



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ενεργειακή προσομοίωση προηγμένων υαλοπινάκων
σε κτήριο γραφείων**

ΤΕΡΖΙΔΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ (ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ)

Αθήνα, 2021

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα και Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών κ. Χρήστο Τζιβανίδη για την δυνατότητα που μου έδωσε να εκπονήσω το συγκεκριμένο θέμα και ήταν πάντα διαθέσιμος όποτε χρειάστηκε. Ευχαριστώ επίσης όλους τους κοντινούς μου ανθρώπους για την υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ενεργειακή μελέτη ενός κτηρίου στην περιοχή της Αθήνας στο οποίο θα γίνει χρήση διάφορων ειδών υαλοπινάκων. Έτσι, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς υαλοπίνακες στο ίδιο κτήριο θα μπορέσουμε να εξάγουμε συμπεράσματα για την συμπεριφορά και την απόδοση του καθενός κάτω υπό τις ίδιες συνθήκες ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, το κτήριο θα δημιουργηθεί σε κατάλληλο σχεδιαστικό περιβάλλον τριών διαστάσεων και στην συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί πρόγραμμα που ειδικεύεται στις ενεργειακές προσομοιώσεις. Για την υλοποίηση των παραπάνω θα γίνει χρήση των λογισμικών **Sketchup Make 2017**, **OpenStudio v.2.9**, **WINDOW7.7** και **EnergyPlus v.9.2** για τα οποία θα παρουσιαστούν αναλυτικά όλα τα βήματα της διαδικασίας που ακολουθήθηκε μαζί με τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων.

Για αρχή, θα χρειαστεί να σχεδιάσουμε το προς μελέτη κτήριο. Σε αυτό το σημείο θα δοθεί η βασική δομή του κτηρίου όπως είναι οι συνολικές του διαστάσεις, ο αριθμός των ορόφων και η οριοθέτηση των εσωτερικών του χώρων. Για αυτόν τον σκοπό θα χρησιμοποιηθεί το **Sketchup Make 2017** το οποίο είναι ένα λογισμικό σχεδίασης τριών διαστάσεων που προσφέρει όσες δυνατότητες απαιτούνται για τον δημιουργία του κτηριακού κελύφους που χρειαζόμαστε ενώ είναι συνεργάσιμο με τα άλλα δύο λογισμικά.

Ύστερα, εφόσον έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή της δομής του κτηρίου θα ξεκινήσει η διαδικασία για την ενεργειακή μοντελοποίηση του. Πρώτο βήμα είναι η χρήση του **OpenStudio v.2.9** το οποίο λειτουργεί ως plug in στο Sketchup. Μέσω αυτού δηλώνονται κάποια από τα βασικά ενεργειακά χαρακτηριστικά του κτηρίου, όπως είναι ο προσδιορισμός των διάφορων χώρων και ο ορισμός των θερμικών ζωνών, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια.

Επόμενο βήμα είναι η πλήρης καταγραφή των συνθηκών και των συστημάτων με τα οποία λειτουργεί το κτήριο. Για αυτό τον λόγο θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό **EnergyPlus v.9.2** από το οποίο θα εξάγουμε και τα αποτελέσματα χρήσης του. Τέλος, τα δεδομένα για κάθε υαλοπίνακα θα παρθούν από το λογισμικό **WINDOW7.7** το οποίο προσφέρει μία βιβλιοθήκη με διάφορους τύπους υαλοπινάκων.

Abstract

The main object of this dissertation is the energy study of a building in the area of Athens in which different types of windows will be used. Thus, using different windows in the same building we will be able to draw conclusions about the behavior and performance of each under the same conditions. More specifically, the building will be created in a suitable three-dimensional design environment and then a program specializing in energy simulations will be used. For the implementation of the above will be used the software **Sketchup Make 2017**, **OpenStudio v.2.9**, **WINDOW7.7** and **EnergyPlus v.9.2** for which will be presented in detail all the steps of the process followed along with the commentary of the results.

For a start, we will need to design the building to be studied. At this point the basic structure of the building will be given, such as its overall dimensions, the number of floors and the demarcation of its interiors. For this purpose **Sketchup Make 2017** will be used which is a three-dimensional design software that offers as many features are required to create the building shell we need, and it is also compatible with the other two software.

Then, once the construction of the structure of the building has been completed, the process for its energy modeling will begin. The first step is to use **OpenStudio v.2.9** which works as a plug-in in Sketchup. Through that we will define some of the basic energy characteristics of the building, such as the various spaces and the thermal zones, which will be used later.

The next step is to fully record of the conditions and systems with which the building operates. For this reason, we will be used the software **EnergyPlus v.9.2** from which we will export the results of its use. In the end, the data for each window will be taken from **WINDOW7.7**, software which offers a library of different types of windows.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	4
Κατάλογος Πινάκων	8
Κατάλογος Σχημάτων	9
1 Εισαγωγή	14
1.1 <i>Ενέργεια στον κτηριακό τομέα</i>	14
1.1.1 Η κατάσταση στην Ευρώπη.....	14
1.1.2 Η κατάσταση στην Ελλάδα	14
1.2 <i>Ενεργειακή οικονομία</i>	16
1.3 <i>Ο ρόλος των υαλοπινάκων στο κτήριο</i>	17
2 Βασική θεωρία μεταφοράς θερμότητας	18
2.1 <i>Μεταφορά θερμότητας με αγωγή</i>	18
2.2 <i>Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή</i>	19
2.3 <i>Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία</i>	20
2.3.1 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα	21
2.3.2 Ηλιακή ακτινοβολία.....	21
2.3.3 Διάκριση και ιδιότητες σωμάτων	23
2.2.3.1 Συντελεστής απορρόφησης α	24
2.2.3.2 Συντελεστής ανάκλασης ρ	24
2.2.3.3 Συντελεστής διάβασης τ	24
3 Υαλοπίνακες	25
3.1 <i>Το γυαλί ως βασικό στοιχείο</i>	25
3.2 <i>Ενεργειακοί παράμετροι υαλοπίνακα</i>	25
3.2.1 Συντελεστής θερμοπερατότητας U-value	26
3.2.2 Συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών SHGC	26
3.2.3 g-value	27
3.2.4 Συντελεστής Σκίασης (SC).....	27
3.2.5 Οπτική διαπερατότητα.....	27
3.2.5.1 VLT (glass visible light transmittance)	27
3.2.5.2 LSG (Lighting Solar Gain)	28
3.2.6 Διείσδυση αέρα	28
3.3 <i>Ιδιότητες υαλοπινάκων στην ακτινοβολία</i>	28
3.3.1 Ανάκλαση υαλοπίνακα	29
3.3.2 Διάβαση υαλοπίνακα	29

3.3.3 Απορρόφηση υαλοπίνακα	29
3.3.4 Εκπομπή υαλοπίνακα	29
3.4 Μεταφορά θερμότητας στους υαλοπίνακες	30
3.4.1 Μεταφορά θερμότητας λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς	30
3.4.2 Μεταφορά θερμότητας λόγω ηλιακού θερμικού κέρδους	30
3.4.3 Μεταφορά θερμότητας λόγω διείσδυσης αέρα	31
3.4.4 Μεταφορά θερμότητας στα κουφώματα	31
3.4.5 Συνολική μεταφορά θερμότητας	32
4 Κατηγορίες Υαλοπινάκων	33
4.1 Κοινό-απλοί υαλοπίνακες	34
4.1.1 Μονός απλός	34
4.1.2 Διπλός απλός	34
4.1.3 Τριπλός απλός	35
4.2 Ενεργειακοί και υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου	35
4.2.1 Θερμομονωτικοί	35
4.2.2 Ανακλαστικοί υαλοπίνακες	37
4.2.3 Αντί-ανακλαστικοί υαλοπίνακες	38
4.2.4 Απορροφητικοί υαλοπίνακες	39
4.2.5 Έγχρωμοι υαλοπίνακες	40
4.2.6 Υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (low-e)	40
4.2.6.1 Είδη επίστρωσης low-e	41
4.2.6.2 Θέση τοποθέτησης επίστρωσης low-e	42
4.2.6.3 Επιδόσεις υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής	42
4.3 Προηγμένοι και «έξυπνοι» υαλοπίνακες	44
4.3.1 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες (EC)	44
4.3.2 Υαλοπίνακας υγρών κρυστάλλων (LCWs)	47
4.3.3 Υαλοπίνακας αιωρούμενων σωματιδίων (SPDs)	48
4.3.4 Φωτοχρωμικοί υαλοπίνακες (PC)	49
4.3.5 Αεριοχρωμικοί υαλοπίνακες (GC)	49
4.3.6 Θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες (TC)	50
4.3.7 Φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες (BIPV)	52
5 Σχεδιασμός και προσομοίωση κτηρίου	55
5.1 Χρήση Sketchup-OpenStudio	56
5.2 Χρήση EnergyPlus	62
5.2.1 Βασικές επιλογές για την ενεργειακή προσομοίωση	63
5.2.2 Τοποθεσία και κλιματικά δεδομένα	68
5.2.3 Καθορισμός προγραμμάτων λειτουργίας	70
5.2.4 Καθορισμός δομικών στοιχείων κτηρίου	72
5.2.5 Ορισμός των θερμικών ζωνών και επιφανειών του κτηρίου	81
5.2.6 Φορτία εσωτερικού χώρου	85
5.2.7 Έλεγχος ηλιακού φως στον εσωτερικό χώρο	89
5.2.8 Έλεγχος αερισμού στον εσωτερικό χώρο	91

5.2.9 Ορισμός συστήματος HVAC	93
5.2.10 Παράμετροι συστήματος HVAC	99
5.3 Χρήση φωτοβολταϊκών στο EnergyPlus	100
5.3.1 Δομικά στοιχεία BIPV	100
5.3.2 Καθορισμός χρήσης BIPV	102
6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	109
6.1 Σταθερά Στοιχεία	109
6.2 Σύγκριση διάφορων τύπων υαλοπινάκων	117
6.2.1 Ιδιότητες-Χαρακτηριστικά για κάθε υαλοπίνακα	117
6.2.1.1 Αποτελέσματα για την θερμική διαπερατότητα U-Value	118
6.2.1.2 Αποτελέσματα για τον συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους SHGC	119
6.2.1.3 Αποτελέσματα για την οπτική διαπερατότητα (VLT)	119
6.2.2 Ενεργειακή απόδοση κάθε υαλοπίνακα	120
6.2.2.1 Συνολική ετήσια ενέργεια	120
6.2.2.2 Ετήσια ενέργεια ανά επιφάνεια	122
6.2.2.3 Ετήσια φορτία ψύξης	124
6.2.2.4 Ετήσια φορτία θέρμανσης	125
6.2.2.5 Ετήσια φορτία φωτισμού	127
6.2.2.6 Ετήσια θερμικά κέρδη μέσω υαλοπινάκων	128
6.2.2.7 Ετήσια θερμικές απώλειες μέσω υαλοπινάκων	129
6.3 Αποτελέσματα χρήσης φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων	130
6.3.1 Χαρακτηριστικά BIPV	130
6.3.2 Ενεργειακές επιδόσεις των BIPV	131
7 Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα	136
7.1 Συμπεράσματα	136
7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	138
Βιβλιογραφία	139
7.1 Ελληνική	139
7.2 Ξενόγλωσση	141

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 5.1.Στάθμη γενικού (όχι ειδικού) φωτισμού κτηρίου αναφοράς ανά χρήση κτηρίου σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 12464-1 2011 (Επανασχεδιασμός από [15]) . . .	87
Πίνακας 5.2.Εκτιμώμενη θερμική ισχύς ηλεκτρικών συσκευών/εξοπλισμού ανά χρήση κτηρίου για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 (Επανασχεδιασμός από [15]).....	88
Πίνακας 5.3.Απαιτούμενος νωπός αέρας ανά χρήση κτηρίου (για χώρους μη καπνιζόντων) για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου σύμφωνα με το ο ΕΛΟΤ EN 15251:2007 (Επανασχεδιασμός από [15]).	92
Πίνακας 5.4.Καθοριζόμενες τιμές θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 15251:2007 (Επανασχεδιασμός από [15]).....	93
Πίνακας 6.1. Γενικά στοιχεία μέσω της προσομοίωσης του EnergyPlus.	109
Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα για την μέση μηνιαία θερμοκρασία ξηρού και υγρού βολβού αέρα περιβάλλοντος, την άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία πρόσπτωσης οριζόντιου επιπέδου και λοιπά στοιχεία.	110
Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα για την μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία ξηρού βολβού αέρα περιβάλλοντος και λοιπά στοιχεία.	112
Πίνακας 6.4 Αποτελέσματα για την ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία ξηρού βολβού αέρα περιβάλλοντος και λοιπά στοιχεία.	113
Πίνακας 6.5 Συνολικό εμβαδόν κτηρίου όπως υπολογίστηκε από το EnergyPlus..	114
Πίνακας 6.6 Στοιχεία για το εμβαδόν της επιφάνειας των υαλοπινάκων στο κτήριο όπως υπολογίστηκε από το EnergyPlus.....	114
Πίνακας 6.7 Πλήθος εξωτερικών υαλοπινάκων σε κάθε θερμική ζώνη. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι θερμικές ζώνες 1 και 2 έχουν βόρειο προσανατολισμό.	115
Πίνακας 6.8 Στοιχ εία για την αδιαφανή δομή του κτηρίου όπως υπολογίστηκε από το EnergyPlus.....	115
Πίνακας 6.9 Στοιχεία για τις θερμικές ζώνες όπως το εμβαδόν, ο όγκος και τα φορτία φωτισμού και χρηστών όπως υπολογίστηκε από το EnergyPlus.....	115
Πίνακας 6.10 Συνολικές μηνιαίες ώρες με μη μηδενική ένταση φυσικού φωτισμού όπως υπολογίστηκε από το EnergyPlus.....	116
Πίνακας 6.11 Αναλυτική δομή για κάθε υαλοπίνακα. Εκ των αριστερών της δομής έχουμε το φύλλο που αλληλοεπιδρά με το εξωτερικό περιβάλλον .Όπου Clr=καθαρός διαυγής, Ar= πλήρωση αργού, EC=ηλεκτροχρωμικό φύλλο, TC=θερμοχρωμικό φύλλο, LowE= φύλλο χαμηλής εκπομπής 2ης γενιάς.....	118
Πίνακας 6.12 Ιδιότητες των υαλοπινάκων που χρησιμοποιήθηκαν. Για κάθε υαλοπίνακα παρουσιάζεται το U-Value, το SHGC και η οπτική διαπερατότητα. Επίσης για κάθε EC έχουμε 2 καταστάσεις ενώ για τα TC έχουμε 5 καταστάσεις. .	120
Πίνακας 6.13 Στοιχεία για την εξοικονόμηση ενέργειας για κάθε υαλοπίνακα σε σχέση με την χρήση Μονών υαλοπινάκων.	123
Πίνακας 6.14 Στοιχεία για τα φορτία ψύξης και την εξοικονόμηση σε σχέση με την χρήση Μονών υαλοπινάκων.....	124
Πίνακας 6.15 Στοιχεία για τα φορτία θέρμανσης και την εξοικονόμηση σε σχέση με την χρήση Μονών υαλοπινάκων	126
Πίνακας 6.16 Στοιχεία για τα φορτία φωτισμού και την αύξηση ενέργειας σε σχέση με την χρήση Μονών υαλοπινάκων.....	127

Πίνακας 6.17 Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων.	131
Πίνακας 6.18 Αποτελέσματα μέσω του EnergyPlus για τα ηλεκτρικά φορτία του BIPV 1	131
Πίνακας 6.19 Αποτελέσματα μέσω του EnergyPlus για τα ηλεκτρικά φορτία του BIPV 2.....	132
Πίνακας 6.20 Παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών. Στον πίνακα απεικονίζονται η ισχύς που παράγει κάθε φωτοβολταϊκό, η ισχύς που χάνεται κατά την μετατροπή της, η καθαρή ισχύς των φωτοβολταϊκών και τέλος οι συνολικές ηλεκτρικές καταναλώσεις του κτηρίου.....	132
Πίνακας 6.21 Σύγκριση ποσοστιαίας συμμετοχής της παραγόμενης ισχύς των BIPV1 και BIPV2 στις συνολικές ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις.....	133
Πίνακας 6.22 Σύγκριση εξοικονόμησης ενέργειας μεταξύ των φωτοβολταϊκών BIPV1, BIPV2, Διπλού low-e με τον Διπλό υαλοπίνακα	135

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Κατανομή του κτηριακού αποθέματος με βάση την χρήση για το έτος 2011 [24]	15
Σχήμα 1.2 Μέσος όρος ηλικίας κατοικιών για το έτος 2011 από απογραφή ΕΛΣΤΑΤ [24]......	15
Σχήμα 1.3 Οι κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα [25].	17
Σχήμα 2.1 Φασματική κατανομή της ακτινοβολίας στην επιφάνεια του ήλιου, στο όριο της ατμόσφαιρας και στην επιφάνεια της Γης (Επανασχεδιασμός από [26]).	21
Σχήμα 2.2 Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας [23]......	22
Σχήμα 2.3 Σχηματική απεικόνιση ηλιακού ύψους α και αζιμούθιου ήλιου γ [20]......	23
Σχήμα 3.1 Σχηματική απεικόνιση για το SHGC [36]......	27
Σχήμα 3.2 Σχηματική απεικόνιση μεταφοράς θερμότητας σε υαλοπίνακα σε εξάρτηση του SHGC και U-Value [37].	31
Σχήμα 3.3 Σχηματική απεικόνιση των θερμορροών και της διείσδυσης αέρα σε έναν υαλοπίνακα [38].	32
Σχήμα 4.1 Σύγκριση μετάδοσης θερμότητας μεταξύ απλού διπλού και απλού μονού υαλοπίνακα [39].	35
Σχήμα 4.2 Επίδραση του πάχους του διακένου στις θερμικές απώλειες συναρτήσεϊ του αερίου πλήρωσης [40]......	36
Σχήμα 4.3 Διάφορα χρώματα ανακλαστικών υαλοπινάκων [41]	37
Σχήμα 4.4 Παράδειγμα χρήσης ανακλαστικού υαλοπίνακα [42]	38
Σχήμα 4.5 Σύγκριση μεταξύ απλού γυαλιού και αντί-ανακλαστικού (Επανασχεδιασμός από [43]).	39
Σχήμα 4.6 Σύγκριση διπλού απλού υαλοπίνακα με διπλό που έχει έγχρωμο (γκρι) εξωτερικό φύλλο και απλό διαφανή εσωτερικό(Επανασχεδιασμός από [44])......	40
Σχήμα 4.7 Σχηματική απεικόνιση υαλοπίνακα χαμηλής εκπομπής όσον αφορά την υπέρυθρη , υπεριώδη και ορατή ακτινοβολία [45]......	41
Σχήμα 4.8 Σχηματική απεικόνιση πιθανών θέσεων τοποθέτησης επίστρωσης χαμηλής εκπομπής σε διπλό υαλοπίνακα [46]......	43

Σχήμα 4.9 Σχηματική απεικόνιση ενεργειακής συμπεριφοράς υαλοπίνακα χαμηλής εκπομπής [28].	44
Σχήμα 4.10 Σχηματική απεικόνιση διάταξης ηλεκτροχρωμικού υαλοπίνακα [47].	45
Σχήμα 4.11 Σύγκριση οπτικού αποτελέσματος υαλοπινάκων υγρών κρυστάλλων με ή χωρίς χρήση χρωστικών [48].	47
Σχήμα 4.12 Χρήση υαλοπινάκων υγρών κρυστάλλων σε εντός/εκτός λειτουργίας [49].	48
Σχήμα 4.13 Σχηματική απεικόνιση χρήσης SPDs υαλοπινάκων [50].	48
Σχήμα 4.14 Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας αεριοχρωμικού υαλοπίνακα (GC= gasochromic window) [51].	50
Σχήμα 4.15 Σχηματική απεικόνιση φωτοβολταϊκού φύλλου υαλοπίνακα [52].	53
Σχήμα 4.16 Σχηματική ανάλυση φωτοβολταϊκού φύλλου [52].	53
Σχήμα 4.17 Σχηματική απεικόνιση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός BIPV [53].	54
Σχήμα 5.1 Τελική μορφή κτιρίου.	55
Σχήμα 5.2 Σχεδιασμός κτηρίου.	56
Σχήμα 5.3 Σχεδιασμός για την διαμόρφωση των εσωτερικών χώρων.	56
Σχήμα 5.4 Δεδομένα για τον σχεδιασμό ορόφων στην εντολή Create Spaces From diagram.	57
Σχήμα 5.5 Αποτέλεσμα εντολής Create Spaces From Diagram.	57
Σχήμα 5.6 Παράδειγμα δημιουργίας παραθύρου.	58
Σχήμα 5.7 Αντικείμενα εντολής Surface Matching.	58
Σχήμα 5.8 Αποτελέσματα μετά την χρήση της εντολής Surface Matching μέσω των εντολών Render By Boundary Condition και View Model in X-Ray Mode.	59
Σχήμα 5.9 Παράδειγμα διαμόρφωσης Set Attributes for Selected Spaces για Lobby.	59
Σχήμα 5.10 Νέα ονόματα θερμικών ζωνών.	60
Σχήμα 5.11 Εμφάνιση κτηρίου μέσω της εντολής Render By Construction. Πράσινο για τους τοίχους, μωβ για την πόρτα, γαλάζιο για τα παράθυρα, καφέ για την οροφή.	60
Σχήμα 5.12 Εμφάνιση κτηρίου μέσω της εντολής Render By Space Type. Με 3 διαφορετικά χρώματα οι χώροι των ClosedOffice, Lobby, Restroom.	61
Σχήμα 5.13 Εμφάνιση κτηρίου μέσω της εντολής Render By Thermal Zone. Γκρι για Θερμική Ζώνη-Lobby, ανοιχτό ροζ για Θερμική Ζώνη-Restroom, ανοιχτό πράσινο για Θερμική Ζώνη-ClosedOffice West, ανοιχτό καφέ για Θερμική Ζώνη-ClosedOffice East, μωβ για Θερμική Ζώνη-ClosedOffice South.	61
Σχήμα 5.14 Εμφάνιση κτηρίου μέσω της εντολής Render By Building Story. 2 χρώματα για 2 ορόφους (ισόγειο και 1ο όροφο).	62
Σχήμα 5.15 Περιβάλλον EP-Launch. Έχει επιλεγθεί το αρχείο .idf που δημιουργήθηκε στο SketchUp μέσω των εντολών του OpenStudio και από κάτω είναι το αρχείο καιρού.	63
Σχήμα 5.16 Ομάδα: Simulation Parameters .Κατηγορία:Version.	63
Σχήμα 5.17 Αντικείμενα στην κατηγορία Simulation Control. Επιλέχθηκε να γίνει προσομοίωση για την διαστασιολόγηση των θερμικών ζωνών, όλου του συστήματος μαζί με την εγκατάσταση HVAC αλλά για τις ημέρες που δίνει το αρχείο καιρού και όχι για τις ημέρες σχεδιασμού.	64
Σχήμα 5.18 Αντικείμενα στην κατηγορία Building.	65
Σχήμα 5.19 Αντικείμενα στην κατηγορία Shadow Calculation.	65

Σχήμα 5.20 Επιλογή αλγόριθμου TAPR για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή στο εσωτερικό του κτηρίου.	66
Σχήμα 5.21 Επιλογή αλγόριθμου DOE-2 για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή στις εξωτερικές επιφάνειες του κτηρίου.....	66
Σχήμα 5.22 Αντικείμενα στην κατηγορία Heat Balance Algorithm.....	67
Σχήμα 5.23 Επιλογή στην κατηγορία Zone Air Heat Balance Algorithm.....	67
Σχήμα 5.24 Αντικείμενο στην κατηγορία Timestep. Επιλέχθηκε να γίνονται 6 ενεργειακοί ισολογισμοί ανά ώρα.	68
Σχήμα 5.25 Επιλογή περιόδου για την διαστασιολόγηση του καιρού.	69
Σχήμα 5.26 Επιλογή περιόδου για την οποία θα γίνει η προσομοίωση.....	69
Σχήμα 5.27 Επιλογή θερινής ώρας.....	70
Σχήμα 5.28 Αντικείμενα στην κατηγορία Schedule: Compact για τα αντικείμενα 1 έως 6.....	71
Σχήμα 5. 29 Αντικείμενα στην κατηγορία Schedule: Compact για αντικείμενα 6 έως 12.....	71
Σχήμα 5.30 Αντικείμενα στην κατηγορία Material για αντικείμενα 1 έως 6.....	72
Σχήμα 5.31 Αντικείμενα στην κατηγορία Material για αντικείμενα 6 έως 12.....	72
Σχήμα 5.32 Αντικείμενα στην κατηγορία Material: No Mass.....	73
Σχήμα 5.33 Δεδομένα για διαυγή καθαρό φύλλο 6mm από το πρόγραμμα WINDOW7.7.	74
Σχήμα 5.34 Δεδομένα για φύλλο χαμηλής εκπομπής 2ης γενιάς 6mm από το πρόγραμμα WINDOW7.7	75
Σχήμα 5.35 Δεδομένα για θερμοχρωμικό φύλλο 7mm από το πρόγραμμα WINDOW7.7	75
Σχήμα 5.36 Αντικείμενα στην κατηγορία Window Material: Glazing για τα αντικείμενα 1 έως 4. Παρουσιάζονται το απλό διαφανές φύλλο 6 mm (Clear 6mm), τα φύλλα για τις 2 κατατάξεις των EC πάχους 6mm το καθένα (Electro_Light glass 6mm και Electro_Dark glass 6mm) και το φύλλο επίστρωσης χαμηλής εκπομπής 6mm (Low-e 6mm)	76
Σχήμα 5.37 Αντικείμενα στην κατηγορία Window Material: Glazing για τα αντικείμενα 5 έως 9 όπου παρουσιάζονται τα φύλλα για τις 5 καταστάσεις των θερμοχρωμικών.	76
Σχήμα 5. 38 Αντικείμενα στην κατηγορία Window Material Glazing: ThermoChromic για τον ορισμό των θερμοκρασιών στο <i>Optical Data Temperature</i> με βάση των οποίων θα μεταβάλλεται το θερμοχρωμικό φύλλο ώστε να αλλάζει ιδιότητες σύμφωνα με το <i>Window Material Glazing Name</i>	77
Σχήμα 5.39 Αντικείμενα στην κατηγορία Window Material: Gas.....	78
Σχήμα 5.40 Παράδειγμα διάταξης για την διαμόρφωση των αδιαφανών δομικών κατασκευών [60].....	78
Σχήμα 5.41 Παράδειγμα διάταξης για την διαμόρφωση των υαλοπινάκων [60]	79
Σχήμα 5.42 Αντικείμενα στην κατηγορία Construction.	79
Σχήμα 5.43 Αντικείμενα για την κατηγορία Construction για την περίπτωση που χρησιμοποιούμε ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουν δημιουργεί 2 υαλοπίνακες, ένας για την διαφανή κατάσταση (EC_Light Window) και ένας την αδιαφανή κατάσταση (EC_Dark Window).	80
Σχήμα 5.44 Αντικείμενα για την κατηγορία Construction για την περίπτωση που χρησιμοποιούμαι θερμοχρωμικό υαλοπίνακα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουμε	

έναν διπλό υαλοπίνακα όπου το εξωτερικό φύλλο είναι θερμοχρωμικό πάχους 7mm έχει διάκενο αργού 12mm και εσωτερικό φύλλο 6 mm.....	80
Σχήμα 5.45 Αντικείμενα στην κατηγορία Zone. Δημιουργήθηκαν 5 στήλες με ονόματα Thermal Zone1-Lobby, Thermal Zone 2-Restroom, Thermal Zone 3-ClosedOffice East, Thermal Zone 4-Thermal Zone West, Thermal Zone 5 -ClosedOffice South. .	81
Σχήμα 5.46 Αντικείμενα 1 έως 6 στην κατηγορία Building Surface: Detailed.....	82
Σχήμα 5.47 Αντικείμενα 7 έως 15 στην κατηγορία Building Surface: Detailed.....	82
Σχήμα 5.48 Αντικείμενα 16 έως 24 στην κατηγορία Building Surface: Detailed.....	82
Σχήμα 5.49 Αντικείμενα 112 έως 120 στην κατηγορία Building Surface: Detailed....	83
Σχήμα 5.50 Πρώτα 6 αντικείμενα από τα συνολικά 75 στην κατηγορία Fenestration Surface: Detailed.....	83
Σχήμα 5.51 Αντικείμενα 1 έως 4 στην κατηγορία Window Shading Control.	
Χρησιμοποιείται μόνο όταν έχουμε ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες.	84
Σχήμα 5.52 Αντικείμενα 5 έως 9 στην κατηγορία Window Shading Control.	85
Σχήμα 5.53 Αντικείμενα στην κατηγορία People.	86
Σχήμα 5.54 Αντικείμενα στην κατηγορία Lights.....	88
Σχήμα 5.55 Αντικείμενα στην κατηγορία Electric Equipment.....	89
Σχήμα 5.56 Αντικείμενα στην κατηγορία Daylighting Controls.....	90
Σχήμα 5.57 Αντικείμενα στην κατηγορία Daylighting Reference Point.	91
Σχήμα 5.58 Αντικείμενα στην κατηγορία Zone Ventilation: Design Flow Rate.....	92
Σχήμα 5.59 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template: Thermostat.	94
Σχήμα 5.60 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template Zone: Fan Coil.	94
Σχήμα 5.61 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template: Chilled Water Loop.....	95
Σχήμα 5.62 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template Plant: Chiller.....	96
Σχήμα 5.63 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template Plant : Tower.....	97
Σχήμα 5.64 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template Plant: How Water Loop. .	98
Σχήμα 5.65 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template Plant : Boiler.....	99
Σχήμα 5.66 Αντικείμενα στην κατηγορία Sizing Parameters.	100
Σχήμα 5.67 Αντικείμενα στην κατηγορία Window Material: Glazing για την δημιουργία φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων.	101
Σχήμα 5.68 Αντικείμενα στην κατηγορία Construction. Παρουσιάζονται μόνο οι 2 δομές των φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων.	101
Σχήμα 5.69 Αντικείμενα στην κατηγορία Generator: Photovoltaic.	102
Σχήμα 5. 70 Αντικείμενα στην κατηγορία Generator: Photovoltaic (obj6 έως obj11).	
.....	103
Σχήμα 5.71 Αντικείμενα στην κατηγορία Generator: Photovoltaic (obj69 έως obj74).	
.....	103
Σχήμα 5. 72 Αντικείμενο στην κατηγορία Photovoltaic Performance: Simple.	104
Σχήμα 5.73 Αντικείμενα στην κατηγορία Electric Load Center: Inverter Simple.	105
Σχήμα 5.74 Αντικείμενα στην κατηγορία Electric Load Center: Generators.....	106
Σχήμα 5.75 Αντικείμενα στην κατηγορία Electric Load Center: Storage: Simple.	107
Σχήμα 5.76 Αντικείμενα στην κατηγορία Electric Load Center: Distribution.....	108
Σχήμα 6.1 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ξηρού βολβού στον αέρα περιβάλλοντος.....	110
Σχήμα 6.2 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υγρού βολβού αέρα περιβάλλοντος.....	111

Σχήμα 6.3 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας πρόσπτωσης στο οριζόντιο επίπεδο.	111
Σχήμα 6.4. Διάγραμμα μέσης μηνιαίας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας πρόσπτωσης στο οριζόντιο επίπεδο.	112
Σχήμα 6.5 Διάγραμμα μέγιστης μηνιαίας θερμοκρασίας ξηρού βολβού αέρα περιβάλλοντος.....	113
Σχήμα 6.6 Διάγραμμα ελάχιστης μηνιαίας θερμοκρασίας ξηρού βολβού αέρα περιβάλλοντος.....	114
Σχήμα 6.7 Συνολικές μηνιαίες ώρες με μη μηδενική ένταση φυσικού φωτισμού. ...	116
Σχήμα 6.8 Συνολική ετήσια ενέργεια υαλοπινάκων.....	121
Σχήμα 6.9 Σύνοψη αποτελεσμάτων για τα φορτία ψύξης, θέρμανσης, φωτισμού συναρτήσει του υαλοπίνακα που χρησιμοποιείται.	122
Σχήμα 6. 10 Συνολική ετήσια ενέργεια υαλοπινάκων ανά επιφάνεια.....	123
Σχήμα 6.11 Ετήσια φορτία ψύξης για διάφορα είδη υαλοπινάκων.	125
Σχήμα 6. 12 Ετήσια φορτία θέρμανσης για διάφορα είδη υαλοπινάκων.....	126
Σχήμα 6.13 Ετήσια φορτία φωτισμού για διάφορα είδη υαλοπινάκων.....	128
Σχήμα 6.14 Συνολικό ετήσιο θερμικό κέρδος μέσω υαλοπινάκων.	129
Σχήμα 6.15 Συνολικές ετήσιες θερμικές απώλειες μέσω υαλοπινάκων.....	130
Σχήμα 6.16 Σύγκριση της παραγόμενης ισχύς των φωτοβολταϊκών σε σχέση με τις συνολικές ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρισμού για τα BIPV1 και BIPV2.....	133
Σχήμα 6.17 Σύγκριση ετήσιων συνολικών φορτίων, φορτίων ψύξης, θέρμανσης, φωτισμού σε σχέση με την παραγόμενη ισχύ φωτοβολταϊκών για το BIPV1 και BIPV2.....	134
Σχήμα 6.18 Ποσοστιαία σύγκριση παραγόμενης ισχύς φωτοβολταϊκών με ισχύ που αγοράζουμε από τον αρμόδιο πάροχο.	134
Σχήμα 6.19 Σύγκριση ετήσιας κατανάλωσης ανά τετραγωνικό διάφορων υαλοπινάκων .Πιο συγκεκριμένα, συγκρίνονται οι επιδόσεις του Διπλού, Διπλού Low-e και των 2 φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων	135

1 Εισαγωγή

1.1 Ενέργεια στον κτηριακό τομέα

Η διαχείριση της ενέργειας πάντα αποτελούσε σημαντικό κομμάτι για την εξέλιξη της κοινωνίας. Χαρακτηριστικό είναι ότι στις μέρες μας η εξοικονόμηση στην κατανάλωση συζητιέται ποιο πολύ από ποτέ. Από αυτή την συζήτηση, λοιπόν, δεν μπορούσε να λείπει η ενεργειακή απόδοση στον κτηριακό τομέα ο οποίος αποτελεί και έναν από τους μεγαλύτερους καταναλωτές.

1.1.1 Η κατάσταση στην Ευρώπη

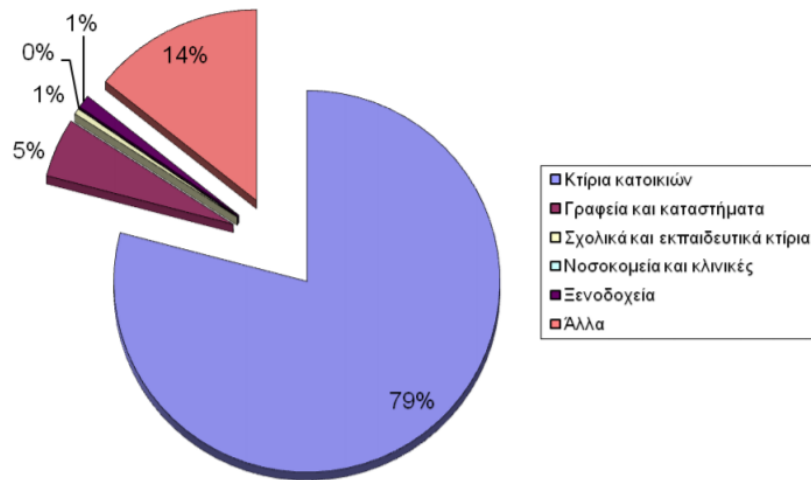
Σύμφωνα με έρευνες που διενεργούνται σε ευρωπαϊκό επίπεδο ο κτηριακός τομέας αντιστοιχεί περίπου στο 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ενώ οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι το ποσοστό πρόκειται να αυξηθεί. Αυτό σημαίνει ότι μεγάλο ποσοστό των οικονομικών και περιβαλλοντολογικών προβλημάτων υπάγονται στην κακή ενεργειακή απόδοση των κτηρίων. Για αυτόν τον λόγο δίνεται μεγάλη σημασία στην ανάπτυξη μεθόδων και συστημάτων που θα βελτιώσουν την ενεργειακή κατανάλωση τους χωρίς όμως να επηρεάζουν άλλες απαιτήσεις για τα κτίρια, όπως η ευχέρεια πρόσβασης, η ασφάλεια και η χρήση για την οποία προορίζονται. Εξαιτίας αυτών η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει στόχους αλλά και οδηγίες για την ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων. Μάλιστα, από το 2010 σύμφωνα με την οδηγία 2010/31/ΕΕ έχουν ήδη δρομολογηθεί διατάξεις που περιλαμβάνουν τα εξής:

- κοινό γενικό πλαίσιο για μια μεθοδολογία υπολογισμού της συνολικής ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και κτιριακών μονάδων.
- εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση σε νέα κτίρια και νέες κτιριακές μονάδες .
- εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση, ειδικότερα όσον αφορά: υφιστάμενα κτίρια, δομικά στοιχεία στα οποία γίνεται μεγάλης κλίμακας ανακαίνιση και τεχνικά συστήματα κτιρίων όταν εγκαθίστανται, αντικαθίστανται ή αναβαθμίζονται .
- ενεργειακή πιστοποίηση κτιρίων ή κτιριακών μονάδων, τακτική επιθεώρηση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού στα κτίρια, καθώς και ανεξάρτητα συστήματα ελέγχου για τα πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης και εκθέσεις ελέγχου.

1.1.2 Η κατάσταση στην Ελλάδα

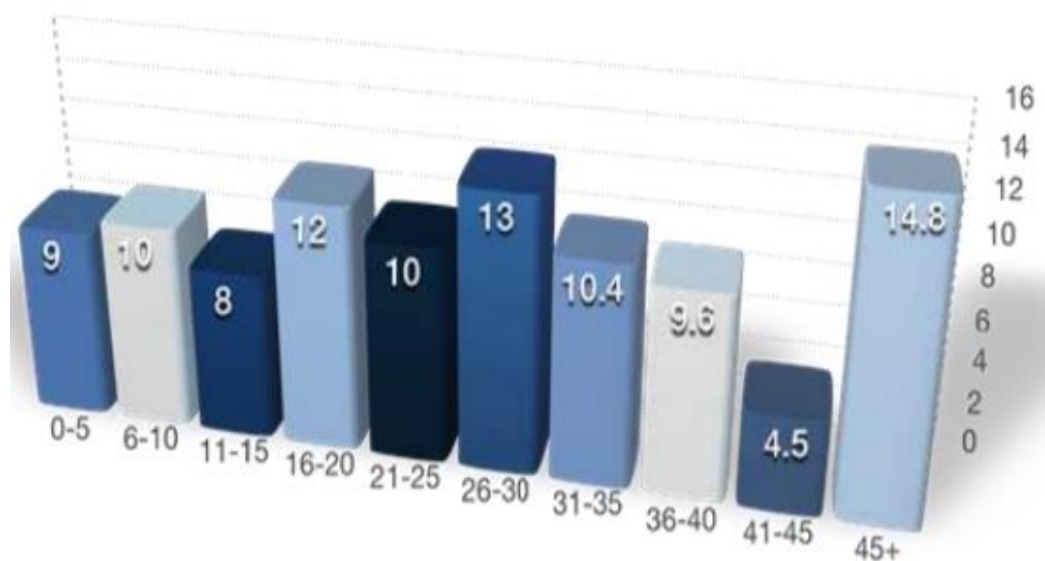
Όσον αφορά την Ελλάδα ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει την υποχρέωση της συμβολής στην επίτευξη των συνολικών στόχων. Από το 2010 αρχίζει και εφαρμόζεται ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.).

Επίσης, σύμφωνα με την απογραφή που πραγματοποιήθηκε το 2011 το μεγαλύτερο πλήθος κτηρίων με ποσοστό επί των συνολικών 80% αντιστοιχεί σε κατοικίες ενώ τα υπόλοιπα είναι εμπορικά και κτήρια δημόσιας χρήσης.



Σχήμα 1.1 Κατανομή του κτηριακού αποθέματος με βάση την χρήση για το έτος 2011 [24] .

Το μεγάλο πρόβλημα στην χώρα μας, όμως, έγκειται στο γεγονός της μεγάλης παλαιότητας του κτηριακού αποθέματος. Από την απογραφή του 2011 από τη ΕΛΣΤΑΤ προέκυψε ότι ένα μεγάλο ποσοστό της τάξης του 14% αφορά κτήρια κατασκευασμένα τουλάχιστον πριν 45 χρόνια. Μάλιστα, επειδή πριν το 1980 δεν υπήρχε κανονισμός θερμική μόνωσης (ΚΘΚ) τα κτήρια που κατασκευάστηκαν πριν την συγκεκριμένη χρονολογία θεωρούνται θερμικά απροστάτευτα. Επιπλέον, ο Ελληνικός κανονισμός οπλισμένου σκυροδέματος εφαρμόστηκε μετά το 2000 και προφανώς μικρότερο είναι το ποσοστό των κτηρίων που κατασκευάστηκαν μετά το 2010 και πληρούν τα κριτήρια του Κ.Εν.Α.Κ .



Σχήμα 1.2 Μέσος όρος ηλικίας κατοικιών για το έτος 2011 από απογραφή ΕΛΣΤΑΤ [24].

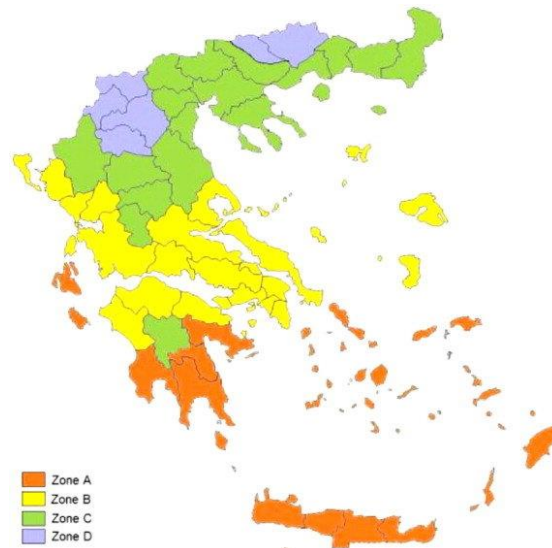
1.2 Ενεργειακή οικονομία

Ο Κ.Εν.Α.Κ. έχει ως στόχο την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου. Βέβαια, σημαντική είναι η ελαχιστοποίηση των συμβατών ενεργειακών πόρων όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και οι ηλεκτρικές καταναλώσεις ενώ αντίθετα η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ) προωθείται στο να γίνεται χρήση της. Παράδειγμα αποτελεί η υποχρέωση για τα νέα ή ανακαινισμένα κτήρια να καλύπτουν το 60% των αναγκών τους σε ζεστό νερό μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ο ηλιακός θερμοσίφωνα σύμφωνα με το άρθρο 6 παρ. 4 του νόμου 4122/2013 [\[29\]](#).

Οι βασικές κατηγορίες που προσπαθεί να συμβάλει ο Κ.Εν.Α.Κ. είναι η μείωση της ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού διασφαλίζοντας παράλληλα την θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτηρίου. Για τον λόγο αυτόν έχουν θεσπιστεί και προτείνονται κάποια μέτρα τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Χρήση συνολικής αδιαφανής δομής τοίχων, οροφών και δαπέδου με πρόσθετο σύστημα μόνωσης.
- Χρήση βελτιωμένων κουφωμάτων, υαλοπινάκων και πορτών με βέλτιστη αεροστεγανότητα.
- Χρήση κατάλληλης σκίασης για βελτιστοποίηση όλων τον χρόνο.
- Χρήση αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού.
- Χρήση φωτοβολταϊκών, συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού-Θερμότητας (ΣΗΘ) μικρής κλίμακας, ηλιακών συστημάτων για υποβοήθηση θέρμανσης χώρου, ζεστού νερού και τηλεθέρμανση .
- Χρήση έξυπνων συστημάτων αυτοματισμού για τον έλεγχο της θερμοκρασίας.

