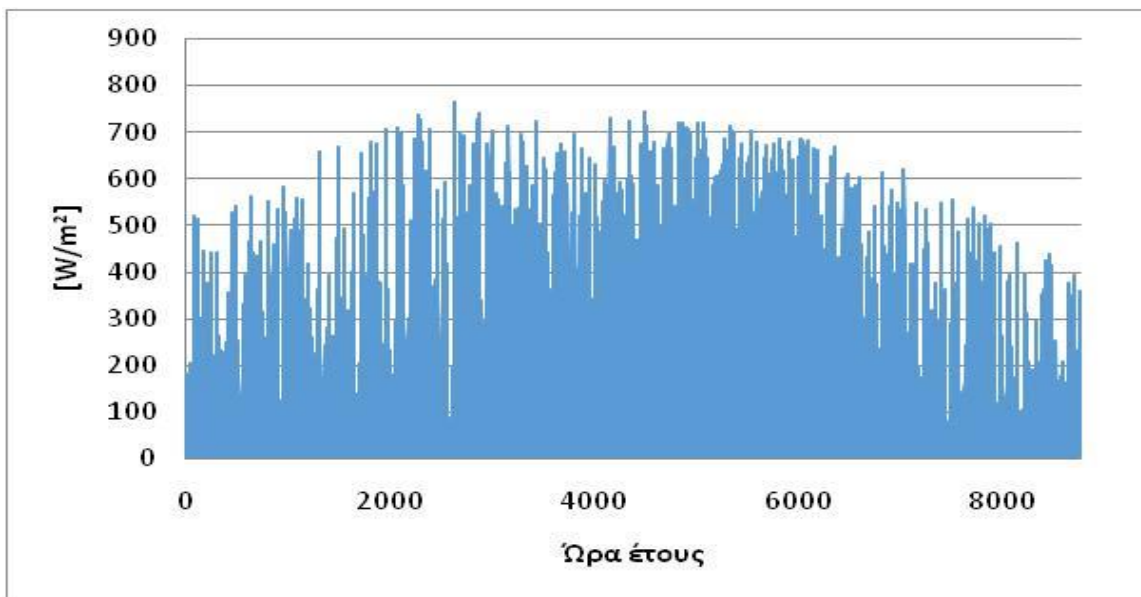
- **Συνολική ωριαία άμεση προσπίπτουσα ακτινοβολία στη νότια κατεύθυνση:**



Σχήμα 5.2: Άμεση ωριαία προσπίπτουσα ακτινοβολία στη νότια κατεύθυνση

Από το διάγραμμα του παραπάνω σχήματος φαίνεται ότι η συνολική άμεση προσπίπτουσα ακτινοβολία στη νότια κατεύθυνση λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές, που προσεγγίζει τα 900 W/m^2 , κατά τη χειμερινή περίοδο, ενώ κατά τη θερινή προσεγγίζει τα 400-500 W/m^2 . Όμως, παρατηρείται μεγαλύτερη διακύμανση στις τιμές των χειμερινών μηνών λόγω της μικρότερης ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

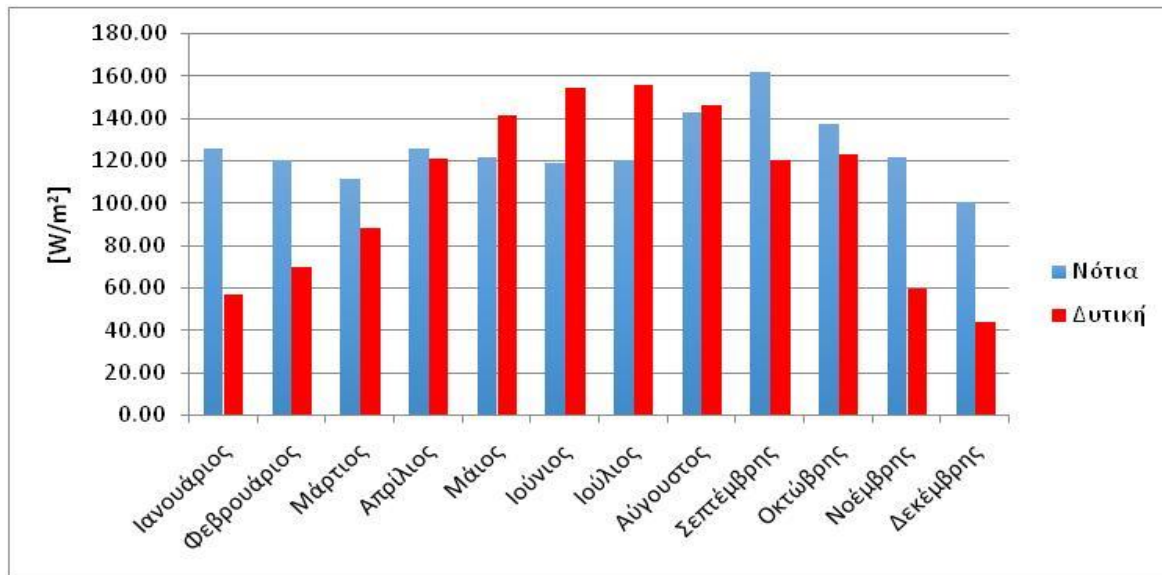
- **Συνολική ωριαία άμεση προσπίπτουσα ακτινοβολία στη δυτική κατεύθυνση:**



Σχήμα 5.3: Άμεση ωριαία προσπίπτουσα ακτινοβολία στη δυτική κατεύθυνση

Σύμφωνα με το διάγραμμα της δυτικής κατεύθυνσης, οι ημέρες του χειμώνα χαρακτηρίζονται από ηλιοφάνεια μικρότερης διάρκειας και η ένταση της εξεταζόμενης

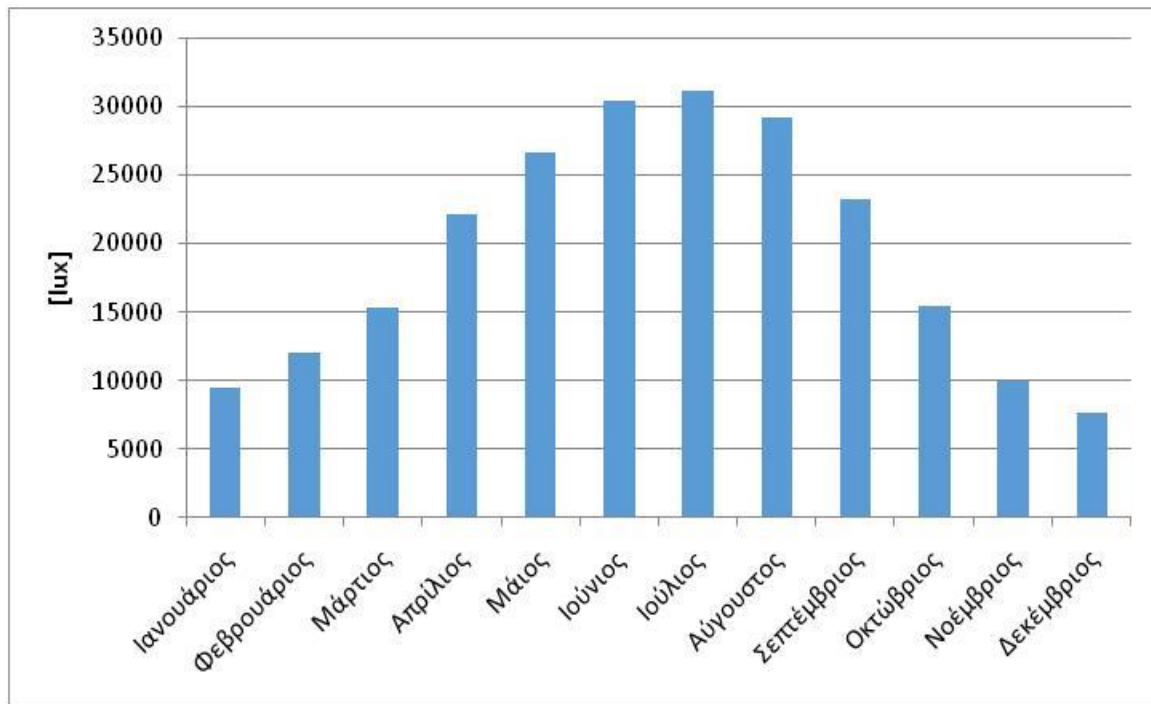
ακτινοβολίας λαμβάνει χαμηλότερες τιμές (500-600 W/m²). Κατά τη θερινή περίοδο, οι αντίστοιχες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 700-750 W/m².



Σχήμα 5.4: Σύγκριση άμεσης μέσης μηνιαίας προσπίπτουσας ακτινοβολίας κατά τη νότια και δυτική κατεύθυνση

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα η προσπίπτουσα ακτινοβολία στη δυτική κατεύθυνση είναι μεγαλύτερη από εκείνη της νότιας κατά το χρονικό διάστημα από τον Απρίλιο έως τον Αύγουστο. Το παραπάνω συμπέρασμα ήταν αναμενόμενο με βάση τη βιβλιογραφία, καθώς στο βόρειο ημισφαίριο η ένταση της ημερήσιας προσπίπτουσας ακτινοβολίας στη δυτική κατεύθυνση είναι μεγαλύτερη από εκείνη στη νότια κατά τους θερινούς μήνες, λόγω της σχέσης της με τη γωνία αζιμούθιου. Το ακριβές χρονικό διάστημα όπου συμβαίνει αυτό εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Επίσης, η συμπεριφορά αυτή εξηγείται λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των ωριαίων τιμών της ακτινοβολίας προς τις δύο κατευθύνσεις (Σχήμα 5.3 και Σχήμα 5.4). Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, η διάρκεια ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τους χειμερινούς μήνες, καθώς η διαμόρφωση της μέσης τιμής συμπεριλαμβάνει τις ώρες της ημέρας μετά τη δύση του Ηλίου, όπου η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι μηδενική. Ταυτόχρονα, η ακτινοβολία αυτού του τύπου λαμβάνει τις μέγιστες τιμές της κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο στη δυτική και νότια κατεύθυνση, αντίστοιχα.

- **Μέση μηνιαία φωτεινότητα εξωτερικού περιβάλλοντος:**



Σχήμα 5.5: Μέση μηνιαία φωτεινότητα εξωτερικού περιβάλλοντος

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, η φωτεινότητα του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη κατά την περίοδο ψύξης συγκριτικά με την περίοδο θέρμανσης. Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές που λαμβάνει το μέγεθος αυτό κυμαίνονται προσεγγιστικά από 7700 lux έως 32000 lux. Όπως αναφέρθηκε ήδη, το χρονικό διάστημα που παρατηρείται ηλιοφάνεια εντός μιας ημέρας είναι μεγαλύτερο τους καλοκαιρινούς μήνες σε σχέση με τους χειμερινούς. Επίσης, όμοια σχέση επικρατεί και μεταξύ των μέγιστων τιμών που σημειώνονται κάθε χρονική περίοδο, αφού η μέγιστη στιγμιαία φωτεινότητα παρατηρείται το καλοκαίρι, ίση με 110000 lux.