Επιπροσθέτως, για την ταξινόμηση των κτηρίων έχουν δημιουργηθεί διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τις ενεργειακές αποδόσεις. Αρχικά, όμως επειδή οι εξωτερικές συνθήκες έχουν άμεσο αντίκτυπο στις απαιτήσεις θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού γίνεται ο διαχωρισμός των κτηρίων σε κλιματικές ζώνες. Στην Ελλάδα έχουμε 4 ζώνες με την Αθήνα να βρίσκεται στην κλιματική ζώνη Β. Όσον αφορά τις ενεργειακές κλάσεις υπάρχουν 9 κατηγορίες με βάση την ετήσια κατανάλωση ανά επιφάνεια (kWh/m²). Μάλιστα, ως μέτρο επιβράβευσης για την κατασκευή ενός ενεργειακού κτηρίου δίνεται η δυνατότητα αύξησης της τιμής πώλησης του αναλογικά με το σε ποια κλάση βρίσκεται.



Σχήμα 1.3 Οι κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα [25].

1.3 Ο ρόλος των υαλοπινάκων στο κτήριο

Τα παράθυρα αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο κάθε κτηρίου. Αυτό συμβαίνει καθώς έχουν την ιδιότητα να ενισχύουν την όψη ενός κτηρίου τόσο σε θέμα καλλωπισμού όσο και μέσω της παροχής φυσικού φως, αέρα αλλά και της οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον. Μάλιστα, έρευνες αποδεικνύουν ότι η υγεία, η άνεση και η παραγωγικότητα των ανθρώπων βελτιώνονται όταν ζουν και εργάζονται σε περιβάλλον με καλό αερισμό και πρόσβαση στο φυσικό φωτισμό [9]. Όμως, όπως προαναφέρθηκε πρέπει να γίνεται επιλογή κατάλληλων υαλοπινάκων επειδή επηρεάζεται σημαντικά η ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου καθώς αποτελεί πηγή θερμικών απωλειών ενώ υπό περιπτώσεις ενδέχεται να δημιουργηθεί και πρόβλημα συμπύκνωσης με αποτέλεσμα την δυσφορία στον εσωτερικό χώρο. Για αυτό και αποτελεί βασικό θέμα, λοιπόν, της παρούσας εργασίας η ανάλυση των διαφόρων ειδών υαλοπινάκων και η σύγκρισή τους κατά την ενεργειακή προσομοίωση ενός κτηρίου.

Τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί διάφορες δομές και τεχνολογίες που έχουν ως στόχο την ενίσχυση των πλεονεκτημάτων των υαλοπινάκων βελτιώνοντας παράλληλα τα μειονεκτήματά τους. Κάποιες από αυτές μπορεί να είναι το πλήθος των φύλλων που περιέχουν, όπως διπλά ή τριπλά τζάμια, το αέριο πλήρωσης, οι ειδικές διαφανείς επιστρώσεις, ο έλεγχος σκίασης και άλλα. Η επίδραση τους στην συνολική κατανάλωση του κτηρίου είναι τόσο μεγάλη που, όπως θα αποδειχθεί και από τα αποτελέσματα στην συνέχεια, μπορούν να συνδράμουν στην εξοικονόμηση ενέργειας έως και 50% με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος χρήσης των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού.

2 Βασική θεωρία μεταφοράς θερμότητας

Όπως είναι λογικό η επίγνωση της βασικής θεωρίας της μεταφοράς θερμότητας αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει μία σωστή ενεργειακή ανάλυση. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι βασικοί ορισμοί και οι κύριες μαθηματικές σχέσεις που θα χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση. Για αρχή, θα χρειαστεί να αναλύσουμε τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η μετάδοση της θερμότητας σε ένα γενικό πλαίσιο και στην συνέχεια θα ασχοληθούμε πιο ειδικά με τους υαλοπίνακες. Πιο συγκεκριμένα, η μετάδοση μπορεί να γίνει με:

- Αγωγή (conduction)
- Συναγωγή (convection)
- Ακτινοβολία (radiation)

Επίσης, σημαντικό είναι να δοθούν κάποιοι ορισμοί οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια. Για αυτόν λόγο ορίζουμε ως:

Θερμικό κέρδος χώρου το συνολικό ποσό θερμότητας που εισέρχεται ή παράγεται σε έναν χώρο μία δεδομένη χρονική στιγμή. Διαχωρίζεται σε αισθητό και λανθάνον.

Ψυκτικό φορτίο χώρου την θερμική ισχύς που πρέπει να αφαιρείται από έναν χώρο προκειμένου ο αέρας του συγκεκριμένου χώρου να διατηρείται σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

Θερμικό φορτίο χώρου την θερμική ισχύς που πρέπει να προσδίδεται σε έναν χώρο προκειμένου ο αέρας του συγκεκριμένου χώρου να διατηρείται σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

2.1 Μεταφορά θερμότητας με αγωγή

Η μεταφορά θερμότητας με αγωγή μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά σε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη, γίνεται όταν υπάρχει διαφορά στην θερμοκρασία μέσα σε ένα αέριο, υγρό ή στερεό σώμα και δεν υφίσταται το φαινόμενο της αλλαγής φάσης και στην δεύτερη όταν δύο σώματα βρίσκονται σε επαφή αλλά δεν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ τους. Η απλοποιημένη εξίσωση που περιγράφει το φαινόμενο της αγωγής σε μία κατεύθυνση είναι η εξίσωση του Fourier (εξ.2.1) η οποία εξισώνει την πυκνότητα παροχής θερμότητας με την θερμοκρασιακή διαφορά ανά μία στοιχειώδη επιφάνεια πολλαπλασιασμένη με τον συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας και γράφεται ως εξής:

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (\text{εξ. 2.1})$$

Το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει ότι το θερμικό ρεύμα ρέει προς την κατεύθυνση που μειώνεται η θερμοκρασία. Επίσης, στην περίπτωση που η κατανομή της θερμοκρασίας με αρχική τιμή T_1 και τελική T_2 στο επίπεδο του σώματος είναι γραμμική όπως για παράδειγμα μοντελοποιούνται συνήθως τα δομικά στοιχεία, όπως οι τοίχοι και οι οροφές, τότε για πάχος L [m] έχουμε:

$$q_x = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} = -k \frac{T_2 - T_1}{L} = k \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (\text{εξ. 2.2})$$

Όπου q_x : η πυκνότητα παροχής θερμότητας $[\frac{W}{m^2}$ ή $\frac{kJ}{m^2 h}$] και είναι κάθετη στην επιφάνεια που γίνεται η αγωγή θερμότητας.

Όπου k : ο συντελεστής ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $[\frac{W}{m K}]$ ο οποίος προσδιορίζει την ευκολία διάδοσης της θερμότητας στο εσωτερικό ενός υλικού.

Επιπλέον, το μέγεθος που χρησιμοποιείται για την συνολική αγωγή από μία δεδομένη επιφάνεια A [m²] στην κάθετη διεύθυνση είναι το ρεύμα θερμότητας Q_x με μονάδες $[W$ ή $\frac{kJ}{h}]$ και προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της πυκνότητας παροχής θερμότητας με την επιφάνεια.

$$Q_x = A \cdot q_x \quad (\text{εξ. 2.3})$$

2.2 Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή

Κατά την μεταφορά θερμότητας με συναγωγή είναι αναγκαία η επαφή ενός στερεού σώματος με ένα ρευστό σώμα (υγρό ή αέριο) που έχουν διαφορετική θερμοκρασία. Επίσης, ο τρόπος στον οποίο οφείλεται η κίνηση του ρευστού χαρακτηρίζει την συναγωγή σε ελεύθερη (φυσική) ή εξαναγκασμένη. Κατά την εξαναγκασμένη συναγωγή το ρευστό κινείται λόγω εξωτερικών αιτιών όπως για παράδειγμα έναν ανεμιστήρα ενώ κατά την ελεύθερη η κίνηση οφείλεται σε διαφορές των πυκνοτήτων του ρευστού λόγω θερμοκρασιακών διαφορών όπως για παράδειγμα γίνεται η ήπια κυκλοφορία αέρα σε ένα δωμάτιο που προκαλείται από την ύπαρξη ενός θερμαινόμενου από την ηλιακή ακτινοβολία παραθύρου ή τοίχου.

Σε γενικές γραμμές ισχύει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ρευστού τόσο μεγαλύτερος και ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή. Παράδειγμα αποτελεί ένας ανεμιστήρας όπου το καλοκαίρι τον προτιμάμε για να μας δροσίσει από ότι αν είχαμε αέρα χωρίς εξαναγκασμένη ροή παρόλο που έχει μηχανική κατανάλωση. Επιπλέον, σε περίπτωση μηδενικής ταχύτητας τότε έχουμε μεταφορά θερμότητας μόνο με αγωγή όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως. Αν και η συναγωγή αποτελεί έναν πολύ κοινό τρόπο μετάδοσης θερμότητας στα κτήρια είναι και αρκετά περίπλοκη. Μία απλοποιημένη προσέγγιση

και για την φυσική και την εξαναγκασμένη ροή είναι η σχέση του Newton για την οποία ισχύει :

$$q = h \cdot (T_s - T_\infty) \quad (\text{εξ. 2.4})$$

Όπου q : η πυκνότητα παροχής θερμότητας [$\frac{W}{m^2}$ ή $\frac{kJ}{m^2h}$] και είναι κάθετη στην επιφάνεια που γίνεται η συναγωγή θερμότητας.

Όπου h : ο συντελεστής ειδικής συναγωγιμότητας [$\frac{W}{m^2 K}$] ο οποίος προσδιορίζει συνολικά το φαινόμενο της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ μιας επιφάνειας και ενός ρευστού σε επαφή με αυτή.

Όπου T_s : η θερμοκρασία της επιφάνειας συναγωγής.

Όπου T_∞ : η θερμοκρασία του ρευστού μακριά από την επιφάνεια συναγωγής.

Αντίστοιχα, με την αγωγή εάν πολλαπλασιάσουμε την πυκνότητας παροχής θερμότητας με την επιφάνεια υπολογίζουμε το ρεύμα θερμότητας.

$$Q = A \cdot q \quad (\text{εξ. 2.5})$$

Κάτι που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι ο συντελεστής h είναι ένα συνολικό μέγεθος καθώς εξαρτάται τόσο από την γεωμετρία και την τραχύτητα της επιφάνειας όσο και από τις φυσικές ιδιότητες του ρευστού όπως η πίεση, το ιξώδες, τη ταχύτητα, το είδος της ροής (στρωτή ή τυρβώδη) και άλλα. Μάλιστα, μία επιφάνεια έχει διαφορετικές τιμές του h ανά σημείο όποτε ο τρόπος υπολογισμού του είναι συνήθως πειραματικός ή προσεγγιστικός. Στην περίπτωση μας όπου εξετάζουμε ένα κτήριο έχουμε κυρίως οριζόντιες (ταβάνι, δάπεδο) και κατακόρυφες επιφάνειες (τοίχοι, υαλοπίνακες) οπότε στο h μεγαλύτερη επίδραση έχουν η ταχύτητα του αέρα, ο προσανατολισμός της επιφάνειας και η κατεύθυνση της ροής.

2.3 Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία

Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία είναι πολύ σημαντική για τον κλιματισμό των χώρων. Ειδικά, για την περίπτωση μας, όπου εξετάζουμε πιο αναλυτικά τους υαλοπίνακες και η ακτινοβολία είναι η κύρια μεταφορά θερμότητας, θα χρειαστεί να έχουμε πλήρη επίγνωση των ιδιοτήτων της .

Αρχικά, η ακτινοβολία λαμβάνει χώρα μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και για αυτό δεν απαιτεί την ύπαρξη υλικού για να μεταδοθεί και μπορεί να μεταδοθεί και στο κενό. Επίσης όλα τα σώματα που έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη των 0K εκπέμπουν ακτινοβολία, με τη τιμή να αυξάνεται όσο αυξάνεται και η θερμοκρασία.

2.3.1 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ταξινομεί το μήκος κύματος (wavelength) λ της ακτινοβολίας από 0 έως ∞ μέτρα. Τα μήκη διαχωρίζονται ανάλογα με την επίδραση που έχουν στην ύλη. Κάποια από τα πιο γνωστά είδη ακτινοβολίας είναι:

- Ορατή ακτινοβολία με $\lambda=0,4$ έως $0,7$ μm . Πρόκειται για τα μήκη κύματος που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι.
- Ακτινοβολία X-Rays με $\lambda=10^{-4}$ έως 10^{-2} μm .
- Υπεριώδης ακτινοβολία με $\lambda=0,01$ έως 1 μm .
- Υπέρυθρη με $\lambda=1$ έως 1000 μm .

Επίσης, η θερμική ακτινοβολία, δηλαδή η ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα λόγω της θερμοκρασίας έχει φάσμα $\lambda=0,1$ έως 100 μm .

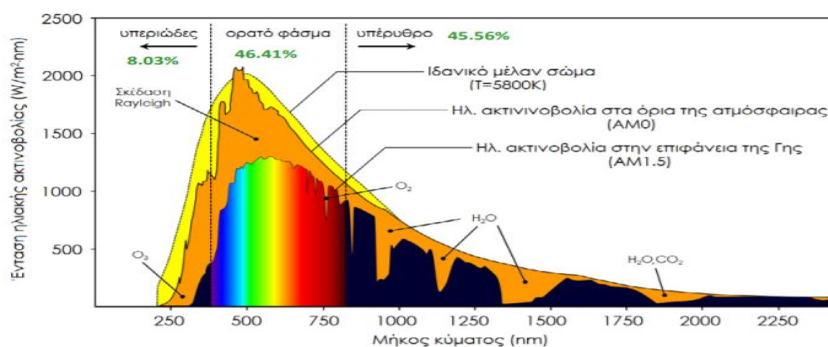
Επιπλέον, η ηλιακή ακτινοβολία έχει φάσμα $\lambda=0,1$ έως 3 μm εάν υποθέσουμε ότι η επιφάνεια του ήλιου έχει θερμοκρασία 5780 K.

2.3.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας που δέχεται ένα κτήριο οφείλεται στον ήλιο και την ακτινοβολία που εκπέμπει. Εάν θέλουμε να υπολογίσουμε αυτήν την θερμότητα θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τις ιδιότητες που έχει η θερμική ακτινοβολία να εξασθενεί όσο αυξάνεται η απόσταση, να ανακλάται, να διαθλάται και να μεταδίδεται ευθύγραμμα. Για αυτόν τον λόγο παρακάτω θα παρουσιαστεί κάποια βασική θεωρία και ορισμοί που αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία.

Όσον αφορά τον ήλιο θα υποθέσουμε ότι έχει σταθερή θερμοκρασία επιφανείας 5780 K ενώ η απόσταση μεταξύ ήλιου-Γη μεταβάλετε $\pm 1,7\%$ λόγω της τροχιάς της γης.

Για αυτό τον λόγο ορίζεται ως ηλιακή σταθερά $G_{sc} = 1353$ $[\text{W}/\text{m}^2]$ η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που δέχεται κάθετη επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας όταν η απόσταση γης-ήλιου έχει την μέση τιμή της.

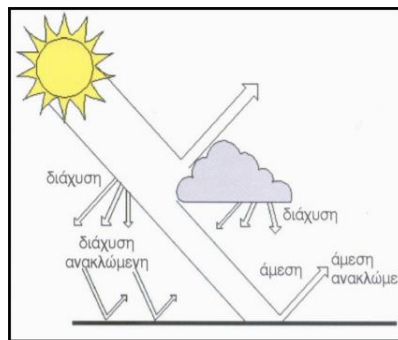


Σχήμα 2.1 Φασματική κατανομή της ακτινοβολίας στην επιφάνεια του ήλιου, στο όριο της ατμόσφαιρας και στην επιφάνεια της Γης (Επανασχεδιασμός από [26]).

Στην συνέχεια, λόγω της ύπαρξης αερίων στην ατμόσφαιρα η ακτινοβολία κατά 35% περίπου ανακλάται πίσω στο διάστημα και άρα εξασθενεί με αποτέλεσμα στην επιφάνεια της Γης να έχουμε κατανομή φάσματος κατά 45,56% υπέρυθη, 46,41% ορατή και 8,03% υπεριώδης. Επίσης, η ολική ακτινοβολία που φτάνει στην γη μπορεί να υπολογισθεί από το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας.

Άμεσος ακτινοβολία ορίζεται η ακτινοβολία η οποία φθάνει στην γη χωρίς να έχει μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα.

Διάχυτη ακτινοβολία ορίζεται η ακτινοβολία η οποία φθάνει στην γη εφόσον έχει πρώτα υποστεί πρώτα διασκορπισμό και έχει αλλάξει τουλάχιστον μία φορά κατεύθυνση. Για παράδειγμα, τις συννεφιασμένες μέρες σχεδόν όλη η ακτινοβολία που φτάνει στην γη είναι διάχυτη ενώ σε μέρες με καθαρό ουρανό αποτελεί περίπου το 15-20%.

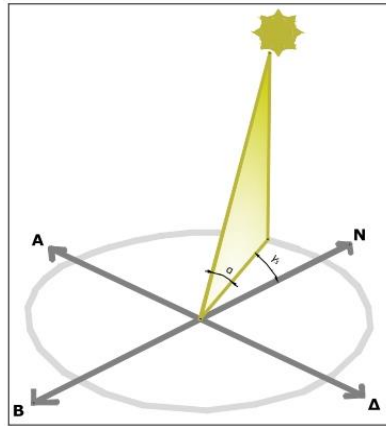


Σχήμα 2.2 Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας [23].

Για ένα κτήριο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία η οποία εξαρτάται από την τοποθεσία του και την σχετική θέση του ήλιου. Για αυτό εκτός από τις συντεταγμένες του στο γεωγραφικό μήκος και πλάτος ορίζονται και το αζιμούθιο ήλιου και το ηλιακό ύψος.

Το *αζιμούθιο ήλιου* είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και την νότια κατεύθυνση. Έχει σημαντικό ρόλο στην ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στις κατακόρυφες επιφάνειες.

Το *ηλιακό ύψος* είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ήλιου και την προβολή στο οριζόντιο επίπεδο. Επηρεάζει την ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει τόσο τις οριζόντιες όσο και τις κατακόρυφες επιφάνειες.



Σχήμα 2.3 Σχηματική απεικόνιση ηλιακού ύψους α και αζιμούθιου ήλιου γ [20].

2.3.3 Διάκριση και ιδιότητες σωμάτων

Τα σώματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κατηγορίες όσον αφορά την συμπεριφορά τους στην ακτινοβολία, τα *αδιαφανή* και τα *ημιδιαπερατά*.

Αδιαφανή είναι τα σώματα τα οποία εκπέμπουν ακτινοβολία μόνο από την επιφάνεια τους και καθόλου από το εσωτερικό τους. Τέτοια σώματα είναι διάφορα στερεά όπως το ξύλο και τα μέταλλα.

Ημιδιαπερατά, αντίθετα, είναι τα σώματα από τα οποία η ακτινοβολία που εκπέμπεται προέρχεται από ολόκληρη τη μάζα τους όπως για παράδειγμα τα αέρια.

Σημαντικό είναι το γεγονός ότι το βασικό στοιχείο των υαλοπινάκων που είναι το γυαλί έχει την ιδιότητα να συμπεριφέρεται ως ημιδιαπερατό σε υψηλές θερμοκρασίες και ως αδιαφανή σε μέτριες ή χαμηλές θερμοκρασίες. Επιπλέον, αυτή η διάκριση δεν σχετίζεται με την οπτική διαπερατότητα τους.

Επίσης, για τη σύγκριση των σωμάτων όσον αφορά την ανάκλαση, την απορρόφηση και την διέλευση ακτινοβολίας έχουν οριστεί ως σώματα αναφοράς τα παρακάτω:

Μέλαν είναι το σώμα που για συγκεκριμένη θερμοκρασία έχει την ιδιότητα να απορροφά όλη την προσπίπτουσα θερμική ακτινοβολία για όλα τα μήκη κύματος, δηλαδή δεν ανακλά ούτε διέρχεται ακτινοβολία μέσα από αυτό. Επίσης, για δεδομένη θερμοκρασία εκπέμπει ομοιόμορφα το μέγιστο ποσό θερμικής ακτινοβολίας. Μέλαν σώμα θεωρείται ο ήλιος.

Κατοπτρικό είναι το σώμα που δεν μπορεί να απορροφήσει καθόλου προσπίπτουσα ακτινοβολία καθώς την ανακλά.

Προκειμένου να μπορεί να γίνει η σύγκριση πραγματικών σωμάτων ορίζονται και οι συντελεστές απορρόφησης (α), ανάκλασης (ρ) και διάβασης (τ). Στην ανακλώμενη ακτινοβολία προστίθεται και το ποσό της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένα σώμα λόγω της θερμοκρασίας του. Από την διατήρηση της ενέργειας ισχύει: $\alpha + \rho + \tau = 1$.

2.2.3.1 Συντελεστής απορρόφησης α

Ορίζεται ως το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται από το σώμα σε σχέση με την ολική προσπίπτουσα και δίδεται από την σχέση:

$$\alpha = \frac{I_{\alpha}}{I_0} \quad (\text{εξ. 2.6})$$

I_{α} : η ισχύς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται

I_0 : ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία

2.2.3.2 Συντελεστής ανάκλασης ρ

Ορίζεται ως το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται από το σώμα σε σχέση με την ολική προσπίπτουσα και δίδεται από την σχέση:

$$\rho = \frac{I_{\rho}}{I_0} \quad (\text{εξ. 2.7})$$

I_{ρ} : η ισχύς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται

I_0 : ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία

2.2.3.3 Συντελεστής διάβασης τ

Ορίζεται ως το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που διαπερνά από το σώμα σε σχέση με την ολική προσπίπτουσα και δίδεται από την σχέση:

$$\tau = \frac{I_{\tau}}{I_0} \quad (\text{εξ. 2.8})$$

I_{τ} : η ισχύς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που διαπερνά το σώμα

I_0 : ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία

3 Υαλοπίνακες

3.1 Το γυαλί ως βασικό στοιχείο

Το τζάμι αποτελεί το 70%-80% ενός υαλοπίνακα. Για την ανάλυση ενός υαλοπίνακα θα πρέπει να παρουσιαστούν πρώτα οι βασικές ιδιότητες του γυαλιού που είναι και το κύριο συστατικό του.

Το γυαλί είναι ένα υλικό που εκτιμάται ότι χρησιμοποιείται για πάνω από 4000 έτη. Κάποιες από τις φυσικές ιδιότητες του είναι ότι είναι άμορφο υλικό και μπορεί να υποστεί επεξεργασία για τη διαμόρφωση του σχήματος του, έχει υψηλή σκληρότητα και ακαμψία ενώ είναι αδρανές τόσο χημικά όσο και βιολογικά. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του, όμως είναι οι οπτικές δυνατότητες του. Μάλιστα, με την τεχνολογική πρόοδο τα πλεονεκτήματα του αυξάνονται καθώς μπορούμε και χρησιμοποιούμε πιο αποδοτικά τις ιδιότητες της διαφάνειας ή της ανάκλασης που έχουν ανάλογα τι θέλουμε να πετύχουμε. Επίσης, χρήσιμο είναι το φιλτράρισμα της ηλιακής ακτινοβολίας που μπορούμε να πετύχουμε ενώ πλέον μπορούμε να μειώσουμε σημαντικά τις υψηλές θερμικές απώλειες που έχουν. Δεν είναι τυχαίο ότι ο βιοκλιματισμός έχει βασίσει τη δόμηση του σε σημαντικό βαθμό στη χρήση του γυαλιού.

Οι παράμετροι για την επιλογή του κατάλληλου τύπου υαλοπίνακα είναι πολλοί. Εκτός από την αντοχή, την ασφάλεια και την ηχομόνωση και με βασικό γνώμονα την θερμική και οπτική άνεση ο σχεδιασμός των κατάλληλων υαλοπινάκων πρέπει να λαμβάνει υπόψη:

- Θερμικά κέρδη και απώλειες
- Οπτική διαπερατότητα και φυσικό φωτισμό
- Έλεγχος διείσδυσης αέρα
- Έλεγχος συμπύκνωσης

3.2 Ενεργειακοί παράμετροι υαλοπίνακα

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστούν οι βασικές σχέσεις που ισχύουν για την ενεργειακή ανάλυση ενός υαλοπίνακα. Για την σύγκριση των υαλοπινάκων υπάρχουν κάποιοι βασικοί συντελεστές που προσδιορίζουν την συμπεριφορά τους και τα χαρακτηριστικά τους. Αυτοί είναι :

- Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U-value
- Ο συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών SHGC
- Ο συντελεστής οπτικής διαπερατότητας VLT
- Ο συντελεστής διείσδυσης αέρα

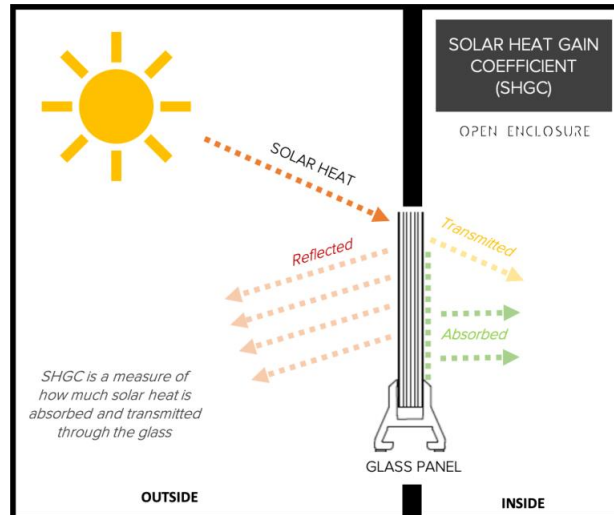
3.2.1 Συντελεστής θερμοπερατότητας U-value

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας προσδιορίζει το πόσο θερμότητας που διαπερνά μία επιφάνεια 1 m^2 σε δεδομένο πάχος όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των 2 επιφανειών που μελετάμε είναι 1K . Αφορά και τους 3 τρόπους μεταφοράς θερμότητας (αγωγή, συναγωγή, ακτινοβολία) και έχει μονάδες $[\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$. Πιο συγκεκριμένα, εκφράζει τις απώλειες θερμότητας ανά τετραγωνικό μέτρο τοποθετημένου υαλοπίνακα, για κάθε βαθμό (K ή °C) διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στον εξωτερικό και εσωτερικό χώρο. Όσο μικρότερη τιμή έχει ο συντελεστής U-Value τόσο δυσκολότερη είναι η μετάδοση θερμότητας και άρα έχει λιγότερες απώλειες και καλύτερη θερμική μόνωση. Επιπλέον, ο συντελεστής θερμοπερατότητας ισούται με την αντίστροφη τιμή της θερμικής αντίστασης ($U=R^{-1}$).

Επίσης, εκτός από το υλικό που χρησιμοποιείται σημαντικό είναι το πάχος του. Για παράδειγμα, μία τυπική τιμή ενός απλού μονού υαλοπίνακα 3mm είναι $5,7 [\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$ ενώ ένας απλός μονός 12mm είναι περίπου $5,2 [\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$. Ακόμα, για τους υαλοπίνακες με πολλαπλά τζάμια το u-value επηρεάζεται και από το είδος του αερίου που χρησιμοποιείται. Επίσης, και οι ιδιότητες του υαλοπίνακα όσον αφορά την ανάκλαση και την απορροφητικότητα επηρεάζουν τον συντελεστή διαπερατότητας.

3.2.2 Συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών SHGC

Ο συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών (Solar Heat Gain Coefficient) είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τους υαλοπίνακες καθώς εκφράζει το ποσοστό από το συνολικό ηλιακό κέρδος διαπερνά στο εσωτερικό χώρο. Το ηλιακό κέρδος που φθάνει στον υαλοπίνακα είναι η ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία δηλαδή το άθροισμα της άμεσης, της διάχυτης και της ανακλώμενης. Για παράδειγμα, $\text{SHGC}=0$ σημαίνει ότι δεν μεταδίδεται τίποτα από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία του υαλοπίνακα στο κτήριο, ενώ $\text{SHGC}=1$ δηλώνει ότι ολόκληρη η προσπίπτουσα ακτινοβολία μεταδίδεται σαν θερμότητα μέσω του παραθύρου μέσα στο κτήριο. Συνεπώς, σε κτήρια με υψηλό ψυκτικό φορτίο είναι λογικό να προτιμώνται υαλοπίνακες με χαμηλές τιμές του SHGC ώστε να μην επιβαρύνεται το σύστημα ψύξης, ενώ παράθυρα με υψηλές τιμές του SHGC προτιμώνται σε κτήρια με υψηλό θερμικό φορτίο ώστε να 'βοηθάτε' το σύστημα θέρμανσης. Οι τιμές του συντελεστή SHGC κυμαίνονται περίπου σε $0,8$ για ένα μόνο καθαρό τζάμι και σε $0,6$ για ένα καθαρό τριπλό τζάμι. Όπως θα δούμε στην συνέχεια, έχουν σχεδιαστεί διάφορες τεχνολογίες δυναμικών υαλοπινάκων που μειώνουν το SHGC το καλοκαίρι και το ενισχύουν το χειμώνα ώστε να μειώνουν την συνολική ετησία κατανάλωση σε ενέργεια.



Σχήμα 3.1 Σχηματική απεικόνιση για το SHGC [36].

3.2.3 g-value

Επίσης, έχει οριστεί και ο συντελεστής g-value που χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη σε αντίθεση με το SHGC που αντιστοιχεί στα αμερικάνικα πρότυπα. Το g-value δίνεται από τον λόγο του συνολικού ηλιακού κέρδους προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία στον υαλοπίνακα. Η μοναδική διαφορά που έχουν το g-value με το SHGC είναι ότι στο g-value υπολογίζεται με αέριο μάζα 1,0 ενώ στο SHGC με 1,5. Αέριος μάζα είναι η οπτική διαδρομή της άμεσου ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα προς την οπτική διαδρομή αν ο ήλιος βρισκόταν στο ζενίθ.

3.2.4 Συντελεστής Σκίασης (SC)

Ο συντελεστής σκίασης SC (Shading Coefficient) προϋπήρχε πριν το SHGC και το g-value αλλά πλέον δεν χρησιμοποιείται. Ορίζεται ως το ηλιακό θερμικό κέρδος του προς μελέτη υαλοπίνακα (SHG) διά το ηλιακό θερμικό κέρδος ενός υαλοπίνακα αναφοράς (SHGF). Σύμφωνα με την ASHRAE ο υαλοπίνακας αναφοράς έχει πάχος 3mm και συγκεκριμένες ιδιότητες ενώ το SHGF (Solar Heat Gain Factor) του δίνεται σε πίνακες συναρτήσεως του γεωγραφικού του πλάτους και του προσανατολισμού.

$$SC = \frac{SHG}{SHGF} \quad (\text{εξ. 2.9})$$

3.2.5 Οπτική διαπερατότητα

3.2.5.1 VLT (glass visible light transmittance)

Η οπτική διαπερατότητα VLT (visible light transmittance) εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας για το ορατό φάσμα που περνάει από τον υαλοπίνακα. Είναι μία σημαντική παράμετρος καθώς μπορούμε να υπολογίσουμε το

φυσικό φως που θα παρέχεται στο εσωτερικό του κτηρίου με αποτέλεσμα την μείωση των φορτίων του τεχνητού φωτισμού. Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει τόσο περισσότερο φυσικό φως εισέρχεται από τον υαλοπίνακα. Βέβαια, σε περίπτωση όπου έχουμε έντονη ηλιακή ακτινοβολία, όπως συμβαίνει κυρίως το καλοκαίρι, πάντα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το φαινόμενο της θάμβωσης όπου μπορεί να προκαλέσει προβλήματα ακόμα και στην απόδοση της εργασίας. Ένα μονό απλό τζάμι έχει περίπου $VLT=0,85$ ενώ ένας τριπλός απλός υαλοπίνακας έχει περίπου $VLT=0,7$. Ειδικές κατηγορίες υαλοπινάκων μπορούν να μεταβάλουν το VLT και να το μειώσουν μέχρι να έχει τιμές μικρότερες του 0,1.

3.2.5.2 LSG (Lighting Solar Gain)

Με την πάροδο των χρόνων ο συντελεστής VLT αποκτά όλο και μεγαλύτερη βαρύτητα ενώ πλέον έχει οριστεί και ο συντελεστής LSG (Lighting Solar Gain) ο οποίος είναι ο λόγος της οπτικής διαπερατότητας (VLT) προς τον συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους ($SHGC$), δηλαδή: $LSG=VLT/SHGC$. Έτσι, μπορούμε με έναν συντελεστή να συγκρίνουμε υαλοπίνακες όσον αφορά τόσο τον έλεγχο των ηλιακών κερδών όσο και στο έλεγχο του φωτισμού.

$$LSG = \frac{VLT}{SHGC} \quad (\text{εξ. 2.10})$$

3.2.6 Διείσδυση αέρα

Εφόσον ένας υαλοπίνακας συχνά αποτελεί διαχωριστικό όριο μεταξύ δύο χώρων με διαφορετική πίεση είναι λογικό να δημιουργούνται ρεύματα αέρα. Ο αέρας διεισδύει μέσω των ρωγμών που υπάρχουν ανάμεσα στα μέρη που συναρμολογούν το παράθυρο αυξάνοντας έτσι το ψυκτικό ή το θερμικό φορτίο που καταναλώνει το σύστημα καθώς ο εξωτερικός αέρας έχει την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και επηρεάζεται ο ενεργειακός ισολογισμός του κτηρίου. Συνήθως, η συναλλαγή αέρα από τους υαλοπίνακες συγκαταλέγεται στην συνολική διείσδυση και διαρροή αέρα σε έναν χώρο όπου μπορεί να προσδιοριστεί μέσω του αριθμού των συναλλαγών ανά μονάδα χρόνου (air exchange rate).

3.3 Ιδιότητες υαλοπινάκων στην ακτινοβολία

Όπως κάθε πραγματικό σώμα έτσι και οι υαλοπίνακες έχουν συγκεκριμένες ιδιότητες όσον αφορά την συμπεριφορά τους στην ηλιακή ακτινοβολία. Το ιδιαίτερο σε αυτήν την περίπτωση όμως, είναι ότι η απόδοση ενός υαλοπίνακα σχετίζεται άμεσα με τους συντελεστές απορρόφησης, ανάκλασης και διάβασης που έχει και προφανώς ισχύει η σχέση $\rho + \tau + \alpha = 1$. Επίσης, λόγω της σημαντικότητας των παραπάνω ιδιοτήτων βαρύνουσα σημασία αποκτά και η εκπομπή των υαλοπινάκων η οποία για αυτόν τον λόγο διαχωρίζεται από την ανακλώμενη ακτινοβολία. Ανάλογα την χρήση και το κλίμα θα πρέπει να διαλέγονται και κα-

τάλληλα χαρακτηριστικά υαλοπινάκων που βελτιστοποιούν την απόδοση του κτηρίου σε σχέση με τις ανάγκες του .

3.3.1 Ανάκλαση υαλοπίνακα

Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει ο συντελεστής ανάκλασης (ρ) τόσο λιγότερη ακτινοβολία εισέρχεται στο εσωτερικό. Στα θερμά κλίματα συνήθως θέλουμε μεγάλες τιμές ρ ώστε να μειώνονται οι απαιτήσεις ψύξης. Επίσης, κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάκλαση της ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια είναι η γωνία πρόσπτωσης, η τραχύτητα και η πιθανή επίστρωση της. Πλέον, τα περισσότερα τζάμια χαρακτηρίζονται ως λεία έχοντας μικρές τιμές τραχύτητας ενώ με επιστρώσεις νέας γενιάς μπορεί να γίνει επιλεκτική ανάκλαση σε συγκεκριμένα μήκη κύματος όπου προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα.

3.3.2 Διάβαση υαλοπίνακα

Η διαπερατότητα ενός υαλοπίνακα διαφέρει ανάλογα τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Μία από τις βασικότερες κατηγορίες που μας ενδιαφέρει είναι εκείνη της οπτικής διαπερατότητας και αναφέρεται στα μήκη κύματος της ορατής ακτινοβολίας. Μάλιστα, αν και δεν έχει επίδραση στον ενεργειακό ισολογισμό του κτηρίου θεωρείται πολύ σημαντικός παράγοντας καθώς είναι ο κύριος συντελεστής που διαμορφώνει την οπτική άνεση του εσωτερικού χώρου. Αντίστοιχα, με την ανάκλαση πλέον υπάρχουν τζάμια που έχουν την ιδιότητα να επιτρέπουν την ορατή ακτινοβολία να περάσει χωρίς να επιτρέπουν την διάβαση μεγάλων θερμικών κερδών.

3.3.3 Απορρόφηση υαλοπίνακα

Η απορρόφηση ενός υαλοπίνακα εξαρτάται από την γωνία και το μήκος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, την θερμοκρασία του σώματος που την εκπέμπει αλλά και τις ιδιότητες την επιφάνειας που την δέχεται. Ιδιαίτερα η φύση της επιφάνειας έχει σημαντικό ρόλο στο ποσοστό της ακτινοβολίας που θα απορροφηθεί. Για αυτό τον λόγο επιστρώσεις που διαφοροποιούν και την χρωματική απόχρωση του υαλοπίνακα χρησιμοποιούνται ανάλογα τις απαιτήσεις σε απορρόφηση θέλουμε να έχουμε. Για παράδειγμα, ένας απλός διαφανής υαλοπίνακας μπορεί να έχει συντελεστή απορρόφησης 5% ενώ ένας σκουρόχρωμος απορροφά ένα πολύ μεγαλύτερο μέρος της με αποτελέσματα να μειώνει τα ηλιακά θερμικά κέρδη.

3.3.4 Εκπομπή υαλοπίνακα

Κατά την ανάλυση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός υαλοπίνακα σημαντική παράμετρος είναι και η εκπομπή του. Πιο συγκεκριμένα, από την θερμότητα που απορροφάται ένα μέρος της μεταδίδεται μέσω συναγωγής στον χώρο ενώ

το υπόλοιπο εκπέμπεται. Μάλιστα, ένα κοινό τζάμι έχει συντελεστή εκπομπής 0,84 κάτι που σημαίνει ότι έχει την δυνατότητα να απορροφήσει και στην συνέχεια να εκπέμψει μέχρι και το 84% της συνολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας, εξαιρείται δηλαδή το ποσοστό της διάβασης, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό (16%) ανακλάται. Έτσι μεταβάλλοντας τον συντελεστή εκπομπής (ϵ) μας δίνεται η δυνατότητα να μειώσουμε τα θερμικά κέρδη χωρίς να έχουμε το μειονέκτημα της χαμηλής οπτικής διαπερατότητας. Πάνω σε αυτό βασίζεται μία νέα πολύ αποδοτική τεχνολογία που είναι οι υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής όπου ο συντελεστής εκπομπής μπορεί να φθάσει σε τιμές 0,04 ή και χαμηλότερα, κάτι που σημαίνει ότι το υπόλοιπο 96% ανακλάται μονώνοντας έτσι καλύτερα το κτήριο.

3.4 Μεταφορά θερμότητας στους υαλοπίνακες

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστούν οι βασικές σχέσεις που ισχύουν για την ενεργειακή ανάλυση ενός υαλοπίνακα. Τα κύρια αίτια μεταφοράς θερμότητας σε έναν υαλοπίνακα είναι η διαφορά θερμοκρασίας, το θερμικό κέρδος και η διείσδυση αέρα.

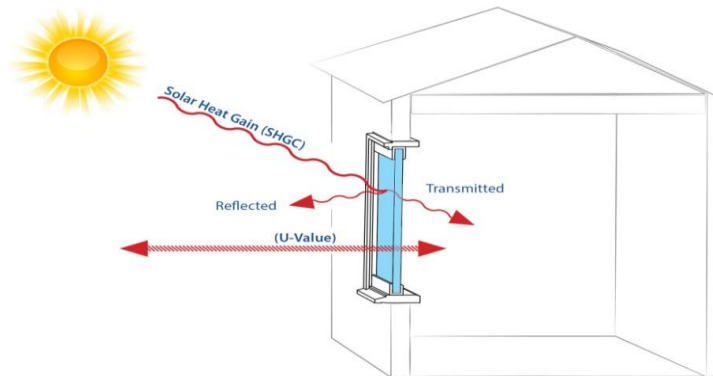
3.4.1 Μεταφορά θερμότητας λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς

Κατά την μεταφορά θερμότητας λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς παρατηρούνται και οι 3 τρόποι μεταφοράς θερμότητας (αγωγή, συναγωγή, ακτινοβολία). Όσο μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας υπάρχει τόσο μεγαλύτερο και το ποσό θερμότητας που μεταδίδεται. Ο συντελεστής που χαρακτηρίζει αυτό το φαινόμενο είναι το ολικό U-Value του υαλοπίνακα καθώς εκφράζει τον ρυθμό απωλειών θερμότητας, σε μόνιμες συνθήκες, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στις επιφάνειες του τζαμιού. Η μεταφορά λόγω αγωγής συμβαίνει μέσω των δομικών στοιχείων του υαλοπίνακα. Αντίθετα, συναγωγή έχουμε λόγω της επαφής των εξωτερικών επιφανειών του υαλοπίνακα με τον αέρα ή σε περίπτωση πολλαπλών τζαμιών λόγω του αερίου πλήρωσης με την εσωτερική πλευρά των φύλλων. Μεταφορά με ακτινοβολία έχουμε λόγω της εκπομπής θερμότητας όταν οι θερμοκρασίες το επιτρέπουν. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για το ποσοστό της προσπίπτουσα ακτινοβολία που απορροφάται και στην συνέχεια εκπέμπεται.

3.4.2 Μεταφορά θερμότητας λόγω ηλιακού θερμικού κέρδους

Κατά την πρόσπτωση ακτινοβολίας σε έναν υαλοπίνακα ένα ποσό τον διαπερνά, ένα άλλο απορροφάται και το υπόλοιπο ανακλάται. Από το ολικό θερμικό κέρδος που προσπίπτει στον υαλοπίνακα το πόσο θερμότητας που προσδίδεται στον εσωτερικό χώρο προσδιορίζεται από τον συντελεστή ηλιακών θερμικών κερδών (SHGC). Ηλιακό κέρδος σε έναν χώρο μπορούμε να έχουμε

ανεξάρτητα από τις διαφορές στην εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία όπως γίνεται τον χειμώνα.



Σχήμα 3.2 Σχηματική απεικόνιση μεταφοράς θερμότητας σε υαλοπίνακα σε εξάρτηση του SHGC και U-Value [37].

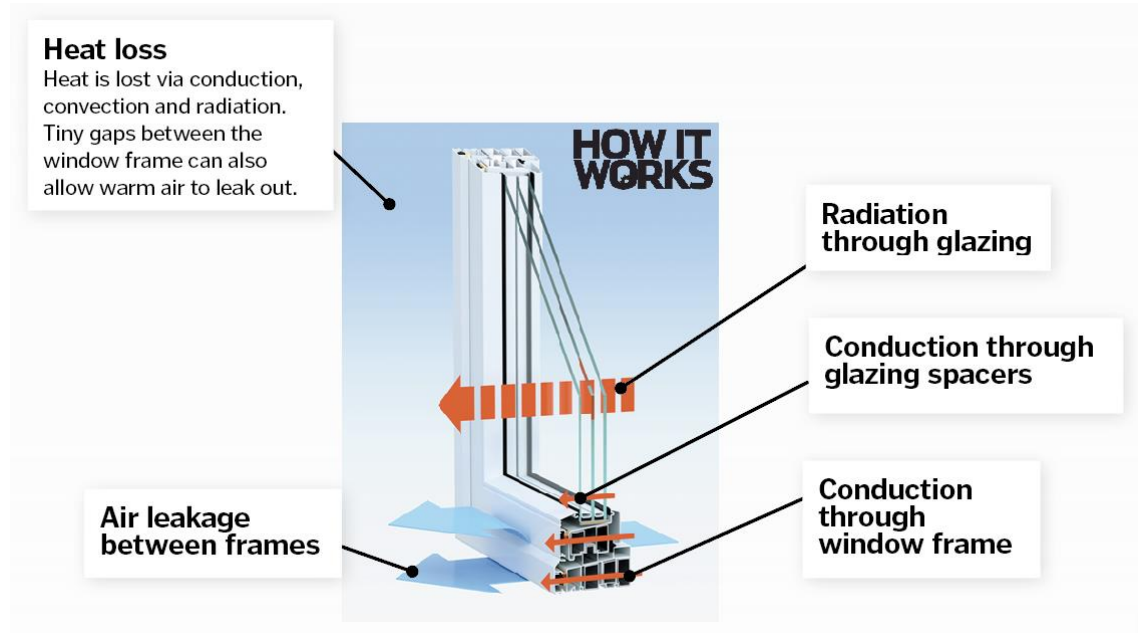
3.4.3 Μεταφορά θερμότητας λόγω διείσδυσης αέρα

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η διείσδυση αέρα μπορεί να μεταφέρει ποσά θερμότητας από ή προς τον εσωτερικό χώρο. Η διείσδυση του αέρα οδηγεί στην αύξηση του θερμικού ή του ψυκτικού φορτίου του κτηρίου όταν ο εξωτερικός αέρας που εισέρχεται μέσα στο κτήριο πρέπει να θερμανθεί ή να ψυχθεί αντίστοιχα.

3.4.4 Μεταφορά θερμότητας στα κουφώματα

Τα κουφώματα όπου θα στηριχτεί το τζάμι συμμετέχουν και εκείνα στην μεταφορά θερμότητας μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού χώρου. Κύρια μορφή μετάδοσης είναι η αγωγή ενώ και αέρας μπορεί να διεισδύσει ανάμεσα στις συναρμογές μεταφέροντας θερμότητα. Υπάρχουν διάφορα είδη κουφωμάτων όπου τα πιο προηγμένα εστιάζουν στην μείωση του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U και της διαρροής του αέρα. Το κύριο κριτήριο από το οποίο διαχωρίζονται είναι το βασικό υλικό κατασκευής τους και τα πιο κοινά που υπάρχουν είναι κουφώματα από βινύλιο, υαλοβάμβακα, αλουμίνιο, σύνθετα υλικά, ξύλο και άλλα. Κουφώματα από υαλοβάμβακα όταν ενισχυθούν με μόνωση αποτελούν την καλύτερη θερμική μόνωση. Επίσης, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και πολύ καλή αντοχή με μεγάλη αντίσταση στην υπεριώδη ακτινοβολία όπου κάνει την χρήση τους ικανή σε διάφορες κλιματικές συνθήκες. Τα κουφώματα από βινύλιο περιέχουν συνήθως πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) με σταθεροποιητές για την υπεριώδη ακτινοβολία ώστε να μην καταπονούνται, δεν χρειάζονται βάψιμο και έχουν καλή αντοχή στην υγρασία. Αν στο εσωτερικό τους ενισχυθούν με μόνωση τότε αποκτούν εξαιρετική θερμική απόδοση. Συχνά επενδύονται με αλουμίνιο για την ενίσχυση της αντοχής τους. Τα κουφώματα από σύνθετα υλικά ποικίλουν ανάλογα τα υλικά που χρησιμοποιούνται και έχουν πολύ καλή αντοχή και θερμική μόνωση. Τα κουφώματα από ξύλο έχουν πολύ καλή

θερμική μόνωση αν και έχουν μικρότερο χρόνο ζωής. Τα κουφώματα από αλουμίνιο και διάφορα μέταλλα έχουν πολύ καλή αντοχή αλλά λόγω μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας έχουν αρκετές απώλειες και για αυτό χρησιμοποιείται συχνά με πλαστική μόνωση για την μείωση του U-Factor.



Σχήμα 3.3 Σχηματική απεικόνιση των θερμορροών και της διείσδυσης αέρα σε έναν υαλοπίνακα [38].

3.4.5 Συνολική μεταφορά θερμότητας

Η συνολική ροή ενέργειας στην απλοποιημένη μορφή της όπου αμελούμε την μεταβολή της υγρασίας και την διείσδυση του αέρα δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$$q = U \cdot A \cdot (T_{OUT} - T_{IN}) + (SHGC) \cdot A \cdot I_o \quad (\text{εξ. 2.11})$$

Όπου:

q: η στιγμιαία θερμορροή σε [W]

U: η συνολική θερμική διαπερατότητα σε $[\frac{W}{m^2 K}]$

A: η επιφάνεια του υαλοπίνακα σε $[m^2]$

T_{OUT}: η θερμοκρασία στην εξωτερική πλευρά του υαλοπίνακα σε [°C]

T_{IN}: η θερμοκρασία στην εσωτερική πλευρά του υαλοπίνακα σε [°C]

SGHC: ο συντελεστής του ηλιακού θερμικού κέρδους

I_o: η ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στον υαλοπίνακα σε $[\frac{W}{m^2}]$

4 Κατηγορίες Υαλοπινάκων

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχει δημιουργηθεί μία μεγάλη γκάμα από υαλοπίνακες με διάφορα χαρακτηριστικά. Για την επιλογή του κατάλληλου υαλοπίνακα θα πρέπει να καθορίζεται η χρήση του, να προσμετράτε η απόδοση του στην συνολική ενεργειακή κατάσταση του κτηρίου αλλά και στην συνέχεια να γίνεται ένας τεchnοοικονομικός έλεγχος που αφορά τη σύγκριση κόστος-όφελος και τον χρόνο απόσβεσης. Παρακάτω, θα παρουσιαστούν κάποιες βασικές κατηγορίες υαλοπινάκων που ταξινομούνται κυρίως με βάση την ενεργειακή συμπεριφορά τους. Αρχικά, υπάρχουν οι απλοί υαλοπίνακες που χρησιμοποιούνται τα κοινά διαφανή φύλλα με αέρα διακένου. Στην συνέχεια, θα παρουσιαστούν οι ενεργειακοί και οι υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου που έχουν την δυνατότητα να μειώσουν σε σημαντικό βαθμό τις απώλειες. Τέλος, έχουμε τους προηγμένους και «έξυπνους» υαλοπίνακες οι οποίοι είτε συνεισφέρουν μέσω παραγωγής ενέργειας είτε έχουν δυναμικές ιδιότητες, δηλαδή μεταβάλλουν την κατάσταση τους, ανάλογα τις εξωτερικές συνθήκες και βελτιστοποιούν την απόδοσή τους. Θα παρουσιαστούν ορισμένοι τύποι από κάθε κατηγορία οι οποίοι είναι:

Οι **κοινοί-απλοί** υαλοπίνακες που αποτελούνται από τον

- Μονό απλό
- Διπλό απλό
- Τριπλό απλό

Οι **ενεργειακοί** και οι **ηλιακού ελέγχου** υαλοπίνακες που αποτελούνται τον

- Θερμομονωτικό
- Ανακλαστικό
- Αντι-ανακλαστικό
- Απορροφητικό
- Έγχρωμο
- Επιλεκτικό χαμηλής εκπομπής

Οι **προηγμένοι** και οι «**έξυπνοι**» υαλοπίνακες που αποτελούνται από τον

- Ηλεκτροχρωμικό (EC)
- Υαλοπίνακα υγρών κρύσταλλων (LC)
- Αιωρούμενων σωματιδίων (SPD)
- Φωτοχρωμικό (PC)
- Αεροχρωμικό (GC)
- Θερμοχρωμικό (TC)
- Φωτοβολταϊκό (BIPV)

4.1 Κοινοί-απλοί υαλοπίνακες

4.1.1 Μονός απλός

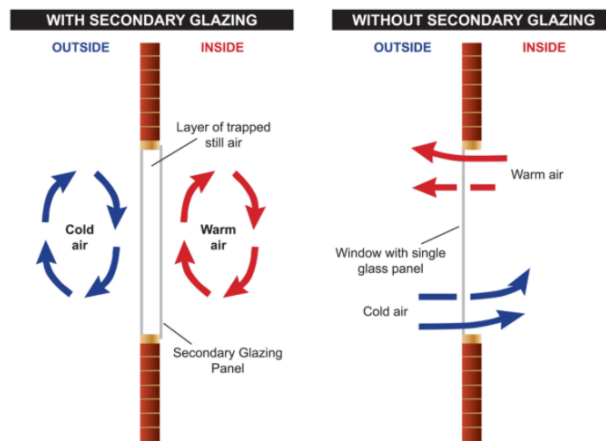
Ο μονός απλός είναι η πιο απλή έκδοση υαλοπίνακα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αποτελείται από ένα τζάμι όπου το πάχος του κυμαίνεται μεταξύ 3mm έως 12mm. Έχει τεράστιες θερμικές απώλειες και για αυτό είναι ακατάλληλος για χώρους κατοικίας ή εργασίας λόγω πολύ των υψηλών φορτίων θέρμανσης και ψύξης που απαιτούνται. Μάλιστα, για νέα κτήρια η χρήση του δεν πληροί τις προδιαγραφές που υπάρχουν από τον Κ.Εν.Α.Κ.. Αντίθετα, είναι μία οικονομική λύση για αποθήκες ή γκαράζ και γενικά μη θερμαινόμενους βοηθητικούς χώρους και επειδή έχει μεγάλη οπτική διαπερατότητα και διαφάνεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες περιπτώσεις σε βιτρίνες. Δεν θεωρείται υαλοπίνακας ασφαλείας ενώ σε μεγάλες επιφάνειες για να μην έχει πρόβλημα αντοχής χρησιμοποιείται πάχος μεγαλύτερο των 8mm. Συνήθως, αποτελεί βασικό στοιχείο για την κατασκευή των υπόλοιπων υαλοπινάκων.

Ένας απλός μόνος υαλοπίνακας πάχους 4mm έχει περίπου $U=5,6 [W/(m^2 \cdot K)]$ $SHGC=0,85$ και $VLT=0,89$ ενώ για 12mm έχει περίπου $U=5,2 [W/(m^2 \cdot K)]$ $SHGC=0,729$ και $VLT=0,85$.

4.1.2 Διπλός απλός

Ο διπλός απλός υαλοπίνακας αποτελείται από δυο τζάμια και ενδιάμεσα περιέχει αέρα πλήρωσης ο οποίος είναι σφραγισμένος. Ο αέρας πρέπει να είναι ξηρός ώστε να μην υπάρχει υγρασία και το πάχος του αποστάτη στον οποίο βρίσκεται κυμαίνεται από 6mm έως 16mm. Όσο μεγαλύτερο το διάκενο αέρα τόσο αυξάνεται η θερμική και ηχητική μόνωση του υαλοπίνακα. Μάλιστα, το πάχος του αποστάτη έχει μεγαλύτερη επίδραση στην θερμομόνωση από ότι το πάχος των τζαμιών λόγω της ιδιότητας του αέρα να είναι κακός αγωγός της θερμότητας. Βέβαια, πολύ μεγάλα μήκη αποστάτη αποφεύγονται καθώς επιτρέπουν στον αέρα να μετακινηθεί και να μεταφέρει την θερμότητα μέσω συναγωγής στις επιφάνειες των φύλλων αυξάνοντας έτσι τις θερμικές απώλειες. Σε σχέση με τον μονό προσφέρει πολύ καλύτερη θερμική μόνωση ενώ μετά το έτος 1979 είναι υποχρεωτική η χρήση του ως ελάχιστη προδιαγραφή στα κτήρια.

Ένας διπλός με απλά διάφανα φύλλα $2 \times 6mm$ και διάκενο αέρα 12mm έχει $U=2,7 [\frac{W}{m^2 \cdot K}]$ $SHGC=0,7$ και $VLT=0,787$ ενώ για τα ίδια φύλλα με διάκενο αέρα 6mm έχει $U=3,1 [\frac{W}{m^2 \cdot K}]$ $SHGC=0,7$ και $VLT=0,787$.



Σχήμα 4.1 Σύγκριση μετάδοσης θερμότητας μεταξύ απλού διπλού και απλού μονού υαλοπίνακα [39].

4.1.3 Τριπλός απλός

Η χρήση του τριπλού απλού υαλοπίνακα βασίζεται στην ίδια λογική με εκείνη του απλού διπλού. Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε 3 φύλλα γυαλιού με διάκενο αέρα να τα χωρίζει. Σε γενικές γραμμές ο τριπλός είναι ενεργειακά πιο αποδοτικός από έναν διπλό χωρίς αυτό να είναι δεδομένο όμως. Για παράδειγμα, ένας διπλός με το ίδιο συνολικό πάχος με έναν τριπλό μπορεί να έχει λιγότερες θερμικές απώλειες καθώς ο αέρας θα είναι περισσότερος. Γενικά, οι τριπλοί σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται έχουν μεγάλο πάχος και άρα αυξημένο βάρος και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η τοποθέτησή τους σε κατάλληλα κουφώματα ώστε να μην υπάρξουν προβλήματα αντοχής.

Ένας τριπλός απλός υαλοπίνακας με φύλλα πάχους 3x6mm και αέρα διακένου 2x12mm έχει περίπου $U=1,7 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ SHGC=0,612 και VLT=0,7.

4.2 Ενεργειακοί και υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου

4.2.1 Θερμομονωτικοί

Ως θερμομονωτικοί ορίζονται όσοι υαλοπίνακες χρησιμοποιούν αέριο πλήρωσης διαφορετικό του αέρα ή έχουν κενό αέρος .

Η χρήση αδρανών αερίων στον αποστάτη όπως αργό, κρυπτό ή ξένο αντί του αέρα συνεισφέρει στην θερμική και ηχητική μόνωση του υαλοπίνακα καθώς είναι κακοί αγωγοί. Ο αέρας έχει θερμική αγωγιμότητα $k=0,024 \left[W/(m \cdot K) \right]$ ενώ το αργό έχει $k=0,016 \left[W/(m \cdot K) \right]$, το κρυπτό $k=0,0086 \left[W/(m \cdot K) \right]$ και το ξένο $k=0,0051 \left[W/(m \cdot K) \right]$. Για να είναι αποτελεσματικά τα αδρανή πρέπει να καταλαμβάνουν τουλάχιστον το 90% του διακένου και συνήθως βρίσκονται σε αναλογίες 90%-10% ή 95%-5% σε σχέση με τον αέρα. Πιο κοινή χρήση από τα

προηγούμενα είναι του αργού καθώς αν και έχει χειρότερη μόνωση από τα άλλα αδρανή είναι το φθηνότερο. Οι υαλοπίνακες που τα περιέχουν πρέπει να έχουν σφραγιστεί πάρα πολύ καλά ώστε να παρατείνεται η διάρκεια χρήσης του αερίου που χρησιμοποιείται. Όσον αφορά το πάχος του αποστάτη σύμφωνα με έρευνα της EWC (Efficient Windows Collaborative) έχουμε βελτιστοποίηση των θερμικών απωλειών για αέρα και αργό στα 12mm και για κρυπτό στα 9mm [40].

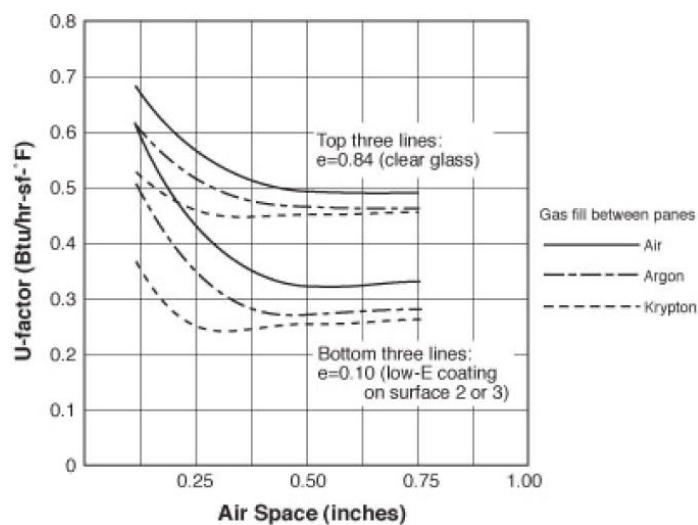
Από την άλλη πλευρά, το κενό αέρος είναι ακόμα πιο αποτελεσματικός τρόπος μόνωσης καθώς λόγω της πάρα πολύ χαμηλής πίεσης αέρα που επικρατεί δεν είναι δυνατή η μεταφορά θερμότητας με αγωγή και συναγωγή. Επιπλέον, η χρήση κενού γίνεται σε μικρότερα πάχη, με μέγιστο το 1mm, μειώνοντας έτσι το συνολικό μέγεθος του υαλοπίνακα αλλά επειδή αποτελεί την πιο ακριβή μέθοδο σπάνια την συναντάμε.

Ένας διπλός υαλοπίνακας με τζάμια 2x6mm και πλήρωση αργού 12mm έχει περίπου $U=2,6 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ SHGC=0,734 και VLT=0,784 ενώ για τα ίδια φύλλα αλλά με διάκενο αέρα 12mm έχει $U=2,8 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ SHGC=0,733 και VLT=0,78.

Ένας διπλός υαλοπίνακας με τζάμια 2x6mm και πλήρωση αργού 6mm έχει περίπου $U=2,8 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ SHGC=0,733 και VLT=0,784 ενώ για τα ίδια φύλλα αλλά με διάκενο αέρα 6mm έχει $U=2,9 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ SHGC=0,732 και VLT=0,78.

Ένας τριπλός υαλοπίνακας με φύλλα πάχους 3x6mm και διάκενο αργού 2x12mm έχει περίπου $U=1,6 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ SHGC=0,612 και VLT=0,7.

Ένας διπλός υαλοπίνακας με φύλλα πάχους 2x6mm και πλήρωση κενού πάχους 0,3mm έχει $U=2,2 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ SHGC=0,7 και VLT=0,7.



Σχήμα 4.2 Επίδραση του πάχους του διακένου στις θερμικές απώλειες συναρτήσει του αερίου πλήρωσης [40].

4.2.2 Ανακλαστικοί υαλοπίνακες

Οι ανακλαστικοί υαλοπίνακες όπως μαρτυρά και το όνομα τους έχουν αυξημένη την ιδιότητα της ανάκλασης. Με αυτόν τον τρόπο, έχουν μειωμένη διαπερατότητα και απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα τα μειωμένα ηλιακά κέρδη που φθάνουν στον χώρο. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε θερμά κλίματα με έντονη ηλιοφάνεια αλλά πάντα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το φαινόμενο της θάμβωσης στα περιφερειακά κτήρια καθώς λόγω της μεγάλης ανάκλασης η συνολική ακτινοβολία που θα προσπίπτει σε αυτά μπορεί να προκαλέσει αρκετά προβλήματα. Δεν επηρεάζουν τόσο το U-value αλλά κυρίως το SHGC και το VLT. Επίσης, ο χρωματισμός τους βοηθάει τον καλλωπισμό του κτηρίου. Συνήθως κοιτώντας από το εσωτερικό προς τα έξω είναι διαφανή ενώ η άλλη πλευρά τους έχει ιδιότητες καθρέπτη. Η ανάκλαση εξαρτάται κυρίως από την τραχύτητα, την γωνία της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και την χημική φύση των φύλλων. Εφόσον η τραχύτητα είναι ήδη αρκετά μικρή για ένα απλό διαφανές φύλλο και ο υαλοπίνακας τοποθετείται κάθετα η διαμόρφωση της χημικής σύστασης είναι που καθορίζει εν τέλει τον συντελεστή ανάκλασης. Ανάλογα την επίστρωση αλλάζει και το οπτικό αποτέλεσμα του υαλοπίνακα το οποίο μπορεί να είναι πράσινο, μπλε, ασημί, χρυσό ή και άλλα χρώματα.



Σχήμα 4.3 Διάφορα χρώματα ανακλαστικών υαλοπινάκων [41].

Η αυξημένη ανακλαστικότητα τοποθετείται στο φύλλο που δέχεται την περισσότερη ακτινοβολία και επιτυγχάνεται μέσω επίστρωσης στρωμάτων διαφόρων οξειδίων. Στην πιο κοινή μέθοδο επίστρωσης κατά την κατασκευή του τζαμιού προσθέτετε στρώμα οξειδίου μετάλλου το οποίο επαφίεται στην επιφάνειά του με τη μέθοδο της πυρόλυσης όταν η θερμοκρασία του είναι ακόμα στους 500 βαθμούς Κελσίου. Το αποτέλεσμα είναι η επίστρωση να εμποτιστεί στη μάζα του γυαλιού σε βάθος μερικών μm. Είναι ένας σχετικά φθηνός τρόπος ο οποίος παρουσιάζει αυξημένη μηχανική αντοχή επίστρωσης αλλά υπάρχει περιορισμός στις ανακλαστικές επιδόσεις και για αυτό δεν έχει πολλά ενεργειακά οφέλη. Μία άλλη συνδυαστική μέθοδος με σημαντική ενεργειακή απόδοση αλλά αρκετά πιο ακριβή είναι η χρήση φύλλων με στρώματα αργύρου για την αύξηση

της ανάκλασης μαζί με στρώμα του νιτριδίου του χρωμίου για τον έλεγχο των ηλιακών κερδών. Παράλληλα, με χρήση στρωμάτων οξειδίων του χαλκού το τζάμι μπορεί να αποκτήσει κατάλληλο χρωματισμό. Επίσης, μία πολύ αποδοτική μέθοδος είναι η χρήση επίστρωσης χαμηλής εκπομπής για την οποία υπάρχει ξεχωριστό κεφάλαιο.

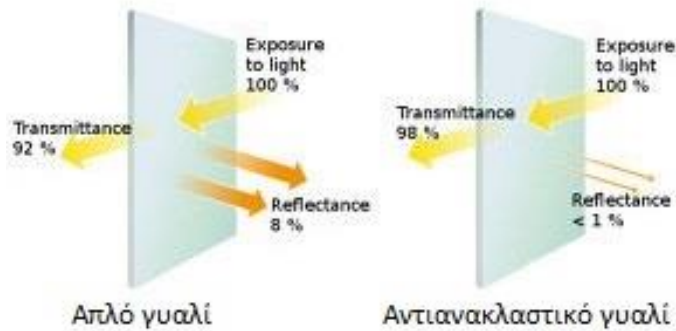
Μονός ανακλαστικός γκρι υαλοπίνακας πάχους 6mm (με εμπορική ονομασία 6mm Solarcool Grey) έχει $U=5,8 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ SHGC=0,51 και VLT=0,17.



Σχήμα 4.4 Παράδειγμα χρήσης ανακλαστικού υαλοπίνακα [42].

4.2.3 Αντί-ανακλαστικοί υαλοπίνακες

Οι αντι-ανακλαστικοί υαλοπίνακες έχουν την ιδιότητα να έχουν πολύ μικρό συντελεστή ανάκλασης. Με αυτό τον τρόπο επιτρέπουν μεγάλα ποσά της ορατής ακτινοβολίας να περάσουν στον εσωτερικό χώρο λόγω της υψηλής διαπερατότητας που έχουν. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της επίστρωσης ενός φιλμ, το οποίο έχει αντι-ανακλαστική ιδιότητα, είτε στο εσωτερικό ενός διαφανές φύλλου είτε και στις 2 πλευρές του. Τοποθετείται συνήθως σε μονούς υαλοπίνακες για μεγαλύτερο VLT και δεν επηρεάζει τόσο το U-value και το SHGC. Συχνές εφαρμογές τους είναι σε βιτρίνες ή σε χώρους όπου θέλουμε να έχουμε την καλύτερη δυνατή θέαση. Επίσης, έχουν αρκετά καλή αντοχή και δεν χαράζονται εύκολα κάνοντας την χρήση τους κατάλληλη για καταστήματα. Έχουν την ιδιότητα να αποκόπτουν μέχρι και το 95% της υπεριώδους ακτινοβολίας από το να εισέλθει στο κτήριο με αποτελέσματα να αποφεύγονται οι αναχρωματίσεις στα προϊόντα που εκθέτονται στον εσωτερικό χώρο.



Σχήμα 4.5 Σύγκριση μεταξύ απλού γυαλιού και αντί-ανακλαστικού (Επανασχεδιασμός από [43]).

4.2.4 Απορροφητικοί υαλοπίνακες

Οι απορροφητικοί υαλοπίνακες χαρακτηρίζονται από υψηλό συντελεστή απορρόφησης. Με αυτό τον τρόπο μειώνουν την διαπερατότητα της θερμικής ακτινοβολίας χωρίς να μειώνουν μεγάλα ποσά της ορατής. Επίσης, διατηρούν την ανάκλαση σε χαμηλά επίπεδα οπότε δεν δημιουργούν θάμβωση στα περιβάλλοντα κτήρια.

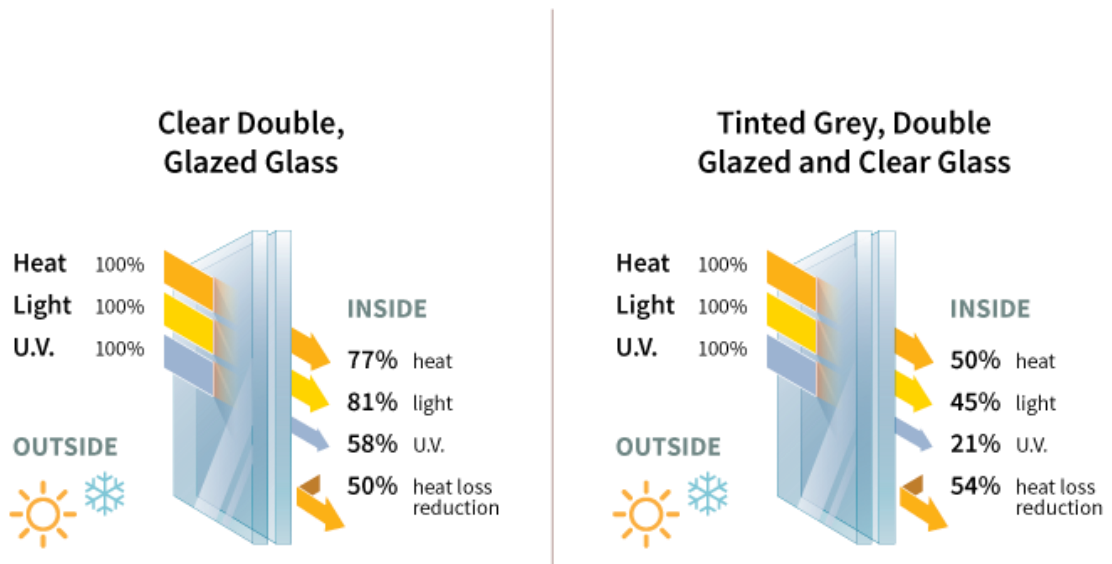
Κατά την παραγωγή του γυαλιού ενσωματώνονται χρωστικές ουσίες και άλλα πρόσθετα που προσδίδουν διάφορες ιδιότητες στο τζάμι. Είναι έγχρωμοι με συνήθη χρώματα να είναι το μπλε, πράσινο, μπρονζέ και φυμέ και χρησιμοποιούνται για τη μείωση των άμεσων ηλιακών θερμικών κερδών στον εσωτερικό χώρο. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας που προσπίπτει στον υαλοπίνακα απορροφάται αυξάνοντας την θερμοκρασία του και στην συνέχεια απομακρύνεται με συναγωγή ή εκπέμπεται με χαμηλότερο ρυθμό τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό χώρο. Μεγαλύτερη επίδραση στην μείωση των ηλιακών θερμικών κερδών έχει το μπλε χρώμα και μετά το πράσινο χρώμα. Αντίθετα, η επίδραση των χρωμάτων στην φωτοδιαπερατότητα είναι αντίστροφη με το γκρι και το μπρονζέ να αποκόπτουν την περισσότερη ορατή ακτινοβολία. Στα διπλά παράθυρα το τζάμι με την απορροφητική ιδιότητα τοποθετείται εξωτερικά ώστε η θερμότητα να μεταφέρεται προς το περιβάλλον. Η θερμική διαπερατότητα και ο συντελεστής εκπομπής παραμένουν στα ίδια επίπεδα με έναν κοινό υαλοπίνακα και για αυτό είναι πιο αποτελεσματικοί όταν συνδυάζονται με φύλλα χαμηλής εκπομπής. Αντίθετα, ο συντελεστής SHGC μειώνεται αλλά σε μικρότερο βαθμό από ότι στους ανακλαστικούς υαλοπίνακες.

Λόγω της μεγάλης απορρόφησης συγκεντρώνονται μεγάλα ποσά θερμότητας στην επιφάνεια του τζαμιού. Ιδιαίτερα εάν έχουμε ανομοιόμορφη προσπίπτουσα ακτινοβολία λόγω των περιβαλλοντολογικών συνθηκών υπάρχουν σημεία του τζαμιού που δέχονται πολύ υψηλότερη θερμορροή με αποτέλεσμα να βρίσκονται στα όρια των αντοχών τους και να υπάρχει κίνδυνος θερμικού σοκ. Για αυτό τον λόγο η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους επιτυγχάνεται μέσω της θερμικής σκλήρυνσης (tempered glass) τους ώστε η επιπλέον τάση που

αποθηκεύεται στην μάζα να αυξάνει την αντοχή του έως και 5 φορές περισσότερο σε σχέση με αυτή ενός απλού υαλοπίνακα.

4.2.5 Έγχρωμοι υαλοπίνακες

Οι έγχρωμοι υαλοπίνακες αποτελούν την πιο απλή έκδοση των απορροφητικών. Βασική τους ιδιότητα είναι ο υψηλός συντελεστής απορρόφησης λόγω του χρώματός τους. Είναι πιο φθηνοί από τους υπόλοιπους απορροφητικούς επειδή κατά την κατασκευή τους προστίθενται μόνο χρωστικές ουσίες. Από εκεί προκύπτει και η διαφορά τους καθώς δεν έχουν την επιλεκτική δράση των απορροφητικών όσον αφορά τον έλεγχο της ορατής ακτινοβολίας όπου δεν την επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό. Έχουν αντίστοιχα χρώματα με τους απορροφητικούς.

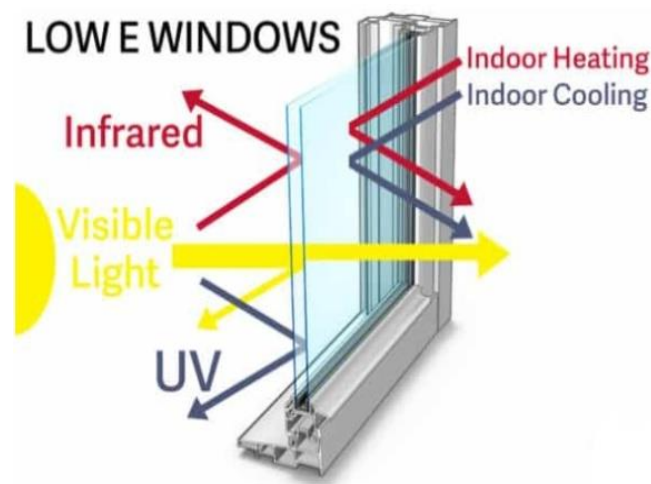


Σχήμα 4.6 Σύγκριση διπλού απλού υαλοπίνακα με διπλό που έχει έγχρωμο (γκρι) εξωτερικό φύλλο και απλό διαφανή εσωτερικό (Επινασχεδιασμός από [44]).

4.2.6 Υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (low-e)

Η συγκεκριμένη κατηγορία υαλοπινάκων είναι από τις πιο σημαντικές. Βασίζονται στην ιδιότητα του χαμηλού συντελεστή εκπομπής που έχουν ώστε να μειώνεται η μεταφορά θερμότητα. Ως γνωστόν, όταν ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται σε έναν τζάμι ένα μέρος μεταφέρεται με συναγωγή και ένα εκπέμπεται. Οι συγκεκριμένοι υαλοπίνακες είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί καθώς σε μεγάλο ποσοστό δεν επιτρέπουν να διαπεράσουν τα κύματα θερμικής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους και τα ανακλούν προς τα πίσω. Επίσης, επιτρέπουν χωρίς σημαντικές

μειώσεις την διερχόμενη ορατή ακτινοβολία και αποκόπτουν την υπεριώδη εξασφαλίζοντας φυσικό φωτισμό χωρίς να καταπονούν την εσωτερική επίπλωση. Με αυτό τον τρόπο η θερμότητα που παράγεται από τους ανθρώπους, τον εξοπλισμό και τα θερμαντικά στοιχεία του χώρου δεν μπορεί να διαφύγει μέσω του υαλοπίνακα και μειώνονται τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την διατήρηση της θερμοκρασίας. Επιπλέον, η θερμική ακτινοβολία του περιβάλλοντος δε διέρχεται εύκολα μέσα από ένα τζάμι low-e. Ως αποτέλεσμα, σε θερμά κλίματα βοηθούν στην μείωση των θερμικών απωλειών τον χειμώνα και παράλληλα μπορούν να μειώσουν τα θερμικά κέρδη όπως απαιτείται για την περίοδο του καλοκαιριού. Βέβαια, πριν την χρήση όπως πάντα θα πρέπει λαμβάνονται υπόψη οι περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς σε ψυχρά κλίματα μπορεί να μειώσουν ηλιακά θερμικά κέρδη που χρειαζόμαστε.



Σχήμα 4.7 Σχηματική απεικόνιση υαλοπίνακα χαμηλής εκπομπής όσον αφορά την υπέρυθη , υπεριώδη και ορατή ακτινοβολία [45].

Η χαμηλή εκπομπή επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλης επίστρωσης. Ένα κοινό γυαλί έχει συντελεστή εκπομπής 84% που εκτός των άλλων σημαίνει ότι από την προσπίπτουσα ακτινοβολία το 84% απορροφάται και το υπόλοιπο 16% ανακλάται. Με την χρήση της επίστρωσης χαμηλής εκπομπής το ποσοστό μπορεί να φθάσει από 0,05 έως 0,02 που σημαίνει ότι το υπόλοιπο ~95% ανακλάται. Ταυτόχρονα, η επίστρωση αποτελείται κυρίως από μεταλλικά οξείδια, έχει πολύ μικρό πάχος και είναι σχεδόν διαφανής επιτρέποντας τον φυσικό φωτισμό.

4.2.6.1 Είδη επίστρωσης low-e

Υπάρχουν δύο είδη επίστρωσης που διακρίνονται σε σκληρή και μαλακή ανάλογα με την διαδικασία τοποθέτησής τους. Κατά την σκληρή, η επίστρωση εφαρμόζεται παράλληλα με την παρασκευή του γυαλιού με πυρολυτική μέθοδο. Προσφέρει πολύ καλή αντοχή και ανθεκτικότητα ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μονούς υαλοπίνακες. Είναι η πιο διαδεδομένη

μέθοδος επίστρωσης αν και σε σχέση με την μαλακή επίστρωση έχει υψηλότερη θερμική διαπερατότητα, ο συντελεστής εκπομπής μπορεί να φθάσει μέχρι 0,03-0,04 και έχει χειρότερη συμπεριφορά όσον αφορά την φωτοδιαπερατότητα καθώς έχει μικρότερες τιμές VLT.

Από την άλλη πλευρά η μαλακή επίστρωση εφαρμόζεται μετά την κατασκευή του γυαλιού. Χρησιμοποιείται συνήθως η μέθοδος MSVD κατά την οποία η εναπόθεση της επίστρωσης γίνεται σε κενό αέρος. Δεν έχουν πολύ καλή αντοχή και για αυτό χρησιμοποιούνται και άλλα στρώματα, συνήθως αργύρου, που αυξάνουν την διάρκεια ζωής τους ενώ για τη προστασία τους τοποθετούνται σε υαλοπίνακες με πολλαπλά τζάμια. Είναι η πιο αποδοτική κατηγορία low-e λόγω των πολύ χαμηλών U-Value και με τον συντελεστή εκπομπής να φθάνει μέχρι και 0,02. Επίσης επιτρέπουν περισσότερη ορατή ακτινοβολία αποκόπτοντας το εκτυφλωτικό φως.

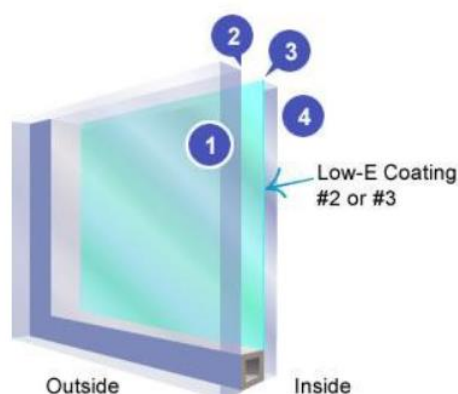
4.2.6.2 Θέση τοποθέτησης επίστρωσης low-e

Σημαντική επίδραση στην απόδοση των υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής έχει και η τοποθέτηση της επίστρωσης. Γενικά, μπορούν να τοποθετηθούν σε κάθε επιφάνεια των τζαμιών αλλά λόγω της ατμοσφαιρικής μόλυνσης, της υγρασίας και των ακραίων καιρικών συνθηκών αποφεύγεται η τοποθέτηση της επίστρωσης στην εξωτερική πλευρά του υαλοπίνακα. Στην περίπτωση του μονού υαλοπίνακα προτιμάται η σκληρή επίστρωση να βρίσκεται στην εσωτερική πλευρά του κτηρίου. Στην χρήση πολλαπλών φύλλων υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης σε διάφορα σημεία με σκοπό την μεταβολή του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους (SHGC) ενώ το U-value δεν επηρεάζεται. Για παράδειγμα, σε θερμά κλίματα όπου το καλοκαίρι η μείωση των θερμικών κερδών αποτελεί προτεραιότητα είναι πιο αποδοτικό να τοποθετείται στην εσωτερική πλευρά του εξωτερικού φύλλου, δηλαδή στη θέση 2 του σχήματος 4.8. Με αυτόν τον τρόπο εμποδίζεται η θερμική ακτινοβολία να εισέλθει στο κτήριο καθώς απορροφάται και ανακλάται προς το περιβάλλον. Αντίθετα, σε ψυχρά κλίματα όπου βαρύνουσα σημασία έχει να μην διαφεύγει η θερμότητα που παράγεται από τα θερμαντικά στοιχεία συνήθως τοποθετείται στην θέση 3 του σχήματος 4.8 ώστε η θερμική ακτινοβολία που απορροφάται από το εσωτερικό φύλλο να εκπέμπεται προς το εσωτερικό χώρο. Βέβαια, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι υπάρχει η πιθανότητα να εμποδίζονται τον χειμώνα ηλιακά θερμικά κέρδη τα οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμα.

4.2.6.3 Επιδόσεις υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής

Οι πρώτοι υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής πρωτοεμφανίστηκαν το 1970 και για αυτό θεωρούνται 1^{ης} γενιάς. Κατά την δεκαετία του 90' εμφανίστηκαν οι υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής 2^{ης} γενιάς (low-e2 ή low-e²) στους οποίους έχουν προστεθεί μία δεύτερη επίστρωση μεταλλικών οξειδίων ενώ από τα τις αρχές του 2010 έχουμε υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής 3^{ης} γενιάς (low-e3 ή low-e³) όπου έχουν τρία στρώματα μεταλλικών οξειδίων. Με την αύξηση των στρωμά-

των επιτυγχάνεται περαιτέρω μείωση του συντελεστή εκπομπής και των ηλιακών κερδών χωρίς να παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στο VLT. Για αυτόν τον λόγο συγκρίνοντας τους υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής οι low-e 1^{ης} γενιάς χαρακτηρίζονται από υψηλό συντελεστή SHGC, οι low-e 2^{ης} γενιάς έχουν μεσαίο συντελεστή SHGC και οι low-e 3^{ης} γενιάς έχουν χαμηλό συντελεστή SHGC. Μάλιστα, επειδή στις δύο τελευταίες περιπτώσεις επιτυγχάνεται μείωση του SHGC χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά το VLT ονομάζονται και επιλεκτικοί υαλοπίνακες ή υαλοπίνακες τεσσάρων εποχών καθώς είναι αρκετά αποδοτικοί όλο τον χρόνο.

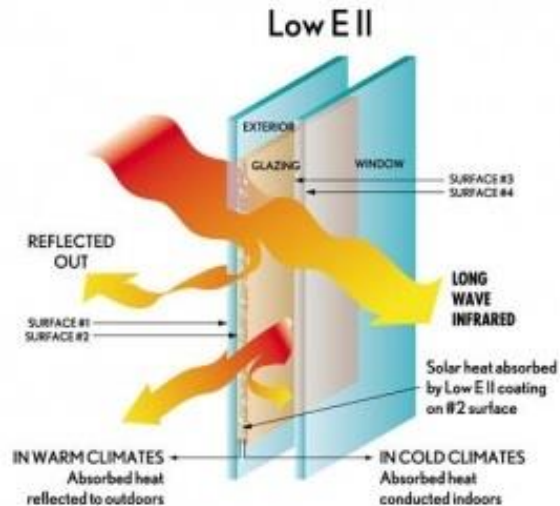


Σχήμα 4.8 Σχηματική απεικόνιση πιθανών θέσεων τοποθέτησης επίστρωσης χαμηλής εκπομπής σε διπλό υαλοπίνακα [46].

Ένας διπλός υαλοπίνακας φύλλων 2x6mm με πλήρωση αργού 12mm και με επίστρωση 1^{ης} γενιάς στην θέση 2 (low-e=0,13) έχει περίπου $U=1,56 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ SHGC=0,5 και VLT=0,7.

Ένας διπλός υαλοπίνακας φύλλων 2x6mm με πλήρωση αργού 12mm και με επίστρωση 2^{ης} γενιάς στην θέση 2 (low-e²=0,04) έχει περίπου $U=1,4 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ SHGC=0,4 και VLT=0,69.

Ένας διπλός υαλοπίνακας φύλλων 2x6mm με πλήρωση αργού 12mm και με επίστρωση 3^{ης} γενιάς στην θέση 2 (low-e³=0,02) έχει περίπου $U=1,3 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ SHGC=0,27 και VLT=0,62.



Σχήμα 4.9 Σχηματική απεικόνιση ενεργειακής συμπεριφοράς υαλοπίνακα χαμηλής εκπομπής [28].

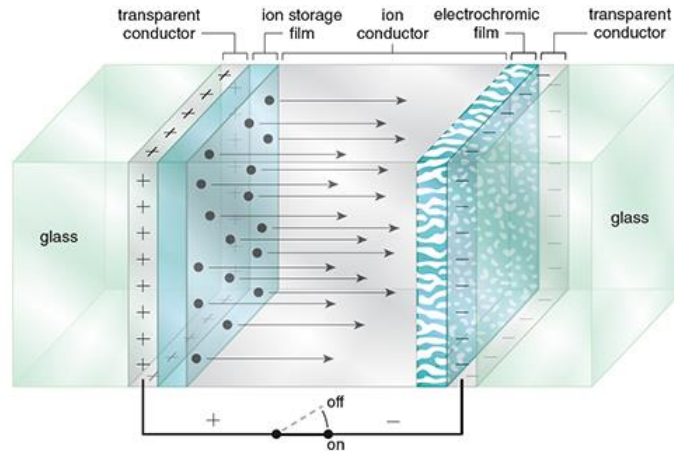
4.3 Προηγμένοι και «έξυπνοι» υαλοπίνακες

4.3.1 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες (EC)

Ηλεκτροχρωμικοί ονομάζονται οι υαλοπίνακες οι οποίοι μπορούν να μεταβάλουν την οπτική τους κατάσταση μέσω της παροχής ρεύματος. Έχουν πολύ καλή συμπεριφορά όσον αφορά τις οπτικές και θερμικές ιδιότητες τους ενώ απαιτούν μικρή διαφορά δυναμικού για την λειτουργία τους (0-10 Volts) και για αυτό θεωρούνται από τις πιο υποσχόμενες κατηγορίες δυναμικών υαλοπινάκων. Μάλιστα, η θερμική μόνωση που προσφέρουν έχουν οδηγήσει στην δοκιμαστική χρήση τους τόσο σε εμπορικά κτήρια όσο και σε κατοικίες σε διάφορα σημεία του πλανήτη όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Ιαπωνία. Μπορούν να συνδυαστούν και με άλλες τεχνολογίες όπως η επίστρωση χαμηλής εκπομπής (low-e) όπου βελτιστοποιούν την απόδοσή τους.