5.2 Αποτελέσματα υφιστάμενης κατάστασης

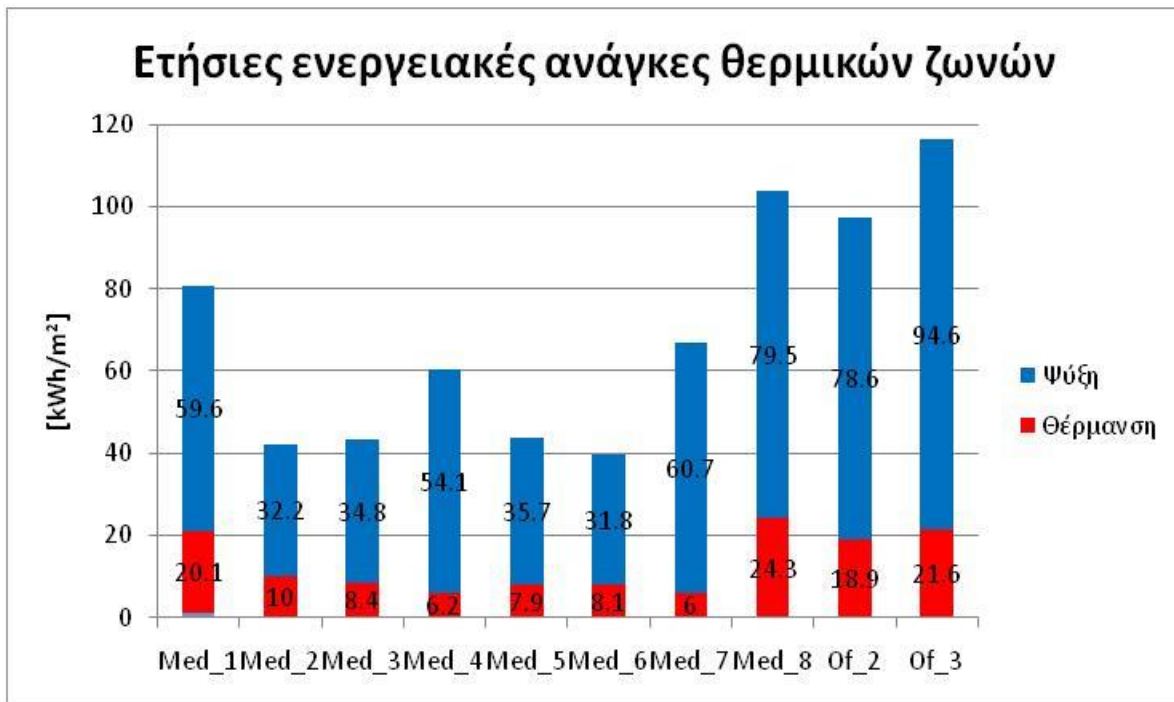
Στην υφιστάμενη κατάσταση, η σκίαση των θερμικών ζωνών λαμβάνει χώρα όσο λειτουργεί η περίοδος ψύξης, δηλαδή από 10 Απριλίου έως 26 Οκτωβρίου. Η σκίαση είναι εσωτερική και συγκεκριμένα αποτελείται από κουρτίνες, με συντελεστή σκίασης 0.85. Ο έλεγχος γίνεται με βάση τη συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο παράθυρο, στην τιμή των 160 W/m² με υστέρηση 20 W/m².

5.2.1 Ενεργειακές ανάγκες θερμικών ζωνών

Οι ενεργειακές ανάγκες εκφράζουν την ποσότητα ενέργειας, που πρέπει να απορριφθεί ή αποδοθεί σε κάθε θερμική ζώνη, προκειμένου να διατηρείται η εσωτερική τους θερμοκρασία μονίμως στο επιθυμητό θερμοκρασιακό εύρος. Ως ανάγκη για θέρμανση εννοείται η ποσότητα θερμότητας που πρέπει να εισέλθει στο χώρο, ενώ ανάγκη για ψύξη εννοείται η ποσότητα θερμότητας που πρέπει να απορριφθεί από το χώρο. Κατά τον

υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών, θεωρείται ότι η θέρμανση και η ψύξη των χώρων πραγματοποιείται από ιδεατά, ιδανικά ενεργειακά συστήματα, απεριόριστων θερμικών δυνατοτήτων, συνεπώς οι θερμαινόμενες ζώνες δεν ξεπερνούν καθόλου τα όρια θερμικής άνεσης. Συνεπώς, τα ενεργειακά συστήματα δεν παίζουν κανέναν ρόλο στον καθορισμό των ενεργειακών αναγκών.

Οι ενεργειακές ανάγκες κάθε θερμικής ζώνης εκφρασμένες σε kWh/m² αποτυπώνονται στο Σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6: Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες θερμικών ζωνών θερμικών ζωνών

Με βάση τις τιμές του παραπάνω διαγράμματος, μπορούν να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα αναφορικά με την ενεργειακή συμπεριφορά κάθε θερμικής ζώνης. Αρχικά, φαίνεται η μεγάλη σημασία που κατέχει η θέση μιας θερμικής ζώνης, ως προς τη συνολική αρχιτεκτονική δόμηση του κτηρίου που μελετάται. Οι γωνιακές ζώνες, Med_8 και Of_3 παρουσιάζουν αυξημένες ενεργειακές ανάγκες σε σχέση με τις υπόλοιπες, λόγω της επαφής τους σε μεγαλύτερο βαθμό με το εξωτερικό περιβάλλον ή με μη θερμαινόμενο χώρο, παρουσιάζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο αυξημένες ενεργειακές απώλειες. Παρόμοια συμπεριφορά φαίνεται να έχει και η ζώνη Med_1, της οποίας μεγάλο ποσοστό των επιφανειών έρχεται σε επαφή με εξωτερικό περιβάλλον και μη θερμαινόμενο χώρο. Οι αυξημένες ανάγκες, ειδικά για ψύξη, των ζωνών Of_2 και Of_3 μπορούν να ερμηνευτούν και χάρη στα περίπου διπλάσια εσωτερικά θερμικά κέρδη των ζωνών αυτού του τύπου. Τέλος, ειδικό ενδιαφέρον φαίνεται να παρουσιάζει η ζώνη Med_7, λόγω της αυξημένης ανάγκης για ψυκτικά και μειωμένης για θερμικά φορτία, που παρουσιάζει. Η θερμική ζώνη αυτή, χαρακτηρίζεται από την υψηλή τιμή του δείκτη WWR (Πίνακας 3.5). Έτσι, δεδομένης

της σημασίας του υαλοπίνακα στην διαμόρφωση της θερμοκρασίας ενός χώρου, ενώ συμβαίνει το αντίθετο για τα θερμικά. Τα ετήσια αποτελέσματα για το σύνολο του χώρων που μελετήθηκε αποτυπώνονται στο

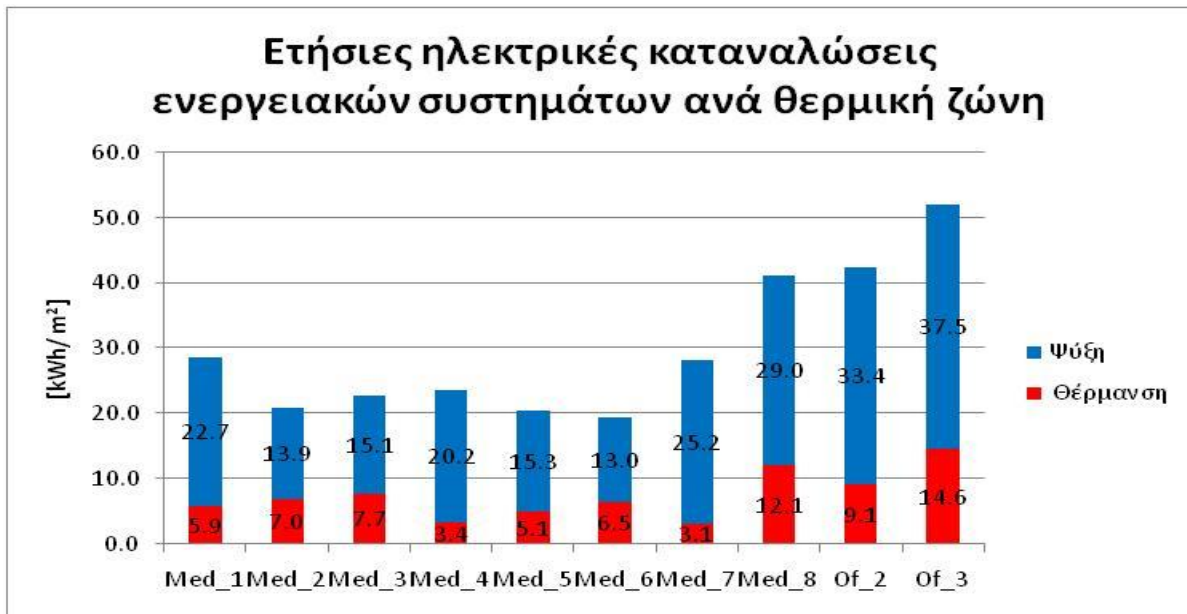
5.2.2 Φορτία θέρμανσης και ψύξης ενεργειακών συστημάτων

Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης λειτουργούν κατά τη διάρκεια των αντίστοιχων περιόδων του έτους, προκειμένου να διατηρήσουν τη μέση θερμοκρασία κάθε θερμικής ζώνης στο εύρος των 22-26 °C. Είναι σημαντικό το γεγονός ότι, η ποσότητα των φορτίων θέρμανσης και ψύξης εξαρτάται μόνο από τον τύπο και τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε θερματικής ενεργειακής μονάδας, καθώς και τις θερμοκρασίες των ρευστών που εναλλάσσουν θερμότητα μεταξύ τους. Ενώ, δεν λαμβάνεται υπόψιν η ενεργειακή τους πηγή. Τα ετήσια αποτελέσματα για το σύνολο του χώρων που μελετήθηκε αποτυπώνονται στο Σχήμα 5.8.

5.2.3 Ηλεκτρική κατανάλωση ενεργειακών συστημάτων

Η ηλεκτρική κατανάλωση των ενεργειακών συστημάτων αποτελεί το βασικό σημείο ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας. Ο υπολογισμός της ηλεκτρικής κατανάλωσης λαμβάνει υπόψιν όλα τα στοιχεία που απαρτίζουν τα ενεργειακά συστήματα. Για την ψύξη, η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται οφείλεται αποκλειστικά στη λειτουργία των κλιματιστικών διαιρούμενου τύπου. Όσον αφορά το σύστημα ψύξης, συνυπολογίζεται η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν τα FCU's, η αντλία θερμότητας αέρα-νερού και οι κυκλοφορητές.

Στα διαγράμματα των Σχήμα 5.7 και Σχήμα 5.8 παρουσιάζονται οι κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία των συστημάτων για κάθε θερμική ζώνη και για το σύνολο του χώρου αντίστοιχα, εκφρασμένη σε kWh/m².



Σχήμα 5.7: Ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις θερμικών ζωνών

Η κατανομή της ηλεκτρικής κατανάλωσης της θέρμανσης στις θερμικές ζώνες έγινε κανονικοποιώντας την ανηγμένη συνολική ηλεκτρική κατανάλωση, 1924.05 kWh, με το ποσοστό της ηλεκτρικής κατανάλωσης που αναλογεί σε κάθε θερμική ζώνη. Όπως ήταν αναμενόμενο, η ηλεκτρική κατανάλωση και οι ενεργειακές ανάγκες κάθε θερμικής ζώνης, παρουσιάζουν παρόμοια ποιοτική συμπεριφορά. Για παράδειγμα, οι «ακριανές» θερμικές ζώνες και οι ζώνες τύπου γραφεία χαρακτηρίζονται από αυξημένη κατανάλωση, λόγω αυξημένων απωλειών και εσωτερικών κερδών αντίστοιχα. Δηλαδή, τα ενεργειακά συστήματα χρειάζεται να λειτουργήσουν αναλογικά με τα ενεργειακά φορτία που πρέπει να αποδώσουν σε κάθε θερμική ζώνη, που επίσης είναι ανάλογα των ενεργειακών αναγκών.

5.2.4 Σύγκριση συνολικών αποτελεσμάτων

Ακολουθεί η συγκριτική αξιολόγηση των ετήσιων αποτελεσμάτων αναφορικά με τη θέρμανση και τη ψύξη για όλες τις θερμικές ζώνες που μελετήθηκαν. Συγκεκριμένα, συγκρίνονται οι ενεργειακές ανάγκες των θερμικών ζωνών, τα θερμικά ή ψυκτικά φορτία που εισέρχονται στον χώρο από τις τερματικές μονάδες και η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται για τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Στο διάγραμμα του Σχήμα 5.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτά για διάστημα ενός έτους, εκφρασμένα σε kWh/m² και αφορούν το σύνολο των θερμικών ζωνών που μελετήθηκαν.



Σχήμα 5.8: Ετήσια αποτελέσματα για θέρμανση και ψύξη

- Ενεργειακές ανάγκες:

Αρχικά, επιβεβαιώνεται ο πρωτεύοντας ρόλος που καταλαμβάνει η ψύξη στη διαμόρφωση του ενεργειακού προφίλ ενός κτηρίου της κλιματικής ζώνης «B». Η σημασία αυτή, ενισχύεται περαιτέρω στην προκείμενη περίπτωση, λόγω του νότιου προσανατολισμού της πλειοψηφίας των θερμικών ζωνών και των υαλοπινάκων που διαθέτουν. Κάθε ζώνη διαθέτει υαλοπίνακα, ενώ σε κάποιους ο λόγος εμβαδών υαλοπίνακα προς τοίχου είναι ιδιαίτερα αυξημένος (Πίνακας 3.5). Συνδράμει, επίσης, το γεγονός ότι οι χώροι που χρησιμοποιούνται ως γραφεία παρουσιάζουν αυξημένα εσωτερικά θερμικά κέρδη. Συγκεκριμένα, οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου για θέρμανση και ψύξη είναι 3389.15 kWh και 14340.29 kWh αντίστοιχα ή 12.9 kWh/m² και 54.6 kWh/m². Δηλαδή, οι ψυκτικές ανάγκες αποτελούν το 81% των συνολικών ενεργειακών αναγκών.

- Ενεργειακά φορτία:

Απο το διάγραμμα που προκύπτει, παρατηρείται ότι τα ψυκτικά και θερμικά φορτία που εισέρχονται στον χώρο ικανοποιούν τις αντίστοιχες ενεργειακές ανάγκες. Συγκεκριμένα, τα φορτία που εισέρχονται στις θερμικές ζώνες είναι 80.7 kWh/m² και 13.1 kWh/m² για ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα. Συνολικά, ξεπερνούν κατά 39% τις ενεργειακές ανάγκες του χώρου. Τα θερμικά και ψυκτικά φορτία υπερκαλύπτουν τις ανάγκες σε θέρμανση και ψύξη κατά 2% και 48% αντίστοιχα. Η υπερκάλυψη αυτή οφείλεται μεν στην εσκεμμένη υπερδιαστασιολόγηση των συστημάτων για λόγους ασφάλειας, αλλά και στις αυξημένες απώλειες που παρουσιάζει το σύστημα ψύξης. Ενδεχομένως, η ακριβέστερη διαστασιολόγηση των συστημάτων ψύξης να βελτίωνε τη διαφορά ανάμεσα σε ανάγκες και φορτία.

- Ηλεκτρική κατανάλωση

Αρχικά, η ποσότητα ηλεκτρικής κατανάλωσης είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ποσότητα των ενεργειακών αναγκών, τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη. Συγκεκριμένα η ηλεκτρική κατανάλωση είναι 21.8 kWh/m² και 7.3 kWh/m² για ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο είδος της τεχνολογίας που αξιοποιείται ως πηγή ενέργειας και στις δύο περιπτώσεις, δηλαδή εκείνη της αντλίας θερμότητας. Συγκεκριμένα, οι αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα που χρησιμοποιούνται στην ψύξη παρουσιάζουν μέσο συντελεστή απόδοσης, COP, ίσο με 3.7, ενώ η αντίστοιχη τιμή που παρουσιάζει η αντλία θερμότητας αέρα-νερού, που χρησιμοποιείται στη θέρμανση είναι 2.43. Η διαφορά στα COP εκφράζει ότι ο λόγος ηλεκτρικής κατανάλωσης μεταξύ της θέρμανσης και της ψύξης είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο λόγο θερμικής προσφοράς. Συνεπώς, φαίνεται ότι η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε κατά τη θέρμανση είναι, σε γενικές γραμμές, λιγότερο αποδοτική από εκείνη της ψύξης

5.3 Σενάρια σκίασης

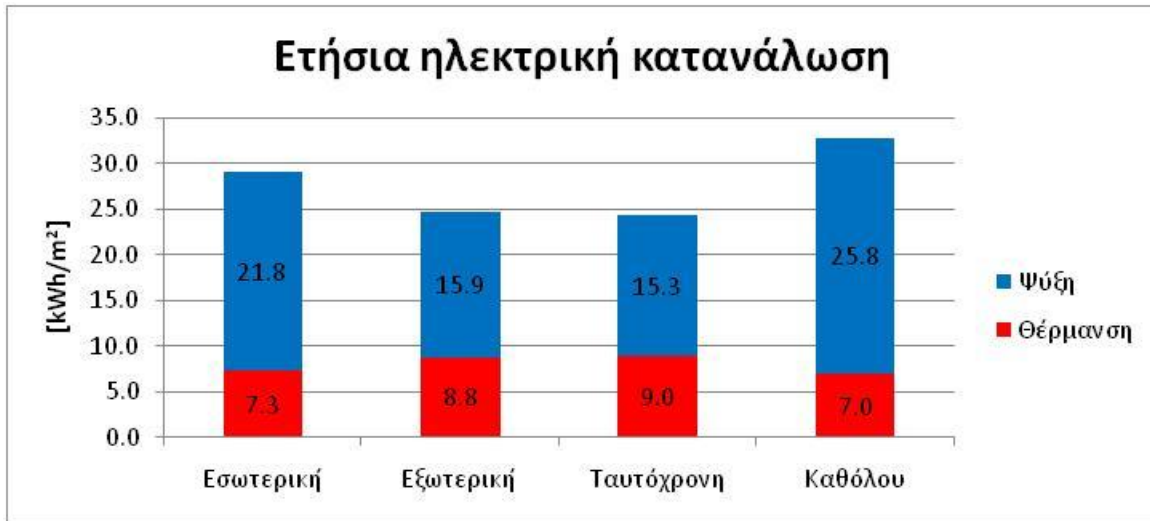
Με σκοπό τη μελέτη του ρόλου που καταλαμβάνει η σκίαση στην εμπόδιση της ηλιακής ακτινοβολίας να εισέλθει εντός της ζώνης, συγκρίνονται διαφορετικά σενάρια περιπτώσεων. Τα σενάρια αφορούν τον τύπο των συστημάτων σκίασης, καθώς και τον έλεγχό τους.

5.3.1 Επίδραση του τύπου σκίασης

Ακολουθεί η σύγκριση μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής σκίασης. Ακόμα, συγκρίνονται με την περίπτωση μηδενικής σκίασης ή υπό την επίδραση και των δύο τρόπων ταυτόχρονα. Το πρωτόκολλο λειτουργίας που χρησιμοποιείται σε όλους τους τύπους είναι το υφιστάμενο, όπως ορίζεται στο *υποκεφάλαιο 3.1.4, δηλαδή:*

- Ο συντελεστής σκίασης ενεργοποιείται όταν η προσπίπτουσα ακτινοβολία στον υαλοπίνακα ξεπεράσει τα 160 W/m² και απενεργοποιείται όταν γίνει μικρότερη των 140 W/ m²
- Το σύστημα σκίασης ενεργοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης,

Τα αποτελέσματα των σεναρίων παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.9.



Σχήμα 5.9: Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ενεργειακών συστημάτων

Σύμφωνα με το διάγραμμα που προκύπτει, όλες οι μέθοδοι σκίασης αυξάνουν την κατανάλωση για θέρμανση και μειώνουν την κατανάλωση για ψύξη (σε σύγκριση με το σενάριο χωρίς σκίαση). Συγκεκριμένα, καταναλώνεται 5 %, 25% και 29% περισσότερη ενέργεια για θέρμανση με εσωτερική, εξωτερική και ταυτόχρονη σκίαση αντίστοιχα. Για τις ίδιες περιπτώσεις, στην περίπτωση της ψύξης, καταναλώνεται 16%, 38% και 41% λιγότερη ενέργεια. Η σκίαση, γενικά, εμποδίζει την εισαγωγή των ηλιακών ακτινών. Το γεγονός αυτό είναι επιθυμητό κατά την περίοδο ψύξης, αλλά ανεπιθύμητο κατά την περίοδο θέρμανσης, διότι ο χώρος δεν επωφελείται από θερμικά κέρδη, τα οποία αναπληρώνει με το σύστημα θέρμανσης. Έχοντας αναδείξει τη μεγαλύτερη σημασία που κατέχει η ψύξη έναντι της θέρμανσης κατά το υπό μελέτη κτήριο, η μείωση της κατανάλωσης για ψύξη υπερτερεί σημαντικά εκείνης για θέρμανση, με αποτέλεσμα η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας με σύστημα σκίασης να παρουσιάζει θετικό πρόσημο. Συγκεκριμένα, η συνολική κατανάλωση είναι κατά 11%, 25% και 26% λιγότερη για εσωτερική, εξωτερική και ταυτόχρονη σκίαση αντίστοιχα. Η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με χρήση εξωτερικής σκίασης είναι περίπου δύομιση φορές περισσότερη από ότι με χρήση εσωτερικής. Επιπλέον, η ταυτόχρονη σκίαση επιφέρει ελάχιστη επιπλέον εξοικονόμηση από τη χρήση μόνο εξωτερικής (μόλις 1%), γεγονός που αποδεικνύει ότι ο κύριος ρόλος της εσωτερικής σκίασης είναι προτίστως η αντιμετώπιση της θάμβωσης και λιγότερο η εξοικονόμηση ενέργειας. Στην ανάλυση που ακολουθεί ιδιαίτερο βάρος δίνεται στην εσωτερική σκίαση, καθώς είναι η πραγματική κατάσταση του κτηρίου (απουσία εξωτερικής σκίασης).

5.3.2 Επίδραση των πρωτόκολλων ελέγχου εσωτερικής σκίασης

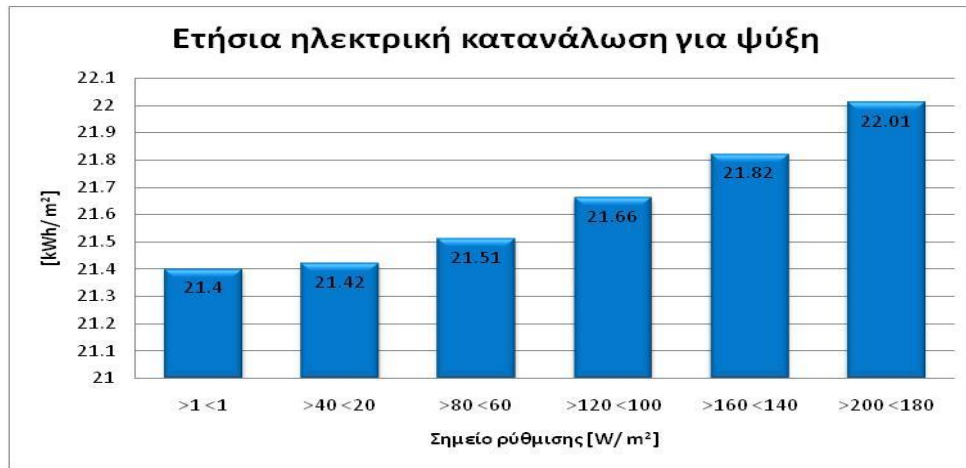
Κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφορετικών τύπων σκίασης με το υφιστάμενο σενάριο ελέγχου, αναδεικνύεται η σημασία που κατέχει ο έλεγχος στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας. Για το λόγο αυτό, ακολουθεί διερεύνηση σχετικά με τη

μεταβλητή εισόδου με την οποία πραγματοποιείται ο έλεγχος, καθώς και με την περίοδο λειτουργίας της κατά τη διάρκεια του έτους.