Η διάταξη του ηλεκτροχρωματικού μηχανισμού συνήθως απαιτεί πολλαπλά φύλλα με ελάχιστο αριθμό τα πέντε. Στην πιο κοινή εφαρμογή έχουμε δύο διαφανή αγώγιμα φιλμ (TC=Transparent Conductor), που συνήθως είναι είτε από οξειδίο του κασσιτέρου ινδίου ($\text{In}_2\text{O}_3(\text{Sn})$) με εμπορική ονομασία ITO) είτε από οξειδία του πυριτίου (SiO_2). Εσωτερικά του ενός αγώγου προσκολλάται ηλεκτροδραστικό φύλλο, συνήθως από τριοξείδιο βολφραμίου (WO_3) το οποίο προσδιορίζει τις οπτικές ιδιότητες του υαλοπίνακα ανάλογα την παροχή ρεύματος και για αυτό συνήθως το λέμε ηλεκτροχρωμικό (electrochromic film). Στην συνέχεια, υπάρχει φύλλο (στερεό ή πολυμερή) με μεγάλη ιοντική αγωγιμότητα (ion conductor ή electrolyte) που δρα ως ηλεκτρολύτης ενώ στον άλλο διαφανή αγώγο (TC) προσκολλάται φύλλο (ion storage film) για την αποθήκευση φορτίου (ιόντων) το οποίο συνήθως περιέχει πεντοξείδιο του βαναδίου (V_2O_5) ή διοξείδιο του νικελίου (NiO_2). Γενικά, μπορούν να γίνουν διάφοροι συνδυασμοί μεταξύ των αριθμών κάθε φύλλου ή των χημικών στοιχείων που χρησιμο-

πιοούνται με στόχο την βελτιστοποίηση της αντοχής και του χρόνου μεταβολής της οπτικής κατάστασης του υαλοπίνακα.



Σχήμα 4.10 Σχηματική απεικόνιση διάταξης ηλεκτροχρωμικού υαλοπίνακα [47].

Τα φύλλα κατά την αρχική τους κατάσταση όπου δεν διέρχεται ρεύμα έχουν υψηλή διαφάνεια και δεν διενεργείται καμία αντίδραση. Αντίθετα, με την παροχή τάσης μεταξύ των διαφανών ηλεκτρικών αγωγών (TC) έχουμε ως αποτέλεσμα την δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου. Έτσι, προκαλείται η κίνηση διάφορων ιόντων χρωματισμού (που συνήθως είναι στοιχεία λιθίου Li^+ ή υδρογόνου H^+ και πιο σπάνια χρησιμοποιείται νάτριο Na^+ ή κάλλιο K^+) μεταξύ του φιλμ αποθήκευσης φορτίου (ion storage film) και του ηλεκτροχρωμικού φιλμ (electrochromic film/electrolyte) διαμέσου του αγωγού ιόντων (ion conductor). Σε αυτήν την κατάσταση στο ηλεκτροχρωμικό φιλμ δημιουργούνται ενώσεις Li_xWO_3 αλλάζοντας χρώμα στο φύλλο και από διαφανές γίνεται σκούρο μπλε με αποτέλεσμα την μείωση της διαπερατότητας του υαλοπίνακα. Επίσης, αυξάνεται η ανακλαστικότητα και η απορροφητικότητα του φύλλου (το εκάστοτε ποσοστό εξαρτάται από τις ιδιότητες του φιλμ που χρησιμοποιείται) μειώνοντας έτσι τα ηλιακά θερμικά κέρδη που εισέρχονται στον χώρο. Η διαδικασία είναι αντιστρεπτή και με αντιστροφή της τάσης ο υαλοπίνακας επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση.

Οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες ανάλογα την δράση του ηλεκτροχρωμικού φιλμ και είναι οι συμβατικοί EC (Conventional Electrochromic-CEC), οι EC που εξειδικεύονται στη μείωση της εγγύς υπέρυθρης (NIR switching electrochromic –NEC) και οι EC διπλής –ζώνης (Dual-band electrochromic-DBEC).

Οι συμβατικοί (CEC) είναι οι πρώτοι EC που εμφανιστήκαν. Χρησιμοποιούν επίστρωση οξειδίου του βολφραμίου και η απόδοση τους βασίζεται στην μείωση της διαπερατότητας μέσω της αύξησης της απορροφητικότητας κατά τον χρωματισμό τους (Dark state). Είναι κατάλληλοι για την μείωση των ηλιακών θερμικών κερδών καθώς αποκόπτουν την εγγύς υπέρυθρη (NIR= Near Infrared Radiation, $\lambda=700\text{-}2500\mu\text{m}$) και στις 2 καταστάσεις τους ενώ το ορατό φως αποκόπτεται μόνο στην αδιαφανή κατάσταση. Συνιστάται η χρήση τους σε

θερμά κλίματα όπου βοηθούν στην μείωση των ψυκτικών φορτίων και της έντονης ηλιοφάνειας που προκαλεί προβλήματα στην οπτική άνεση.

Οι NEC αποσκοπούν στην μείωση των εισερχόμενων ηλιακών θερμικών κερδών χωρίς να επιδρούν τόσο στην οπτική διαπερατότητα. Αυτό επιτυγχάνεται κατά την κατασκευή του ηλεκτροχρωμικού φιλμ στο οποίο χρησιμοποιούνται ειδικές μεμβράνες που περιέχουν ημιαγώγιμα νανοκρύσταλλα. Επίσης, λόγω της διαδικασίας παραγωγής είναι πιο φθινοί από τα CEC. Δεν συνίσταται τόσο σε πολύ θερμά κλίματα καθώς έχουν αυξημένα θερμικά κέρδη από ότι οι CEC.

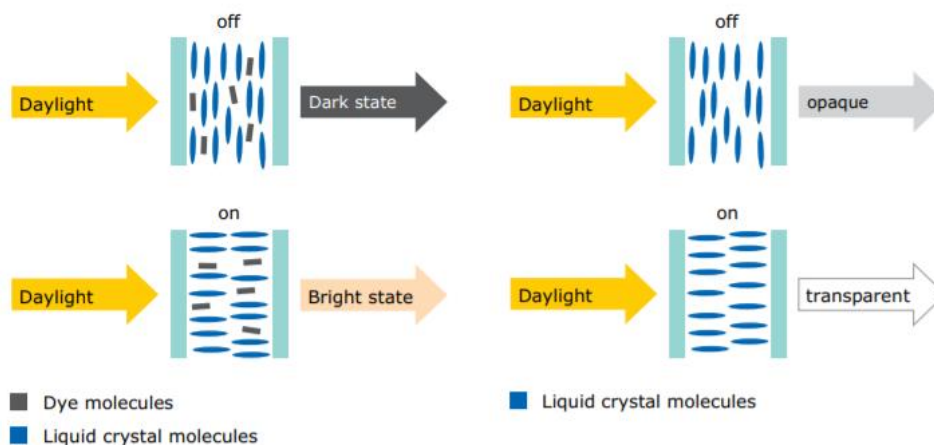
Οι DBEC θεωρούνται οι πιο προηγμένοι EC υαλοπίνακες καθώς διαμορφώθηκαν ώστε να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα των CEC και NEC. Συγκεκριμένα, βασίζονται στην ιδιότητα που έχουν τα νανοκρύσταλλα (NCs) του διοξειδίου του τιτανίου (TiO_2) να επιταχύνουν τις αντιδράσεις διάχυσης του λιθίου αλλά και να έχει πιο επιλεκτική συμπεριφορά όσον αφορά την εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία. Μάλιστα, ανάλογα την ένταση της τάσης μπορεί να λειτουργήσει και σε μία επιπλέον ενδιάμεση κατάσταση εκτός από την σκουρόχρωμη και την διαφανή η οποία συνήθως ονομάζεται 'cool' κατά την οποία επιτρέπεται η διέλευση της ορατής ακτινοβολίας αλλά αποκόπτεται η εγγύς υπέρυθρη (NIR). Στην διαφανή κατάσταση επιτρέπεται τόσο η ορατή όσο και η NIR ενώ στην τρίτη κατάσταση έχει πολύ μειωμένη διαπερατότητα και στα δύο. Η χρήση τους στο εμπόριο βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο και έχει μεγάλες δυνατότητες εξέλιξης.

Η χρήση ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων δίνει ευελιξία και άμεση προσαρμοστικότητα στις απαιτήσεις θερμικής και οπτικής άνεσης ενός εσωτερικού χώρου. Ενεργοποίηση της συσκευής μπορεί να γίνει σε περιπτώσεις όπου χρειαζόμαστε ιδιωτικότητα ή αν υπάρχει έντονη ηλιοφάνεια με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται η ανάγκη εσωτερικής σκίασης. Απενεργοποίηση της συσκευής σημαίνει υψηλή διαπερατότητα μειώνοντας έτσι τα φορτία φωτισμού και θέρμανσης. Τα παραπάνω λειτουργούν με σύστημα αυτομάτου ελέγχου κατά το οποίο αισθητήρες μετρούν την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν το σύστημα των EC. Συνήθως, επιλέγεται η πλήρης απενεργοποίηση του συστήματος το χειμώνα καθώς σε περίπτωση καθαρού ουρανού με έντονη ηλιοφάνεια αλλά με χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος σκούρος χρωματισμός θα οδηγήσει στην μη αξιοποίηση της ορατής ακτινοβολίας και των ηλιακών θερμικών φορτίων που είναι ιδιαίτερα χρήσιμα τη συγκεκριμένη εποχή.

Ανάλογα και την υπόλοιπη δομή του υαλοπίνακα η οπτική διαπερατότητα μπορεί να κυμαίνεται 50% έως 75%. Για παράδειγμα ένας διπλός EC με πλήρωση αργού και καθαρό το δεύτερο τζάμι έχει $VLT \approx 73\%$ ενώ ένας τριπλός EC υαλοπίνακα με πλήρωση αργού και επίστρωση low-e έχει $VLT \approx 58\%$.

4.3.2 Υαλοπίνακας υγρών κρυστάλλων (LCWs)

Οι υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων (LCWs) αποτελεί μία από τις πρώτες κατηγορίες έξυπνων υαλοπινάκων που κατασκευάστηκαν. Η χρήση τους δεν βασίζεται τόσο στην ενεργειακή τους απόδοση όσο στην μεταβολή της οπτικής διαπερατότητας τους. Απαιτούνται τουλάχιστον δύο φύλλα για την χρήση τους καθώς ενδιάμεσα τους στηρίζονται διαφανή αγώγιμα φιλμ (TCF = Transparent Conductive Film) που περιέχουν τους υγρούς κρυστάλλους. Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην ιδιότητα των υγρών κρυστάλλων να ευθυγραμμίζονται κατά την εφαρμογή ηλεκτρικής τάσης. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχική τους κατάσταση, και γενικά όταν δεν υπάρχει παροχή ρεύματος, οι κρύσταλλοι βρίσκονται σε τυχαίες θέσεις με αποτέλεσμα η ορατή ακτινοβολία να προσκρούει πάνω τους και να διαχέεται στο χώρο δημιουργώντας έτσι μία ημιδιαφανή στρώση για τον υαλοπίνακα. Αντίθετα, με την παροχή ρεύματος οι κρύσταλλοι ευθυγραμμίζονται με αποτέλεσμα την διαφάνεια του υαλοπίνακα. Και στις δύο περιπτώσεις το SHGC δεν μεταβάλλεται και παραμένει σχετικά υψηλό, μία τυπική τιμή είναι $SHGC=0,65$ και για αυτό χρησιμοποιείται μόνο για τις οπτικές του δυνατότητες σε χώρους που θέλουμε ιδιωτικότητα για ένα χρονικό διάστημα και γρήγορα (μεταβαίνουν από την διαφανή στην αδιαφανή κατάσταση σε 1 δευτερόλεπτο περίπου). Για την περαιτέρω μείωση της οπτικής διαπερατότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν χρωστικές ουσίες μαζί με τους υγρούς κρυστάλλους όπου θα οδηγήσουν σε μία σχεδόν αδιαφανή κατάσταση όταν το σύστημα είναι κλειστό (off) αλλά με κόστος να έχουμε λιγότερη διαφάνεια όταν παρέχεται τάση (on).



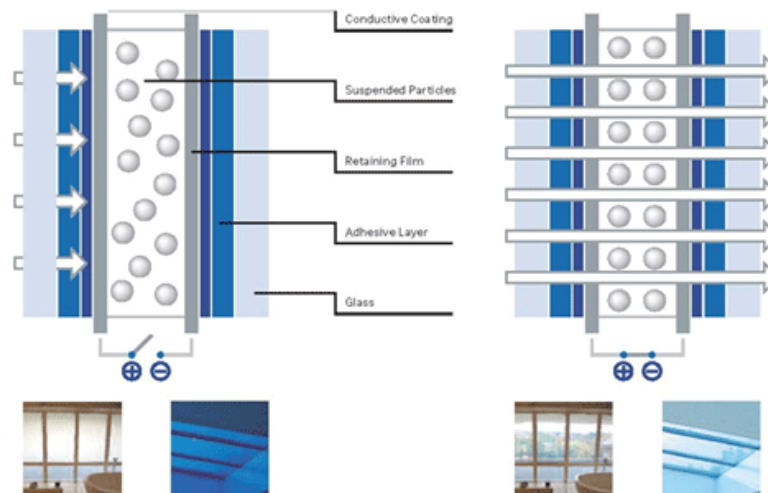
Σχήμα 4.11 Σύγκριση οπτικού αποτελέσματος υαλοπινάκων υγρών κρυστάλλων με ή χωρίς χρήση χρωστικών [48].



Σχήμα 4.12 Χρήση υαλοπινάκων υγρών κρυστάλλων σε εντός/εκτός λειτουργίας [49].

4.3.3 Υαλοπίνακας αιωρούμενων σωματιδίων (SPDs)

Οι υαλοπίνακες αιωρούμενων σωματιδίων (SPDs) έχουν παρόμοια λειτουργία με τους LCWs καθώς και εδώ έχουμε 2 καταστάσεις του υαλοπίνακα (διαφανή-αδιαφανής) και χρειαζόμαστε παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα SPDs είναι διπλοί υαλοπίνακες όπου έχουν στο εσωτερικό κάθε φύλλου από μία αγώγιμη επίστρωση. Τα σωματίδια συγκρατούνται είτε σε κατάλληλο υγρό είτε σε ειδικό φιλμ ώστε να αιωρούνται ακανόνιστα και ελεύθερα ανάμεσα στις επιστρώσεις. Με την παροχή ρεύματος τα σωματίδια ευθυγραμμίζονται και επιτρέπουν στο φως να περάσει. Όταν σταματήσει η παροχή ρεύματος τότε μετακινούνται πάλι ελεύθερα και σταδιακά έχουμε αδιαφανή κατάσταση. Ο έλεγχος τους γίνεται μέσω της παροχή τάσης και μπορεί να είναι είτε χειροκίνητος είτε αυτόματος. Μία αυτοματοποιημένη μέθοδος είναι με την χρήση των φωτοκυψέλων που μετρούν την ένταση του φωτός και ενεργοποιούν το σύστημα SPDs.



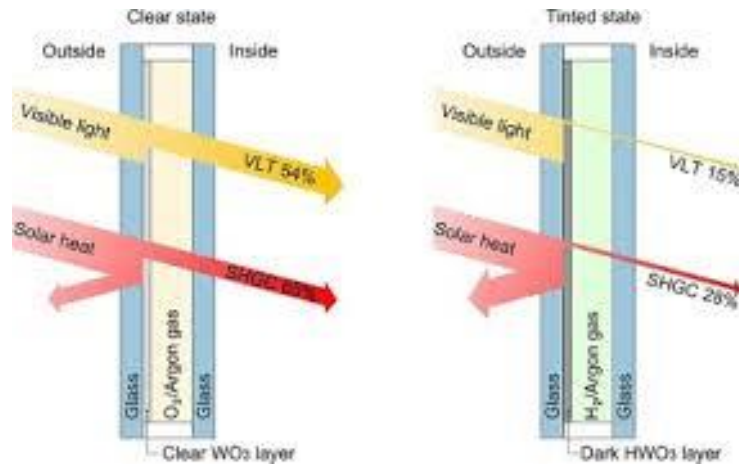
Σχήμα 4.13 Σχηματική απεικόνιση χρήσης SPDs υαλοπινάκων [50].

4.3.4 Φωτοχρωμικοί υαλοπίνακες (PC)

Οι φωτοχρωμικοί (PC) υαλοπίνακες όπως δηλώνει και το όνομα τους έχουν την ιδιότητα να αλλάζουν χρώμα ανάλογα την ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω τους. Πιο συγκεκριμένα, λόγω της χημικής τους δομής και χωρίς την ανάγκη ηλεκτρικού ρεύματος μπορούν να μεταβαίνουν σε 2 καταστάσεις (διαφανή-αδιαφανής) ανάλογα με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που απορροφούν. Η μεταβολή της κατάστασης μπορεί να γίνει κυρίως από την υπεριώδη ακτινοβολία αλλά και το ορατό φάσμα που περιλαμβάνει υπέρυθρη μικρού μήκους. Για αυτό τον λόγο έχουν το πλεονέκτημα να μην επιτρέπουν την υπεριώδη και κάποια τμήματα της υπέρυθρης να εισέρχονται στον εσωτερικό χώρο. Υλικά που έχουν ευαίσθητη συμπεριφορά στο φως βρίσκονται διασκορπισμένα είτε μέσα στη μάζα του γυαλιού είτε εκθέτονται ως επιφανειακή επίστρωση. Συνήθως, χρησιμοποιούνται αλογονίδια του ασημιού τα οποία στην αρχική τους κατάσταση επιτρέπουν το φως να περάσει με τις τιμές της οπτικής διαπερατότητας να κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα περίπου με ένα απλό τζάμι ($VLT=75\%$). Κατά την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας ηλεκτρόνια προσκρούουν στον υαλοπίνακα με αποτελέσματα την δημιουργία στοιχείων ασημιού τα οποία δημιουργούν την αδιαφανή κατάσταση του υαλοπίνακα με το VLT να μειώνονται όσο αυξάνεται η ένταση της ακτινοβολίας και να φθάνει μέχρι και $VLT=25\%$ περίπου. Η συγκεκριμένη τεχνολογία δεν είναι τόσο αποδοτική στα κτήρια καθώς επιδρά μόνο στην οπτική διαπερατότητα.

4.3.5 Αεριοχρωμικοί υαλοπίνακες (GC)

Οι αεριοχρωμικοί υαλοπίνακες (GC) βασίζονται στη ιδιότητα κάποιων αερίων να αλλάζουν οπτική κατάσταση υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Κατά την πιο κοινή μέθοδο στο διάκενο του υαλοπίνακα περιέχεται οξειδίο του βολφραμίου (WO_3) το οποίο έχει υψηλή διαπερατότητα με VLT κοντά στο 0,65 και $SHGC=0,65$ αλλά όταν αντιδρά με μείγμα υδρογόνου-αργού τότε η διαπερατότητα του μειώνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα μέχρι και $VLT=0,15$ και $SHGC=0,12$ και το χρώμα του σκουραίνει με αποτέλεσμα να έχουμε έναν αδιαφανή υαλοπίνακα. Το WO_3 βρίσκεται σε ένα πολύ λεπτό ($<1\mu m$) πορώδες φιλμ το οποίο συχνά καλύπτεται από ένα επίσης πολύ λεπτό φιλμ από λευκόχρυσο. Εφόσον είμαστε στην αδιαφανή κατάσταση για να αυξήσουμε το VLT εισάγουμε μείγμα οξυγόνου-αργού το οποίο αναιρεί την δράση του υδρογόνου σε χρόνο λιγότερο του ενός λεπτού ενώ η αντίστροφη διαδικασία διαρκεί περίπου 20 δευτερόλεπτα. Οι μικρές ποσότητες υδρογόνου (υπάρχει επίσης όριο συγκέντρωσης 4% για προστασία από ανάφλεξη) και οξυγόνου που απαιτούνται για την διαδικασία παράγονται μέσω της ηλεκτρόλυσης ενώ μπορεί να προστεθεί ελεγχόμενη ποσότητα νερού ώστε να μειώνεται ο χρόνος των χημικών αντιδράσεων.



Σχήμα 4.14 Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας αεριοχρωμικού υαλοπίνακα (GC= gasochromic window) [51].

4.3.6 Θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες (TC)

Οι θερμοχρωμικοί θεωρούνται μία από τις προηγμένες τεχνολογίες υαλοπινάκων η οποία λόγω της απλότητας της έχει εφαρμογή σε διάφορα κτήρια ανά τον κόσμο. Σε γενικές γραμμές, ένα θερμοχρωμικό τζάμι μεταβάλλει τον χρωματισμό του και κατά επέκταση τις ιδιότητες του ανάλογα την θερμοκρασία που επικρατεί στην επιφάνεια του. Η αλλαγή των ιδιοτήτων του γίνεται σταδιακά αλλά υπάρχει ένα εύρος τιμών για το οποίο θεωρείται ότι το φύλλο έχει συγκεκριμένες ιδιότητες. Επίσης, ορίζονται ως θερμοκρασίες μετάπτωσης (ή κρίσιμες θερμοκρασίες) οι τιμές στα όρια κάθε εύρους για τις οποίες μεταβάλλονται οι ιδιότητες του φύλλου. Συγκαταλέγεται στους παθητικούς χρωμογόνους υαλοπίνακες (chromogenic) καθώς δεν υπάρχει η ανάγκη για σύστημα ενεργοποίηση τους. Το θερμοχρωμικό φύλλο κατασκευάζεται ως ένα πολύ λεπτό διαφανές πλαστικό φύλλο το οποίο συνήθως τοποθετείται εσωτερικά της επιφάνειας που δέχεται την υψηλότερη θερμότητα.

Το στοιχείο που προσδιορίζει τις ιδιότητες τους είναι η χημική τους δομή. Η ανάπτυξη τους άρχισε πριν δεκαετίες όπου δοκιμάστηκαν διάφορα οξειδία μετάλλων αλλά στην πιο κοινή εφαρμογή τους χρησιμοποιείται φιλμ με διοξείδιο του βαναδίου (VO_2). Ουσιαστικά πρόκειται για ένα στερεό υλικό αλλαγής φάσης το οποίο κάτω από την θερμοκρασία των $\sim 68^\circ\text{C}$ (T_c) μεταβαίνει σε μονοκλινή κρυσταλλική δομή (συμβολίζεται με M από την αγγλική λέξη monoclinic) ενώ σε υψηλότερη θερμοκρασία έχει τετραγωνική κρυσταλλική δομή με ιδιότητες ρουτιλίου (συμβολίζεται με R από την αγγλική λέξη rutile). Κατά την μονοκλινή κατάσταση δρα ως ημιαγωγός με αποτέλεσμα να επιτρέπει την εγγύς υπέρυθρη (NIR) να διαπεράσει από το φύλλο ενώ αντίθετα σε υψηλότερες θερμοκρασίες ($T > T_c$) έχει δράση μετάλλου και αποκόπτει την NIR σε μεγάλο ποσοστό. Η παραπάνω διαδικασία μεταβολής από μέταλλο σε μονωτή (ημιαγωγό) αναφέρεται ως MIT (Metal-to-Insulator Transition) και επιδρά στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού επηρεάζοντας την απορροφητικότητα (και την ανακλα-

στικότητα) και κατά επέκταση την θερμική διαπερατότητα. Είναι μία αντιστρέψιμη διαδικασία με διέγερση της αντίδρασης να αποτελεί η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επίσης, αν και κατά την μεταβολή οδηγούμαστε σε σημαντικές διαφορές όσον αφορά τα θερμικά κέρδη, η διαπερατότητα της ορατής ακτινοβολίας επηρεάζεται ελάχιστα αλλά δεν μπορεί να φθάσει τα υψηλά επίπεδα ενός καθαρού τζαμιού ($VLT \approx 0,45$ και για τις 2 καταστάσεις). Λόγω του VO_2 κατά την μετάβαση από την μία κατάσταση στην άλλη παρατηρείται μία καθυστέρηση στην πλήρη εναλλαγή των ιδιοτήτων του φύλλου που ονομάζεται ως βρόχος υστέρησης με αποτέλεσμα να μειώνεται η απόδοση του υαλοπίνακα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η χρήση του διοξειδίου του βαναδίου (VO_2) έχει σημαντικά πλεονεκτήματα αλλά η μειωμένη οπτική διαπερατότητα, ο βρόχος υστέρησης και η υψηλή κρίσιμη θερμοκρασία ($T_c \approx 68^\circ C$) οδηγούν στο να μην είναι αποδοτική σε ένα κτήριο. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται διάφορες προσμίξεις όπως H (υδρογόνο), Li (λίθιο), Na (νάτριο), B (βόριο), W (βολφράμιο), Nb (νιόβιο) και Mo (μολυβδαίνιο) με στόχο την μείωση της κρίσιμης θερμοκρασίας. Ιδιαίτερα, η προσθήκη ιόντων βολφραμίου (W^{6+}) σε κατάλληλη συγκέντρωση μπορεί να επιφέρει κρίσιμη θερμοκρασία ίση ακόμα και με $25^\circ C$ ($T_c \approx 25^\circ C$). Επίσης, λεπτή επίστρωση από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) ή διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της οπτικής διαπερατότητας μέχρι και +15% λόγω των αντι-ανακλαστικών ιδιοτήτων που έχουν.

Λόγω της χρήσης VO_2 οι θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες συνήθως έχουν καφέ, κίτρινο, μπλε ή χρυσές αποχρώσεις σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Οι προηγμένοι θερμοχρωμικοί με τις κατάλληλες προσμίξεις αποτελούν μία ιδιαίτερα αποδοτική εφαρμογή υαλοπινάκων. Έχουν την ευχέρεια να μεταβάλλουν τις ιδιότητες τους ανά $10^\circ C$ περίπου, όπου κοντά στους $25^\circ C$ βρίσκονται στην πιο διαφανή κατάσταση τους ενώ πάνω από τους $66^\circ C$ βρίσκονται στην πιο αδιαφανή. Μάλιστα, με χρήση επίστρωσης χαμηλής εκπομπής (low-e) η ενεργειακή εξοικονόμηση τους μπορεί να φθάσει ακόμα και στο 50%. Ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές του υαλοπίνακα σε αντίθεση με τον συντελεστή SHGC και VLT οι οποίοι μειώνονται σε υψηλές θερμοκρασίες. Είναι πιο αποτελεσματικοί στα θερμά κλίματα όπου ελαχιστοποιούν το κέρδος από την ηλιακή ακτινοβολία κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Επίσης, σε χαμηλές θερμοκρασίες επιτρέπουν το φυσικό φως να εισέλθει στο κτήριο ενώ σε υψηλότερες όπου συχνά εμφανίζεται το φαινόμενο της θάμβωσης το αποκόπτουν σε μεγάλο ποσοστό. Επειδή ο χρωματισμός τους γίνεται συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας δεν μας δίνεται η ευκαιρία του χειροκίνητου ελέγχου και για αυτό δεν είναι κατάλληλα για παράθυρα που πα-
ρέχουν θέα.

Ένας διπλός υαλοπίνακας με φύλλο TC 7mm, διάκενο αργού 12mm και εσωτερικό διαφανές φύλλο 6mm έχει:

για 24°C έχει περίπου $U=2,5 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ και SHGC=0,63 VLT=0,65

για 34°C έχει περίπου $U=2,5 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ και SHGC=0,60 VLT=0,55

για 48°C έχει περίπου $U=2,5 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ και SHGC=0,53 VLT=0,37

Ένας τριπλός υαλοπίνακας με εξωτερικό φύλλο TC 7mm, διάκενο αργού 2x12mm, ενδιάμεσο φύλλο low-e 6mm και εσωτερικό διαφανές φύλλο 6mm έχει:

για 24°C έχει περίπου $U=0,98 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ και SHGC=0,33 VLT=0,51

για 34°C έχει περίπου $U=0,98 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ και SHGC=0,31 VLT=0,43

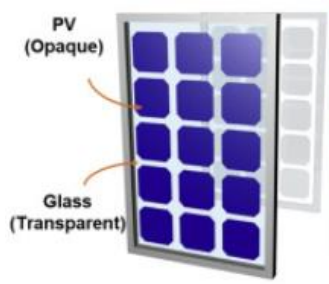
για 48°C έχει περίπου $U=0,98 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ και SHGC=0,27 VLT=0,29 .

4.3.7 Φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες (BIPV)

Η χρήση φωτοβολταϊκών στα κτήρια (Buildings Integrated Photovoltaics-BIPV) αποτελεί αντικείμενο έρευνας εδώ και δεκαετίες. Η εφαρμογή τους όμως σε υαλοπίνακες δεν ήταν τόσο αποτελεσματική καθώς είχαν πολύ χαμηλή οπτική διαπερατότητα. Επίσης, αν δεν είχαμε μεγάλα εμβαδά BIPV σε σχέση με το κτήριο δεν ήταν αποδοτική η χρήση τους για την παραγωγή ρεύματος. Τα τελευταία χρόνια όμως με την πρόοδο της τεχνολογίας οι φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες φαίνεται να ξαναέρχονται στο προσκήνιο.

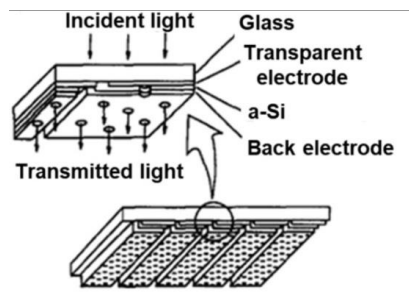
Προηγμένες διαδικασίες κατασκευής λεπτών φιλμ οδηγούν στην αύξηση της διαπερατότητας και στην μείωση του βάρους τους. Για αυτό, πλέον έχει δημιουργηθεί μία νέα κατηγορία υπό την ονομασία Transparent Photovoltaics (TPVs) κατά την οποία «διαφανή» φωτοβολταϊκά μελετώνται και έχουν ως στόχο τις υψηλές επιδόσεις στην ενεργειακή απόδοση και την ορατή διαπερατότητα, τον καλλωπισμό και την οικονομική απόδοση ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν στα αστικά κτήρια. Οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται στην διαδικασία με την οποία θα εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο το ορατό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας ενώ η υπόλοιπη θα αποκόπτεται. Συνήθως, χρησιμοποιούνται 2 ειδών εφαρμογές όπου η πρώτη βασίζεται στην θεωρία του LSC (Luminescent Solar Concentrator) κατά την οποία συγκεντρώνεται η ηλιακή ακτινοβολία σε έναν φωτοβολταϊκό ηλιακό συμπυκνωτή και ύστερα διαχέεται στον εσωτερικό χώρο ενώ η δεύτερη βασίζεται στην επιλεκτική απορρόφηση της ορατής ακτινοβολίας. Η τελευταία μέθοδος είναι και εκείνη η οποία

έχει τα καλύτερα αποτελέσματα και φαίνεται να έχει τις καλύτερες προοπτικές για την αποδοτική χρήση των φωτοβολταϊκών κτήρια .



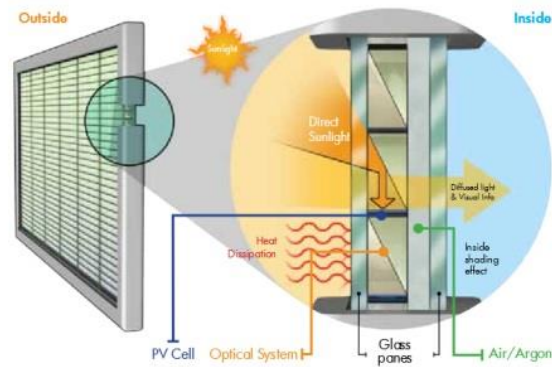
Σχήμα 4.15 Σχηματική απεικόνιση φωτοβολταϊκού φύλλου υαλοπίνακα [52].

Σε μία από τις πιο κοινές εφαρμογές για την απορρόφηση της ορατής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται άμορφο πυρίτιο (a-Si:H) το οποίο είναι μία μη κρυσταλλική μορφή του πυριτίου που συναντάται συχνά σε ηλιακά κύτταρα. Αυτό συμβαίνει καθώς μπορεί να ενσωματωθεί στο γυαλί υπό την μορφή πολύ λεπτού φιλμ (<250 nm), δεν προσθέτει μεγάλο βάρος στην κατασκευή ενώ η διαπερατότητα του φιλμ μπορεί να ρυθμιστεί μέσω του πάχους του φιλμ ή της μορφολογίας της επιφάνειάς του. Η ενίσχυση της διαπερατότητας της ορατής ακτινοβολίας του φύλλου επιτυγχάνεται μέσω του πολύ λεπτού φιλμ και στην τοποθέτηση των αδιαφανών φωτοβολταϊκών ηλιακών κελιών όπου έχουν αποστάσεις μεταξύ τους. Επίσης, για την μεταφορά του ρεύματος χρησιμοποιείται διαφανής αγωγός οποίος συνήθως είναι από οξείδια του ψευδαργύρου εμπλουτισμένα με αλουμίνιο.



Σχήμα 4.16 Σχηματική ανάλυση φωτοβολταϊκού φύλλου [52].

Όπως και στα συμβατικά φωτοβολταϊκά έτσι και στα BIPV η απόδοσή τους υπολογίζεται μέσω του συντελεστή μετατροπής ισχύος PCE (Power Conversion Efficiency) όπου προσδιορίζει το ποσοστό της προσπίπτουσας ισχύος που συλλέγεται από τα φωτοβολταϊκά και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ .Στα συμβατικά PV το PCE εξ ορισμού είναι μεγαλύτερο καθώς σε εφαρμογές σε υαλοπίνακες θέλουμε ένα μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και κυρίως στο ορατό φάσμα, να διαπερνά από τον φωτοβολταϊκό υαλοπίνακα και να εισέλθετε στον εσωτερικό χώρο.



Σχήμα 4.17 Σχηματική απεικόνιση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός BIPV [53].

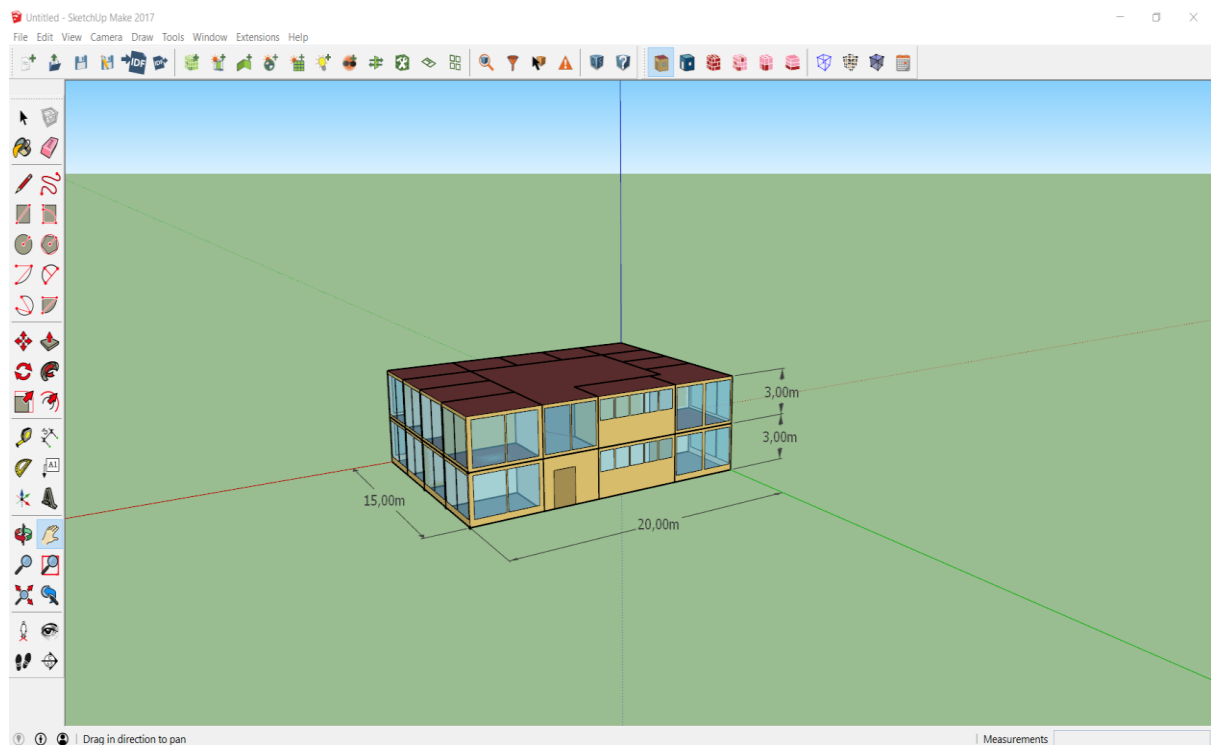
Ένα φύλλο TPV 3mm μπορεί να έχει οπτική διαπερατότητα (VLT) από 0,4 μέχρι 0,1 ανάλογα την κατασκευή. Η απόδοση τους μπορεί να κυμαίνεται από 5% μέχρι 7%. Όσο αυξάνεται το VLT τόσο μειώνεται η επίδοση του .

Ένας διπλός υαλοπίνακας BIPV με εξωτερικό φύλλο TPV 3mm, αέρα διακένου 12mm και εσωτερικό καθαρό φύλλο 3mm έχει περίπου $U=2,5 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ ενώ ανάλογα το φύλλο PV μπορούμε να έχουμε SHGC από 0,4 έως 0,2 και VLT από 0,3 έως 0,06.

5 Σχεδιασμός και προσομοίωση κτηρίου

Αρχικά, το κτήριο σχεδιάστηκε στο Sketch up Make 2017. Ο λόγος που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι επειδή προσφέρει ένα πολύ απλό και εύχρηστο σχεδιαστικό περιβάλλον το οποίο καλύπτει τις ανάγκες της εργασίας. Επίσης, είναι δυνατή η ενσωμάτωση διάφορων plug-in όπου αυξάνουν τις δυνατότητες του Sketchup. Στην περίπτωση μας, εφόσον εξετάζουμε τις ενεργειακές επιδόσεις του κτηρίου και για την χρήση του EnergyPlus επιλέχθηκε το Legacy Openstudio Plug-in μέσω του οποίου θα δημιουργηθεί το κατάλληλο .idf file το οποίο σε επόμενο βήμα θα εισαχθεί στο Energyplus. Παράλληλα, από τις εντολές που έχει το Openstudio θα δοθούν ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του κτηρίου, όπως ο ορισμός της χρήσης του κτηρίου, οι θερμικές ζώνες και άλλα τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω.


Το κτήριο προορίζεται για χρήση γραφείων. Έχει διαστάσεις 20m x 15m και αποτελείται από 2 ορόφους 3 μέτρων ο καθένας με 26 χώρους συνολικά. Οι όροφοι έχουν ίδια διάταξη χώρων και ο καθένας έχει από ένα μπάνιο (Restroom), ένα προθάλαμο (Lobby) και 11 γραφεία (Closed Office). Οι χώροι των Restroom και Lobby έχουν τοίχο με υαλοπίνακες προς τον βορρά (πράσινη συνεχή γραμμή στις παρακάτω εικόνες).




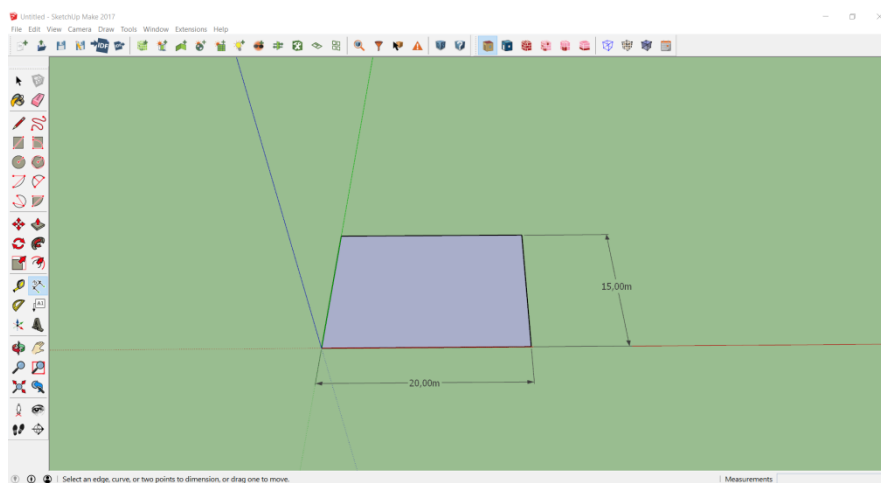
Σχήμα 5.1 Τελική μορφή κτιρίου.

5.1 Χρήση Sketchup-OpenStudio


Στην συνέχεια παρουσιάζονται όλες οι ενέργειες που έγιναν για την κατασκευή του κτηρίου στο Sketchup.

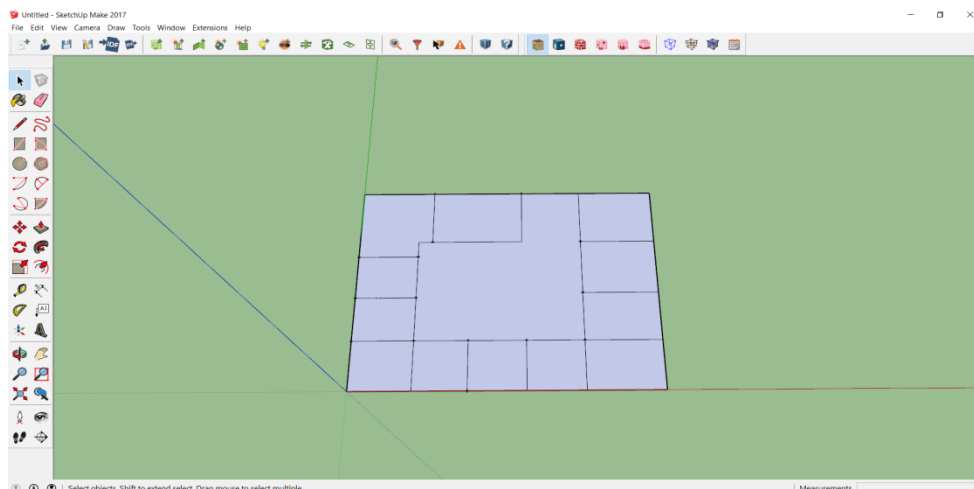
Αρχικά, μέσω της εντολής **New OpenStudio Model From Wizard**  ορίζουμε την χρήση του κτηρίου σε γραφείο (Building type: Office), το πρότυπο και την κλιματική ζώνη.

Επόμενο βήμα είναι ο σχεδιασμός του κτηρίου. Μέσω της εντολής **Rectangle**  δημιουργούμε ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με διαστάσεις 20m x 15m όπου η μεγάλη πλευρά (20 m) είναι παράλληλη στην κόκκινη συνεχή που αντιστοιχεί στον προσανατολισμό της ανατολής.




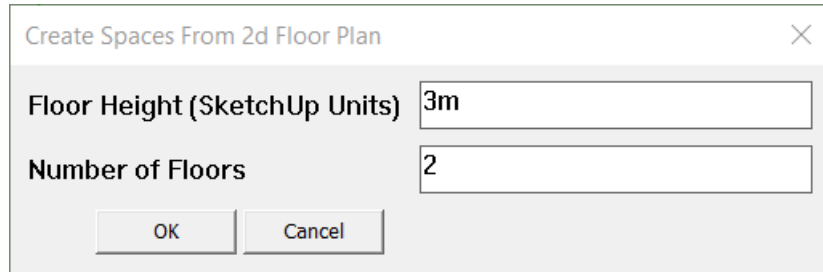
Σχήμα 5.2 Σχεδιασμός κτηρίου.

Ύστερα, μέσω της εντολής **line**  σχηματίζουμε την κάτοψη της βάσης όπου να διαμορφωθούν οι εσωτερικοί τοίχοι.

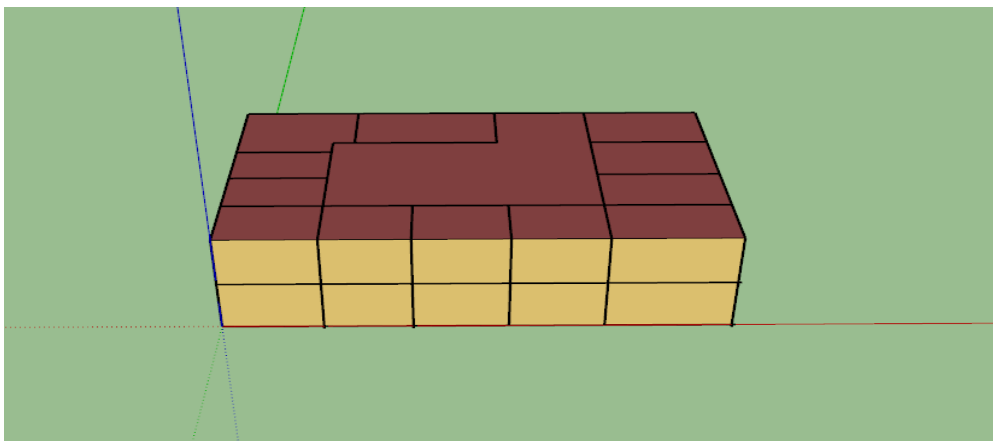


Σχήμα 5.3 Σχεδιασμός για την διαμόρφωση των εσωτερικών χώρων.