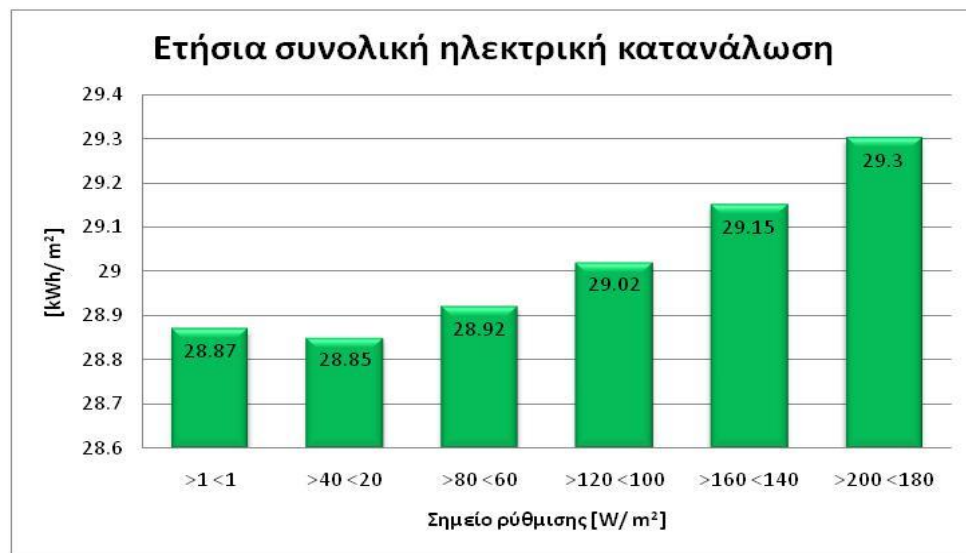
Κατά την υφιστάμενη κατάσταση, ο έλεγχος της ενεργοποίησης του συστήματος σκίασης πραγματοποιείται λαμβάνοντας ως είσοδο την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στα παράθυρα. Πρακτικά, η κουρτίνα είναι ανοικτή, επιτρέποντας την ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει ανεμπόδιση στον χώρο, έως ότου το μέγεθος αυτό ξεπεράσει μια συγκεκριμένη τιμή (σημείο ρύθμισης). Τότε, ενεργοποιείται το σύστημα σκίασης, έως ότου η ηλιακή ακτινοβολία γίνει μικρότερη από την καθορισμένη τιμή. Συγκρίνονται έξι διαφορετικά σενάρια με διαφορετικές τιμές ρύθμισης, ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία της υφιστάμενης κατάστασης παραμένουν ίδια. Τα διαφορετικά σενάρια αφορούν διαφορετικές τιμές που ενεργοποιείται και απενεργοποιείται το σύστημα σκίασης. Κατά το πρώτο σενάριο η σκίαση ξεκινά να λειτουργεί όταν η προσπίπτουσα ακτινοβολία στο παράθυρο ξεπεράσει το 1 W/m^2 και κλείνει όταν γίνει μικρότερη του 1 W/m^2 . Τα υπόλοιπα προκύπτουν αυξάνοντας κατά 40 W/m^2 την τιμή του σημείου ρύθμισης, διατηρώντας την υστέρηση σταθερή στα 20 W/m^2 . Στα διαγράμματα των Σχήμα 5.10 και Σχήμα 5.11 αποτυπώνονται τα αποτελέσματα για τη θέρμανση και την ψύξη αντίστοιχα, ενώ στο Σχήμα 5.12 τα συνολικά.



Σχήμα 5.10: Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση για θέρμανση συναρτήσεϊ του σημείου ρύθμισης



Σχήμα 5.11: Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση για ψύξη συναρτήσει του σημείου ρύθμισης



Σχήμα 5.12: Ετήσια συνολική ηλεκτρική κατανάλωση συναρτήσει του σημείου ρύθμισης

Σύμφωνα με το Σχήμα 5.10, η αύξηση της τιμής του σημείου ρύθμισης συνεπάγεται τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση. Αυτό συμβαίνει, διότι το σύστημα σκίασης επιτρέπει την ανεμπόδιστη είσοδο στο χώρο μεγαλύτερης ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας, προτού να ενεργοποιηθεί. Αντριστρόφως, σε όσο χαμηλότερη τιμή ενεργοποιείται η σκίαση, τόσο λιγότερα ηλιακά θερμικά κέρδη εισέρχονται. Άρα, το σύστημα ψύξης χρειάζεται να λειτουργήσει λιγότερο, προκειμένου να ικανοποιείται η θερμοκρασιακή συνθήκη, μειώνοντας έτσι τη συνολική ηλεκτρική κατανάλωση (Σχήμα 5.12). Όσον αφορά τα συνολικά αποτελέσματα, δεδομένου του αυξημένου ρόλου που διακατέχει στο ενεργειακό ισοζύγιο η ψύξη συγκριτικά με τη θέρμανση, η συνολική κατανάλωση ακολουθεί το ίδιο προφίλ απόδοσης συναρτήσει του σημείου ρύθμισης, όπως και η ψύξη (Σχήμα 5.11).

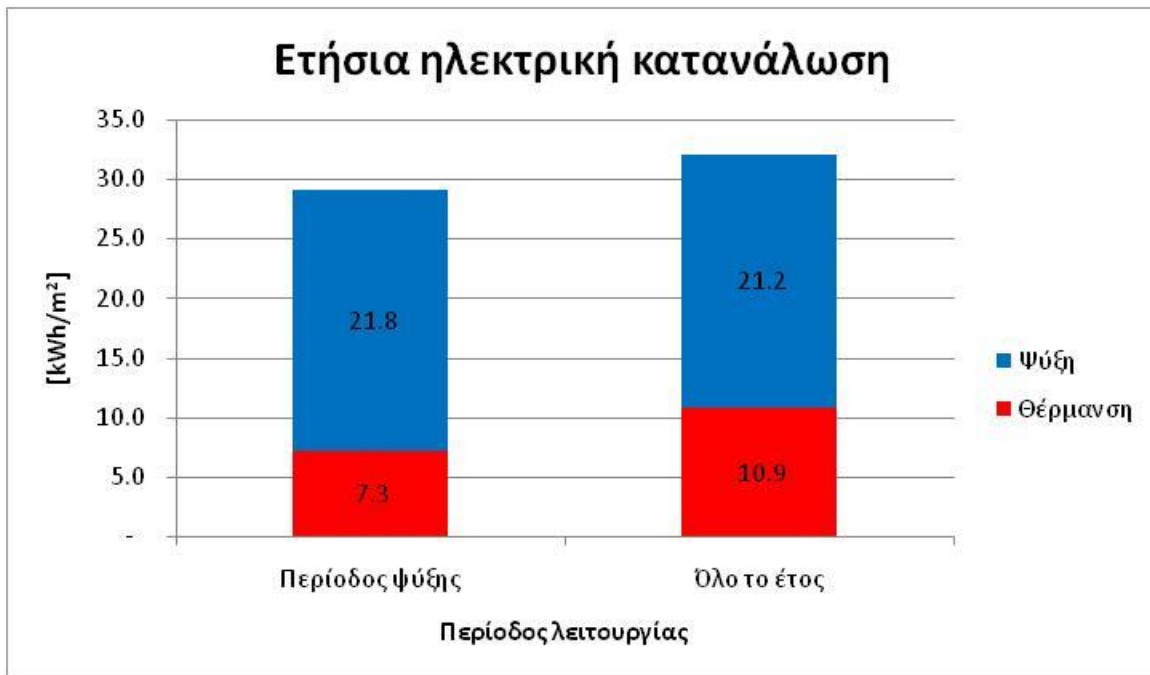
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το δεύτερο σενάριο, όπου εντοπίζεται τοπικό ελάχιστο. Δηλαδή, στο σημείο αυτό, υφίσταται η χαμηλότερη συνολική ηλεκτρική κατανάλωση, δημιουργώντας διαφοροποίηση όσον αφορά τη μονοτονία των τιμών κατανάλωσης σε σχέση με εκείνων του σημείου ρύθμισης. Εκεί, φαίνεται ότι η θέρμανση διαδραματίζει σημαντικότερο ρόλο στη διαμόρφωση της βέλτιστης στρατηγικής ελέγχου, καθώς η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται χάρη στη μείωση της χρήσης του συστήματος θέρμανσης ξεπερνά την αύξηση της κατανάλωσης λόγω ψύξης. Η συμπεριφορά αυτή εξηγείται σύμφωνα με τις τιμές που λαμβάνει το μέγεθος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (Σχήμα 5.4 και Σχήμα 5.1) κατά την περίοδο ψύξης που λειτουργεί η σκίαση. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι οι μέσες τιμές της ακτινοβολίας που είναι πιο κοντά στα 40 W/m^2 εμφανίζονται σε χρονικές περιόδους, όπου η μέση εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή και υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για θέρμανση, κυρίως τον Μάρτιο και το Νοέμβριο. Επίσης, η κάθετη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, συνήθως, λαμβάνει τιμές τέτοιας κλίμακας κατά τις πρωινές ώρες της ημέρας όπου και πάλι οι ανάγκες για θέρμανση είναι αυξημένες λόγω χαμηλής θερμοκρασίας.

Ωστόσο, οι ποσοτικές διαφορές που υφίστανται μεταξύ των σεναρίων είναι πολύ μικρές, σχεδόν αμελητέες. Συγκεκριμένα, η χειρίστη και η βέλτιστη κατανάλωση διαφέρουν κατά 2%. Επιβεβαιώνεται ξανά ότι, για την εσωτερική σκίαση η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί δευτερεύουσα λειτουργία. Ακόμα, η διερεύνηση που λαμβάνει χώρα δεν λαμβάνει υπόψιν κάποιον επιπλέον παράγοντα που διαμορφώνει την αίσθηση άνεσης των χρηστών του κτηρίου, παρά μόνο τη μέση θερμοκρασία του χώρου, η οποία σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από την εξωτερική. Το φυσικό μέγεθος με το οποίο ελέγχεται η σκίαση είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η ένταση της οποίας παρουσιάζει ανάλογη κατανομή με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

5.3.3 Επίδραση της περιόδου λειτουργίας

Υπενθυμίζεται ότι, η σκίαση λαμβάνει χώρα μόνο κατά την περίοδο ψύξης. Ακολουθεί η σύγκριση μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης και του σεναρίου όπου η εσωτερική σκίαση χρησιμοποιείται συνέχεια καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Τα αποτελέσματα των σεναρίων αυτών παρουσιάζονται γραφικά στο Σχήμα 5.13:



Σχήμα 5.13: Σύγκριση ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης διαφορετικών περιόδων λειτουργίας

Η χρήση σκίασης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους αυξάνει τη συνολική ηλεκτρική κατανάλωση κατά 10 %. Ενώ υπάρχει μια μικρή εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας για την ψύξη 3%, η αύξηση της κατανάλωσης για θέρμανση είναι σημαντικά μεγαλύτερη, κατά 49%. Επομένως, η αξιοποίηση της σκίασης μόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης αποτελεί σημαντικά οικονομικότερη επιλογή, στην περίπτωση της εσωτερικής σκίασης. Αυτό συμβαίνει, διότι η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να επιφέρει σημαντική βελτίωση του ενεργειακού προφίλ του κτηρίου, ειδικά στην περίπτωση που μελετάται, η οποία διαθέτει μεγάλους υαλοπίνακες στη νότια κατεύθυνση στην Αθήνα. Χρησιμοποιώντας σκίαση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, το κτήριο στερείται σημαντική ποσότητα ηλιακών θερμικών κερδών, τα οποία καλείται να αναπληρώσει το σύστημα θέρμανσης. Το χειμώνα, ο Ήλιος βρίσκεται χαμηλότερα, προσφέροντας θερμικά κέρδη χωρίς να οδηγούν σε υπερθέρμανση. Η μικρή μείωση ηλεκτρικής κατανάλωσης των συστημάτων ψύξης, οφείλεται στη θερμική αδράνεια του κελύφους. Η χρήση σκίασης πριν την έναρξη της περιόδου ψύξης μειώνει τα ηλιακά κέρδη και συνεπώς τη διαφορά θερμοκρασίας των χώρων με το εξωτερικό περιβάλλον.

5.4 Σενάρια υαλοπινάκων- Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα

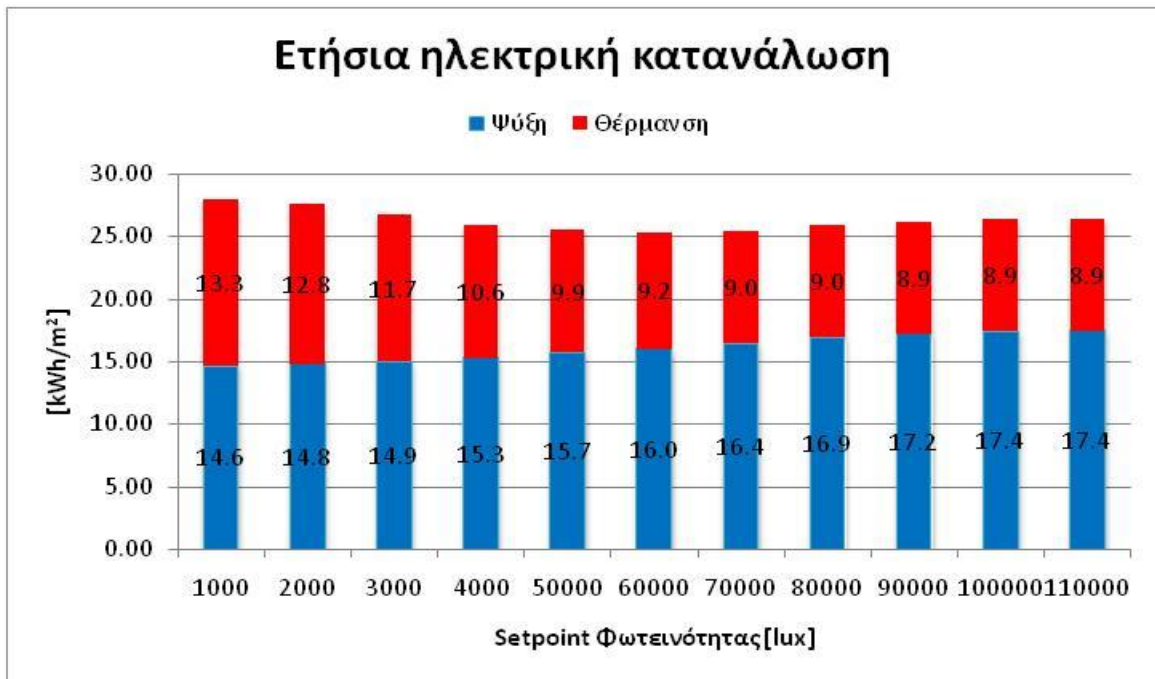
Αποσκοπώντας στην αξιολόγηση του ρόλου που καταλαμβάνουν οι υαλοπίνακες στην παρεμπόδιση εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας εντός του χώρου, συγκρίνονται διαφορετικά σενάρια. Τα σενάρια αφορούν τον τύπο των υαλοπινάκων, καθώς και τον τρόπο αλλαγής της κατάστασή τους (από διαυγή σε χρωματισμένη), η οποία διερευνάται υπό το πρίσμα της μεταβλητής ελέγχου και του σημείου ρύθμισης. Τα παράθυρα που

χρησιμοποιήθηκαν στα προηγούμενα αποτελέσματα, αποτελούνται από διπλούς, κοινούς υαλοπίνακες και μεταλλικό πλαίσιο. Στο παρών κεφάλαιο, ελέγχεται το σενάριο αντικατάστασης των παραθύρων αυτών από τριπλά ηλεκτροχρωμικά (EC). Τα EC μελετήθηκαν μόνο στις δύο ακραίες καταστάσεις τους, τη διαυγή (EC Clear) και την πλήρως χρωματισμένη (EC Dark), παρακάμπτοντας όλες τις ενδιάμεσες.

Η λειτουργία των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων δύναται να ελεγχθεί συναρτήσει διαφορετικών και ποικίλων φυσικών μεγεθών, αναλόγως της χρήσης του κτηρίου και της επιθυμίας των χρηστών. Ενεργοποίηση του χρωματισμού μπορεί να γίνει σε περιπτώσεις όπου χρειαζόμαστε ιδιωτικότητα ή αν υπάρχει έντονη ηλιοφάνεια με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται η ανάγκη εσωτερικής σκίασης. Κατά την παρούσα διερεύνηση εξετάζεται η ενεργειακή συμπεριφορά των EC με κριτήριο την φωτεινότητα του εξωτερικού περιβάλλοντος και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, για διαφορετικές τιμές σημείων ρύθμισης. Με τη χρήση των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων, γίνεται ταυτόχρονη χρήση εσωτερικής σκίασης.

5.4.1 Φωτεινότητα εξωτερικού περιβάλλοντος

Στο σενάριο αυτό συγκρίνονται τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής κατανάλωσης για διαφορετικές τιμές φωτεινότητας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, πραγματοποιούνται δέκα μετρήσεις, ξεκινώντας με πρώτο σημείο ρύθμισης τα 10000 lux, και με βήμα 10000 lux ελέγχουμε έως τα 110000 lux. Η δυνατότητα του EC να αλλάζει οπτικές ιδιότητες υφίσταται μόνο κατά την περίοδο ψύξης, ενώ το υπόλοιπο διάστημα παραμένει στη διαυγή του κατάσταση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.14

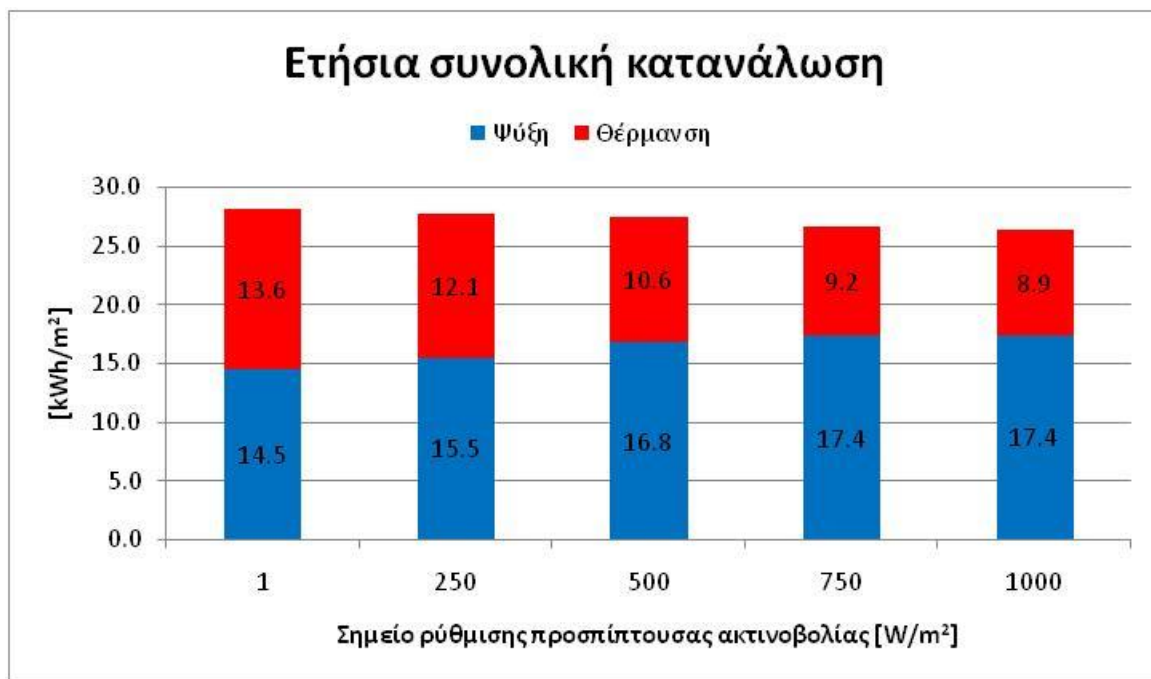


Σχήμα 5.14: Σύγκριση ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για θέρμανση και ψύξη συναρτήσει του σημείου ρύθμισης της φωτεινότητας του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Η διατήρηση των ηλεκτροχρωμικών στη διαυγή κατάσταση (set point 110000 lux) συνεπάγεται την αύξηση της ηλιακής διαπερατότητας, άρα ελάττωση των θερμικών αναγκών. Μεταξύ των δύο ακραίων σεναρίων ελέγχου, στην πλήρως διαυγή κατάσταση η κατανάλωση για θέρμανση είναι κατά 33 % λιγότερη, ενώ για ψύξη κατά 19% περισσότερη. Η αύξηση της τιμής φωτεινότητας του σημείου ρύθμισης του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου, αυξάνει την ηλεκτρική κατανάλωση για ψύξη, ενώ μειώνει την κατανάλωση για θέρμανση. Η διαφοροποίηση μεταξύ αυτών των δύο αυξάνεται, όσο αυξάνεται η τιμή του σημείου ρύθμισης, δηλαδή όσο αυξάνεται ο χρόνος όπου ο υαλοπίνακας παραμένει στη διαυγή του κατάσταση, πριν χρωματιστεί. Κατά τη διάρκεια ενός έτους, η ποσότητα φωτεινότητας ακολουθεί ανάλογη κατανομή με την συνολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και οι υψηλότερες τιμές της φωτεινότητας λαμβάνουν χώρα κατά την περίοδο ψύξης. Έτσι, ο άμεσος χρωματισμός επιφέρει μεγάλη μείωση των θερμικών κερδών εντός του χώρου. Συγκεκριμένα, η ελάχιστη ηλεκτρική κατανάλωση που επιτυγχάνεται είναι 25.26 kWh/m², εξοικονομώντας 10% σε σχέση με το χειριστο σενάριο. Υπό το πρίσμα της εξοικονόμησης ενέργειας, βέλτιστη λύση αποτελεί το σενάριο όπου ο χρωματισμός του υαλοπίνακα λαμβάνει χώρα, όταν η φωτεινότητα του εξωτερικού περιβάλλοντος ξεπεράσει τις 60000 lux. Η τιμή αυτή εκφράζει την τομή μεταξύ της αύξησης της κατανάλωσης για ψύξη και τη μείωσή της για θέρμανση. Φυσικά, σε ενδεχόμενο υιοθέτησης αυτού του πρωτοκόλλου ελέγχου, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, συνδυαστικά, παράγοντες όπως η ικανοποίηση του επιπέδου φωτισμού στον χώρο και η προστασία των χρηστών από τη θάμβωση.

5.4.2 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

Η είσοδος που δέχεται το σύστημα αυτομάτου ελέγχου είναι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ο υαλοπίνακας. Όλες οι θερμικές ζώνες του κτηρίου έχουν νότιο προσανατολισμό, εκτός από τη ζώνη Med_8 που έχει δυτικό. Ο έλεγχος για κάθε ζώνη λαμβάνει χώρα με την προσπίπτουσα ακτινοβολία στην αντίστοιχη κατεύθυνση. Στο σενάριο αυτό συγκρίνονται τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής κατανάλωσης για διαφορετικές τιμές φωτεινότητας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, πραγματοποιούνται πέντε μετρήσεις, ξεκινώντας με πρώτο σημείο ρύθμισης το 1 W/m^2 και με βήμα 250 W/m^2 ελέγχουμε έως τα 1000 W/m^2 . Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στον Σχήμα 5.15. Και σε αυτό το σενάριο, η δυνατότητα του EC να αλλάζει οπτικές ιδιότητες υφίσταται μόνο κατά την περίοδο ψύξης, ενώ το υπόλοιπο διάστημα παραμένει στη διαυγή του κατάσταση.