Για την δημιουργία των ορόφων αφού μαρκάρουμε το σχέδιο που κάναμε χρησιμοποιούμε την εντολή **Create Spaces From Diagram**  όπου επιλέγουμε αριθμό ορόφων: 2 και ύψος κάθε ορόφου: 3m.

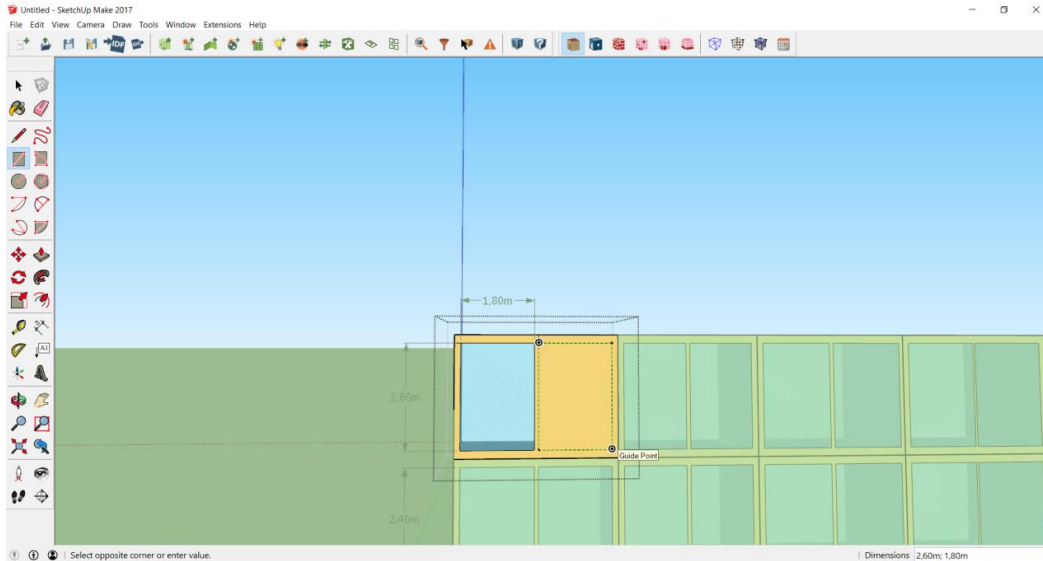


Σχήμα 5.4 Δεδομένα για τον σχεδιασμό ορόφων στην εντολή **Create Spaces From diagram**.




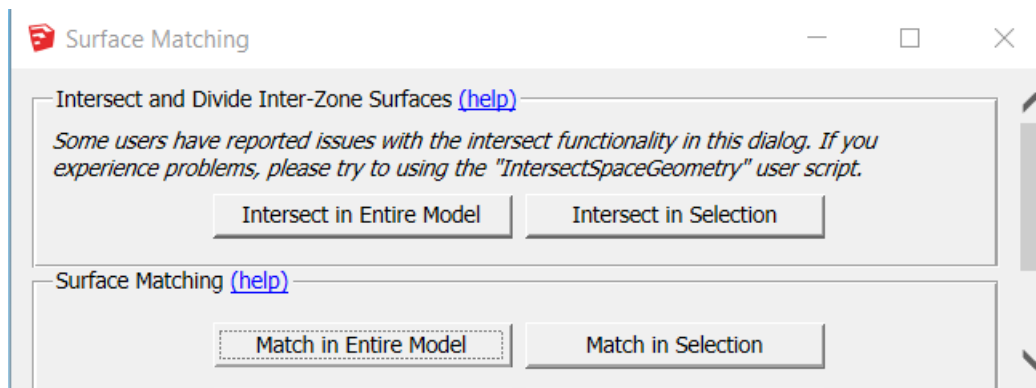
Σχήμα 5.5 Αποτέλεσμα εντολής **Create Spaces From Diagram**.

Επόμενο βήμα είναι ο σχεδιασμός των παραθύρων και της πόρτας τα οποία γίνονται με την εντολή **line** , αφού πρώτα επιλέξουμε τον χώρο (Space) που θα τοποθετηθεί το παράθυρο. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να οριοθετήσουμε με γραμμές τα όρια του παραθύρου μέσω της εντολής **Tape** .





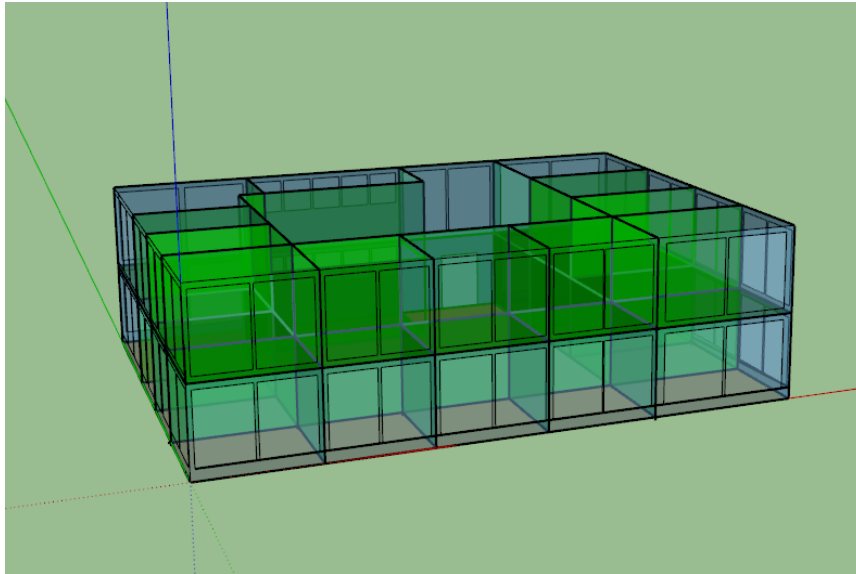
Σχήμα 5.6 Παράδειγμα δημιουργίας παραθύρου.

Για τον ορισμό των συνθηκών των ορίων θα χρησιμοποιήσουμε την εντολή **Surface Matching** . Εφόσον πρώτα επιλέξουμε **Intersect in Entire Model** μετά επιλέγουμε **Match in Entire Model**.



Σχήμα 5.7 Αντικείμενα εντολής Surface Matching.

Για να δούμε τα αποτελέσματα της προηγούμενης ενέργειας θα χρησιμοποιήσουμε την εντολή **Render By Boundary Condition**  όπου χρωματίζει κάθε επιφάνεια με βάση τις συνθήκες που επικρατεί σε αυτήν. Για παράδειγμα, όλοι οι εσωτερικοί τοίχοι, οροφές και πατώματα είναι με πράσινο το πάτωμα του ισογείου που 'ακουμπά' στο έδαφος με καφέ και οι επιφάνειες που έχουν συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος με μπλε. Για την καλύτερη απεικόνιση των εσωτερικών συνθηκών επιλέχθηκε και η εντολή **View Model I X-Ray Mode** .



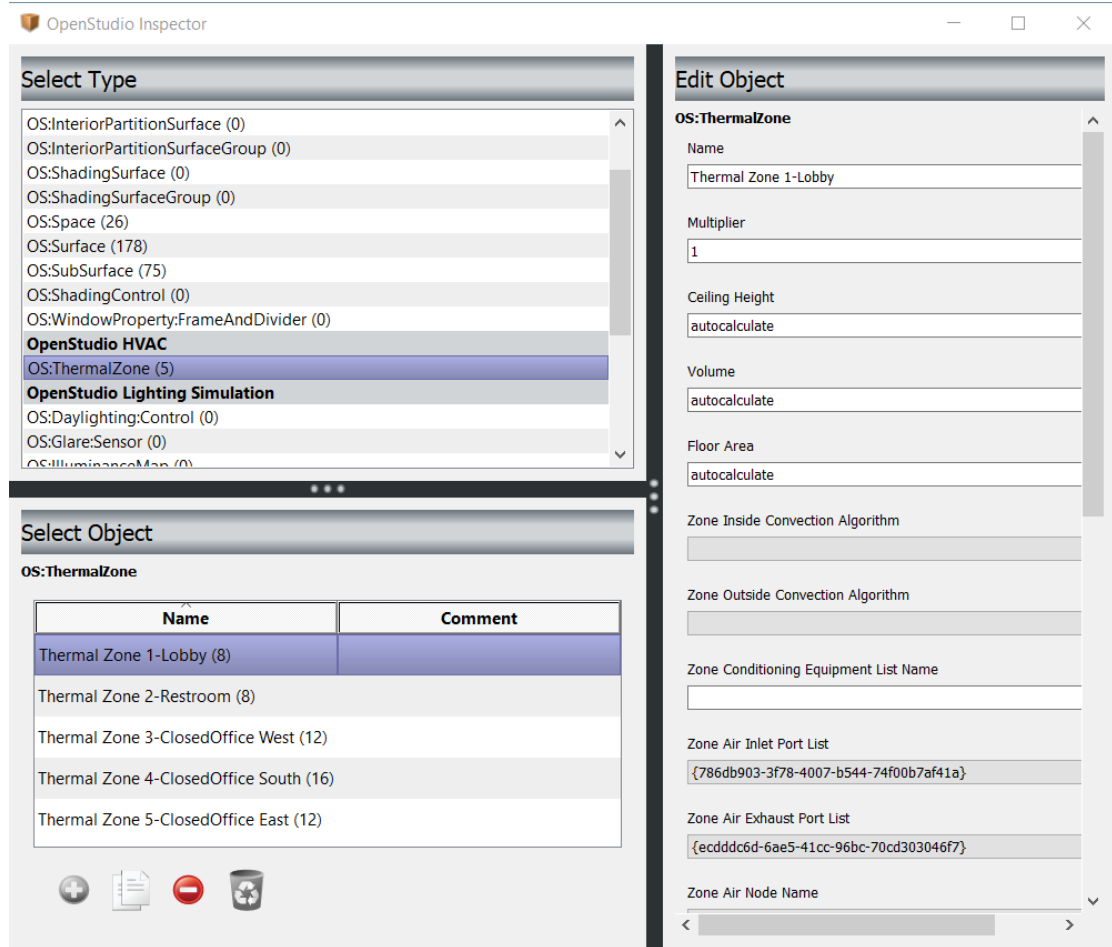
Σχήμα 5.8 Αποτελέσματα μετά την χρήση της εντολής **Surface Matching** μέσω των εντολών **Render By Boundary Condition** και **View Model in X-Ray Mode**.

Για την συνέχεια θα πρέπει να οριστεί ο τύπος κάθε χώρου και η θερμική ζώνη στην οποία ανήκει. Αυτό θα γίνει μέσω της εντολής **Set Attributes for Selected Spaces** όπου θα γίνει επιλογή για Space type ανάμεσα σε ClosedOffice, Restroom και Lobby και επιλογή θερμικής ζώνης και θερμοστάτη. Ένα παράδειγμα για το lobby φαίνεται παρακάτω.

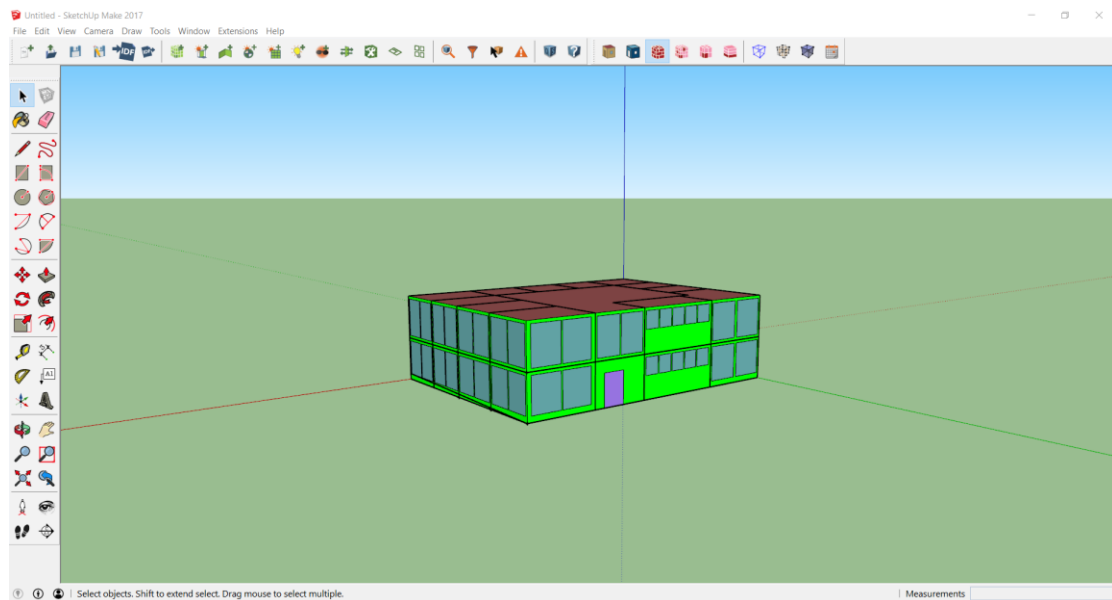
Set Attributes for Selected Spaces	
Space Type	189.1-2009 - Office - Lobby - CZ1-3
Building Story	<no change>
Construction Set	<no change>
Thermal Zone	Thermal Zone 1-Lobby
Set Parent Thermal Zone's - Ideal Air Loads Status	<no change>
Set Parent Thermal Zone's - Thermostat	189.1-2009 - Office - Lobby - CZ1-3 Thermostat
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Σχήμα 5.9 Παράδειγμα διαμόρφωσης **Set Attributes for Selected Spaces** για Lobby.

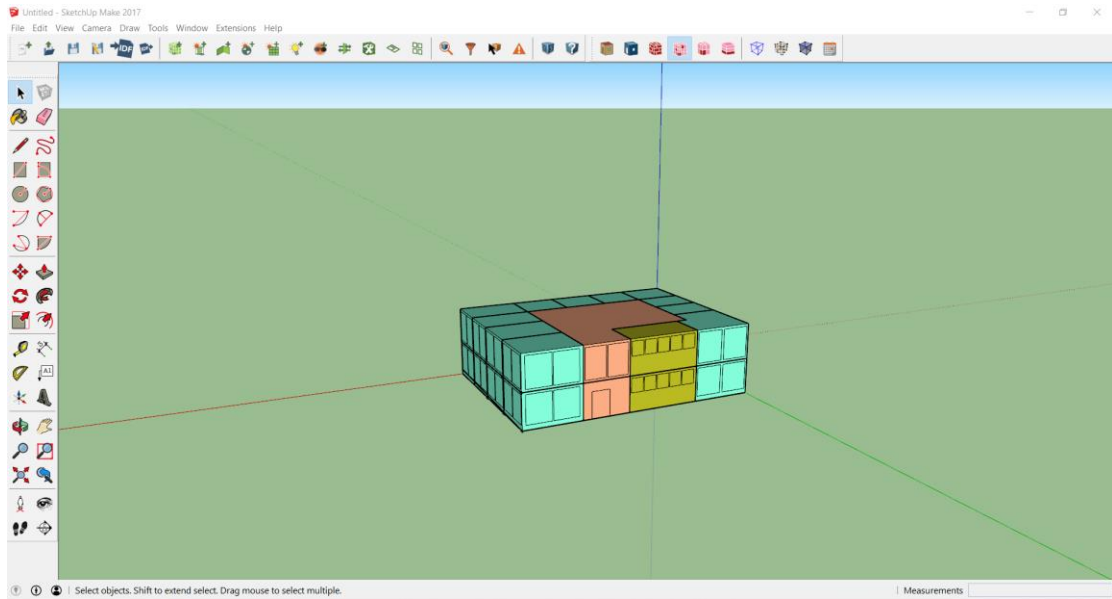
Επίσης, μέσω της εντολής **Openstudio Inspector** εκτός από έλεγχο για τα στοιχεία κάθε επιφάνειας θα γίνει και περαιτέρω επεξεργασία αλλάζοντας τα ονόματα κάθε χώρου και θερμικής ζώνης καθώς θα χρησιμοποιηθούν μετά στο EnergyPlus. Επιπλέον, ένας τελικός έλεγχος θα γίνει μέσω των εντολών **Render By Construction**, **Render by Space Type**, **Render By Thermal Zone** και **Render By Building Story**.



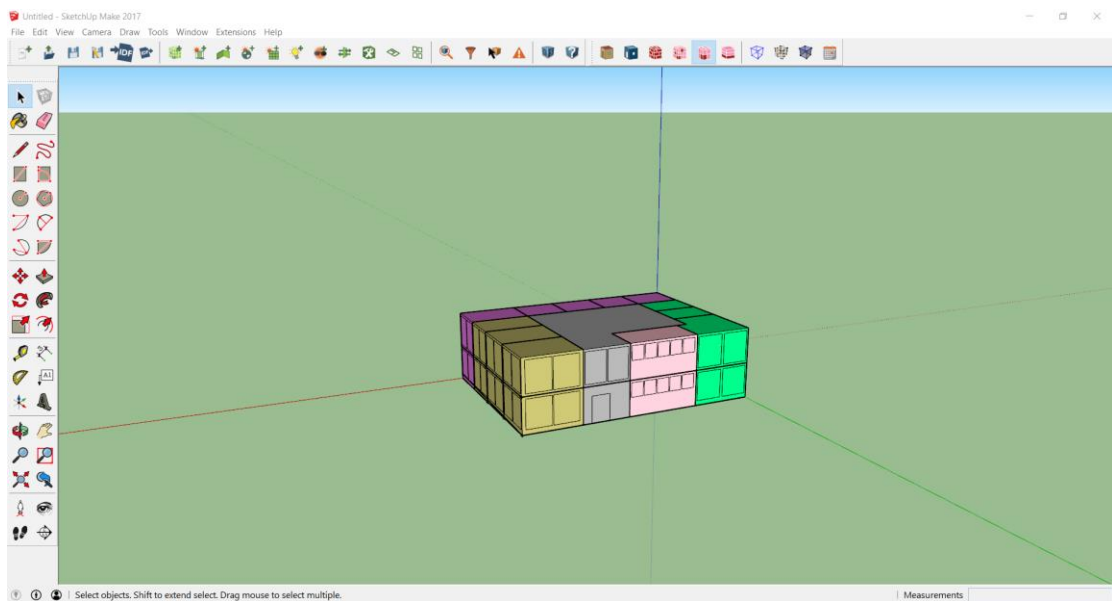
Σχήμα 5.10 Νέα ονόματα θερμικών ζωνών.



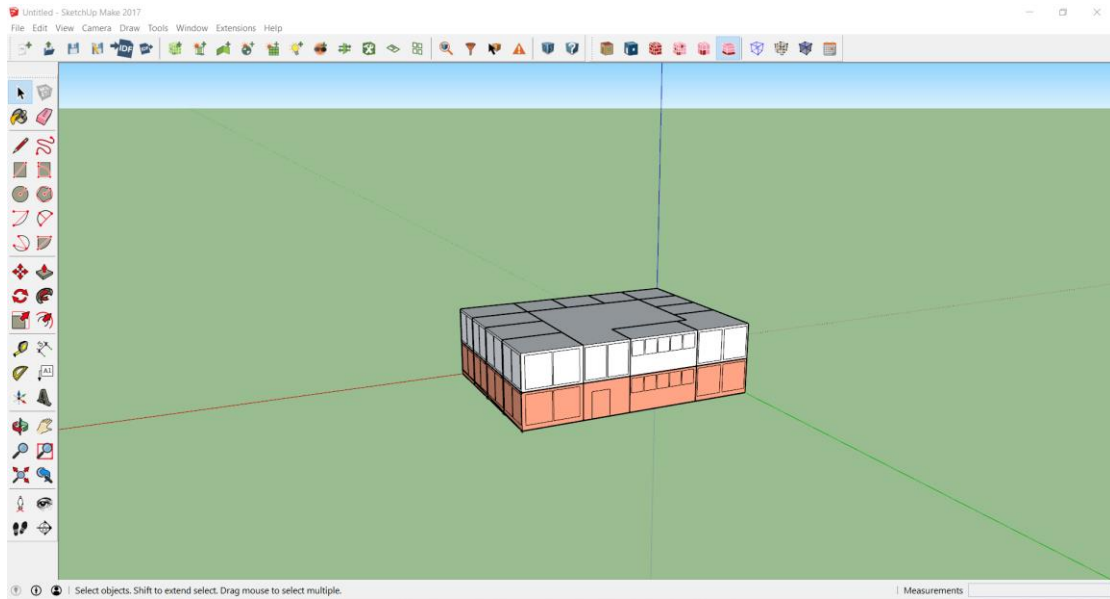
Σχήμα 5.11 Εμφάνιση κτηρίου μέσω της εντολής Render By Construction. Πράσινο για τους τοίχους, μωβ για την πόρτα, γαλάζιο για τα παράθυρα, καφέ για την οροφή.




Σχήμα 5.12 Εμφάνιση κτηρίου μέσω της εντολής Render By Space Type. Με 3 διαφορετικά χρώματα οι χώροι των ClosedOffice, Lobby, Restroom.



Σχήμα 5.13 Εμφάνιση κτηρίου μέσω της εντολής Render By Thermal Zone. Γκρι για Θερμική Ζώνη-Lobby, ανοιχτό ροζ για Θερμική Ζώνη-Restroom, ανοιχτό πράσινο για Θερμική Ζώνη-ClosedOffice South, ανοιχτό καφέ για Θερμική Ζώνη-ClosedOffice East, μωβ για Θερμική Ζώνη-ClosedOffice West.



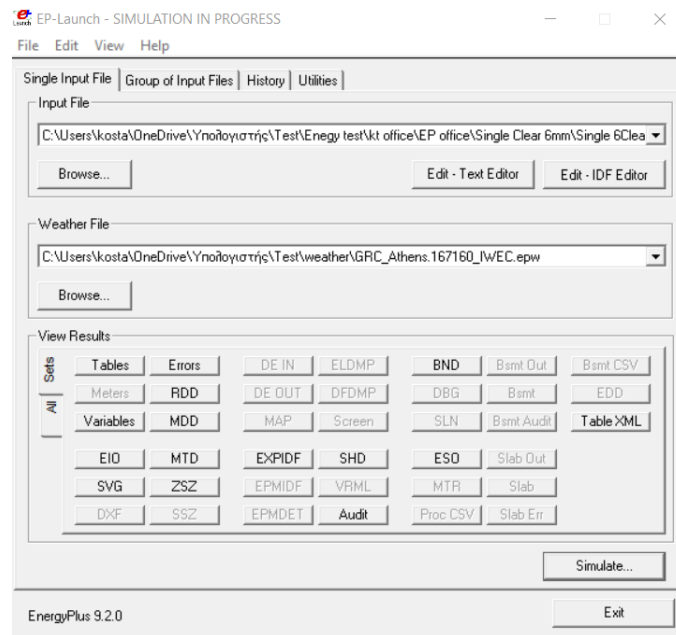
Σχήμα 5.14 Εμφάνιση κτηρίου μέσω της εντολής **Render By Building Story**. 2 χρώματα για 2 ορόφους (ισόγειο και 1ο όροφο).

Τελευταίο βήμα πριν τελειώσουμε με το λογισμικό του Sketchup είναι να δημιουργήσουμε ένα .idf αρχείο όπου θα χρησιμοποιηθεί ως input file στο EnergyPlus. Για αυτό χρησιμοποιούμε την εντολή **Import EnergyPlus Idf** .

5.2 Χρήση EnergyPlus

Η ενεργειακή προσομοίωση και ανάλυση του κτηρίου έγινε μέσω του προγράμματος EnergyPlus v9.2. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι ένα λογισμικό ελεύθερης πρόσβασης το οποίο εκδόθηκε πρώτη φορά το 2001 και από τότε έχει υποστεί αρκετές αναβαθμίσεις. Αν και δεν έχει γραφικό περιβάλλον το μεγάλο πλεονέκτημα του, που είναι και παράλληλα ο λόγος που επιλέχθηκε, είναι η ενσωμάτωση όλων των χαρακτηριστικών μιας προσομοίωσης και η άμεση αλληλεπίδραση τους, ακόμα και υαλοπινάκων με δυναμικές ιδιότητες οι οποίοι δεν μπορούν να αναλυθούν επακριβώς σε πολλά προγράμματα. Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στο EnergyPlus .

Αρχικά, ανοίγουμε το EnergyPlus launch και επιλέγουμε να κάνουμε browse το αρχείο .idf που δημιουργήθηκε στο Sketchup και στην συνέχεια κάνουμε browse το αρχείο καιρού για την περιοχή της Αθήνας το οποίο το βρίσκουμε στο επίσημο site του EnergyPlus.



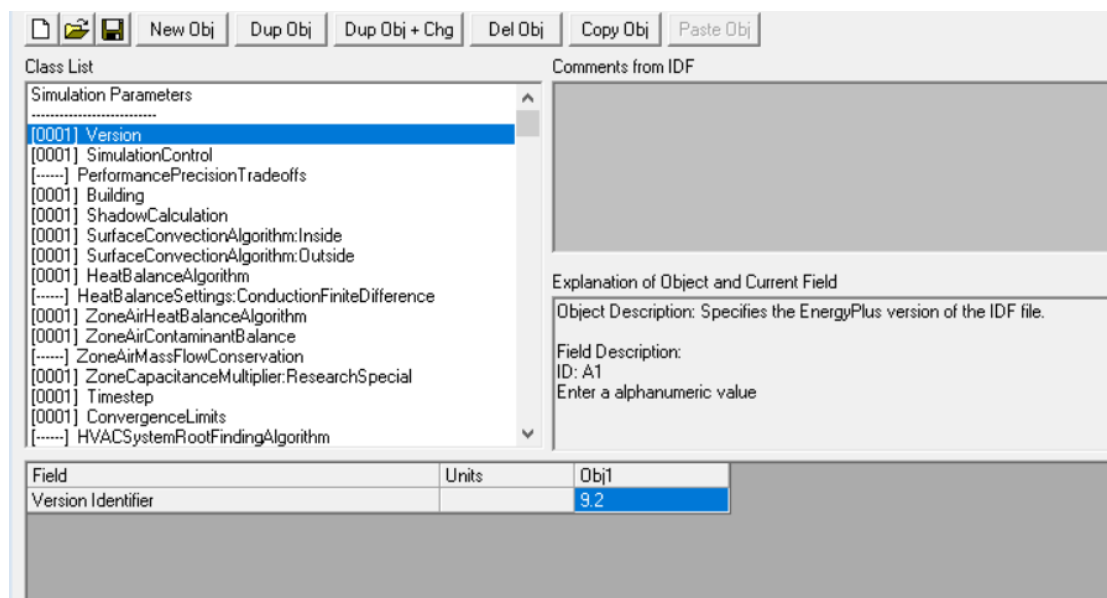
Σχήμα 5.15 Περιβάλλον EP-Launch. Έχει επιλεγθεί το αρχείο .idf που δημιουργήθηκε στο SketchUp μέσω των εντολών του OpenStudio και από κάτω είναι το αρχείο καιρού.

5.2.1 Βασικές επιλογές για την ενεργειακή προσομοίωση

Class List: Simulation Parameters

Version

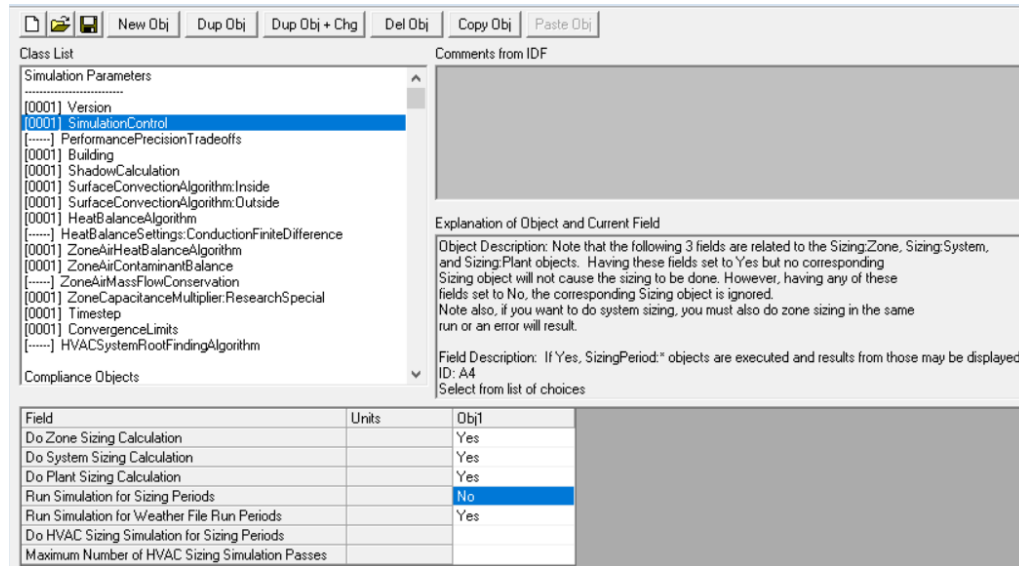
Προσδιορίζει την έκδοση του EnergyPlus που χρησιμοποιήθηκε η οποία είναι η 9.2 .



Σχήμα 5.16 Ομάδα: Simulation Parameters .Κατηγορία:Version.

Simulation Control

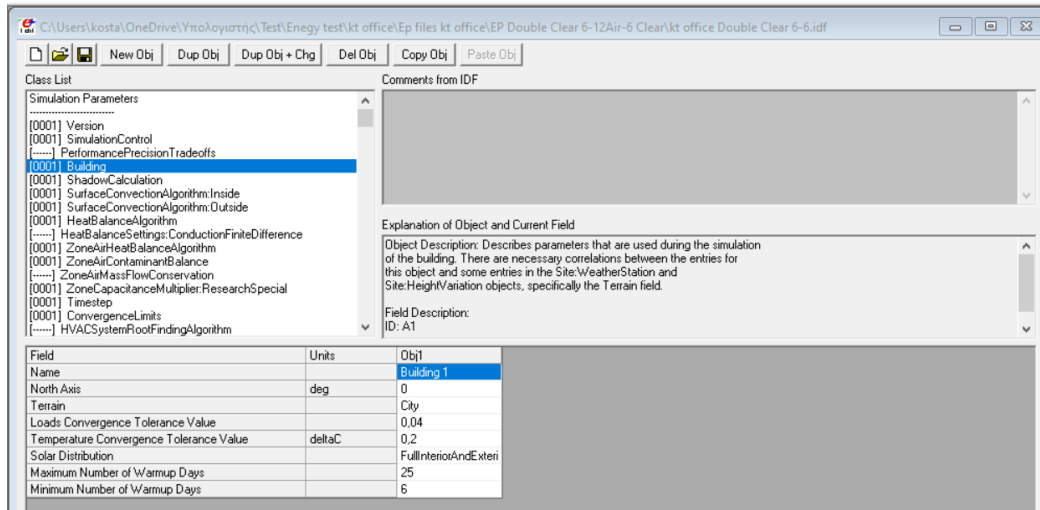
Εδώ επιλέγουμε να γίνουν όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί που αφορούν την διαστασιολόγηση των φορτίων, των θερμικών ζωνών κλπ., και το αν η προσομοίωση θα γίνει σε ετήσια βάση μέσω του αρχείου του καιρού όπως και επιλέχθηκε.



Σχήμα 5.17 Αντικείμενα στην κατηγορία Simulation Control. Επιλέχθηκε να γίνει προσομοίωση για την διαστασιολόγηση των θερμικών ζωνών, όλου του συστήματος μαζί με την εγκατάσταση HVAC αλλά για τις ημέρες που δίνει το αρχείο καιρού και όχι για τις ημέρες σχεδιασμού.

Building

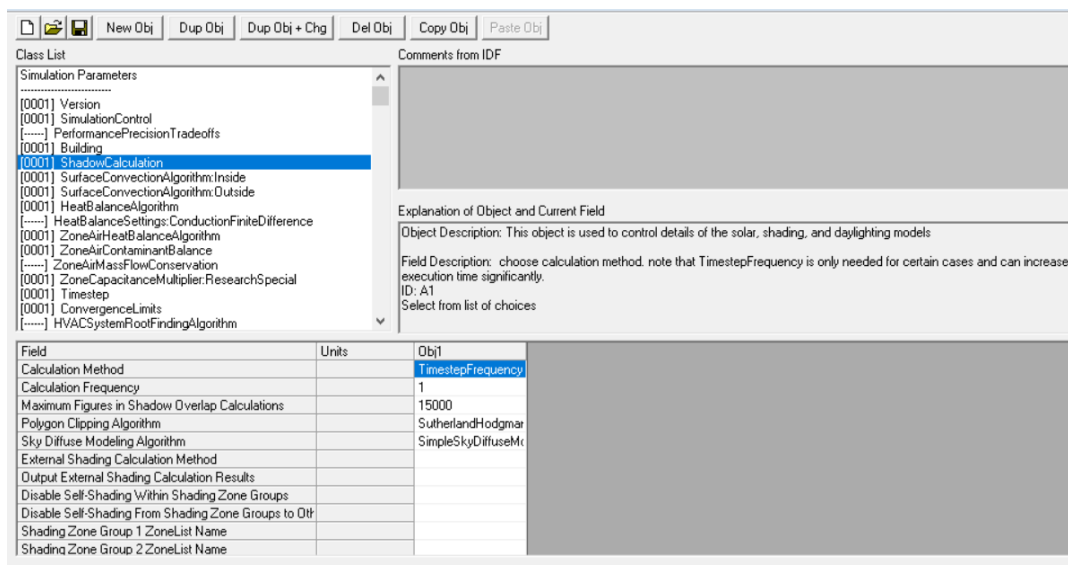
Εδώ δίνονται τα βασικά στοιχεία του κτηρίου όπως το όνομα του, τις μοίρες που απέχει από τον άξονα του βορά, την περιοχή που βρίσκεται αλλά και τον τρόπο που μοντελοποιείται η ηλιακή ακτινοβολία όπου επιλέχθηκε να είναι *FullInteriorAndExterior*. Είναι η επιλογή που δίνει την μεγαλύτερη ακρίβεια καθώς υπολογίζεται πόση ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά τον υαλοπίνακα, πόση απορροφάτε από αυτόν, πόση ανακλάται πίσω στην θερμική ζώνη και πόση μεταδίδεται στο εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, με αυτήν την επιλογή λαμβάνεται υπόψη η σκίαση εάν υπάρχει. Επιπλέον, δεν επιλέχθηκε η επιλογή *FullInteriorAndExteriorWithReflections* επειδή αυξάνει αρκετά τον χρόνο υπολογισμού καθώς υπολογίζει τις ανακλάσεις της ακτινοβολίας που υπάρχουν από τις εξωτερικές επιφάνειες, όπως τα περιφερειακά κτήρια και το έδαφος, πάνω στο δικό μας κτήριο κάτι για το οποίο δεν έχουμε δεδομένα και δεν εξετάζουμε στην παρούσα εργασία.



Σχήμα 5.18 Αντικείμενα στην κατηγορία Building.

Shadow Calculation

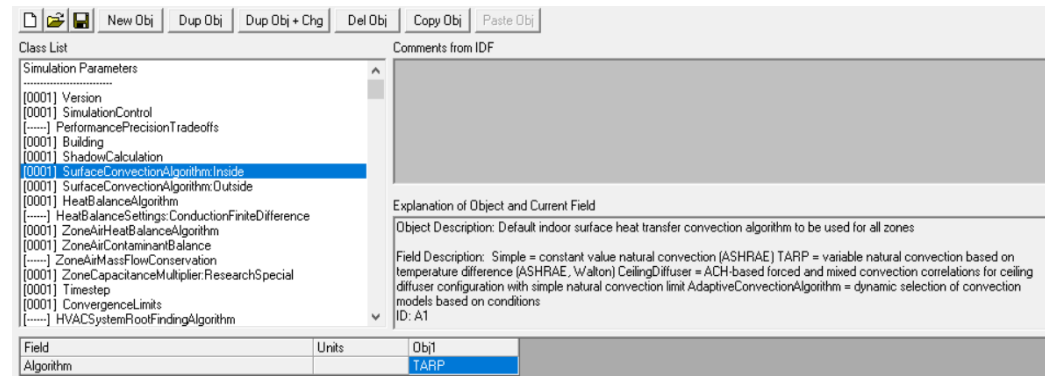
Σε αυτό το σημείο γίνεται επιλογή για τα δεδομένα της ακτινοβολίας του EnergyPlus και την σκίαση του. Υπάρχουν 2 μέθοδοι για τον υπολογισμό τους. Εάν θέλουμε μικρό υπολογιστικό χρόνο τότε υπάρχει η επιλογή του *Average Over Days In Frequency* όπου τα δεδομένα για τις ηλιακές ακτίνες και την θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο υπολογίζονται ανά 20 μέρες. Επειδή όμως στην περίπτωση μας θα χρησιμοποιηθούν και υαλοπίνακες με δυναμικές ιδιότητες πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την επιλογή *Timestep Frequency* όπου έχει μεγαλύτερη ανάλυση με αρνητικό ότι είναι αρκετά χρονοβόρα.



Σχήμα 5.19 Αντικείμενα στην κατηγορία Shadow Calculation.

Surface Convection Algorithm: Inside

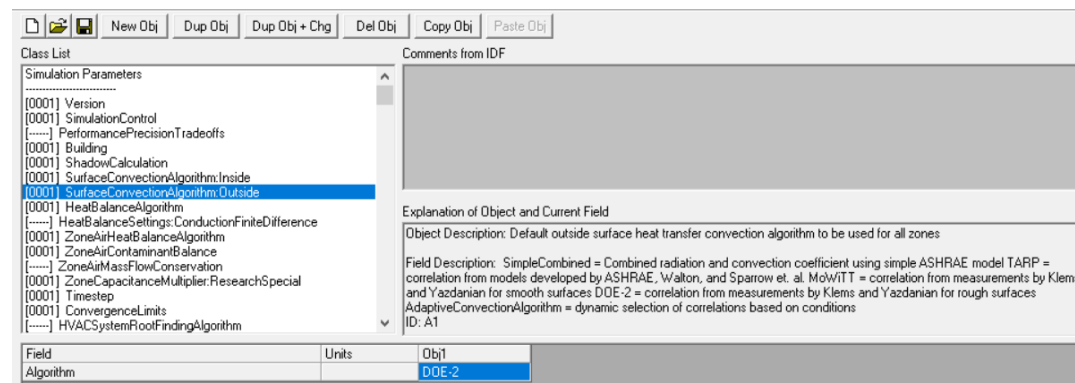
Εδώ ορίζεται ο αλγόριθμος συναγωγής για την μεταφορά θερμότητας στο εσωτερικό του κτηρίου. Χρησιμοποιήθηκε η προεπιλογή *TARP* όπου είναι ένας αλγόριθμος που συσχετίζει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας με την θερμοκρασιακή διαφορά για διάφορες συνθήκες βασισμένος σε πειράματα σε λεία επιφάνεια.



Σχήμα 5.20 Επιλογή αλγορίθμου TAPR για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή στο εσωτερικό του κτηρίου.

Surface Convection Algorithm: Outside

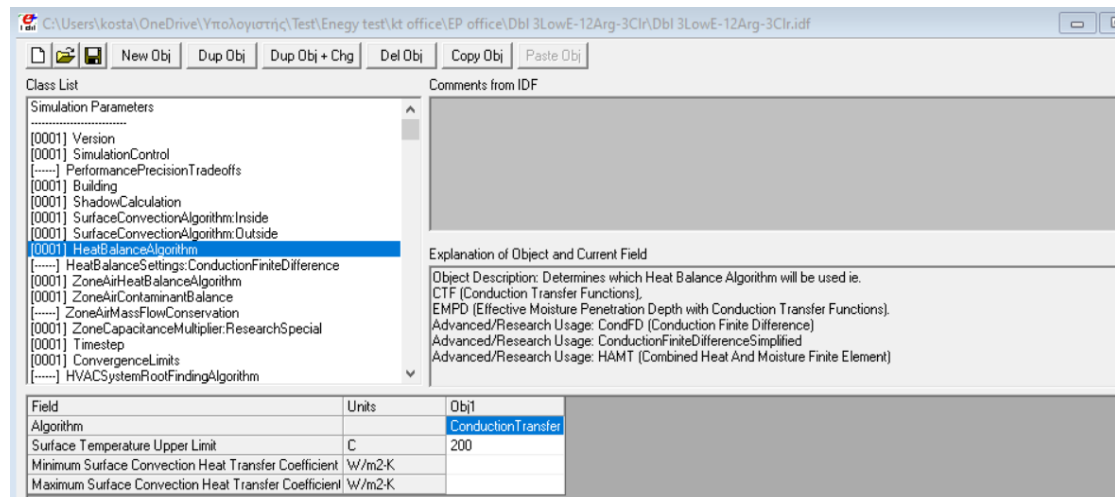
Παρόμοια με το προηγούμενο βήμα, ορίζεται ο αλγόριθμος συναγωγής για την μεταφορά θερμότητας στις εξωτερικές επιφάνειες του κτηρίου. Χρησιμοποιήθηκε η προεπιλογή *DOE-2* η οποία είναι για επιφάνειες με μεγάλη τραχύτητα.



Σχήμα 5.21 Επιλογή αλγορίθμου DOE-2 για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή στις εξωτερικές επιφάνειες του κτηρίου.

Heat Balance Algorithm

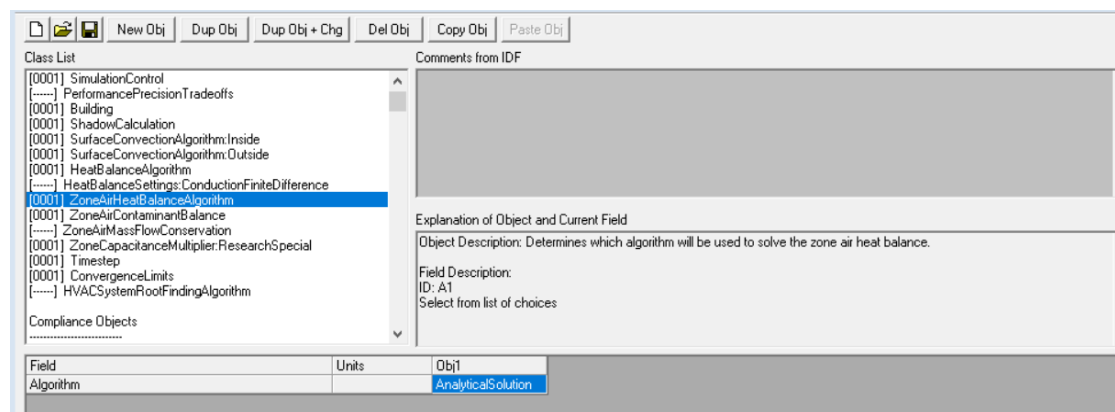
Εδώ επιλέγεται ποιος τύπος αλγόριθμου θα χρησιμοποιηθεί για την μεταφορά της θερμικής ενέργειας και υγρασίας ανάμεσα στα μέρη του κτηρίου δηλαδή αναφέρεται στον τρόπο που θα γίνει η ανάλυση του ενεργειακού ισολογισμού. Επιλέχθηκε η προεπιλογή *Conduction Transfer Function* η οποία λαμβάνει υπόψη μόνο την αισθητή θερμότητα και αγνοεί την αποθήκευση και διάχυση υγρασίας στα δομικά υλικά.



Σχήμα 5.22 Αντικείμενα στην κατηγορία Heat Balance Algorithm.

Zone Air Heat Balance Algorithm

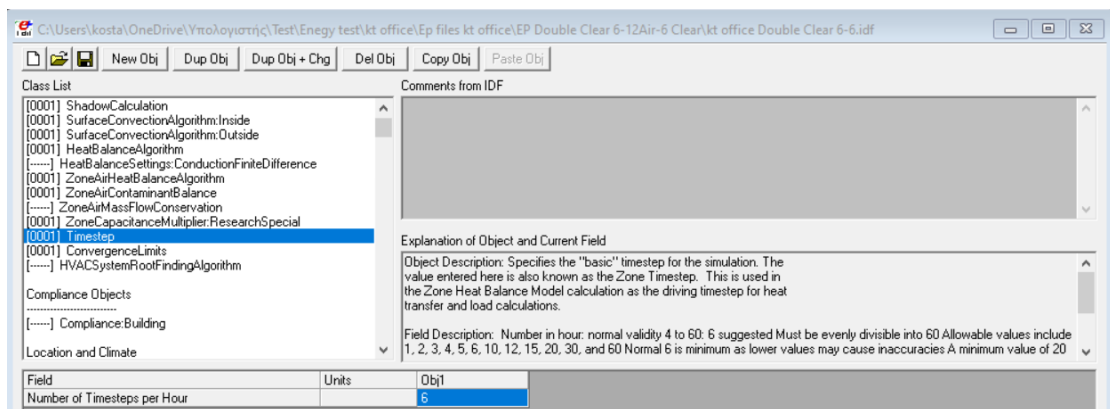
Σε αυτό το σημείο επιλέγεται ο αλγόριθμος που καθορίζει την διαδικασία με την οποία θα υπολογισθεί η θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος και η υγρασία κάθε θερμικής ζώνης. Η επιλογή *Analytical Solution* χρησιμοποιεί τις ολοκληρωμένες εξισώσεις για την λύση του προβλήματος.



Σχήμα 5.23 Επιλογή στην κατηγορία Zone Air Heat Balance Algorithm.

Timestep

Το χρονικό βήμα είναι ένας αρκετά σημαντικός παράγοντας για κάθε προσομοίωση καθώς διαμορφώνει την ακρίβεια της μεθόδου που χρησιμοποιείται αλλά και τον συνολικό υπολογιστικό χρόνο. Επειδή, η ακρίβεια της ανάλυσης είναι αντιστρόφως ανάλογη του συνολικού χρόνου πάντα αναζητείται το κατάλληλο χρονικό βήμα που θα αποφέρει αποδεκτή ακρίβεια στα αποτελέσματα αλλά και θα είναι σε λογικά πλαίσια συνολικού χρόνου. Στην περίπτωση μας, επιλέχθηκε να γίνουν 10 ενεργειακοί ισολογισμοί την ώρα συμπληρώνοντας 6 στην κατηγορία Number of Timesteps per Hour.



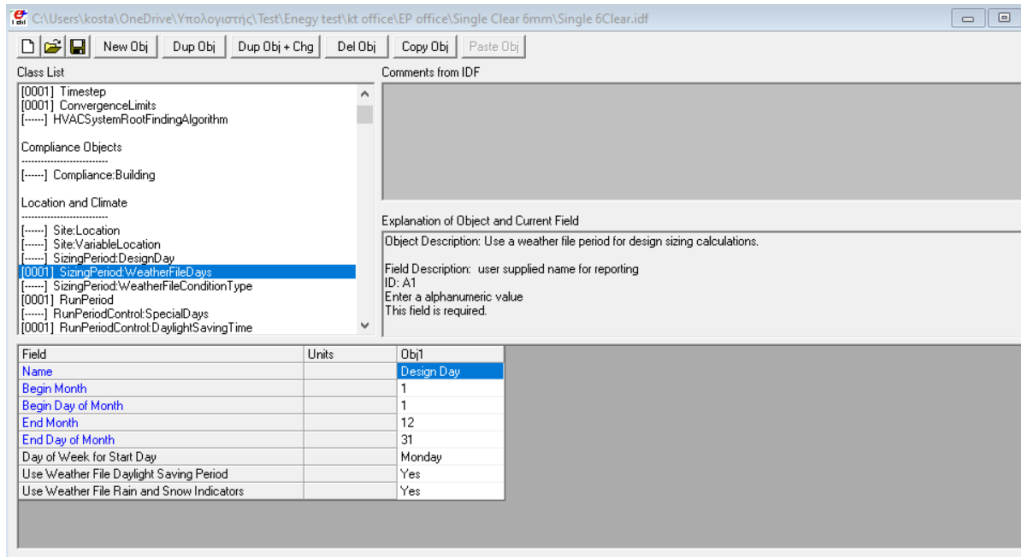
Σχήμα 5.24 Αντικείμενο στην κατηγορία Timestep. Επιλέχθηκε να γίνουν 6 ενεργειακοί ισολογισμοί ανά ώρα.

5.2.2 Τοποθεσία και κλιματικά δεδομένα

Class List: Location and Climate

Sizing Period Weather: Weather File Days

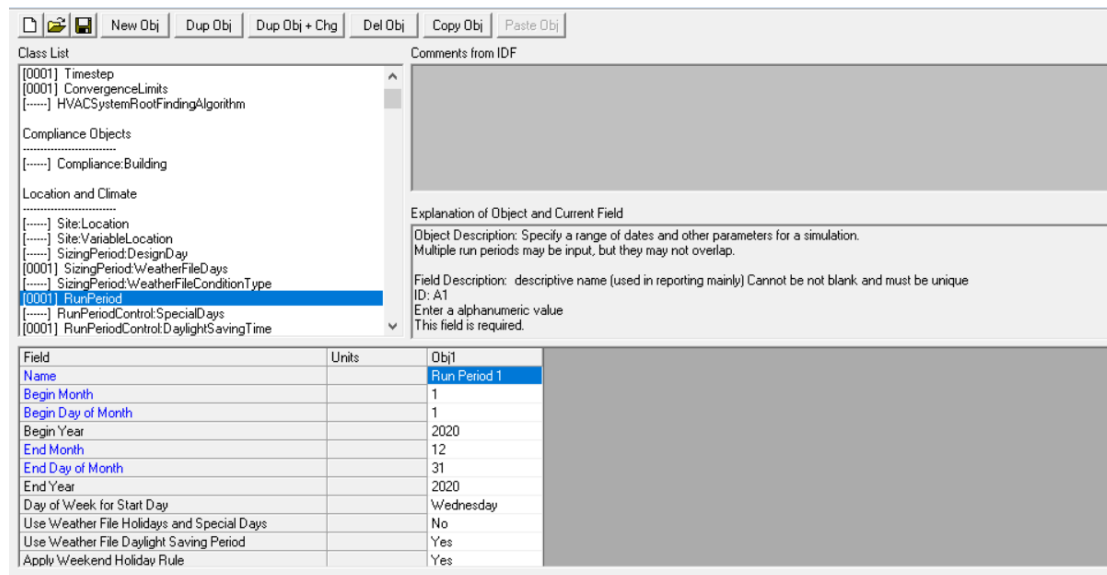
Σε αυτήν την κατηγορία περιγράφεται μία επιλεγμένη χρονική περίοδος από το αρχείο καιρού ώστε να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό των φορτίων και στην διαστασιολόγηση του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί. Όλες οι επιλογές που έγιναν φαίνονται στην επόμενη εικόνα.



Σχήμα 5.25 Επιλογή περιόδου για την διαστασιολόγηση του καιρού.

Run Period

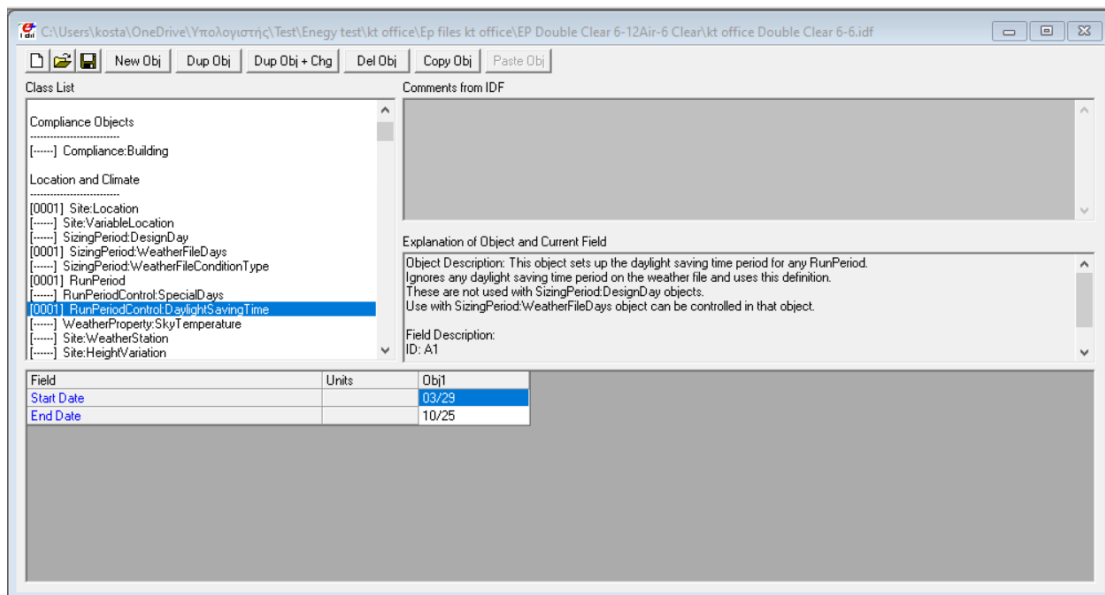
Εδώ οριοθετούμε την περίοδο που θα εκτελεστεί το πρόγραμμα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες χρονικές περίοδοι. Επίσης, μπορεί να δηλωθεί αν θα χρησιμοποιηθούν οι ημέρες διακοπών και οι 'ειδικές' μέρες για τις οποίες πρέπει να έχει ορισθεί συγκεκριμένο Schedule .



Σχήμα 5.26 Επιλογή περιόδου για την οποία θα γίνει η προσομοίωση.

Run Period Control: Daylight Saving Time

Εδώ ορίσαμε τη χρονική περίοδο που θα εφαρμοστεί η θερινή ώρα καθώς το αρχείο καιρού δεν το έχει ενσωματωμένο. Για το έτος 2020 η αρχή της συγκεκριμένης περιόδου είναι η τελευταία Κυριακή του Μαρτίου (03/29) και έχει πέρας την τελευταία Κυριακή του Οκτωβρίου (10/25) .



Σχήμα 5.27 Επιλογή θερινής ώρας.

5.2.3 Καθορισμός προγραμμάτων λειτουργίας

Class List: Schedules

Schedule: Compact

Από τις διάφορες επιλογές που υπάρχουν για την διαμόρφωση ενός προγράμματος (schedule) εκείνη που δίνει την μεγαλύτερη ευελιξία είναι το Schedule: Compact καθώς όλα τα δεδομένα υπάρχουν σε ένα αντικείμενο. Οι μέρες πρέπει να καλύπτουν όλο το χρόνο και μπορούν να χωριστούν σε ωριαίες μεταβολές. Πιο συγκεκριμένα, ορίστηκαν προγράμματα για την πληρότητα των χώρων, την δραστηριότητα, τη λειτουργία των φώτων και των ηλεκτρικών συσκευών, τον αερισμό, την χρήση των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων και τον θερμοστάτη για την ψύξη και θέρμανση κάθε χώρου.

Class List

- [.....] Site:GroundReflectance
- [.....] Site:GroundReflectance:SnowModifier
- [.....] Site:WaterMainsTemperature
- [.....] Site:Precipitation
- [.....] RoofIrrigation
- [.....] Site:SolarAndVisibleSpectrum
- [.....] Site:SpectrumData

Schedules

- [0012] ScheduleTypeLimits
- [.....] Schedule:Day:Hourly
- [.....] Schedule:Day:Interval
- [.....] Schedule:Day:List
- [.....] Schedule:Week:Daily
- [.....] Schedule:Week:Compact
- [.....] Schedule:Year
- [0012] Schedule:Compact

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Irregular object. Does not follow the usual definition for fields. Fields A3... are:
 Through: Date
 For: Applicable days (ref. Schedule:Week:Compact)
 Interpolate: Average/Linear/No (ref. Schedule:Day:Interval) -- optional, if not used will be "No"
 Until: <Time> (ref. Schedule:Day:Interval)
 <numeric value>
 words "Through","For","Interpolate","Until" must be included.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Lights Schedule	Office Bldg Occupa	Restroom Occupan	Office Activity	Office Equipment	Restroom Equipmer
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction	Fraction	ActivityLevel	Fraction	Fraction
Field 1	varies	Through:12/31	Through:12/31	Through:12/31	Through:12/31	Through:12/31	Through:12/31
Field 2	varies	For:Weekdays Cust	For:Weekdays Cust	For:Weekdays Cust	For:AllDays	For:Weekdays Cust	For:Weekdays Cust
Field 3	varies	Until:06:00	Until:06:00	Until:06:00	Until:24:00	Until:08:00	Until:08:00
Field 4	varies	.05	0	0	115	.4	0
Field 5	varies	Until:07:00	Until:07:00	Until:07:00		Until:12:00	Until:12:00
Field 6	varies	.1	.1	.08		.9	.5
Field 7	varies	Until:08:00	Until:08:00	Until:08:00		Until:13:00	Until:13:00
Field 8	varies	.3	.2	.1		.8	.8
Field 9	varies	Until:17:00	Until:12:00	Until:20:00		Until:17:00	Until:17:00
Field 10	varies	.9	.95	.4		.9	.3
Field 11	varies	Until:18:00	Until:13:00	Until:22:00		Until:18:00	Until:18:00
Field 12	varies	.7	.7	.1		.8	.2
Field 13	varies	Until:20:00	Until:17:00	Until:24:00		Until:20:00	Until:20:00
Field 14	varies	.5	.95	0		.6	.5
Field 15	varies	Until:22:00	Until:18:00	For:Sunday		Until:22:00	Until:22:00
Field 16	varies	.3	.7	Until:24:00		.5	.1
Field 17	varies	Until:24:00	Until:20:00	0		Until:24:00	Until:24:00
Field 18	varies	.05	.4	For:Saturday		.4	0
Field 19	varies	For:Sunday	Until:22:00	Until:06:00		For:Sunday	For:Sunday
Field 20	varies	Until:24:00	.1	0		Until:24:00	Until:24:00
Field 21	varies	.05	Until:24:00	Until:08:00		.2	0
Field 22	varies	For:Saturday	.05	.08		For:Saturday	For:Saturday
Field 23	varies	Until:06:00	For:Sunday	Until:14:00		Until:06:00	Until:06:00
Field 24	varies	.05	Until:24:00	.2		.3	0

Σχήμα 5.28 Αντικείμενα στην κατηγορία Schedule: Compact για τα αντικείμενα 1 έως 6.

Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12
Restroom Equipmer	Ventilation Scedule	Electrochromic Sch	Clg Setpoint	Htg Setpoint Lobby	Htg Setpoint Closed	Htg Setpoint Restr
Fraction	Fraction	Fraction	Temperature 11	Temperature 11	Temperature 11	Temperature 11
Through:12/31	Through:12/31	Through:05/01	Through:12/31	Through:12/31	Through:12/31	Through:12/31
For:Weekdays Cust	For:Weekdays Cust	For:AllDays	For:Weekdays Cust	For:Weekdays Cust	For:Weekdays Cust	For:Weekdays Cust
Until:08:00	Until:06:00	Until:24:00	Until:07:00	Until:07:00	Until:07:00	Until:07:00
0	1	0	28,4	15,6	15,6	15,6
Until:12:00	Until:22:00	Through:10/31	Until:22:00	Until:22:00	Until:22:00	Until:22:00
.5	.3	For:AllDays	26	18	20	22
Until:13:00	Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00
.8	1	1	28,4	15,6	15,6	15,6
Until:17:00	For:Saturday	Through:12/31	For:Sunday Holiday	For:Sunday Holiday	For:Sunday Holiday	For:Sunday Holiday
.3	Until:06:00	For:AllDays	Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00
Until:18:00	1	Until:24:00	28,4	15,6	15,6	15,6
.2	Until:17:00	0	For:Saturday	For:Saturday	For:Saturday	For:Saturday
Until:20:00	.3		Until:07:00	Until:07:00	Until:07:00	Until:07:00
.5	Until:24:00		28,4	15,6	15,6	15,6
Until:22:00	1		Until:17:00	Until:17:00	Until:17:00	Until:17:00
.1	For:Sunday Holiday		26	18	20	22
Until:24:00	Until:24:00		Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00
0	1		28,4	15,6	15,6	15,6
For:Sunday	For:SummerDesignC		For:SummerDesignC	For:SummerDesignC	For:SummerDesignC	For:SummerDesignC
Until:24:00	Until:06:00		Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00
0	1		28,4	15,6	15,6	15,6
For:Saturday	Until:22:00		For:WinterDesignD	For:WinterDesignD	For:WinterDesignD	For:WinterDesignD
Until:06:00	.3		Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00
0	Until:24:00		26	18	20	22

Σχήμα 5.29 Αντικείμενα στην κατηγορία Schedule: Compact για αντικείμενα 6 έως 12.

5.2.4 Καθορισμός δομικών στοιχείων κτηρίου

Surface Construction Elements

Material

Σε αυτήν την κατηγορία δηλώνονται τα αδιαφανή υλικά της κατασκευής τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια. Απαραίτητα στοιχεία είναι ο προσδιορισμός της τραχύτητας, το πάχος, η ειδική θερμική αγωγιμότητα, η πυκνότητα και η ειδική θερμοχωρητικότητα.

The screenshot shows the 'Material' category selected in the Class List. Below it, a table lists properties for objects Obj1 through Obj6. The table includes fields such as Name, Roughness, Thickness, Conductivity, Density, Specific Heat, Thermal Absorptance, Solar Absorptance, and Visible Absorptance.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		1/2IN Gypsum	1IN Stucco	8IN Concrete HW	F08 Metal surface	12mm gypsum board	101 25mm insulation
Roughness		Smooth	Smooth	MediumRough	Smooth	MediumSmooth	MediumRough
Thickness	m	0,0127	0,0253	0,2033	0,0008	0,012	0,0254
Conductivity	W/m-K	0,16	6,91800000E-01	1,72960000E+00	4,52800000E+01	0,16	0,03
Density	kg/m3	784,9	1858	2,24300000E+03	7,82400000E+03	800	43
Specific Heat	J/kg-K	8,30000000E+02	8,37000000E+02	8,37000000E+02	500	1090	1210
Thermal Absorptance		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Solar Absorptance		0,4	0,92	0,65	0,7	0,4	0,6
Visible Absorptance		0,4	0,92	0,65	0,7	0,4	0,6

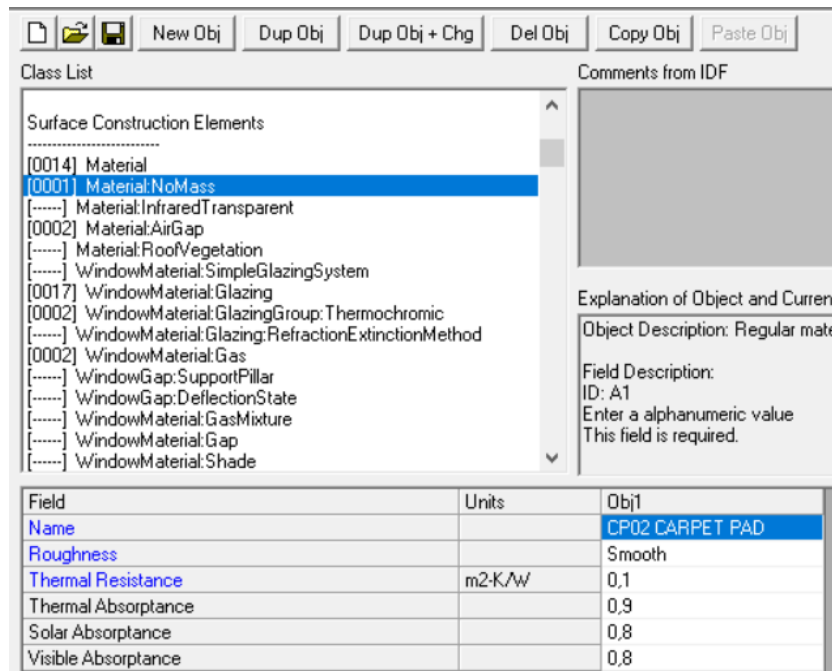
Σχήμα 5.30 Αντικείμενα στην κατηγορία Material για αντικείμενα 1 έως 6.

Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12
I01 25mm insulation	MAT-CC05 4 HW C	Metal Decking	Roof Insulation [21]	Roof Membrane	Wall Unslation[46]	9mmBrick
MediumRough	Rough	MediumSmooth	MediumRough	VeryRough	MediumRough	MediumRough
0,0254	0,1016	0,0015	0,2105	0,0095	0,163394	0,009
0,03	1,311	45,006	0,049	0,16	0,0432	0,895
43	2240	7680	265	1121,29	91	1922
1210	8,36800000E+02	418,4	8,36800000E+02	1460	837	790
0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
0,6	0,85	0,6	0,7	0,7	0,5	0,7
0,6	0,85	0,6	0,7	0,7	0,5	0,7

Σχήμα 5.31 Αντικείμενα στην κατηγορία Material για αντικείμενα 6 έως 12.

Material: No Mass

Εδώ δίνονται τα αδιαφανή δομικά στοιχεία όπου γνωρίζουμε μόνο την θερμική αντίσταση όπως είναι ο τάπητας που χρησιμοποιείται στον εσωτερικό χώρο .



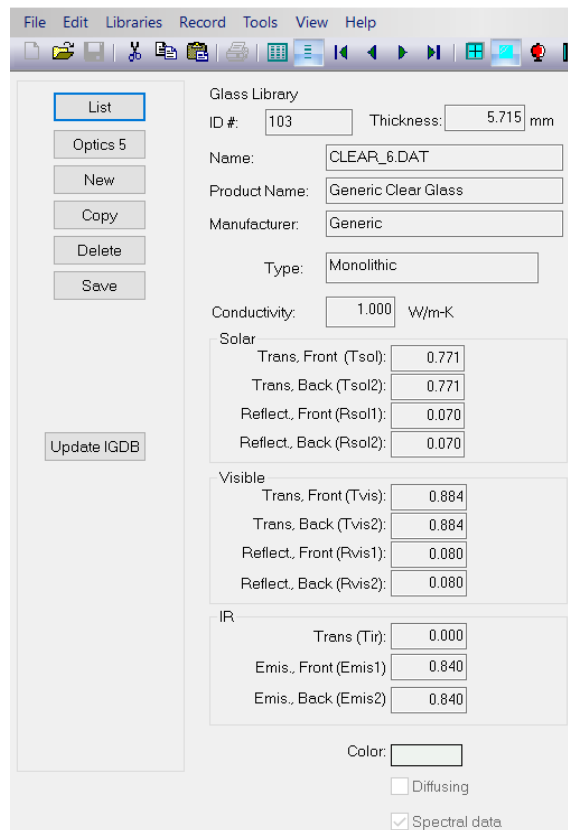
Σχήμα 5.32 Αντικείμενα στην κατηγορία Material: No Mass.

Window Material: Glazing

Στη συνέχεια δηλώνονται τα χαρακτηριστικά κάθε φύλλου γυαλιού που θα χρησιμοποιηθούν ύστερα ως μέρος του υαλοπίνακα. Εκτός, από το όνομα του φύλλου θα δοθεί το πάχος του και η επιλογή *SpectralAverage* για το *Optical Data Type* που δηλώνει ότι θα χρησιμοποιηθούν μέσες τιμές για όλα τα παρακάτω στοιχεία που θα συμπληρωθούν ύστερα και είναι :

- Η ηλιακή διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία στην κάθετη πρόσπτωση T_{sol}
- Η ανακλαστικότητα της εξωτερικής επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία στην κάθετη πρόσπτωση R_{sol1}
- Η ανακλαστικότητα της εσωτερικής επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία στην κάθετη πρόσπτωση R_{sol2}
- Η οπτική διαπερατότητα στην κάθετη πρόσπτωση T_{vis}
- Η οπτική ανακλαστικότητα της εξωτερικής επιφάνειας στην κάθετη πρόσπτωση R_{vis1}
- Η οπτική ανακλαστικότητα της εσωτερικής επιφάνειας στην κάθετη πρόσπτωση R_{vis2}
- Η διαπερατότητα στην ακτινοβολία μεγάλου κύματος στην κάθετη πρόσπτωση T_{ir}
- Ο συντελεστής εκπομπής της εσωτερικής επιφάνειας για την ακτινοβολία μεγάλου κύματος $Emis1$
- Ο συντελεστής εκπομπής της εξωτερικής επιφάνειας για την ακτινοβολία μεγάλου κύματος $Emis2$
- Η ειδική θερμική αγωγιμότητα

Για τα χαρακτηριστικά κάθε φύλλου θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό **WINDOW 7.7**. Τα φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορες προσομοιώσεις από το **WINDOW 7.7** παρουσιάζονται όλα μαζί παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν απλά φύλλα (Clear 6mm), φύλλα χαμηλής εκπομπής 2^{ης} γενιάς (Low-e2 6mm), 2 φύλλα που αντιστοιχούν στους ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες (αδιαφανή= Dark State και αδιαφανή= Light State) και φύλλα που θα χρησιμοποιηθούν στους θερμοχρωμικούς υαλοπίνακες πάχους 7mm.



Σχήμα 5.33 Δεδομένα για διαυγή καθαρό φύλλο 6mm από το πρόγραμμα WINDOW7.7.

Glass Library
 ID #: 2014 Thickness: 6.000 mm
 Name: LoE272-6.CIG
 Product Name: LoE³ 272 on 6 mm Clear
 Manufacturer: Cardinal Glass Industries
 Type: Coated
 Conductivity: 1.000 W/m-K
 Solar
 Trans. Front (Tsol): 0.409
 Trans. Back (Tsol2): 0.409
 Reflect. Front (Rsol1): 0.264
 Reflect. Back (Rsol2): 0.417
 Visible
 Trans. Front (Tvis): 0.781
 Trans. Back (Tvis2): 0.781
 Reflect. Front (Rvis1): 0.055
 Reflect. Back (Rvis2): 0.042
 IR
 Trans (Tir): 0.000
 Emis. Front (Emis1): 0.840
 Emis. Back (Emis2): 0.042
 Color:
 Diffusing
 Spectral data

Σχήμα 5.34 Δεδομένα για φύλλο χαμηλής εκπομπής 2ης γενιάς 6mm από το πρόγραμμα WINDOW7.7 .

Glass Library
 ID #: 30010 Thickness: 7.000 mm
 Name: Thermochromic1_24.LBL
 Product Name: Thermochromic1_24
 Manufacturer: LBNL
 Type: Thermochromic
 Conductivity: 1.000 W/m-K

	Light				Dark
Temp	24.000	34.000	48.000	62.000	75.000
Color:					
Solar					
Trans. Front (Tsol):	0.684	0.632	0.533	0.410	0.331
Trans. Back (Tsol2):	0.684	0.632	0.533	0.410	0.331
Reflect. Front (Rsol1):	0.081	0.064	0.058	0.053	0.050
Reflect. Back (Rsol2):	0.078	0.064	0.058	0.053	0.050
Visible					
Trans. Front (Tvis):	0.734	0.622	0.417	0.197	0.087
Trans. Back (Tvis2):	0.734	0.622	0.417	0.197	0.087
Reflect. Front (Rvis1):	0.085	0.064	0.052	0.045	0.043
Reflect. Back (Rvis2):	0.083	0.064	0.052	0.045	0.043
IR					
Trans (Tir):	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Emis., Front (Emis1):	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840
Emis., Back (Emis2):	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840

Σχήμα 5.35 Δεδομένα για θερμοχρωμικό φύλλο 7mm από το πρόγραμμα WINDOW7.7 .

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Clear 6mm	Electro_Light glass 6mm	Electro_Dark glass 6mm	Low-e 6mm
Optical Data Type		SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name					
Thickness	m	0,005715	0,006	0,006	0,0057
Solar Transmittance at Normal Incidence		0,771	0,814	0,111	0,409
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,07	0,086	0,179	0,264
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,07	0,086	0,179	0,417
Visible Transmittance at Normal Incidence		0,884	0,847	0,128	0,781
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,08	0,099	0,081	0,055
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,08	0,099	0,081	0,042
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0	0	0	0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84	0,84	0,84	0,84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84	0,84	0,84	0,042
Conductivity	W/m.K	0,9	0,9	0,9	0,9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance		1	1	1	1
Solar Diffusing		No	No	No	No
Young's modulus	Pa		7200000000	7200000000	7200000000
Poisson's ratio			0,22	0,22	0,22
Window Glass Spectral and Incident Angle Transmittance					
Window Glass Spectral and Incident Angle Front Reflectance					
Window Glass Spectral and Incident Angle Back Reflectance					

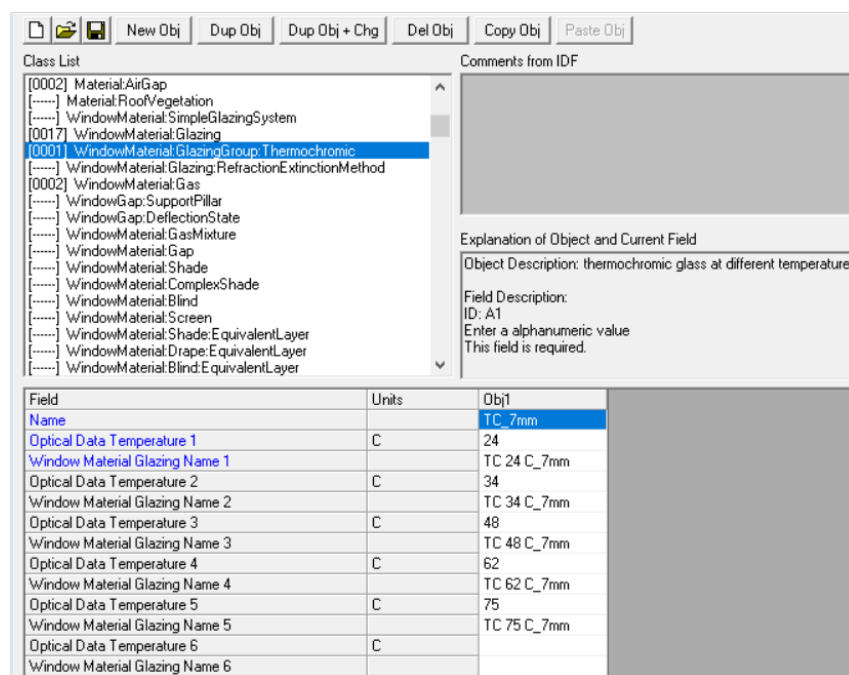
Σχήμα 5.36 Αντικείμενα στην κατηγορία Window Material: Glazing για τα αντικείμενα 1 έως 4. Παρουσιάζονται το απλό διαφανές φύλλο 6 mm (Clear 6mm), τα φύλλα για τις 2 καταστάσεις των EC πάχους 6mm το καθένα (Electro_Light glass 6mm και Electro_Dark glass 6mm) και το φύλλο επίστρωσης χαμηλής εκπομπής 6mm (Low-e 6mm) .

Field	Units	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		TC 24 C_7mm	TC 34 C_7mm	TC 48 C_7mm	TC 62 C_7mm	TC 75 C_7mm
Optical Data Type		SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name						
Thickness	m	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
Solar Transmittance at Normal Incidence		0,684	0,632	0,533	0,41	0,331
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,081	0,064	0,058	0,053	0,05
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,078	0,064	0,058	0,053	0,05
Visible Transmittance at Normal Incidence		0,734	0,622	0,417	0,197	0,087
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,085	0,064	0,052	0,045	0,043
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,083	0,064	0,052	0,045	0,043
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0	0	0	0	0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Conductivity	W/m.K	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance		1	1	1	1	1
Solar Diffusing		No	No	No	No	No
Young's modulus	Pa	7200000000	7200000000	7200000000	7200000000	7200000000
Poisson's ratio		0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Window Glass Spectral and Incident Angle Transmittance						
Window Glass Spectral and Incident Angle Front Reflectance						
Window Glass Spectral and Incident Angle Back Reflectance						

Σχήμα 5.37 Αντικείμενα στην κατηγορία Window Material: Glazing για τα αντικείμενα 5 έως 9 όπου παρουσιάζονται τα φύλλα για τις 5 καταστάσεις των θερμοχρωμικών.

Window Material Glazing Group: Thermochromic

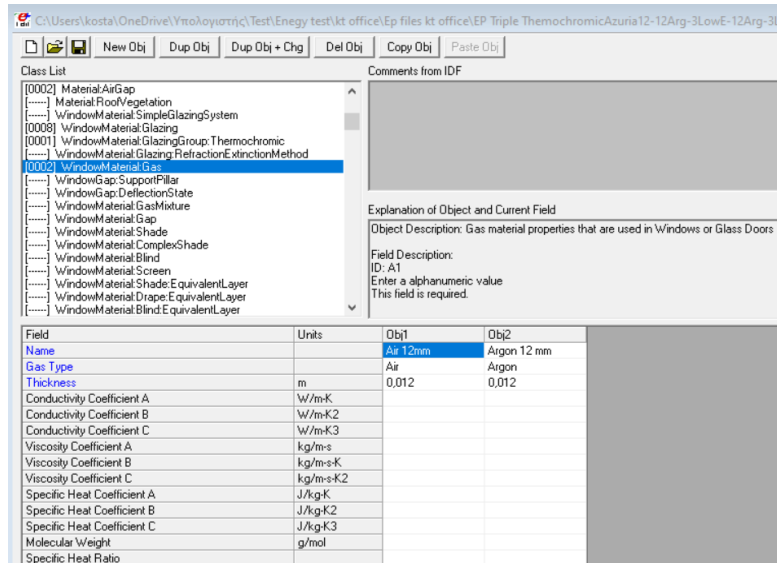
Η συγκεκριμένη κατηγορία συμπληρώνεται μόνο όταν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε θερμοχρωμικούς υαλοπίνακες. Τα TC έχουν ως αρχή λειτουργίας ότι όσο το θερμοχρωμικό φύλλο θερμαίνεται αλλάζει ιδιότητες καθώς αυξάνεται η απορροφητικότητα και μειώνεται η διαπερατότητα του. Για να δηλώσουμε αυτές τις αλλαγές συμπληρώνουμε την θερμοκρασία και από κάτω συμπληρώνουμε το φύλλο που διαμορφώσαμε στην κατηγορία *Window Material: Glazing* και αντιστοιχεί στις ιδιότητες που θα πρέπει να έχει το φύλλο σε αυτές τις συνθήκες. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ο σχηματισμός θερμοχρωμικού υαλοπίνακα 7mm.



Σχήμα 5. 38 Αντικείμενα στην κατηγορία *Window Material Glazing: Thermochromic* για τον ορισμό των θερμοκρασιών στο *Optical Data Temperature* με βάση των οποίων θα μεταβάλλεται το θερμοχρωμικό φύλλο ώστε να αλλάζει ιδιότητες σύμφωνα με το *Window Material Glazing Name*.

Window Material: Gas

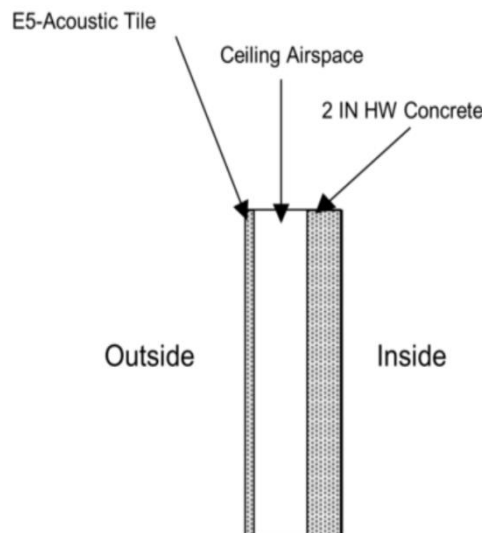
Εδώ θα δηλώσουμε το αέριο που θα χρησιμοποιηθεί στους υαλοπίνακες με πολλαπλά φύλλα. Το πρόγραμμα έχει έτοιμα στοιχεία για αέρα, αργό, κρυπτό και ξένο και αρκεί να συμπληρωθεί μόνο το όνομα του και το πάχος του αποστάτη που τα περιέχει. Οι υπόλοιπες σειρές χρησιμοποιούνται μόνο σε περίπτωση που χρειαζόμαστε άλλο αέριο και τότε θα πρέπει να επιλέξουμε την επιλογή *Custom* στο *Gas Type*.



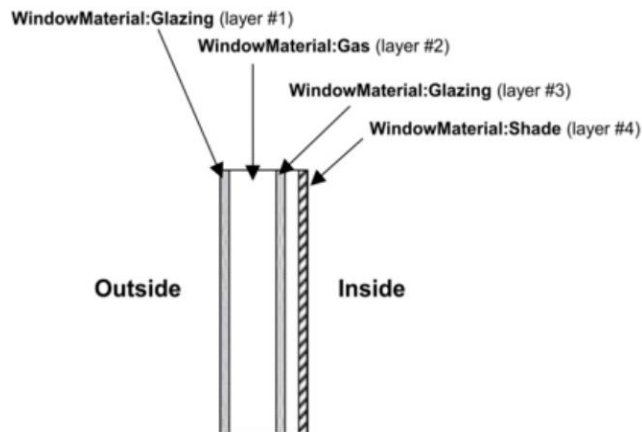
Σχήμα 5.39 Αντικείμενα στην κατηγορία Window Material: Gas.

Construction

Στην κατηγορία Construction διαμορφώνουμε τη δομή των τοίχων, των οροφών, των δαπέδων, των υαλοπινάκων και των πορτών. Αφού συμπληρώσουμε το όνομα στην συνέχεια «χτίζουμε» την δομή με βάση τα στοιχεία που έχουμε ήδη διαμορφώσει στις κατηγορίες *Material*, *Material:No Mass*, *Window Material: Glazing*, *Window Material Glazing Group:Thermochromic* (αν γίνεται χρήση θερμοχρωμικών) και *Window Material: Gas*. Το πρώτο στοιχείο που τοποθετείται βρίσκεται στην εξωτερική πλευρά της δομής και κατά σειρά τοποθετούνται και τα άλλα όπως φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Σχήμα 5.40 Παράδειγμα διάταξης για την διαμόρφωση των αδιαφανών δομικών κατασκευών [60].



Σχήμα 5.41 Παράδειγμα διάταξης για την διαμόρφωση των υαλοπινάκων [60].

Για το κτήριο, εκτός από τους υαλοπίνακες, δημιουργήθηκαν οι δομές οι οποίες αντιστοιχούν κατά σειρά στην οροφή, την εξώπορτα, το δάπεδο, τον εσωτερικό τοίχο, τον εξωτερικό τοίχο και τον εκάστοτε υαλοπίνακα που χρησιμοποιείται κάθε φορά.

Class List

- MaterialProperty:VariableThermalConductivity
- MaterialProperty:HeatAndMoistureTransfer:Settings
- MaterialProperty:HeatAndMoistureTransfer: SorptionIsotherm
- MaterialProperty:HeatAndMoistureTransfer: Suction
- MaterialProperty:HeatAndMoistureTransfer: Redistribution
- MaterialProperty:HeatAndMoistureTransfer: Diffusion
- MaterialProperty:HeatAndMoistureTransfer: ThermalConductivity
- MaterialProperty:GlazingSpectralData
- 00.05 Construction**
 - Construction:FactorUndergroundWall
 - Construction:FactorGroundFloor
 - Construction:InternalSource
 - Construction:AirBoundary
 - WindowThermalModel:Params
 - WindowsCalculationEngine
 - Construction:ComplexFenestrationState
 - Construction:WindowEquivalentLayer
 - Construction:WindowDataFile

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

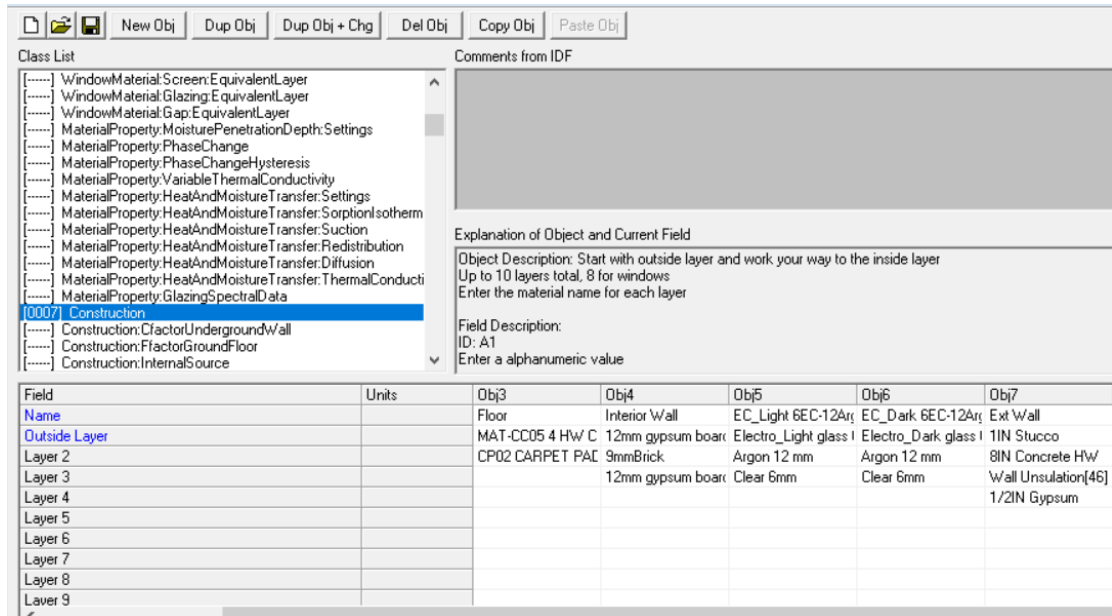
Object Description: Start with outside layer and work your way to the inside layer
Up to 10 layers total, 8 for windows
Enter the material name for each layer

Field Description:
ID: A1
Enter a alphanumeric value

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Roof	Exterior Door	Floor	Interior Wall	Ext Wall	DBI 6Clr-12Arg-6Clr
Outside Layer		Roof Membrane	F08 Metal surface	MAT-CC05 4 HW C	12mm gypsum board	1IN Stucco	Clear 6mm
Layer 2		Roof Insulation [21]	I01 25mm insulation	CP02 CARPET PAC	9mm Brick	8IN Concrete HW	Argon 12 mm
Layer 3		Metal Decking			12mm gypsum board	Wall Insulation[46]	Clear 6mm
Layer 4						1/2IN Gypsum	
Layer 5							
Layer 6							
Layer 7							
Layer 8							
Layer 9							
Layer 10							

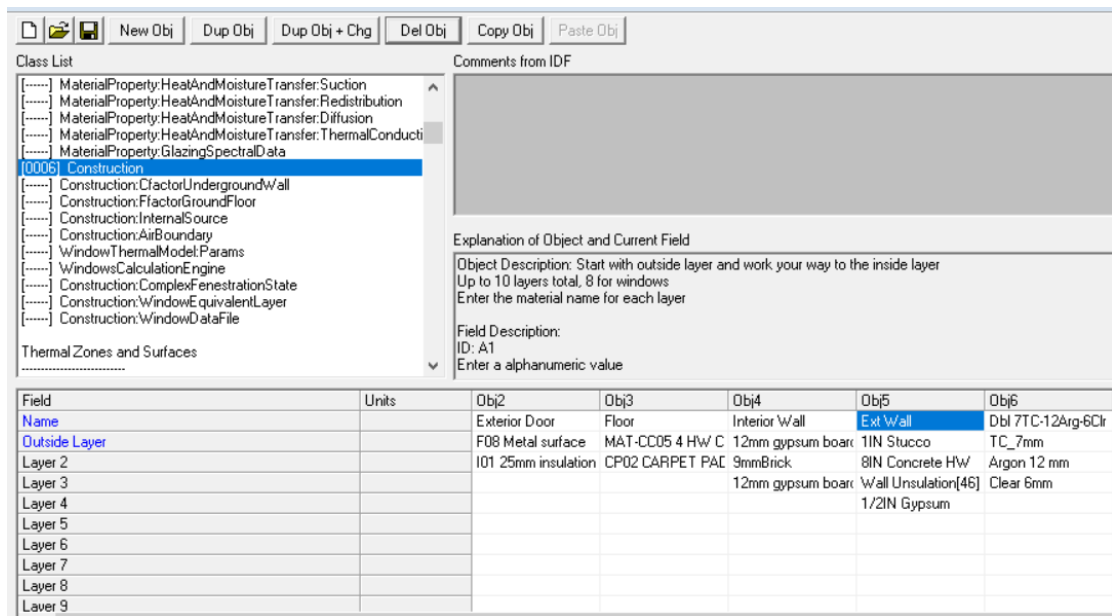
Σχήμα 5.42 Αντικείμενα στην κατηγορία Construction.

Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιήσουμε τους ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες τότε πρέπει να δημιουργήσουμε 2 δομές, μία για την αδιαφανή (dark) κατάσταση και μία για την διαφανή (light) όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Σχήμα 5.43 Αντικείμενα για την κατηγορία Construction για την περίπτωση που χρησιμοποιούμε ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουν δημιουργεί 2 υαλοπίνακες, ένας για την διαφανή κατάσταση (EC_Light Window) και ένας την αδιαφανή κατάσταση (EC_Dark Window).