Σχήμα 5.15: Σύγκριση ετήσιων συνολικών καταναλώσεων συναρτήσει διαφορετικών σημείων ρύθμισης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

Παρόμοια με τη χρήση της φωτεινότητας ως κριτήριο χρωματισμού του EC, η χρήση της προσπίπτουσα ηλιακής ακτινοβολίας επιδρά στην εξοικονόμηση ενέργειας των ενεργειακών συστημάτων για ψύξη και για θέρμανση με αντίθετο τρόπο. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση για ψύξη κυμαίνεται από 14.53 kWh/m^2 έως 17.42 kWh/m^2 , δείχνοντας ότι η διαρκώς σκούρα κατάσταση εξοικονομεί 20% ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με τη διαρκώς διαυγή κατάσταση. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση κυμαίνεται από 13.66 kWh/m^2 έως 8.93 kWh/m^2 , δείχνοντας ότι η διαρκώς διαυγή κατάσταση εξοικονομεί 34% ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με τη διαρκώς σκούρα κατάσταση. Η συνολική κατανάλωση κυμαίνεται από 28.18 kWh/m^2 έως 26.35 kWh/m^2 , εξοικονομώντας 6%

ηλεκτρική ενέργεια. Σε αντίθεση με τον έλεγχο με τη χρήση της εξωτερικής φωτεινότητας, στο σενάριο αυτό δεν παρουσιάζεται τοπικό ακρότατο, ενώ η ποιοτική συμπεριφορά της θέρμανσης και της ψύξης παραμένει ίδια. Το γεγονός αυτό οφείλεται στον έλεγχο των υαλοπινάκων προς κάθε κατεύθυνση με την αντίστοιχη ηλιακή προσπίπτουσα ακτινοβολία, οι οποίες μεταξύ τους παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις. Για χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από Απρίλιο έως Αύγουστο, η συνολική ποσότητα της ακτινοβολίας στη δυτική κατεύθυνση, που προσπίπτει στο παράθυρο της θερμικής ζώνης Med_8 είναι μεγαλύτερη από εκείνη όλων των υπόλοιπων θερμικών ζωνών που κατευθύνονται νότια. Η θερμική ζώνη Med_8 καταλαμβάνει το 18% της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης. Συνεπώς, η επίδρασή της συνδιαμορφώνει εν μέρει το αποτέλεσμα, δηλαδή την αύξηση της τιμής του σημείου ρύθμισης του EC, να επιφέρει μείωση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, χάρη στη σημαντική μείωση της απαιτούμενης θέρμανσης.

6. Συμπεράσματα

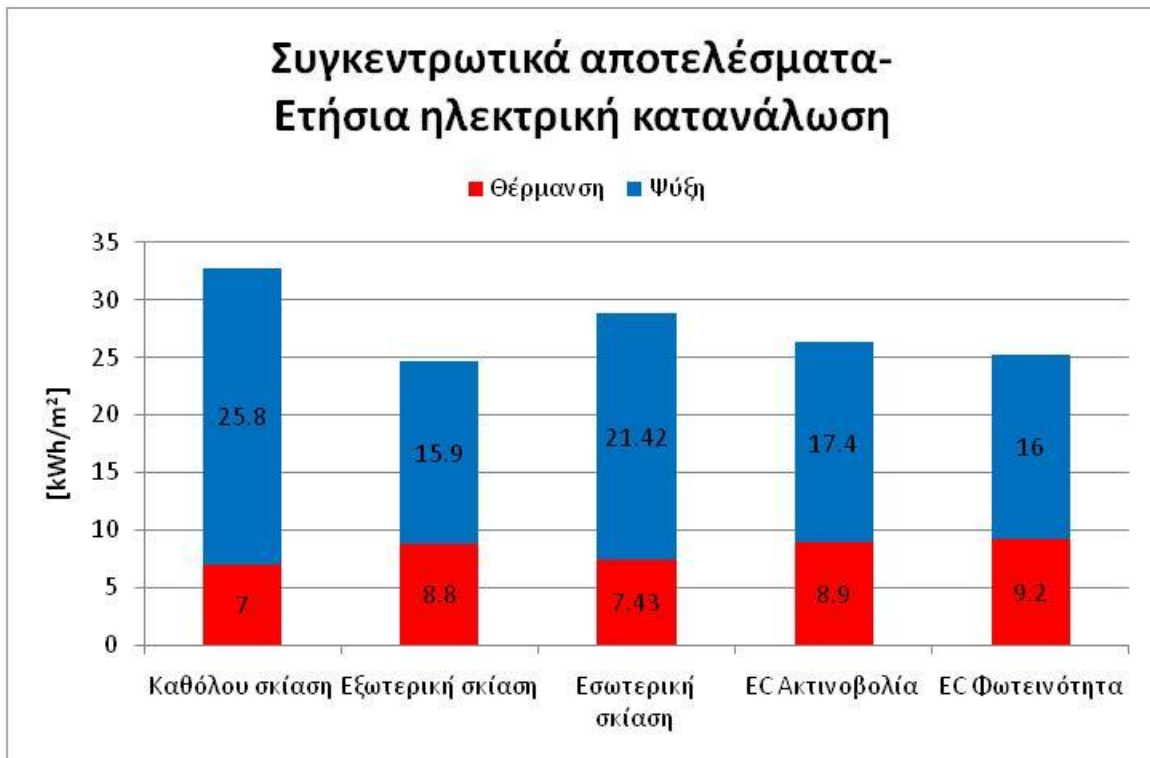
Αντικείμενο της μελέτης αποτέλεσε η ενεργειακή αξιολόγηση των υαλοπινάκων και των συστημάτων σκίασης σε πραγματικό κτήριο, υπό τη σκοπιά της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Επιλέχθηκε το συγκεκριμένο κτήριο λόγω των αυξημένων ηλιακών κερδών που απολαμβάνει, χάρη στα μεγάλα ανοίγματα νότιου, κυρίως, προσανατολισμού που διαθέτει.

Αρχικά, μοντελοποιήθηκαν θεωρητικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης στους υπο μελέτη χώρους. Υπολογίστηκαν οι ενεργειακές απαιτήσεις του χώρου, θεωρώντας τη λειτουργία ιδεατών, ιδανικών ενεργειακών συστημάτων, τα οποία εξασφαλίζουν τη διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας στο θερμοκρασιακό εύρος 22-26°C. Έχοντας ως κριτήριο την ικανοποίηση των ακραίων ενεργειακών αναγκών, πραγματοποιήθηκε η διαστασιολόγηση των συστημάτων αυτών. Έπειτα, υπολογίστηκαν τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που εισέρχονται στον χώρο από τις εκάστοτε τερματικές μονάδες, καθώς και οι ενεργειακές καταναλώσεις κάθε στοιχείου των ενεργειακών συστημάτων.

Στη συνέχεια, αξιολογήθηκαν διαφορετικά σενάρια λειτουργίας στοιχείων του κελύφους, των παραθύρων και της σκίασης, με κριτήριο την επίδραση που επιφέρουν στην ηλεκτρική κατανάλωση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης που μοντελοποιήθηκαν πρώτα. Τα σενάρια αφορούν τη χρήση διαφορετικών ειδών σκίασης, τη χρήση απλών και ηλεκτροχρωμικών παραθύρων. Ακόμα, μελετήθηκαν τα πρωτόκολλα λειτουργίας τους, διαφοροποιώντας το φυσικό μέγεθος ελέγχου και το σημείο ρύθμισης με το οποίο λειτουργεί το σύστημα αυτοματισμού.

Στο διάγραμμα του Σχήμα 6.1, αποτυπώνονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης των κύριων προσομοιώσεων. Έχοντας ως μέτρο σύγκρισης την κατάσταση πλήρους απουσίας σκίασης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χρήσης εσωτερικής και εξωτερικής σκίασης. Επίσης, αποτυπώνεται η ηλεκτρική κατανάλωση των συστημάτων, για τα δύο σενάρια ελέγχου των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων, με κριτήριο την κάθετη προσπίπτουσα ακτινοβολία και την φωτεινότητα. Για κάθε τύπο σεναρίου, επιλέγεται η βέλτιστη στρατηγική ελέγχου.

Με βάση τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 5 και σύμφωνα με το Σχήμα 6.1, είναι δυνατό να διεξαχθούν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα.



Σχήμα 6.1: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα: Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση της βέλτιστης περίπτωσης κάθε σεναρίου

6.1 Βασικά συμπεράσματα

Αρχικά, αναδεικνύεται η σημασία που κατέχει η χρήση και η θέση μιας θερμικής ζώνης σε σχέση με το υπόλοιπο κτήριο. Οι «ακριανές» θερμικές ζώνες παρουσιάζουν αυξημένες απώλειες σε σχέση με τις «ενδιάμεσες», λόγω της μεγαλύτερης επαφής τους με το εξωτερικό περιβάλλον. Οι ζώνες τύπου γραφείων απαιτούν αυξημένες καταναλώσεις ψύξης, λόγω των μεγαλύτερων ποσοτήτων εσωτερικών θερμικών κερδών που διαθέτουν.

Η αλληλεπίδραση των στοιχείων του κελύφους με τις ηλιακές ακτίνες στοχεύει στην ωφέλιμη χρήση τους κατά την περίοδο θέρμανσης και την παρεμπόδισή τους κατά την περίοδο ψύξης. Η επίδραση αυτή φαίνεται ενισχυμένη, ιδιαίτερα όταν αφορά κτίρια με μεγάλο ποσοστό διαφανών επιφανειών με νότιο προσανατολισμό και λόγω του κλίματος της περιοχής, όπως χαρακτηρίζεται από έντονη ηλιοφάνεια τις περισσότερες ημέρες του χρόνου. Συγκεκριμένα, οι ψυκτικές ανάγκες αποτελούν το 81% των συνολικών ενεργειακών αναγκών. Τα θερμικά και ψυκτικά φορτία υπερκαλύπτουν τις ανάγκες σε θέρμανση και ψύξη κατά 2% και 48% αντίστοιχα, ενώ αθροιστικά τις ξεπερνούν κατά 39%. Η υπερκάλυψη αυτή οφείλεται κυρίως στην υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος ψύξης. Η ποσότητα ηλεκτρικής κατανάλωσης είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ποσότητα των ενεργειακών αναγκών, τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη, χάρη στη δυνατότητα που προσφέρει η τεχνολογία των αντλιών θερμότητας να λειτουργούν με βαθμό απόδοσης, COP, μεγαλύτερο της μονάδας. Συγκεκριμένα, οι αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα που χρησιμοποιούνται στην ψύξη παρουσιάζουν μέσο συντελεστή απόδοσης, COP, ίσο με 3.7, ενώ η αντίστοιχη τιμή που

παρουσιάζει η αντλία θερμότητας αέρα-νερού, που χρησιμοποιείται στη θέρμανση είναι 2.43.