Επίσης εάν χρησιμοποιήσουμε θερμοχρωμικούς υαλοπίνακες τότε πρέπει να δημιουργήσουμε την αντίστοιχη δομή. Σε αυτή την περίπτωση το θερμοχρωμικό φύλλο δηλώνεται μέσω του *Window Material Glazing Group:Thermochromic* μέσω του κατάλληλου ονόματος που είχαμε δώσει. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



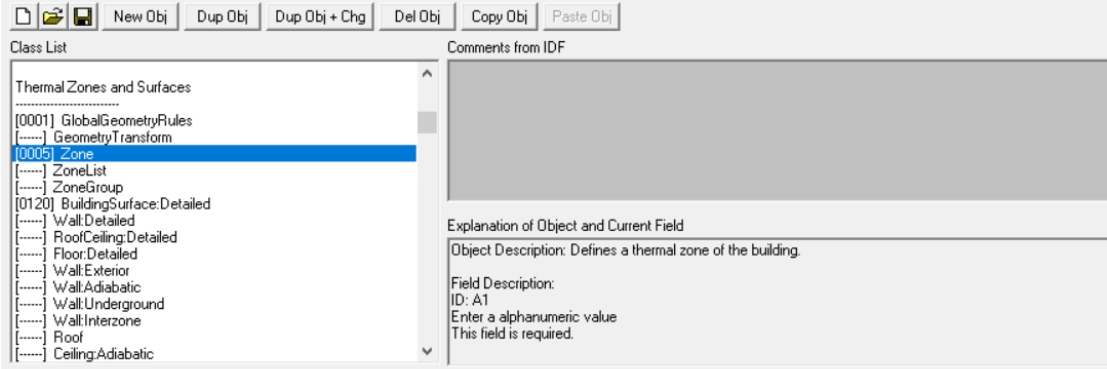
Σχήμα 5.44 Αντικείμενα για την κατηγορία Construction για την περίπτωση που χρησιμοποιούμαι θερμοχρωμικό υαλοπίνακα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουμε έναν διπλό υαλοπίνακα όπου το εξωτερικό φύλλο είναι θερμοχρωμικό πάχους 7mm έχει διάκενο αργού 12mm και εσωτερικό φύλλο 6 mm.

5.2.5 Ορισμός των θερμικών ζωνών και επιφανειών του κτηρίου

Class List: Thermal Zones and Surfaces

Zone

Σε αυτήν την κατηγορία δηλώνονται οι θερμικές ζώνες. Μέσω των Sketchup και OpenStudio οι θερμικές ζώνες έχουν ήδη διαμορφωθεί όποτε δεν αλλάζουμε κάποιο δεδομένο.



Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Thermal Zone 1-Lob	Thermal Zone 2-Re	Thermal Zone 3-Clo	Thermal Zone 4-Clo	Thermal Zone 5-Clo
Direction of Relative North	deg	0	0	0	0	0
X Origin	m	4	11	0	0	20
Y Origin	m	3,5	11,83	3,5	0	7
Z Origin	m	0	0	0	0	0
Type						
Multiplier						
Ceiling Height	m					
Volume	m3	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Floor Area	m2	208,62	38,4956138	97,8843862	140	115
Zone Inside Convection Algorithm						
Zone Outside Convection Algorithm						
Part of Total Floor Area		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Σχήμα 5.45 Αντικείμενα στην κατηγορία Zone. Δημιουργήθηκαν 5 στήλες με ονόματα Thermal Zone1-Lobby, Thermal Zone 2-Restroom, Thermal Zone 3-ClosedOffice East, Thermal Zone 4-Thermal Zone West, Thermal Zone 5 -ClosedOffice South.

Building Surface: Detailed

Εδώ γίνεται η αντιστοίχιση μεταξύ των αδιαφανών δομών (Construction) που αφορούν τοίχους, οροφές και δάπεδο με την επιφάνεια που τοποθετούνται. Μέσω των Sketchup και OpenStudio έχει γίνει ήδη και η αντιστοίχιση με την θερμική ζώνη που βρίσκονται, τον προσδιορισμό των εξωτερικών συνθηκών και την έκθεση ή μη σε αέρα περιβάλλοντος και ήλιο. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε η επιλογή *autocalculate* στο *View Factor to Ground* ώστε το πρόγραμμα να υπολογίζει αυτόματα το συντελεστή θέασης του επιπέδου του εδάφους που είναι ορατό από μία επιφάνεια που τη διαπερνά θερμότητα, κάτι που δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό της διάχυτα ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος που προσπίπτει στην συγκεκριμένη επιφάνεια. Στις παρακάτω ει-

κόνες δίνονται τα πρώτα 24 και τα τελευταία 9 από τα συνολικά 120 στοιχεία που δημιουργήθηκαν .

The screenshot shows a software interface with a 'Class List' on the left and a 'Comments from IDF' pane on the right. The 'Class List' includes 'Thermal Zones and Surfaces' and 'Building Surface: Detailed'. The 'Comments from IDF' pane shows an 'Explanation of Object and Current Field' and a 'Field Description' for 'ID: A1'. Below this is a table with 7 columns (Obj1 to Obj6) and 13 rows of properties.

Field	Un	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Surface 127	Surface 128	Surface 129	Surface 130	Surface 131	Surface 132
Surface Type		Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall
Construction Name		Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall
Zone Name		Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot
Outside Boundary Condition		Surface	Surface	Surface	Surface	Surface	Surface
Outside Boundary Condition Object		Surface 123	Surface 148	Surface 160	Surface 165	Surface 174	Surface 177
Sun Exposure		NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun
Wind Exposure		NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind
View Factor to Ground		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Number of Vertices							

Σχήμα 5.46 Αντικείμενα 1 έως 6 στην κατηγορία Building Surface: Detailed.

Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14	Obj15
Surface 133	Surface 134	Surface 135	Surface 136	Surface 137	Surface 138	Surface 139	Surface 140	Surface 37
Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Roof	Floor
Ext Wall	Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Roof	Floor
Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot
Outdoors	Surface	Surface	Surface	Surface	Surface	Surface	Outdoors	Ground
	Surface 170	Surface 156	Surface 144	Surface 111	Surface 103	Surface 97		
SunExposed	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	SunExposed	NoSun
WindExposed	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	WindExposed	NoWind
autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate

Σχήμα 5.47 Αντικείμενα 7 έως 15 στην κατηγορία Building Surface: Detailed.

Obj16	Obj17	Obj18	Obj19	Obj20	Obj21	Obj22	Obj23	Obj24
Surface 38	Surface 39	Surface 40	Surface 41	Surface 42	Surface 43	Surface 44	Surface 45	Surface 46
Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall
Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Ext Wall	Interior Wall	Interior Wall
Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 1-Lot
Surface	Surface	Surface	Surface	Surface	Surface	Outdoors	Surface	Surface
Surface 34	Surface 59	Surface 71	Surface 76	Surface 85	Surface 88		Surface 81	Surface 67
NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	SunExposed	NoSun	NoSun
NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	WindExposed	NoWind	NoWind
autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate

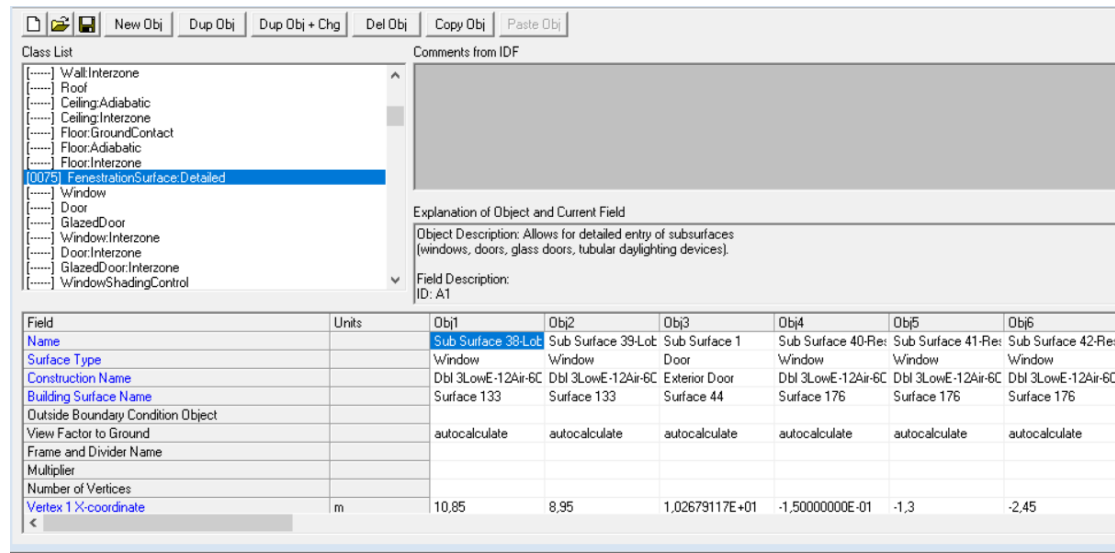
Σχήμα 5.48 Αντικείμενα 16 έως 24 στην κατηγορία Building Surface: Detailed.

Obj112	Obj113	Obj114	Obj115	Obj116	Obj117	Obj118	Obj119	Obj120
Surface 54	Surface 55	Surface 64	Surface 65	Surface 67	Surface 78	Surface 79	Surface 81	Surface 82
Wall	Wall	Floor	Wall	Wall	Floor	Wall	Wall	Wall
Interior Wall	Interior Wall	Floor	Ext Wall	Interior Wall	Floor	Ext Wall	Interior Wall	Ext Wall
Thermal Zone 5-Clo	Thermal Zone 5-Clo	Thermal Zone 5-Clo	Thermal Zone 5-Clo	Thermal Zone 5-Clo	Thermal Zone 5-Clo	Thermal Zone 5-Clo	Thermal Zone 5-Clo	Thermal Zone 5-Clo
Surface	Surface	Ground	Outdoors	Surface	Ground	Outdoors	Surface	Outdoors
Surface 27	Surface 47			Surface 46			Surface 45	
NoSun	NoSun	NoSun	SunExposed	NoSun	NoSun	SunExposed	NoSun	SunExposed
NoWind	NoWind	NoWind	WindExposed	NoWind	NoWind	WindExposed	NoWind	WindExposed
autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate

Σχήμα 5.49 Αντικείμενα 112 έως 120 στην κατηγορία **Building Surface: Detailed**.

Fenestration Surface: Detailed

Η αντιστοίχιση των παραθύρων και των πορτών γίνεται σε αυτήν τη κατηγορία. Όπως και στην περίπτωση *Building Surface: Detailed* τα περισσότερα δεδομένα έχουν δοθεί από τις εντολές του OpenStudio ενώ χρησιμοποιήθηκε και εδώ η επιλογή *autocalculate* στο *View Factor to Ground*.



Σχήμα 5.50 Πρώτα 6 αντικείμενα από τα συνολικά 75 στην κατηγορία **Fenestration Surface: Detailed**.

Window Shading Control

Η συγκεκριμένη κατηγορία χρησιμοποιείται μόνο όταν γίνεται προσομοίωση με χρήση συσκευών σκίασης ή όπως στη δική μας περίπτωση όταν έχουμε ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες. Απαραίτητα στοιχεία είναι η θερμική ζώνη που ανήκει ο υαλοπίνακας και τουλάχιστον μία επιφάνεια παραθύρου (sub-surface) που είναι τοποθετημένο. Επίσης, στο *Shading Type* επιλέγουμε *Switchable Glazing* και στο *Construction With Shading Name* τοποθετούμε το *Construction* που ήδη έχουμε δημιουργήσει και αφορά τον υαλοπίνακα στην αδιαφανή κατάσταση. Στη συνέχεια, όσον αφορά το πότε θα βρίσκεται σε λειτουργία ο

ηλεκτροχρωμικός υαλοπίνακας στο *Shading Control Type* διαλέγουμε *On If High Solar On Window* έτσι ώστε η εναλλαγή φύλλων να γίνεται εφόσον το πρόγραμμα (Schedule) επιτρέπει και η ηλιακή ακτινοβολία ξεπερνά το όριο που δίνεται στο *Setpoint*. Στο *Schedule Name* επιλέγουμε το χρονοδιάγραμμα που έχουμε ήδη δημιουργήσει στο *Schedule: Compact* και το οποίο ενεργοποιεί τους υαλοπίνακες, εάν επαρκεί η ηλιακή ακτινοβολία, μόνο για τους μήνες Μάιο έως και Οκτώβρη. Στο *Daylighting Control Name Object* επιλέχθηκε ο αισθητήρας φυσικού φως για κάθε ζώνη που δημιουργείται πιο μετά. Επιπλέον, για ορισμένες θερμικές ζώνες όπου οι υαλοπίνακες ξεπερνούσαν τον αριθμό των 10 που επιτρέπει ένα object δημιουργήθηκε ένα παρόμοιο που συμπληρώνει τους υαλοπίνακες που περισσεύουν και εφόσον ανήκει στην ίδια ζώνη με το αρχικό πρέπει να έχει τον ίδιο αριθμό στο *Shading Control Sequence Number*. Παράδειγμα αποτελούν τα αντικείμενα τα obj5-obj8, τα obj4-obj7 και η τριάδα obj3 -obj6 -obj9.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		EC_SwitchControl1	EC_SwitchControl2	EC_SwitchControl3	EC_SwitchControl4
Zone Name		Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 2-Re	Thermal Zone 3-Clo	Thermal Zone 4-Clo
Shading Control Sequence Number		1	2	3	4
Shading Type		SwitchableGlazing	SwitchableGlazing	SwitchableGlazing	SwitchableGlazing
Construction with Shading Name		EC_Dark_Window	EC_Dark_Window	EC_Dark_Window	EC_Dark_Window
Shading Control Type		OnIfHighSolarOnWi	OnIfHighSolarOnWi	OnIfHighSolarOnWi	OnIfHighSolarOnWi
Schedule Name		Electrochromic Sch	Electrochromic Sch	Electrochromic Sch	Electrochromic Sch
Setpoint	W/m2, W or deg	500	500	500	500
Shading Control Is Scheduled		Yes	Yes	Yes	Yes
Glare Control Is Active		No	No	No	No
Shading Device Material Name					
Type of Slat Angle Control for Blinds		FixedSlatAngle	FixedSlatAngle	FixedSlatAngle	FixedSlatAngle
Slat Angle Schedule Name					
Setpoint 2	W/m2 or deg C				
Daylighting Control Object Name		Daylight-Lobby	Daylight-Restroom	Daylight-West	Daylight-South
Multiple Surface Control Type		Sequential	Sequential	Sequential	Sequential
Fenestration Surface 1 Name		Sub Surface 38-Lot	Sub Surface 40-Re	Sub Surface 52-CID	Sub Surface 18-CID
Fenestration Surface 2 Name		Sub Surface 39-Lot	Sub Surface 41-Re	Sub Surface 53-CID	Sub Surface 19-CID
Fenestration Surface 3 Name			Sub Surface 42-Re	Sub Surface 50-CID	Sub Surface 60-CID
Fenestration Surface 4 Name			Sub Surface 43-Re	Sub Surface 51-CID	Sub Surface 61-CID
Fenestration Surface 5 Name			Sub Surface 44-Re	Sub Surface 47-CID	Sub Surface 62-CID
Fenestration Surface 6 Name			Sub Surface 33-Re	Sub Surface 48-CID	Sub Surface 63-CID
Fenestration Surface 7 Name			Sub Surface 34-Re	Sub Surface 49-CID	Sub Surface 64-CID
Fenestration Surface 8 Name			Sub Surface 35-Re	Sub Surface 24-CID	Sub Surface 65-CID
Fenestration Surface 9 Name			Sub Surface 36-Re	Sub Surface 25-CID	Sub Surface 16-CID
Fenestration Surface 10 Name			Sub Surface 37-Re	Sub Surface 26-CID	Sub Surface 17-CID

Σχήμα 5.51 Αντικείμενα 1 έως 4 στην κατηγορία Window Shading Control. Χρησιμοποιείται μόνο όταν έχουμε ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες.

Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
EC_SwitchControl5	EC_SwitchControl6	EC_SwitchControl7	EC_SwitchControl8	EC_SwitchControl9
ThermalZone 5-Clo	ThermalZone 3-Clo	ThermalZone 4-Clo	ThermalZone 5-Clo	ThermalZone 3-Clo
5	3	4	5	3
SwitchableGlazing	SwitchableGlazing	SwitchableGlazing	SwitchableGlazing	SwitchableGlazing
EC_Dark Window	EC_Dark Window	EC_Dark Window	EC_Dark Window	EC_Dark Window
OnlHighSolarOnWi	OnlHighSolarOnWi	OnlHighSolarOnWi	OnlHighSolarOnWi	OnlHighSolarOnWi
Electrochromic Sch	Electrochromic Sch	Electrochromic Sch	Electrochromic Sch	Electrochromic Sch
500	500	500	500	500
Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
No	No	No	No	No
FixedSlatAngle	FixedSlatAngle	FixedSlatAngle	FixedSlatAngle	FixedSlatAngle
Daylight-East	Daylight-West	Daylight-South	Daylight-East	Daylight-West
Sequential	Sequential	Sequential	Sequential	Sequential
Sub Surface 66-CID	Sub Surface 27-CID	Sub Surface 14-CID	Sub Surface 8-CIDff	Sub Surface 55-CID
Sub Surface 67-CID	Sub Surface 28-CID	Sub Surface 15-CID	Sub Surface 9-CIDff	Sub Surface 54-CID
Sub Surface 10-CID	Sub Surface 29-CID	Sub Surface 12-CID	Sub Surface 6-CIDff	
Sub Surface 11-CID	Sub Surface 30-CID	Sub Surface 13-CID	Sub Surface 7-CIDff	
Sub Surface 68-CID	Sub Surface 22-CID	Sub Surface 20-CID	Sub Surface 4-CIDff	
Sub Surface 69-CID	Sub Surface 23-CID	Sub Surface 21-CID	Sub Surface 5-CIDff	
Sub Surface 70-CID	Sub Surface 45-CID	Sub Surface 56-CID	Sub Surface 2-CIDff	
Sub Surface 71-CID	Sub Surface 46-CID	Sub Surface 57-CID	Sub Surface 3-CIDff	
Sub Surface 72-CID	Sub Surface 31-CID	Sub Surface 58-CID	Sub Surface 74-CID	
Sub Surface 73-CID	Sub Surface 32-CID	Sub Surface 59-CID	Sub Surface 75-CID	

Σχήμα 5.52 Αντικείμενα 5 έως 9 στην κατηγορία Window Shading Control.

5.2.6 Φορτία εσωτερικού χώρου

Class List: Internal Gain

People

Τα φορτία που παράγονται στο χώρο λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας μοντελοποιούνται σε αυτή την κατηγορία. Σε κάθε θερμική ζώνη επιλέχθηκε ένα αντικείμενο και στο *Number of People Schedule Name* επιλέχθηκε το πρόγραμμα πληρότητας που έχει δημιουργηθεί στο *Schedule :Compact* ενώ στο *Activity Level Schedule Name* επιλέχθηκε το αντίστοιχο πρόγραμμα για την δραστηριότητα.

Κάθε άτομο εκλύει αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα. Η λανθάνουσα οφείλεται κυρίως στην αναπνοή. Η αισθητή όμως οφείλεται στην ακτινοβολία που εκπέμπει και σε αυτήν που μεταφέρεται από το σώμα του στον αέρα λόγω συναγωγής. Στο *Fraction Radiant* δηλώνουμε τι ποσοστό από την θερμότητα που προσφέρει το άτομο στον χώρο οφείλεται στην ακτινοβολία που εκπέμπει και όλο το υπόλοιπο ποσοστό θεωρείται ότι οφείλεται στην συναγωγή. Επιλέχθηκε η προεπιλογή του 0.3 ως ποσοστό για την ακτινοβολία.

Επίσης ορίστηκε να υπολογίζεται αυτόματα (*autocalculate* που είναι και η *default* επιλογή) το ποσοστό της αισθητής θερμότητας, κατά επέκταση και της λανθάνουσας, για το συνολικό θερμικό κέρδος που οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα μέσω του *Sensible Heat Fraction*.

Η συνολική θερμότητα υπολογίζεται σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017. Πιο συγκεκριμένα, διαλέγοντας *People/Area* στο *Number of People Schedule Name* στην συνέχεια πρέπει να συμπληρώσουμε τον αριθμό των ατόμων ανά τετραγωνικό μέτρο. Έχοντας, ως δεδομένα τα στοιχεία από τις οδηγίες του επιμελητηρίου για Lobby και Restroom ο αριθμός είναι πολύ μικρός οπότε κρίνεται αμελητέος ενώ για τα γραφεία αρκεί να διαιρέσουμε την θερμική ισχύ ανά μονάδα δομημένης επιφάνειας με την θερμική ισχύ ανά άτομο και έχουμε:

$$\frac{8 \frac{W}{m^2}}{80 \frac{W}{\text{άτομο}}} = 0,1 \frac{\text{άτομο}}{m^2}$$

Πίνακας 5.1 Εκλυόμενη θερμότητα χρηστών ανά χρήση του κτηρίου σύμφωνα με το πρότυπο E-LOT EN ISO 13790:2009 (Επανασχεδιασμός από [15]) .

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμική ισχύς ανά άτομο [W/άτομο]	Θερμική ισχύς ανά μονάδα δομημένης επιφάνειας [W/m ²]	Μέσος συντελεστής παρουσίας
Κουρείο, κομμωτήριο	90	14	0,43
Γραφείο	80	8	0,30
Βιβλιοθήκη	75	17	0,18

The screenshot shows the configuration for the 'People' object. The 'Field List' table is as follows:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Office - Lobby - CZ1	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - Office
Zone or ZoneList Name		Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 2-Fre	Thermal Zone 3-Clo	Thermal Zone 4-Clo	Thermal Zone 5-Clo
Number of People Schedule Name		Office Bldg Occupa	Restroom Occupan	Office Bldg Occupa	Office Bldg Occupa	Office Bldg Occupa
Number of People Calculation Method		People/Area	People/Area	People/Area	People/Area	People/Area
Number of People						
People per Zone Floor Area	person/m2	0	0	0,1	0,1	0,1
Zone Floor Area per Person	m2/person					
Fraction Radiant		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Office Activity	Office Activity	Office Activity	Office Activity	Office Activity
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s*W					
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings						
Mean Radiant Temperature Calculation Type						
Surface Name/Angle Factor List Name						
Work Efficiency Schedule Name						
Clothing Insulation Calculation Method						
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name						
Clothing Insulation Schedule Name						
Air Velocity Schedule Name						
Thermal Comfort Model 1 Type						
Thermal Comfort Model 2 Type						
Thermal Comfort Model 3 Type						
Thermal Comfort Model 4 Type						
Thermal Comfort Model 5 Type						

Σχήμα 5.53 Αντικείμενα στην κατηγορία People.

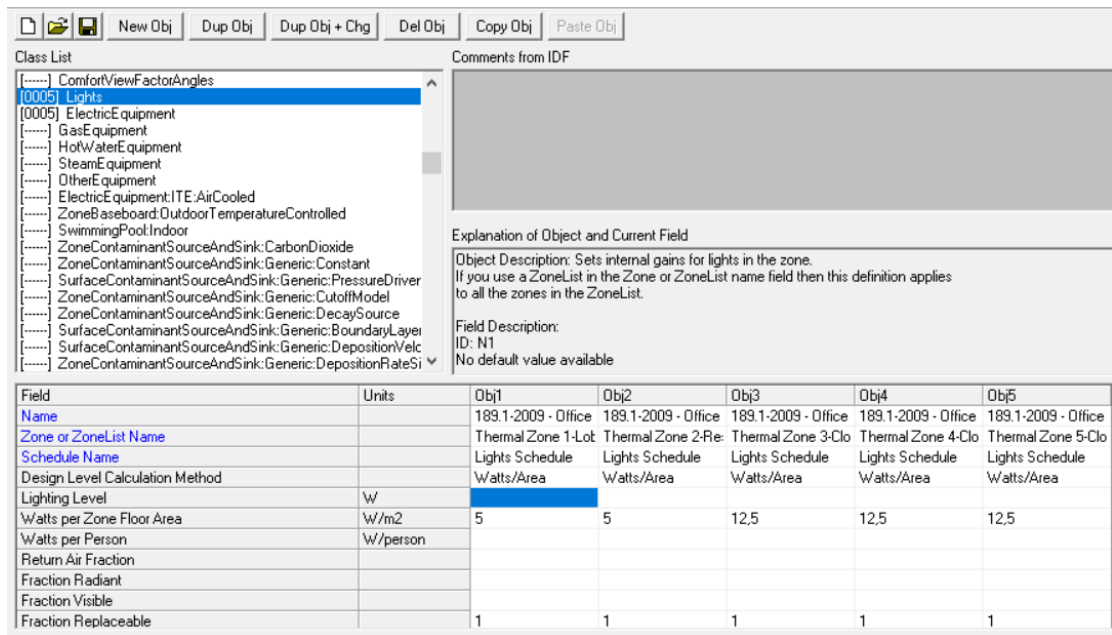
Lights

Επίσης, σημαντικό σε κάθε εγκατάσταση είναι τα φορτία λόγω τεχνητού φωτισμού. Το χρονοδιάγραμμα έχει ήδη δημιουργηθεί στο Schedule: Compact. Και εδώ χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνικές οδηγίες του επιμελητηρίου Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 θεωρώντας ότι χρησιμοποιούμε φώτα LED με πυκνότητα φωτισμού $2,5 \frac{W}{m^2 100 lux}$.

- Για γραφείο έχουμε 500 lux άρα: $2,5 \left[\frac{W}{m^2 100 lux} \right] x 500 [lux] = 12,50 \frac{W}{m^2}$.
- Για Lobby έχουμε 200 lux άρα: $2,5 \left[\frac{W}{m^2 100 lux} \right] x 200 [lux] = 5 \frac{W}{m^2}$.
- Για Restroom έχουμε 200 lux άρα: $2,5 \left[\frac{W}{m^2 100 lux} \right] x 200 [lux] = 5 \frac{W}{m^2}$.

Πίνακας 5.1.Στάθμη γενικού (όχι ειδικού) φωτισμού κτηρίου αναφοράς ανά χρήση κτηρίου σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 12464-1 2011 (Επανασχεδιασμός από [15]).

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Στάθμη φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης UGR	Ομοιομορφία φωτισμού Uo (min/μέση τιμή)
Αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο	500	0,8	19	0,6
Ψυχιατρείο, ίδρυμα απόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομεία	300	0,8	19	0,6
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	300	0,8	22	0,4
Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	300	0,8	22	0,4
Αστυνομική διεύθυνση	500	0,8	19	0,6
Εμπορικό κέντρο, αγορά και υπεραγορά	300	0,8	22	0,4
Κατάστημα, φαρμακείο,	500	0,8	19	0,6
Ινστιτούτο γυμναστικής	400	0,8	22	0,6
Κουρείο, κομμωτήριο	400	0,8	19	0,6
Γραφείο	500	0,8	19	0,6
Βιβλιοθήκη	500	0,8	19	0,6
Λουτρό (κοινόχρηστο)	200	0,8	25	0,4
Νηπιαγωγείο	300	0,8	19	0,6
Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης	300	0,8	19	0,6
Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας	500	0,8	19	0,6
Φροντιστήριο, ωδείο	500	0,8	19	0,6
Νοσοκομείο, κλινική	300	0,8	19	0,6
Αίθουσα ασθενών (δωμάτιο)	100	0,8	19	0,4
Χειρουργείο (τακτικό)	1000	0,8	19	0,6
Εξωτερικών ιατρείων	500	0,8	19	0,6
Αίθουσες αναμονής	200	0,8	22	0,4



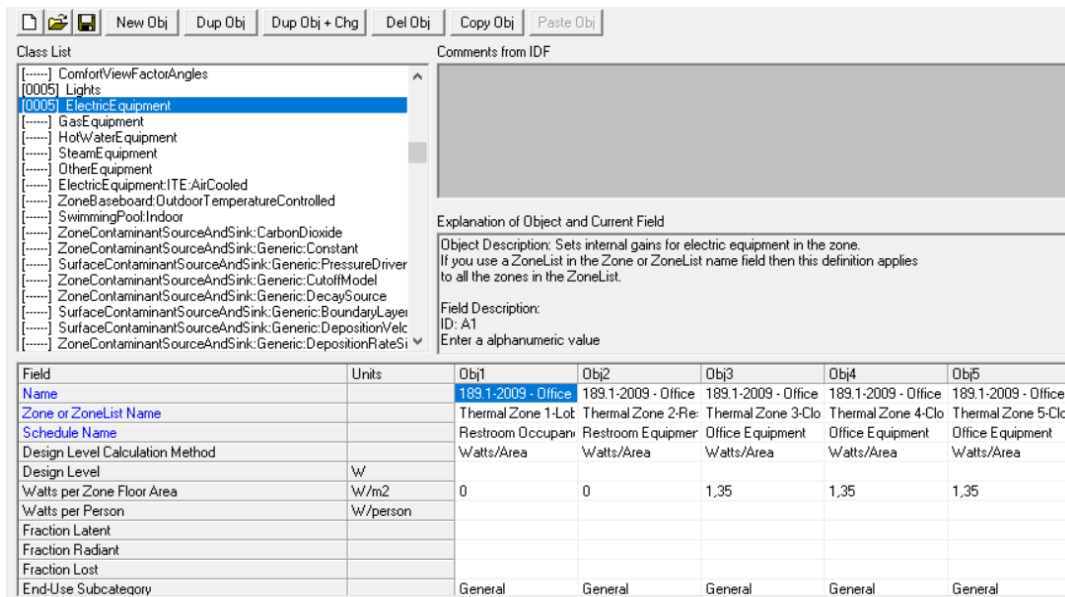
Σχήμα 5.54 Αντικείμενα στην κατηγορία Lights.

Electric Equipment

Όσον αφορά τα φορτία λόγω ηλεκτρικού εξοπλισμού θα χρειαστεί να υπολογίσουμε την ισχύ ανά τετραγωνικό μέτρο μέσω της συνολικής ισχύς, του μέσου συντελεστή ετεροχρονισμού και το μέσο συντελεστή λειτουργίας. Από το Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 για τον προθάλαμο και το λουτρό οι τιμές είναι αμελητέες ενώ για τα γραφεία έχουμε : $15 \left[\frac{W}{m^2} \right] \times 0,3 \times 0,3 = 1,35 \left[\frac{W}{m^2} \right]$.

Πίνακας 5.2.Εκτιμώμενη θερμική ισχύς ηλεκτρικών συσκευών/εξοπλισμού ανά χρήση κτηρίου για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 (Επινασχεδιασμός από [15]).

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Ισχύς εξοπλισμού [W/m ²]	Μέσος συντελεστής ετερ/σμού	Ετεροχρον. ισχύς εξοπλ. [W/m ²]	Μέσος συντελεστής λειτουργίας
Αίθουσες αναμονής	0	0	0	0,24
Αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο	15	0,5	7,5	0,36
Ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομεία	10	0,5	5	1,00
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	15	0,3	4,5	0,22
Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	4	0,2	0,8	1,00
Αστυνομική διεύθυνση	15	0,2	3	1,00
Εμπορικό κέντρο, αγορά και υπεραγορά	10	0,25	2,5	0,43
Κατάστημα, φαρμακείο,	10	0,2	2	0,32
Ινστιτούτο γυμναστικής	20	0,3	6	0,43
Κουρείο, κομμωτήριο	20	0,3	6	0,43
Γραφείο	15	0,3	4,5	0,30
Βιβλιοθήκη	2	0,25	0,5	0,18



Σχήμα 5.55 Αντικείμενα στην κατηγορία Electric Equipment.

5.2.7 Έλεγχος ηλιακού φως στον εσωτερικό χώρο

Class List: Daylighting

Daylight Controls

Όταν χρησιμοποιείται αυτό το αντικείμενο τότε υπολογίζεται η ένταση του φυσικού φωτισμού με αποτέλεσμα την καλύτερη στάθμιση του τεχνητού φωτισμού. Η ένταση του φυσικού φωτισμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως τις καιρικές συνθήκες, την θέση του ήλιου, το σημείο υπολογισμού, την τοποθεσία, το μέγεθος, την διαπερατότητα των υαλοπινάκων, τις συσκευές σκίασης και την ανακλαστικότητα των εσωτερικών επιφανειών. Το EnergyPlus έχει 2 μεθόδους για τον υπολογισμό του φυσικού φωτισμού, την SplitFlux και την Delight. Οι 2 μέθοδοι είναι σχεδόν παρόμοιες αλλά επιλέξαμε την SplitFlux καθώς προτείνεται από το EnergyPlus για δυναμικούς υαλοπίνακες που λειτουργούν με Shading Control όπως οι ηλεκτροχρωμικοί. Δημιουργήθηκαν 5 αντικείμενα *Daylighting Controls*, ένα για κάθε ζώνη, όπου κάθε αντικείμενο απαιτεί τον ορισμό των συντεταγμένων των σημείων αναφοράς που γίνονται οι μετρήσεις φυσικού φωτός και δηλώνονται πιο αναλυτικά μετέπειτα στο *Daylighting Reference Point*.

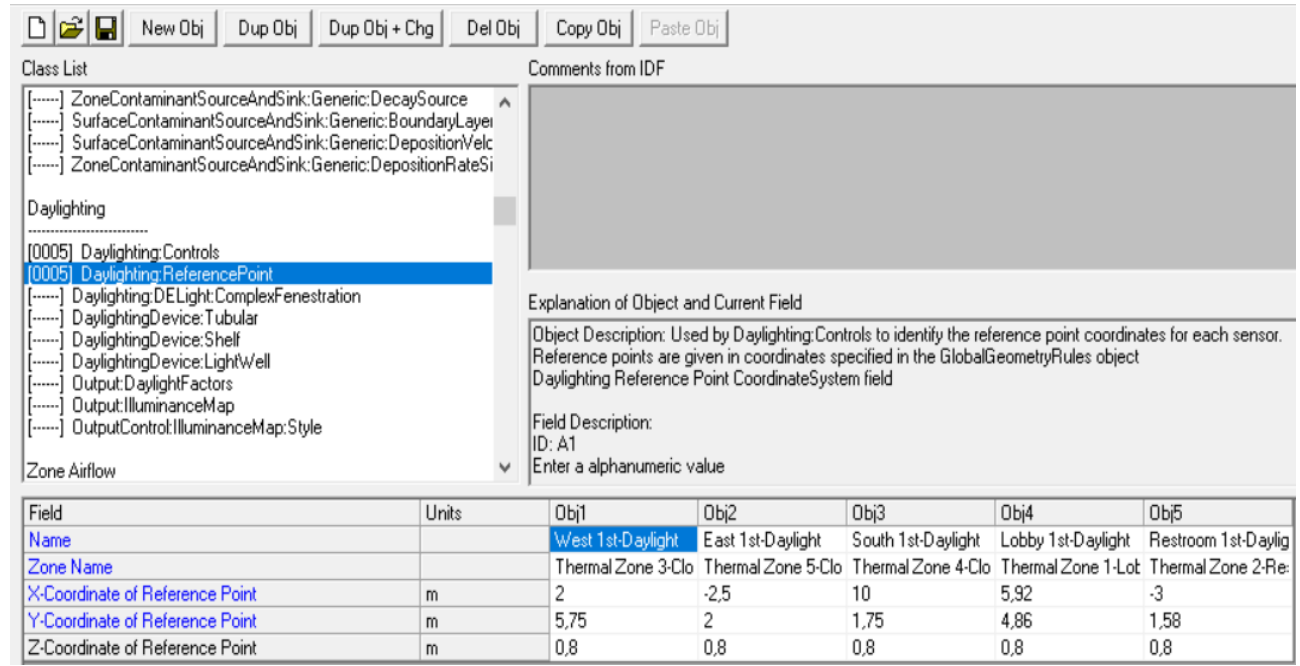
The screenshot shows a software interface for configuring 'Daylighting Controls'. The 'Class List' on the left includes various lighting and airflow objects, with 'Daylighting:Controls' selected. The 'Explanation of Object and Current Field' section provides details about the object's function (dimming of overhead electric lighting) and the field's requirements (alphanumeric ID, required field). Below this is a table with 7 columns: Field, Units, Obj1, Obj2, Obj3, Obj4, and Obj5. The table lists various parameters such as Name, Zone Name, Daylighting Method, Availability Schedule Name, Lighting Control Type, and Reference Point Names, with specific values for each of the five zones.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Daylight-Lobby	Daylight-Restroom	Daylight-West	Daylight-South	Daylight-East
Zone Name		Thermal Zone 1-Lot	Thermal Zone 2-Re	Thermal Zone 3-Clo	Thermal Zone 4-Clo	Thermal Zone 5-Clo
Daylighting Method		SplitFlux	SplitFlux	SplitFlux	SplitFlux	SplitFlux
Availability Schedule Name						
Lighting Control Type		Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Minimum Input Power Fraction for Continuous or Contini		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Minimum Light Output Fraction for Continuous or Contini		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Number of Stepped Control Steps		1	1	1	1	1
Probability Lighting will be Reset When Needed in Man		1	1	1	1	1
Glare Calculation Daylighting Reference Point Name						
Glare Calculation Azimuth Angle of View Direction Clock	deg					
Maximum Allowable Discomfort Glare Index		22	22	22	22	22
DElight Gridding Resolution	m2					
Daylighting Reference Point 1 Name		Lobby 1st-Daylight	Restroom 1st-Daylig	West 1st-Daylight	South 1st-Daylight	East 1st-Daylight
Fraction of Zone Controlled by Reference Point 1		1	1	1	1	1
Illuminance Setpoint at Reference Point 1	lux	500	500	500	500	500
Daylighting Reference Point 2 Name						

Σχήμα 5.56 Αντικείμενα στην κατηγορία Daylighting Controls.

Daylight Reference Points

Σε αυτήν την κατηγορία δηλώνονται οι συντεταγμένες κάθε αισθητήρα που χρησιμοποιείται στο *Daylighting: Controls* και μετράνε το φυσικό φως. Οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν στο κέντρο κάθε θερμικής ζώνης και σε ύψος 0,8m από το έδαφος που είναι μία τυπική τιμή. Αυτό σημαίνει ότι αισθητήρα έχει μόνο ο πρώτος όροφος κάθε ζώνης αλλά μετά από προσομοιώσεις που έγιναν χρησιμοποιώντας και στον δεύτερο όροφο τα αποτελέσματα δεν μεταβάλλονται οπότε προτιμήθηκε να χρησιμοποιήσουμε από έναν αισθητήρα ανά ζώνη μειώνοντας έτσι την υπολογιστική ισχύ που χρειαζόμαστε για την ανάλυση.



Σχήμα 5.57 Αντικείμενα στην κατηγορία Daylighting Reference Point.

5.2.8 Έλεγχος αερισμού στον εσωτερικό χώρο

Class List: Zone Airflow

Zone Ventilation: Design Flow Rate

Όσον αφορά τα φορτία ανανέωσης αέρα και τις απαιτήσεις σε αερισμό η τεχνική οδηγία για γραφείο, λουτρό και προθάλαμο δίνεται στην επόμενη εικόνα. Για κάθε γραφείο και προθάλαμο γίνεται φυσικός αερισμός μέσω της επιλογής *Natural* στο *Ventilation Type* ενώ στα λουτρά έχουμε διαλέξει να έχουμε εξαναγκασμένο αερισμό μέσω της επιλογής *Balanced*. Η συγκεκριμένη επιλογή δηλώνει ότι θα έχουμε ανεμιστήρα και στην είσοδο και στην έξοδο των αγωγών. Για κάθε τύπο χώρου από το Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 δίνεται ο απαιτούμενος νωπός αέρας σε $m^3/h/m^2$ οπότε αν διαιρέσουμε με $\frac{1}{3600} [\frac{h}{s}]$ έχουμε την παροχή σε $\frac{m^3}{s*m^2}$ που ζητείται στο EnergyPlus έχοντας στην κατηγορία *Design Flow Rate Calculation Method* την επιλογή *Flow/Area*. Έτσι έχουμε :

- Για γραφείο έχουμε $3 \frac{m^3}{h*m^2}$ άρα : $3 [\frac{m^3}{h*m^2}] \times \frac{1}{3600} [\frac{h}{s}] = 0,000833 \frac{m^3}{s*m^2}$.
- Για lobby έχουμε $2,6 \frac{m^3}{h*m^2}$ άρα : $2,6 [\frac{m^3}{h*m^2}] \times \frac{1}{3600} [\frac{h}{s}] = 0,000722 \frac{m^3}{s*m^2}$.
- Για restroom έχουμε $6 \frac{m^3}{h*m^2}$ άρα : $6 [\frac{m^3}{h*m^2}] \times \frac{1}{3600} [\frac{h}{s}] = 0,001666 \frac{m^3}{s*m^2}$.

Επιπλέον, έχει δηλωθεί ότι ο αερισμός θα σταματά όταν η εσωτερική θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 18 °C ή όταν ξεπεράσει τους 26 °C επειδή κοντά

σε αυτές τις θερμοκρασίες αρχίζει και λειτουργεί το σύστημα HVAC. Επίσης, υπάρχουν όρια και στην εξωτερική θερμοκρασία όπου δεν πρέπει να είναι κάτω από τους 14 °C ή υψηλότερα από τους 32 °C.

Πίνακας 5.3.Απαιτούμενος νωπός αέρας ανά χρήση κτηρίου (για χώρους μη καπνιζόντων) για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου σύμφωνα με το ο ΕΛΟΤ EN 15251:2007 (Επανασχεδιασμός από [15]).

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Άτομα / 100 m ² επιφ. δαπέδου	Νωπός αέρας [m ³ /h/άτομο]	Νωπός αέρας [m ³ /h/m ²]
Αίθουσες αναμονής	55	45	24,75
Αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο	15	50	7,50
Ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομεία*	15	25	3,75
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	25	45	11,25
Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	20	22	4,40
Αστυνομική διεύθυνση	10	30	3,00
Εμπορικό κέντρο, αγορά και υπεραγορά	30	22	6,60
Κατάστημα, φαρμακείο,	14	22	3,08
Ινστιτούτο γυμναστικής,	15	45	6,75
Κουρείο, κομμωτήριο	15	30	4,50
Γραφείο	10	30	3,00
Βιβλιοθήκη	22	30	6,60
Διάδρομοι και άλλοι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι	--	--	2,6
Λουτρό (κοινόχρηστο)	--	--	6,00

Class List

- [0005] DaylightingReferencePoint
- [.....] DaylightingDeviceComplexFenestration
- [.....] DaylightingDeviceTubular
- [.....] DaylightingDeviceShell
- [.....] DaylightingDeviceLightWell
- [.....] OutputDaylightFactors
- [.....] OutputIlluminanceMap
- [.....] OutputControlIlluminanceMapStyle

Zone Airflow

- [.....] ZoneInfiltrationDesignFlowRate
- [.....] ZoneInfiltrationEffectiveLeakageArea
- [.....] ZoneInfiltrationFlowCoefficient
- [0005] ZoneVentilationDesignFlowRate
- [.....] ZoneVentilationWindandStackOpenArea
- [.....] ZoneBalanceOutdoorAir
- [.....] ZoneMixing

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Ventilation is specified as a design level which is modified by a schedule fraction, temperature and wind speed. The formula is: $V_{design} * F_{schedule} * (A + B * |T_{zone} - T_{out}|) + C * WindSpd + D * WindSpd^2$

If you use a ZoneList in the Zone or ZoneList name field then this definition applies to all the zones in the ZoneList.

Field Description:
ID: A1

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		ClosedOffice East V	ClosedOffice East V	Restroom Ventilation	ClosedOffice West V	ClosedOffice South
Zone or ZoneList Name		Thermal Zone 1 Lot	Thermal Zone 5 Clo	Thermal Zone 2 Re	Thermal Zone 3 Clo	Thermal Zone 4 Clo
Schedule Name		Ventilation Schedule	Ventilation Schedule	Ventilation Schedule	Ventilation Schedule	Ventilation Schedule
Design Flow Rate Calculation Method		Flow/Area	Flow/Area	Flow/Area	Flow/Area	Flow/Area
Design Flow Rate	m3/s					
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2	0.000722	0.000833	0.00166	0.000833	0.000833
Flow Rate per Person	m3/s-person					
Air Changes per Hour	1/hr					
Ventilation Type		Natural	Natural	Balanced	Natural	Natural
Fan Pressure Rise	Pa			1000		
Fan Total Efficiency				0.7		
Constant Term Coefficient		1	1	1	1	1
Temperature Term Coefficient						
Velocity Term Coefficient						
Velocity Squared Term Coefficient						
Minimum Indoor Temperature	C	18	18	18	18	18
Minimum Indoor Temperature Schedule Name						
Maximum Indoor Temperature	C	26	26	26	26	26
Maximum Indoor Temperature Schedule Name						
Delta Temperature	deltaC	-100	-100	-100	-100	-100
Delta Temperature Schedule Name						
Minimum Outdoor Temperature	C	14	14	14	14	14
Minimum Outdoor Temperature Schedule Name						
Maximum Outdoor Temperature	C	32	32	32	32	32
Maximum Outdoor Temperature Schedule Name						
Maximum Wind Speed	m/s	17	17	17	17	17

Σχήμα 5.58 Αντικείμενα στην κατηγορία Zone Ventilation: Design Flow Rate.