Βασικό συμπέρασμα της εργασίας μπορεί να αποτελέσει ο ρόλος που διαδραματίζουν οι ποικίλοι τρόποι σκίασης και τα διαφορετικά είδη υαλοπινάκων, καθώς και ο εξοπλισμός τους με στρατηγική αυτομάτου ελέγχου. Αρχικά, ο τύπος της σκίασης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη συνολική ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας. Η ύπαρξη μόνο εσωτερικής ή μόνο εξωτερικής σκίασης επιφέρει μείωση της ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης κατά 11% και 25% αντίστοιχα. Η ταυτόχρονη λειτουργία και των δύο μεθόδων επιφέρει μείωση κατά 26%. Αποδεικνύεται, λοιπόν, ότι βαρύνουσα θέση από άποψη εξοικονόμησης ενέργειας, καταλαμβάνει η εξωτερική σκίαση. Η εσωτερική, παίζει επικουρικό ρόλο στον τομέα αυτό, ενώ η κύρια αξία χρήσης της έγκειται στην προστασία που προσφέρει από τη θάμβωση και την ομαλή διάχυση του ηλιακού φωτός εντός του χώρου. Όμως, εξαιτίας των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας του κτηρίου και επιπλέον περιορισμών, ιδιαίτερο βάρος δόθηκε στη χρήση της εσωτερικής σκίασης.

Όσον αφορά την τιμή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας με την οποία πραγματοποιείται ο έλεγχος της σκίασης, φαίνεται ότι κατέχει περιορισμένο ρόλο στην εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς η βέλτιστη περίπτωση εξασφαλίζει μείωση κατά 2%. Δεδομένης της υπεροχής της σημασίας της ψύξης σε σχέση με εκείνης της θέρμανσης, η βέλτιστη εξοικονόμηση ενέργειας εξασφαλίζεται με την αμεσότερη ενεργοποίηση της σκίασης (ενεργοποίηση στα 40 W/m^2 , αντί για 160 W/m^2). Σημαντικό ρόλο παίζει, επίσης, η περίοδος λειτουργίας της σκίασης κατά τη διάρκεια του χρόνου. Η χρήση σκίασης καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους οδηγεί στην αύξηση της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης κατά 10 % σε σχέση με τη λειτουργία της μόνο κατά την περίοδο ψύξης. Φαίνεται ότι, η ηλιακή ακτινοβολία και η αύξηση της θερμοκρασίας που επιφέρει είναι αρκετά ωφέλιμη κατά την υπόλοιπη περίοδο του έτους. Αποκόπτοντας τα θερμικά φορτία, η κατανάλωση για θέρμανση αυξάνεται κατά 49%, ενώ το επιπλέον κέρδος αναφορικά με την ψύξη ανέρχεται στο 3%.

Όσον αφορά τους ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες, εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα: Ο έλεγχος της κατάστασης των ηλεκτροχρωμικών με κριτήριο την εξωτερική φωτεινότητα δύναται να επιφέρει κατά 10% επιπλέον ενεργειακή εξοικονόμηση. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση είναι αυξημένη κατά 33%, ενώ για ψύξη είναι μειωμένη κατά 19%. Ο έλεγχος με βάση την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, μπορεί να επιφέρει έως και 6% εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Λαμβάνοντας ως είσοδο το μέγεθος αυτό, η κατανάλωση για θέρμανση αυξάνεται κατά 34%, ενώ για ψύξη μειώνεται κατά 20%. Η αντίστροφη συμπεριφορά που παρουσιάζει η μεταβολή της θέρμανσης και της ψύξης στα δύο διαφορετικά σενάρια αυτά, αναδεικνύει τη σημασία που διαδραματίζει ο προσανατολισμός. Κατά την περίοδο ψύξης, η ένταση της μέσης μηνιαίας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια δυτικού προσανατολισμού είναι μεγαλύτερη από ότι σε επιφάνεια νότιου προσανατολισμού. Όμως, κατά το υπόλοιπο έτος

ισχύει το αντίστροφο. Η ένταση της φωτεινότητας αυξάνεται κατά τους θερινούς μήνες, όμοια με την εξωτερική θερμοκρασία ή την ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο.

Παρατηρείται ότι η χρήση ηλεκτροχρωμικών παραθύρων αποτελεί συμφέρουσα επιλογή με οποιοδήποτε συνδυασμό πρωτοκόλλων ελέγχου σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Με τη χρήση ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων η κατανάλωση της βέλτιστης κατάστασης είναι 25.26 kWh/ m², ενώ η κατανάλωση με τη χρήση εσωτερικής σκίασης και κοινών διπλών υαλοπινάκων ανέρχεται στις 28.85 kWh/ m².

Συγκρίνοντας όλα τα σενάρια ελέγχου των ηλεκτροχρωμικών με το βέλτιστο σενάριο ελέγχου των κοινών παραθύρων, η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που επιφέρουν τα EC ανέρχεται έως 13%. Η υπεροχή αυτή των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων, υπό όλα τα σενάρια, οφείλεται στις χαμηλότερες τιμές θερμοπερατότητας και ηλιακού θερμικού κέρδους που διαθέτουν συγκριτικά με τους κοινούς, διπλούς υαλοπίνακες. Έτσι, παρουσιάζουν καλύτερη θερμομόνωση, τόσο στη διαυγή όσο και στην πλήρως χρωματισμένη κατάσταση, καθώς και μεγαλύτερη μείωση εισόδου ηλιακών θερμικών κερδών εντός του χώρου.

Τέλος, είναι δυνατόν να εξαχθεί ένα γενικότερο συμπέρασμα αναφορικά με τη μέθοδο που έλαβε χώρα κατά την εκπόνηση της εργασίας. Η συγκριτική αξιολόγηση των σεναρίων με μοναδικό κριτήριο την εξοικονόμηση ενέργειας, εφόσον ικανοποιείται η διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας εντός του επιθυμητού θερμοκρασιακού εύρους, ενδέχεται να οδηγήσει σε ορισμένες στρεβλώσεις. Σε κάποιες περιπτώσεις και σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, δυσκολεύει η επιλογή του καταλληλότερου σεναρίου ελέγχου, δίχως να λαμβάνονται υπόψιν περισσότεροι παράγοντες καθορισμού των συνθηκών θερμικής άνεσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση ελέγχου των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων ή της σκίασης με κριτήριο την προσπίπτουσα ακτινοβολία, όπου το βέλτιστο σενάριο από άποψη εξοικονόμησης ενέργειας προέκυπτε ο απ' ευθείας χρωματισμός του παραθύρου ή η ενεργοποίηση της σκίασης αντίστοιχα. Στην πραγματικότητα, ένα τέτοιο σενάριο ελέγχου ενδέχεται να μην προσφέρει στο χρήστη το απαραίτητο φυσικό φως, προκειμένου να νιώθει άνεση εντός του χώρου. Αντίστροφα, η μόνιμη απενεργοποίηση της σκίασης και των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων κατά την περίοδο θέρμανσης, πιθανόν να προκαλεί ενόχληση στο χρήστη λόγω θάμβωσης.

6.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε, φανερώνονται περαιτέρω περιθώρια βελτίωσης του μοντέλου, αποσκοπώντας στην πιο διεξοδική μελέτη της ενεργειακής του συμπεριφοράς και τη διερεύνηση δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου:

- Στοχος για nZEB (nearly- Zero Energy Building): δηλαδή παράλληλα με την εξοικονόμηση ενέργειας, πραγματοποίηση μελέτης αναφορικά με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως κύρια συστήματα θέρμανσης και ψύξης, είτε επικουρικά ή αποδοτικότερων και πιο σύγχρονων συστημάτων, καθώς και μέριμνα για το ζεστό νερό χρήσης. Χαρακτηριστικά τέτοιων παραδειγμάτων αποτελούν το

ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης ή/ και δροσισμού, η γεωθερμία, χρήση κλιματιστικών και κυκλοφορητών μεταβλητών στροφών (inverter), τα φωτοβολταϊκά κ.ά. Ακόμα, υπάρχει μεγάλο περιθώριο στη χρήση διαφορετικών τύπων υαλοπινάκων, συστημάτων σκίασης, και μεταξύ τους συνδυασμοί, καθώς και διαφορετικές στρατηγικές ελέγχου.

- Μελέτη λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικούς παράγοντες που σχετίζονται με τις συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των θερμικών ζωνών και αναζήτηση κατάλληλων σεναρίων με βάση των συνδυασμό τους. Τέτοιοι παράγοντες είναι το εσωτερικό επίπεδο φυσικού και τεχνητού φωτισμού, η υγρασία και η ταχύτητα αέρα εντός του χώρου, η θάμβωση κ.ά.
- Μελέτη της ενεργειακής απόδοσης του ίδιου κτηρίου σε διαφορετική κλιματική ζώνη ή/ και προσανατολισμό των υαλοπινάκων, προκειμένου να επιτευχθεί βαθύτερη κατανόηση του ρόλου που διαδραματίζουν στο ενεργειακό προφίλ του χώρου.
- Χρήση διαφορετικών κριτηρίων ελέγχου των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων, όπως για παράδειγμα της εσωτερικής θερμοκρασίας κάθε ζώνης, καθώς και η ένταση ενδιάμεσων καταστάσεων χρωματισμού, εκτός των δύο ακραίων.
- Μοντελοποίηση με χρήση άλλου υπολογιστικού λογισμικού, για παράδειγμα το *EnergyPlus* και σύγκριση των αποτελεσμάτων με εκείνων του *TRNSYS*.
- Η ενεργειακή αξιολόγηση του κτηρίου, εάν επρόκειτο να κατέχει άλλη χρήση, για παράδειγμα να αποτελεί κατοικία.
- Τέλος, όλα τα παραπάνω διαφορετικά σενάρια, θα μπορούσαν να αξιολογηθούν υπό το πρίσμα τεχνικοοικονομικής μελέτης.

7. Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά πηγή (1800-2021) [3]...	12
Σχήμα 1.2: Συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην ΕΕ, το 2014. [5]	13
Σχήμα 1.3: Τελική ενεργειακή κατανάλωση (2000-2019). [8]	14
Σχήμα 2.1: Τρεις μέθοδοι μεταφοράς θερμότητας	22
Σχήμα 2.2: Φασματική κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας	23
Σχήμα 2.3: Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας	24
Σχήμα 2.4: Γωνίες που σχηματίζονται από τη σχετική κίνηση Γης – Ήλιου[34].....	25
Σχήμα 2.5: Σχέση μεταξύ συντελεστών τ , α , ρ και e σε μονό υαλοπίνακα	28
Σχήμα 2.6: Ενεργειακή συμπεριφορά παραθύρου διπλής υάλωσης.....	31
Σχήμα 2.7: Εναλλαγή οτικών χαρακτηριστικών ηλεκτροχρωμικού υαλοπίνακα	36
Σχήμα 2.8: Ηλεκτροχρωμική συσκευή	37
Σχήμα 2.9: Μεταβολή οπτικής διαπερατότητας και ροής θερμότητας EC παραθύρου [40]	38
Σχήμα 2.10: Πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας σε ανοιχτόχρωμη επιφάνεια.....	41
Σχήμα 2.11: Πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας σε σκουρόχρωμη επιφάνεια	41
Σχήμα 2.12: Σύγκριση εσωτερικής και εξωτερικής σκίασης.....	43
Σχήμα 2.13: Στενός δρόμος μεταξύ κτηρίων στη Βιέννη	44
Σχήμα 2.14: Σκίαση από γειτνιάζοντα κτίρια	44
Σχήμα 2.15: Σκίαση λόγω βλάστησης	45
Σχήμα 2.16: Επίδραση στην ηλιακή ακτινοβολία που καταφθάνει στο κτήριο με χρήση φυλλοβόλων δέντρων	45
Σχήμα 3.1: Κάτοψη παιδιατρικής κλινικής.....	47
Σχήμα 3.2: Εσωτερικά κέρδη θερμικών ζωνών Med_1 και Of_2	54
Σχήμα 3.3: Θερμοκρασία θερμικών ζωνών καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, χωρίς την ύπαρξη συστημάτων θέρμανσης και ψύξης	58
Σχήμα 3.4: Αλληλοεπικάλυψη περιόδων θέρμανσης και ψύξης	59
Σχήμα 4.1: Τριδιάσταση αποτύπωση μελετούμενου ορόφου μέσω <i>SketchUp</i>	65
Σχήμα 4.2: Μοντελοποίηση εξωτερικού τοίχου μέσω TRNBuild.....	66
Σχήμα 4.3: Έλεγχος σκίασης στην υπάρχουσα κατάσταση με βάση τη συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στον υαλοπίνακα.....	68
Σχήμα 4.4: Type56	69
Σχήμα 4.5: Type15-6.....	69
Σχήμα 4.6: Equation	69
Σχήμα 4.7: Type166	70
Σχήμα 4.8: Type917	70
Σχήμα 4.9: Type966	70
Σχήμα 4.10: Type158.....	71
Σχήμα 4.11: Type14k	71
Σχήμα 4.12: Type114.....	71
Σχήμα 4.13: Type649.....	71
Σχήμα 4.14: Type647	71
Σχήμα 4.15: Type954c	72
Σχήμα 4.16: Type146.....	72

Σχήμα 4.17: Type14l	72
Σχήμα 4.18: Simulation Studio: Πλήρες Κύκλωμα	73
Σχήμα 4.19: Κλιματολογικές συνθήκες	74
Σχήμα 4.20: Σύστημα θέρμανσης.....	74
Σχήμα 4.21: Σύστημα θέρμανσης: Κύκλωμα αέρα	75
Σχήμα 4.22: Σύστημα ψύξης	76
Σχήμα 5.1: Μέση, ελάχιστη και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος	82
Σχήμα 5.2: Άμεση ωριαία προσπίπτουσα ακτινοβολία στη νότια κατεύθυνση	83
Σχήμα 5.3: Άμεση ωριαία προσπίπτουσα ακτινοβολία στη δυτική κατεύθυνση	83
Σχήμα 5.4: Σύγκριση άμεσης μέσης μηνιαίας προσπίπτουσας ακτινοβολίας κατά τη νότια και δυτική κατεύθυνση	84
Σχήμα 5.5: Μέση μηνιαία φωτεινότητα εξωτερικού περιβάλλοντος	85
Σχήμα 5.6: Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες θερμικών ζωνών θερμικών ζωνών.....	86
Σχήμα 5.7: Ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις θερμικών ζωνών	88
Σχήμα 5.8: Ετήσια αποτελέσματα για θέρμανση και ψύξη.....	89
Σχήμα 5.9: Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ενεργειακών συστημάτων	91
Σχήμα 5.10: Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση για θέρμανση συναρτήσει του σημείου ρύθμισης	92
Σχήμα 5.11: Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση για ψύξη συναρτήσει του σημείου ρύθμισης	93
Σχήμα 5.12: Ετήσια συνολική ηλεκτρική κατανάλωση συναρτήσει του σημείου ρύθμισης	93
Σχήμα 5.13: Σύγκριση ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης διαφορετικών περιόδων λειτουργίας.....	95
Σχήμα 5.14: Σύγκριση ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για θέρμανση και ψύξη συναρτήσει του σημείου ρύθμισης της φωτεινότητας του εξωτερικού περιβάλλοντος. ...	97
Σχήμα 5.15: Σύγκριση ετήσιων συνολικών καταναλώσεων συναρτήσει διαφορετικών σημείων ρύθμισης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας	98
Σχήμα 6.1: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα: Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση της βέλτιστης περίπτωσης κάθε σεναρίου	101

8. Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Βασικά στοιχεία θερμικών ζωνών	48
Πίνακας 3.2: Συντελεστής Θερμοπερατότητας επιφανειών	48
Πίνακας 3.3: Ιδιότητες δομικών υλικών	49
Πίνακας 3.4: Ανάλυση επιφανειών	50
Πίνακας 3.5: Στοιχεία παραθύρων θερμικών ζωνών.....	50
Πίνακας 3.6: Ιδιότητες παραθύρων	51
Πίνακας 3.7: Περίοδος λειτουργίας κτηρίου	52
Πίνακας 3.8: Εσωτερικά κέρδη από ανθρώπους.....	53
Πίνακας 3.9: Εσωτερικά κέρδη από ηλεκτρολογικό εξοπλισμό [4].....	53
Πίνακας 3.10: Συντελεστές λειτουργίας και ετεροχρονισμού[4]	53
Πίνακας 3.11: Εσωτερικά κέρδη από ηλεκτροφωτισμό [4]	54
Πίνακας 3.12: Σύνολο εσωτερικών θερμικών κερδών	54
Πίνακας 3.13: Αερισμός θερμικών ζωνών [4]	55
Πίνακας 3.14: Διείσδυση αέρα σε κάθε θερμική ζώνη	56
Πίνακας 3.15: Διείσδυση αέρα στα κουφώματα[4]	56
Πίνακας 3.16: Περίοδοι θέρμανσης- ψύξης	58
Πίνακας 4.1: Ιδιότητες παραθύρων κατά τη μοντελοποίηση μέσω <i>WINDOW 7.8</i>	67
Πίνακας 4.2: Μέγιστες θερμικές ανάγκες ζωνών για την υφιστάμενη κατάσταση	77
Πίνακας 4.3: Διαστασιολόγηση κλιματιστικού διαιρούμενου τύπου	79
Πίνακας 4.4: Διαστασιολόγηση τερματικών μονάδων θέρμανσης.....	79
Πίνακας 4.5: Διαστασιολόγηση αντλίας θερμότητας, κυκλοφορητή και δεξαμενής	80

9. Πηγές

[1] Aytac, Selenay & Tran, Clara, 2022, Towards Net Zero Energy Library Buildings. Issues in Science and Technology Librarianship.

[2]<https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis>

[3] <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>

[4] Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτιριακού αποθέματος (Άρθρο 4, Οδηγία 27/2012/ΕΕ) - Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΝ)

[5] Τεχνική Οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. (20701-1/2017)

[6]https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en

[7] Eurostat, 2014

[8] <https://www.odyssee-mure.eu/>

[9] Οδηγός θερμομόνωσης κτιρίων, 2η έκδοση, Υπηρεσία Ενέργειας, Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού, 2010.

[10] D. D'Agostino, B. Cuniberti, P. Bertoldi, Energy consumption and efficiency technology measures in European non-residential buildings, Energy Build. 153, 72–86 (2017)

[11] D. Hyseni, D.J. Tashevski, R.V. Filkoski, I.K. Shesho, Energy efficiency in complex buildings, IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 410, 012024 (2020)

[12] WHO, Health Care Without Harm, Healthy hospitals Healthy planet Healthy people: Addressing climate change in health care settings. Discussion draft (2008)

[13] Despina K. Serghides, Stavroula Thravalou, Stella Dimitriou and Ioanna Kyprianou, Energy performance of healthcare facilities in 3 climatic zones in Cyprus, 2022

[14] J. Petrovic, M. Medojevic, I. Mujan, Energy indicators for public buildings in autonomous province of Vojvodina with focus on healthcare, educational and administrative buildings (2016)

- [15] S. Ma, Y. Ma, Q. Zhang, W. Deng, J. Lu, T. Zhou, Thermal comfort and energy consumption in healthcare buildings – a review, in Proc. 7th Int. Conf. Archit. Mater. Constr., edited by P. Mendonça, N.D. Cortiços (Springer, Cham, 2022)
- [16] V.A. Ani, Powering primary healthcare centres with clean energy sources, Renew. Energy Environ. Sustain. 6, 7 (2021)
- [17] ΓΙΑΝΝΙΟΥ ANNA, Ο ενεργειακός σχεδιασμός στην πολεοδομία. Βιοκλιματικά υλικά δόμησης, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Ιούλιος 2004
- [18] Δρούτσα Κ.Γ., Κοντογιαννίδης Σ., Δασκαλάκη Ε.Γ., Μπαλαράς Κ.Α., 2014. Αποτύπωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των ελληνικών κτιρίων μέσω των ενεργειακών πιστοποιητικών. 10ο Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας
- [19] <https://ypen.gov.gr/energeia/energeiaki-exoikonomisi/ktiria/kenak/>
- [20] Schittich, Lang, & Krippner, 2006, In Detail: Building Skins, new enlarged edition. Germany: Institute for International Architecture
- [21] Pfanner, Esiyok & Vatahska, 2018, A new building envelope–increasing daylight and energy efficiency with water flow glazing
- [22] Bessoudo et al., 2010, Indoor thermal environmental conditions near glazed facades with shading devices–Part II: Thermal comfort simulation and impact of glazing and shading properties
- [23] Claessens&DeHerte, 2006, A. Active Solar Heating and Photovoltaics.Solar Energy in European Office Buildings. Energy Research Group,School of Architecture, University College of Dublin, Ireland
- [24] Landis, 2019, Development of a Parametric Data-Driven Fixed Shading Device Design Workflow (Doctoral dissertation, University of Cincinnati).
- [25] Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας». Πάτρα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας
- [26] ΗΛΕΚΤΡΟΧΡΩΜΙΚΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ, Γ. Λευθεριώτης, Επ. Καθηγητής, Τμ. Φυσικής, Παν/μιο Πατρών
- [27] Krstic-Frundzic, Vujosevic, & Petrovski, 2019, Energy and environmental performance of the office building facade scenarios
- [28] Blake, 1955, Marcel Breuer: sun and shadow: the philosophy of an architect.

- [29] Olgyay, Olgyay, 1957, Solar Control and Shading Devices. Princeton University Press.
- [30] Hernandez et al., 2017, Effects of louvers shading devices on visual comfort and energy demand of an office building. A case of study.
- [34] AlMasrani et al 2018, Alajmi et al 2021, Bagheri Sabzevar and Erfan 2021, Determining the optimum fixed solarshading device for minimizing the energy consumption of a side-lit office building in a scorching climate.
- [32] Dutta, Samanta, & Neogi, 2017, Influence of orientation and the impact of external window shading on building thermal performance in tropical climate.
- [33] ΚΙΜΩΝΟΣ Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΥ, ΘΕΡΜΙΚΑ – ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, ΑΘΗΝΑ 2011
- [34] Σημειώσεις μαθήματος: «Μεταφορά θερμότητας 2», Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, 2019-2020, Καθ. Μ. Φούντη, Καθη. Δ. Χουντάλας, Δ. Κατσουρίνης (ΕΔΙΠ), Δ. Γιαννόπουλος (ΕΔΙΠ)
- [35] <https://en.vasglass.gr/el/content/eleghos-iliakis-yperiodoys-aktinovolias>
- [36] Bjørn Petter Jelle: Solar Radiation Glazing Factors for Window Panes, Glass Structures and Electrochromic Windows in Buildings - Measurement and Calculation
- [37] Lawrence Berkeley National Laboratory. THERM 6.3/ WINDOW 6.3 NFRC Simulation Manual . July 2013.
- [38] European Commission, Solar Shading for the European climates
- [39] ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΧΡΩΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ, 138 ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, Πάτρα, Ιούνιος 2016
- [40] Gasochromic smart window: optical and thermal properties, energysimulation and feasibility analysis, Wei Feng, Liping Zou, Guohua Gao, Guangming Wu, Jun Shen, Wen Li
- [41] P.F Tavares, A.R. Gaspar, A.G. Martins, F. Frontini, The impact of electrochromic windows on the energy performance of buildings in Mediterranean climates: a case study] [P. M. Martin -OPTICAL MATERIALS | Smart Optical Materials
- [42] Paulo Tavares, Hermano Bernardo, Adélio Gaspar, António Martins. Control criteria of electrochromic glasses for energy savings in mediterranean buildings refurbishment. 2016.

[43] Switch2Save Lightweight switchable smart solutions for energy saving large windows and glass facades, Deliverable D1.4, IGU switching thresholds and protocols

[44] https://www.daikin.gr/el_gr/customers.html

[45] <https://www.andrianos.gr/gr>