5.2.9 Ορισμός συστήματος HVAC

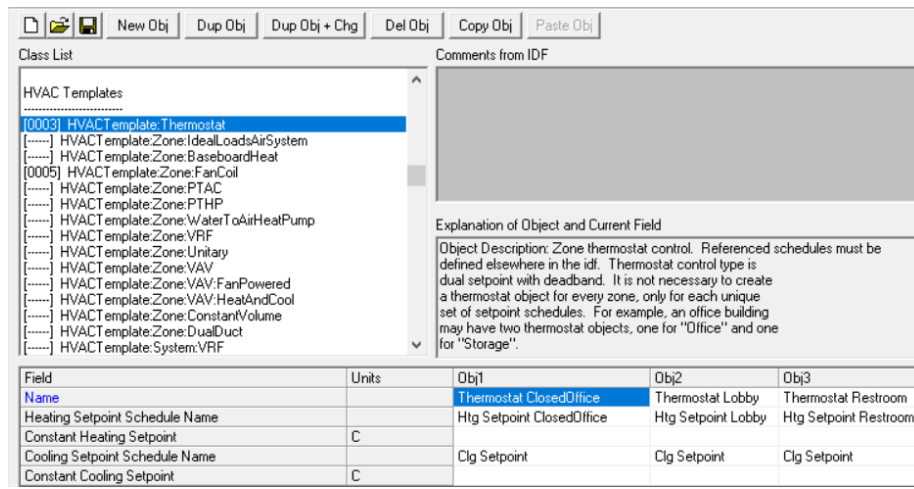
Class List: HVAC Templates

HVAC Template: Thermostat

Εδώ ορίστηκε ο θερμοστάτης σύμφωνα με τον οποίο λειτουργεί το σύστημα HVAC το οποίο δηλώνεται στην συνέχεια. Χρησιμοποιούνται, τα χρονοδιαγράμματα που έχουν δημιουργηθεί στο *Schedule: Compact* και οι θερμοκρασίες για κάθε χώρο προέρχονται από το Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017. Εφόσον και οι 3 χώροι απαιτούν την ίδια θερμοκρασία στην θερινή περίοδο (26 °C) έχουν το ίδιο πρόγραμμα ψύξης (Ctg Setpoint) ενώ το πρόγραμμα θέρμανσης αλλάζει ανάλογα με το είδος του χώρου.

Πίνακας 5.4. Καθοριζόμενες τιμές θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 15251:2007 (Επανασχεδιασμός από [15]).

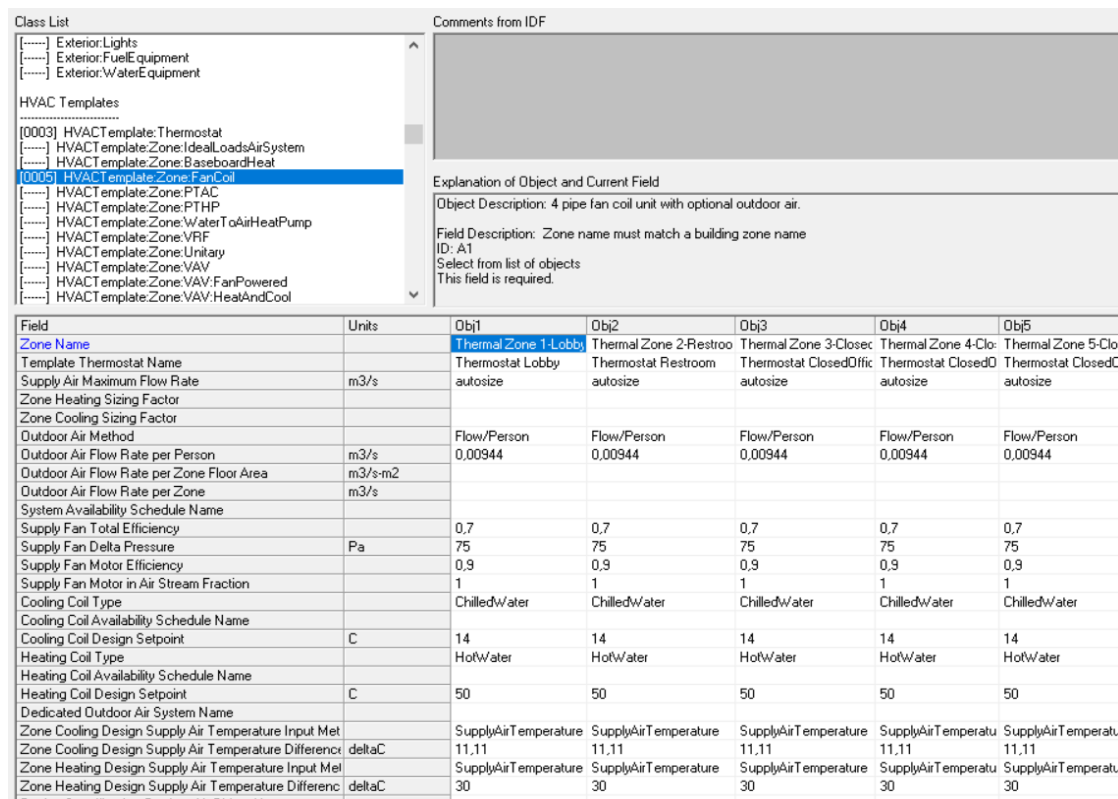
Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία [°C]		Σχετική υγρασία [%]	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Θέατρο, κινηματογράφος	20	26	35	50
Χώρος συναυλιών	20	26	35	50
Χώρος εκθέσεων, μουσείο	20	23	35	50
Χώρος συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	20	26	35	45
Τράπεζα	20	26	35	45
Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	20	26	35	50
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	18	25	35	45
Διάδρομοι και άλλοι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι	18	26	35	50
Λουτρό (κοινόχρηστο)	22	26	40	50
Κουρείο, κομμωτήριο	20	26	35	45
Γραφείο	20	26	35	45
Βιβλιοθήκη	20	26	35	50



Σχήμα 5.59 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template: Thermostat.

HVAC Template: Zone Fan Coil

Αυτό το αντικείμενο προσομοιώνει ένα τετρασωλήνιο σύστημα εξαναγκασμένης ροής (Fan) όπου συνδυάζεται με εναλλάκτη (Coil) ζεστού νερού για την θέρμανση του αέρα και έναν εναλλάκτη (Coil) κρύου νερού για την ψύξη του. Οι δύο εναλλάκτες λειτουργούν βάση των HVAC Template: Plant: Hot Water Loop και HVAC Template: Plant: Chilled Water Loop αντίστοιχα όπως θα δηλωθούν παρακάτω.



Σχήμα 5.60 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template Zone: Fan Coil.

HVAC Template Plant: Chilled Water Loop

Εδώ δηλώνεται το σύστημα σωληνώσεων για το κρύο νερό το οποίο προέρχεται από την συσκευής ψύξης (Chiller), διέρχεται από τα Fan Coils και καταλήγει στο πύργο ψύξης (Cooling Tower). Επίσης, μέσω της επιλογής *Intermittent* ορίζεται να λειτουργούν οι αντλίες μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για ψυκτικό φορτίο. Επιπλέον, δηλώνεται ότι η θερμοκρασία νερού στον συμπυκνωτή θα μειώνεται όποτε μειώνεται και η θερμοκρασία υγρού βολβού του εξωτερικού αέρα .

The screenshot shows the software interface for defining an HVAC object. The 'Class List' on the left shows the hierarchy of objects, with 'HVAC Template: Plant: Chilled Water Loop' selected. The 'Field' table below lists various parameters for this object, including pump schedules, control types, setpoints, and pump configurations.

Field	Units	Obj1
Name		ChilledWaterLoop
Pump Schedule Name		
Pump Control Type		Intermittent
Chiller Plant Operation Scheme Type		Default
Chiller Plant Equipment Operation Schemes Name		
Chilled Water Setpoint Schedule Name		
Chilled Water Design Setpoint	C	7,22
Chilled Water Pump Configuration		ConstantPrimaryNoS
Primary Chilled Water Pump Rated Head	Pa	179352
Secondary Chilled Water Pump Rated Head	Pa	179352
Condenser Plant Operation Scheme Type		Default
Condenser Equipment Operation Schemes Name		
Condenser Water Temperature Control Type		OutdoorWetBulbTei
Condenser Water Setpoint Schedule Name		
Condenser Water Design Setpoint	C	29,4
Condenser Water Pump Rated Head	Pa	179352
Chilled Water Setpoint Reset Type		OutdoorAirTemperal
Chilled Water Setpoint at Outdoor Dry-Bulb Low	C	12,2
Chilled Water Reset Outdoor Dry-Bulb Low	C	15,6
Chilled Water Setpoint at Outdoor Dry-Bulb High	C	6,7
Chilled Water Reset Outdoor Dry-Bulb High	C	26,7
Chilled Water Primary Pump Type		SinglePump
Chilled Water Secondary Pump Type		SinglePump
Condenser Water Pump Type		SinglePump
Chilled Water Supply Side Runas Pinc		Yes

Σχήμα 5.61 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template: Chilled Water Loop.

HVAC Template Plant: Chiller

Η συσκευή ψύξης (Chiller) που χρησιμοποιείται από το *HVAC Template Plant: Chilled Water Loop* δηλώνεται σε αυτή την κατηγορία. Επιλέγεται να χρησιμοποιεί ηλεκτρική φυγόκεντρη αντλία (*Electric Centrifugal Pump*) ενώ διαλέγουμε έναν τυπικό συντελεστή απόδοσης COP=3.

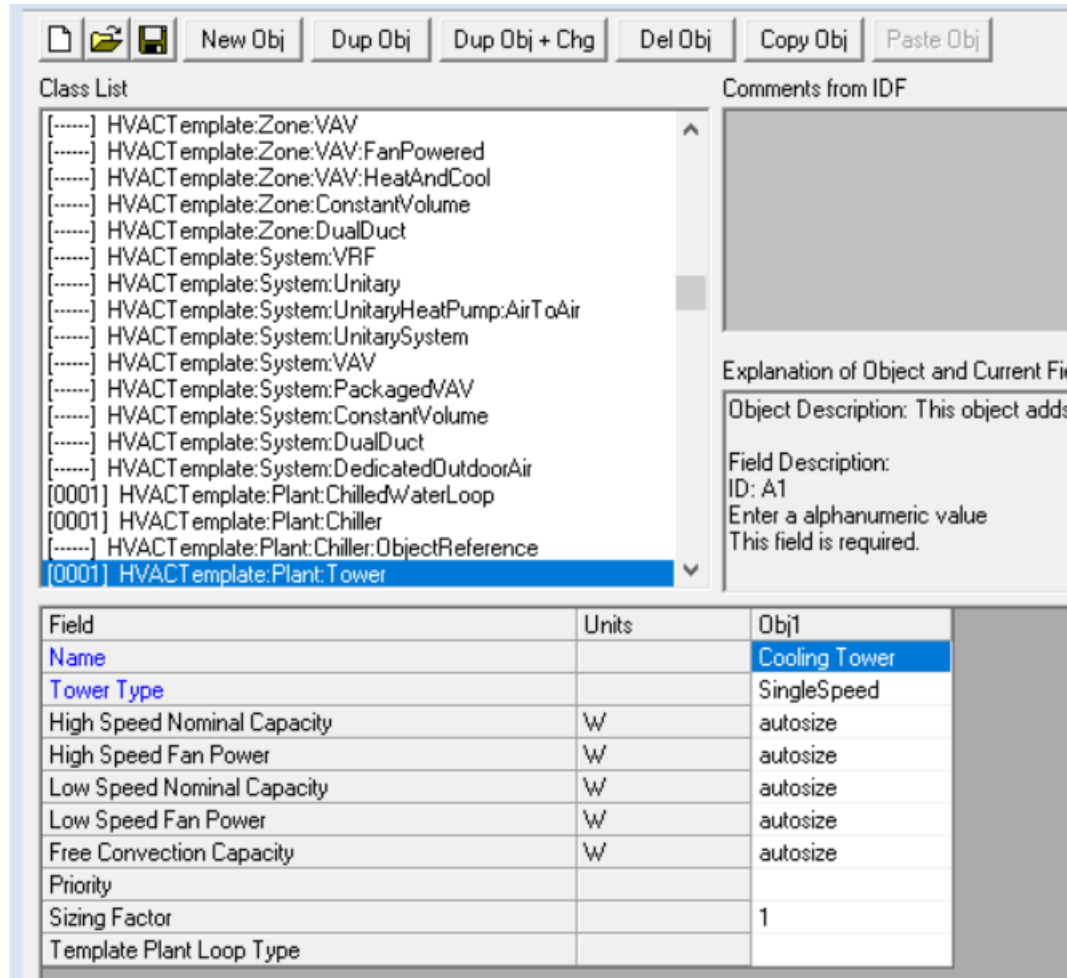
The screenshot shows the software interface for configuring an HVAC object. The 'Class List' on the left includes various HVAC templates, with 'HVAC template: Plant: Chiller' selected. The 'Field' table at the bottom lists the following parameters and values:

Field	Units	Obj1
Name		Chiller
Chiller Type		ElectricCentrifugalCI
Capacity	W	autosize
Nominal COP	W/W	3
Condenser Type		WaterCooled
Priority		
Sizing Factor		1
Minimum Part Load Ratio		
Maximum Part Load Ratio		1
Optimum Part Load Ratio		1
Minimum Unloading Ratio		0,25
Leaving Chilled Water Lower Temperature Limit	C	5

Σχήμα 5.62 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template Plant: Chiller.

HVAC Template Plant: Tower

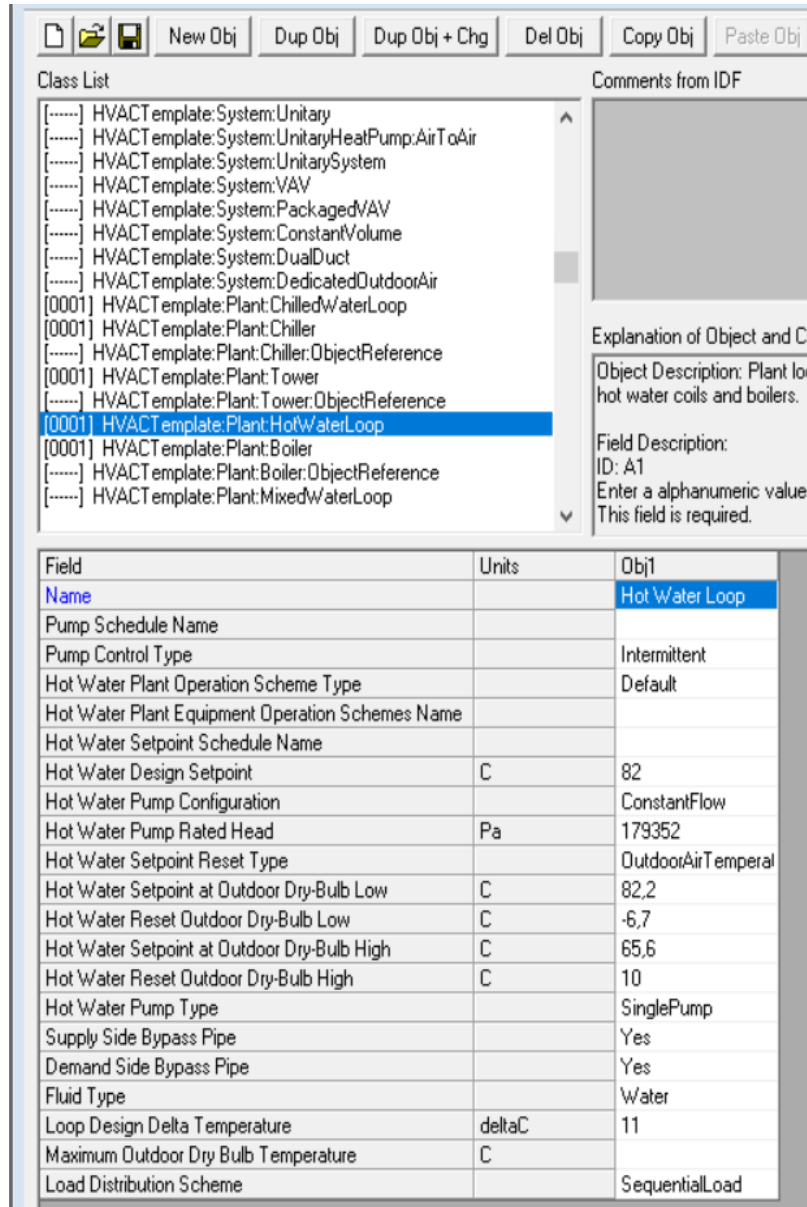
Στην συνέχεια ορίζεται το τελευταίο κομμάτι της ψύξης που είναι ο πύργος ψύξης (Cooling Tower) ο οποίος ορίστηκε να λειτουργεί σε μία συγκεκριμένη ταχύτητα ενώ όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της αντλία του ορίστηκε η επιλογή *autosize*.



Σχήμα 5.63 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template Plant : Tower.

HVAC Template Plant: Hot Water Loop

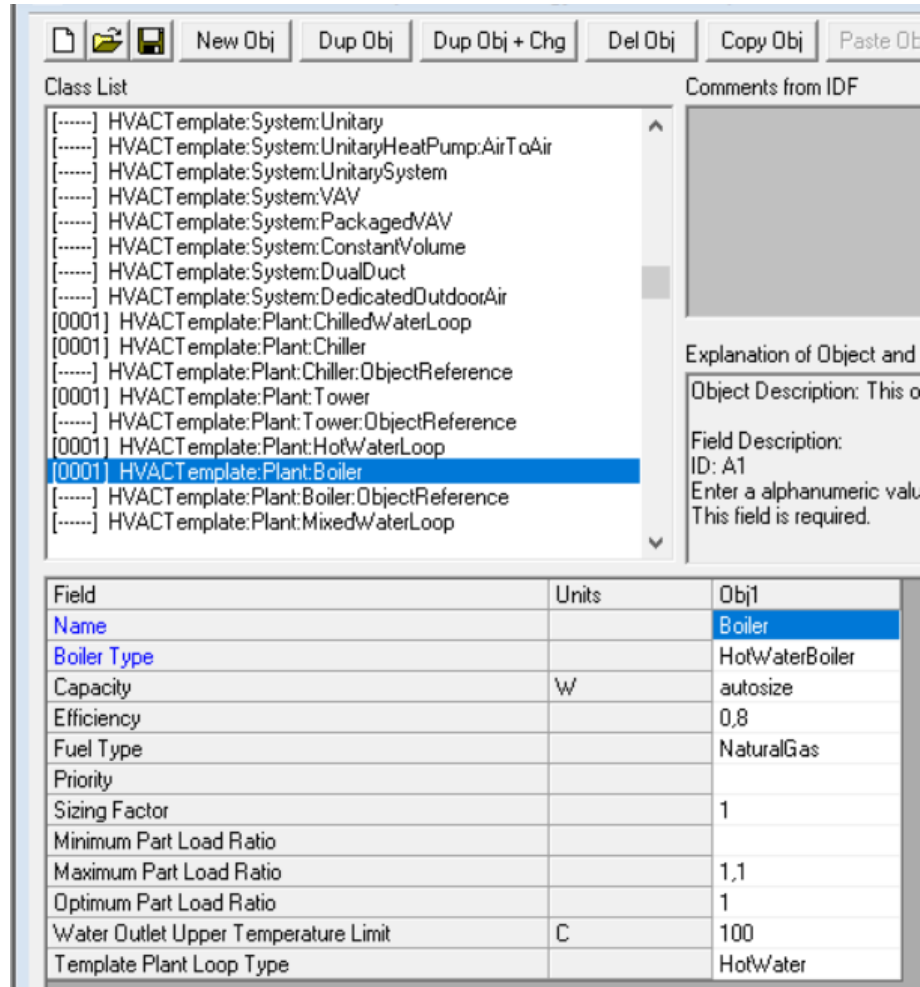
Εδώ ορίζεται το σύστημα σωληνώσεων με τελικό σκοπό την θέρμανση του αέρα. Όπως προαναφέρθηκε ο εναλλάκτης θέρμανσης είναι αέρας-νερού όπου το ζεστό νερό προέρχεται από ένα boiler το οποίο ορίζεται παρακάτω. Υπάρχουν διάφορες επιλογές οι οποίες διαμορφώνουν κυρίως τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των αντλιών και του εργαζόμενου μέσου.



Σχήμα 5.64 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template Plant: How Water Loop.

HVAC Template Plant: Boiler

Εδώ δηλώνεται το δοχείο αποθήκευσης και θέρμανσης του νερού που χρησιμοποιείται από το *HVAC Template Plant: Hot Water Loop*. Υποχρεωτικός είναι ο ορισμός του τύπου του δοχείου στο *Boiler Type* όπου επιλέχθηκε να περιέχει ζεστό νερό (*Hot Water Boiler*). Επίσης, έγινε επιλογή να χρησιμοποιηθεί φυσικό αέριο (*Natural Gas*) ως τύπος καυσίμου στο *Fuel Type*.



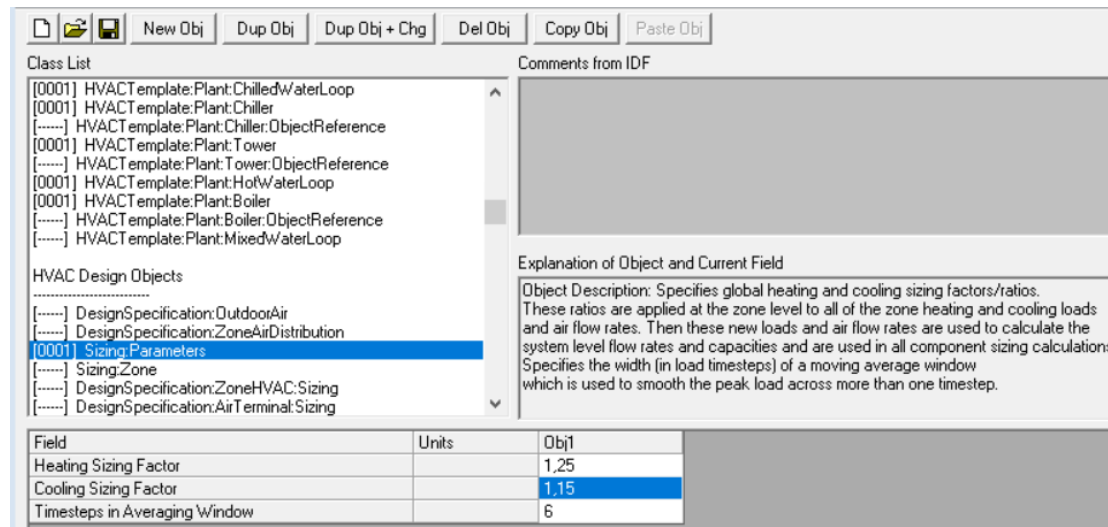
Σχήμα 5.65 Αντικείμενα στην κατηγορία HVAC Template Plant : Boiler.

5.2.10 Παράμετροι συστήματος HVAC

Class List: HVAC Design Objects

Sizing: Parameters

Με αυτό το αντικείμενο μας δίνεται η δυνατότητα να προσδιορίσουμε τους δείκτες διαστασιολόγησης της θέρμανσης και της ψύξης. Επιλέχθηκε δείκτης 1,25 για το σύστημα θέρμανσης και 1,15 για σύστημα ψύξης όπου είναι δύο τυπικές τιμές για τους δείκτες που προτείνει και η ASHRAE. Η υπερδιαστασιολόγηση των συστημάτων είναι μία συχνή τακτική στις ενεργειακές προσομοιώσεις καθώς το αρχείο καιρού δεν μπορεί να είναι 100% ακριβές λόγω των κλιματικών αλλαγών από έτος σε έτος ή των ξαφνικών καιρικών συνθηκών και με αυτό τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα για το σύστημα HVAC να μην μπορεί να ανταπεξέλθει στις συνθήκες άνεσης που έχουν δηλωθεί.



Σχήμα 5.66 Αντικείμενα στην κατηγορία Sizing Parameters.

5.3 Χρήση φωτοβολταϊκών στο EnergyPlus

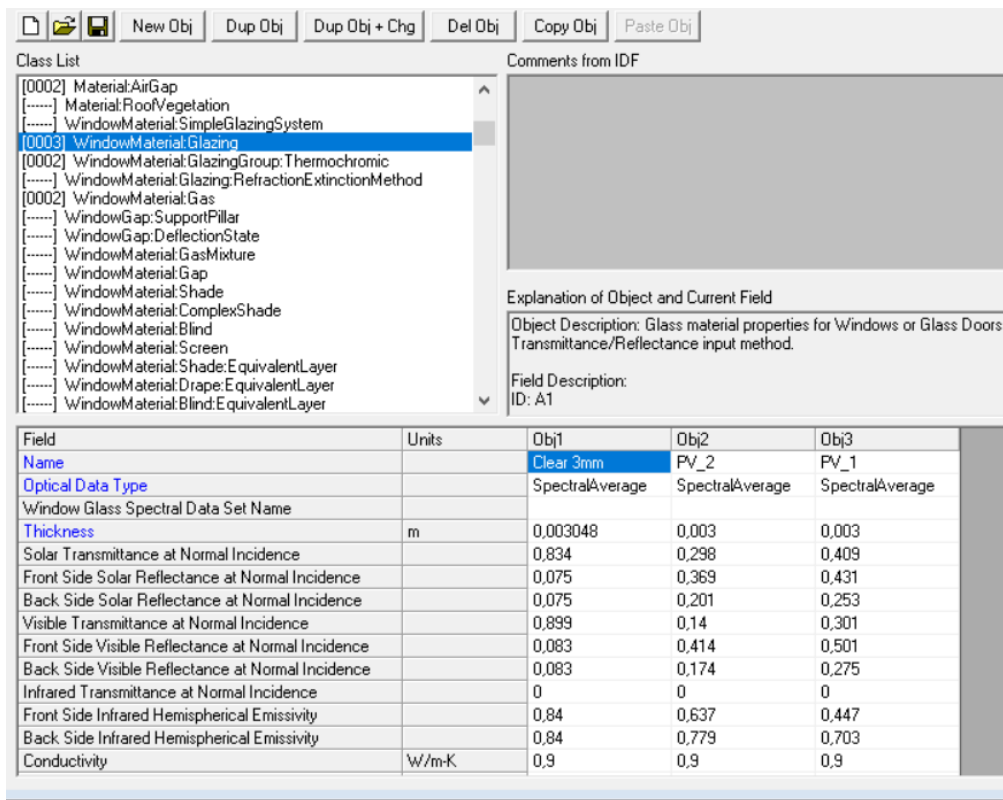
Για την περίπτωση όπου θα γίνει μοντελοποίηση των φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων (BIPV) στο κτήριο θα ακολουθηθεί η επόμενη διαδικασία. Αρχικά, επειδή αναφερόμαστε σε υαλοπίνακες και όχι σε απλά PV θα χρειαστεί να διαμορφώσουμε τα παράθυρα μέσω της χρήσης εντολών από το *Surface Construction Elements* σαν να είναι απλοί υαλοπίνακες καθώς το EnergyPlus δεν έχει συγκεκριμένη εντολή για φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες. Για αυτό το λόγο, πρώτα δημιουργούμε τα φύλλα στην κατηγορία *Window Material: Glazing* και στην συνέχεια θα κατασκευαστεί η δομή τους στην κατηγορία *Construction*. Θα εξετάσουμε 2 διπλούς φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες (BIPV1 και BIPV2) που αποτελούνται από ένα εξωτερικό φύλλο που περιέχει τα ηλιακά κελιά πάχους 3mm, αέρα διακένου 12mm και ένα εσωτερικό απλό διαφανές φύλλο 3mm. Η διαφορά εντοπίζεται στην κατασκευή του εξωτερικού φύλλου όπου στον ένα υαλοπίνακα έχουμε $VLT=0,3$ ενώ στον δεύτερο $VLT=0,14$. Κατά τα άλλα, και τα δύο φύλλα έχουν συντελεστή πληρότητας κελιών (Fill Factor) $FF=70\%$ (69% για BIPV1 και 70% για BIPV2) και απόδοση $\sim 5\%$ (4,8% για BIPV1 και 5,3% για BIPV2).

5.3.1 Δομικά στοιχεία BIPV

Surface Construction Elements

Window Material: Glazing

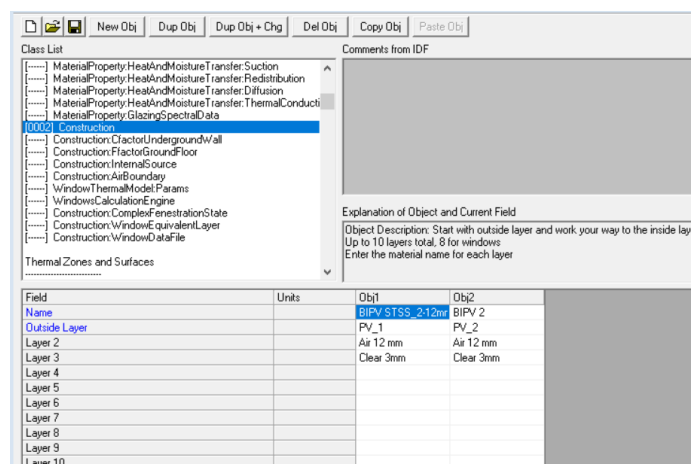
Όπως και προηγουμένως σε αυτήν την κατηγορία δηλώνονται οι ιδιότητες κάθε φύλλου. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα τα φύλλα που περιέχουν τα φωτοβολταϊκά κελιά έχουν πολύ μικρή οπτική διαπερατότητα.



Σχήμα 5.67 Αντικείμενα στην κατηγορία Window Material: Glazing για την δημιουργία φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων.

Construction

Παρόμοια, με την προηγούμενη χρήση της κατηγορίας *Construction* έτσι και εδώ κατασκευάστηκε η δομή των υαλοπινάκων. Πρώτα, δηλώνεται το εξωτερικό φύλλο και ύστερα κατά σειρά τα επόμενα.



Σχήμα 5.68 Αντικείμενα στην κατηγορία Construction. Παρουσιάζονται μόνο οι 2 δομές των φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων.

5.3.2 Καθορισμός χρήσης BIPV

Class List: Electric Load Center-Generator Specifications

Generator: Photovoltaic

Η συγκεκριμένη κατηγορία χρησιμοποιείται για την δήλωση των φωτοβολταϊκών που έχει το κτήριο. Πιο αναλυτικά, προσδιορίζεται η ονομασία κάθε πάνελ φωτοβολταϊκού και η θέση στην οποία θα τοποθετηθεί. Στην περίπτωση μας, όπου θέλουμε να μοντελοποιήσουμε φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες δηλώνεται το παράθυρο που έχει σχηματιστεί από το SketchUp, με ένα παράδειγμα ονόματος να είναι Sub Surface 3-CIOff North. Στην συνέχεια, δηλώνεται ο τύπος των φωτοβολταϊκών. Στο EnergyPlus υπάρχουν 3 επιλογές για απλό PV όταν δεν έχουμε αναλυτικά στοιχεία για τα φωτοβολταϊκά, PV μίας διόδου ή αλλιώς μοντέλο 5-παραμέτρων του TRANSYS και PV Sandia όπου αναφέρονται σε φωτοβολταϊκά που έχουν δημιουργηθεί από το εργαστήριο της Sandia. Έγινε η επιλογή του απλού φωτοβολταϊκού το οποίο ορίστηκε στην συνέχεια στην κατηγορία *Photovoltaic Performance: Simple*. Ύστερα, από την επιλογή *Heat Transfer Integration Mode* ρυθμίζεται ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται η θερμότητα που παράγεται στα φωτοβολταϊκά κελιά. Με την επιλογή *Decoupled* η θερμοκρασία των κελιών υπολογίζεται με βάση τις συνθήκες NOCT (Nominal Operating Cell Temperature). Σε αυτές τις συνθήκες υποθέτετε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 800 W/m², θερμοκρασία αέρα 20 °C και ταχύτητα αέρα 1m/s.

The screenshot shows the EnergyPlus Class List window. The 'Generator: Photovoltaic' class is selected. The table below shows the field values for five objects (Obj1 to Obj5).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		PV-1	PV-2	PV-3	PV-4	PV-5
Surface Name		Sub Surface 3-CIOff	Sub Surface 2-CIOff	Sub Surface 5-CIOff	Sub Surface 4-CIOff	Sub Surface 7-CIOff
Photovoltaic Performance Object Type		PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform
Module Performance Name		PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple
Heat Transfer Integration Mode		Decoupled	Decoupled	Decoupled	Decoupled	Decoupled
Number of Series Strings in Parallel	dimensionless	1	1	1	1	1
Number of Modules in Series	dimensionless	1	1	1	1	1

Σχήμα 5.69 Αντικείμενα στην κατηγορία Generator: Photovoltaic.

Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
PV-6	PV-7	PV-8	PV-9	PV-10	PV-11
Sub Surface 6-CIOff	Sub Surface 9-CIOol	Sub Surface 8-CIOff	Sub Surface 75-CIO	Sub Surface 74-CIO	Sub Surface 73-CIO
PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform
PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple
Decoupled	Decoupled	Decoupled	Decoupled	Decoupled	Decoupled
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1

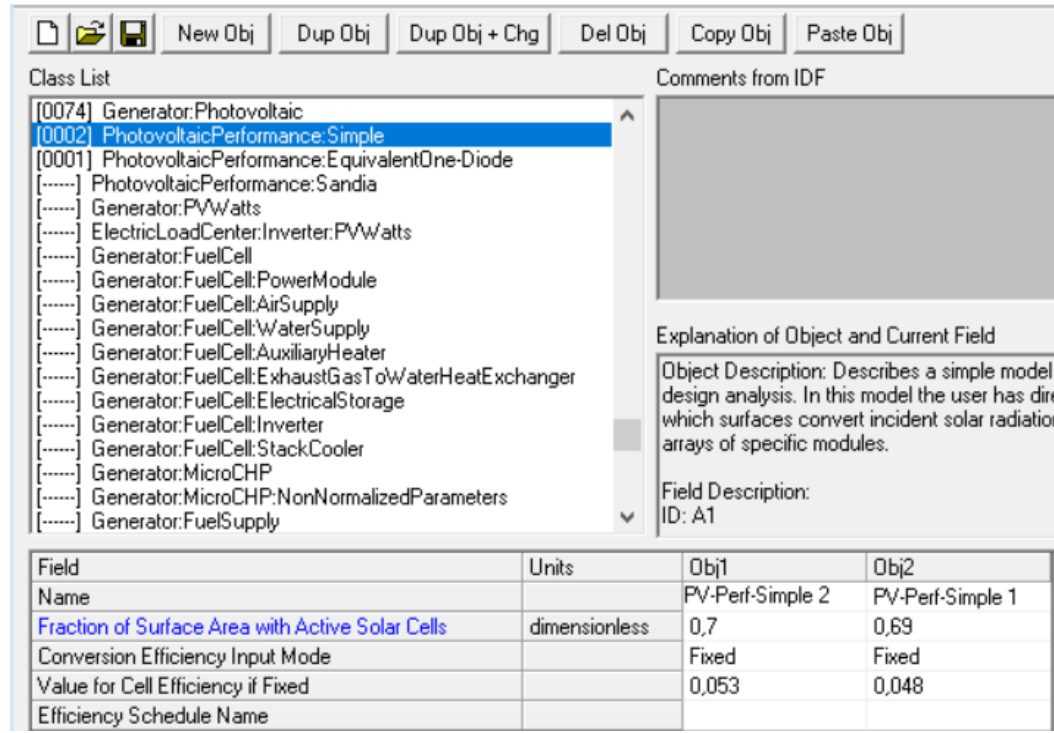
Σχήμα 5. 70 Αντικείμενα στην κατηγορία Generator: Photovoltaic (obj6 έως obj11).

Obj69	Obj70	Obj71	Obj72	Obj73	Obj74
PV-69	PV-70	PV-71	PV-72	PV-73	PV-74
Sub Surface 43-Re:	Sub Surface 42-Re:	Sub Surface 41-Re:	Sub Surface 40-Re:	Sub Surface 39-Lo:	Sub Surface 38-Lo:
PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform
PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple	PV-Perf-Simple
Decoupled	Decoupled	Decoupled	Decoupled	Decoupled	Decoupled
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1

Σχήμα 5.71 Αντικείμενα στην κατηγορία Generator: Photovoltaic (obj69 έως obj74).

Photovoltaic Performance: Simple

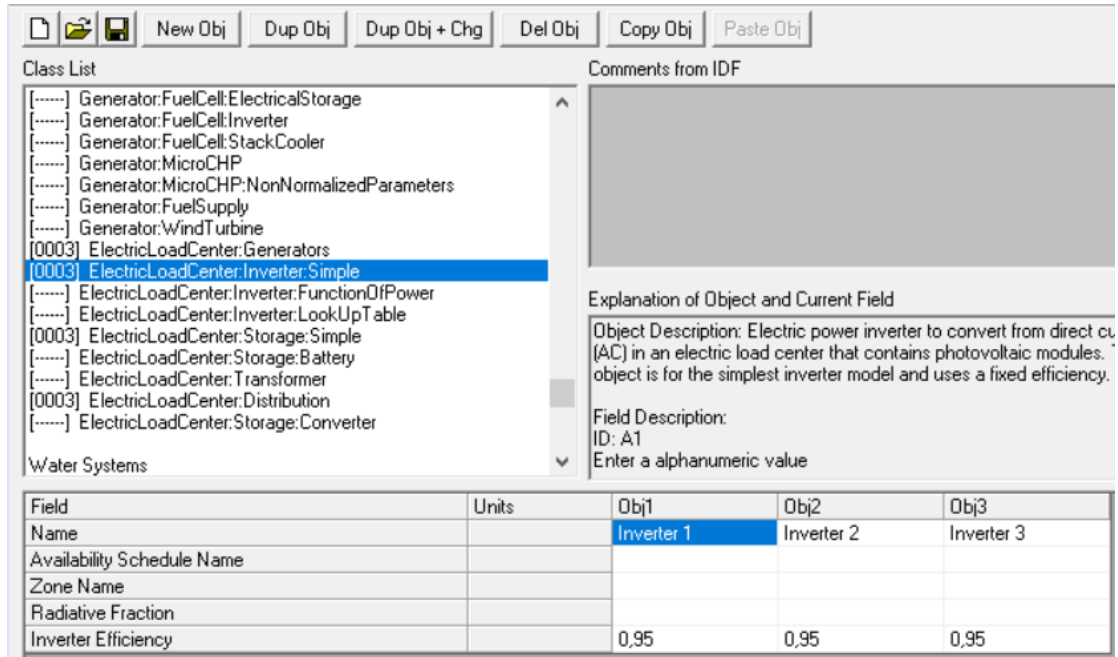
Η συγκεκριμένη κατηγορία αποτελεί μία από τις τρεις επιλογές που έχει το EnergyPlus για την χρήση φωτοβολταϊκών. Είναι η πιο απλή μέθοδος και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που θέλουμε να έχουμε μία εικόνα για τις ενεργειακές επιδόσεις του κτηρίου εφόσον δεν έχουμε πλήρη δεδομένα για τους φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες. Χρησιμοποιείται ένα πλήρες γεωμετρικό μοντέλο για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολία, συμπεριλαμβανομένων των σκιάσεων και των ανακλάσεων. Σε αυτό το μοντέλο δηλώνεται το όνομα του αντικειμένου και στην συνέχεια ο συντελεστής πλήρωσης των ηλιακών κελιών (FF). Στην συνέχεια, στην επιλογή *Conversion Efficiency Input Model* ορίζουμε να έχουμε σταθερό συντελεστή απόδοσης μέσω της επιλογής *Fixed* ο οποίος προσδιορίζεται στην επιλογή *Value for Cell Efficiency if Fixed*. Όπως προαναφέρθηκε στη πρώτη περίπτωση BIPV που δοκιμάστηκαν έχουμε απόδοση 0,048 ενώ στην δεύτερη 0,053 .



Σχήμα 5. 72 Αντικείμενο στην κατηγορία Photovoltaic Performance: Simple.

Electric Load Center: Inverter Simple

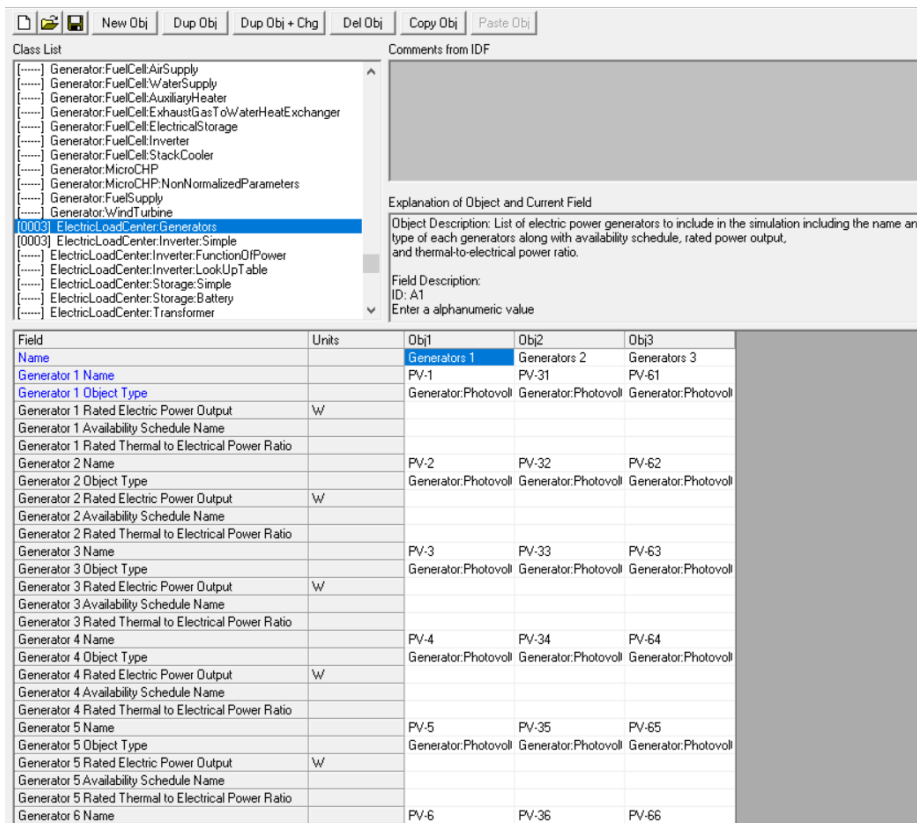
Στα φωτοβολταϊκά όπως σχεδόν σε κάθε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ΑΠΕ) χρειάζεται ένας μετατροπέας (inverter) ώστε να μετατραπεί το συνεχές ρεύμα (DC) σε εναλλασσόμενο (AC) και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για τις ανάγκες του κτηρίου. Μέσω της συγκεκριμένης κατηγορίας προσδιορίζεται ένας inverter στην πιο απλή μορφή του όπου ορίζεται μόνο ο βαθμός απόδοσης του ο οποίος μπορεί να κυμαίνεται από 92% μέχρι 99%. Όπως φαίνεται, στην παρακάτω εικόνα δημιουργούνται 3 αντικείμενα (*Inverter 1*, *Inverter 2*, *Inverter 3*) λόγω του μεγάλου αριθμού φωτοβολταϊκών πάνελ. Η επιλογή *Zone Name* αφορά την θερμική ζώνη που βρίσκεται ο inverter λόγω της θερμότητας που παράγει. Εφόσον είναι κενό τότε σημαίνει ότι βρίσκεται εκτός κτηρίου και η θερμότητα που παράγεται δεν επηρεάζει τους ενεργειακού ισολογισμούς του χώρου.



Σχήμα 5.73 Αντικείμενα στην κατηγορία Electric Load Center: Inverter Simple.

Electric Load Center: Generators

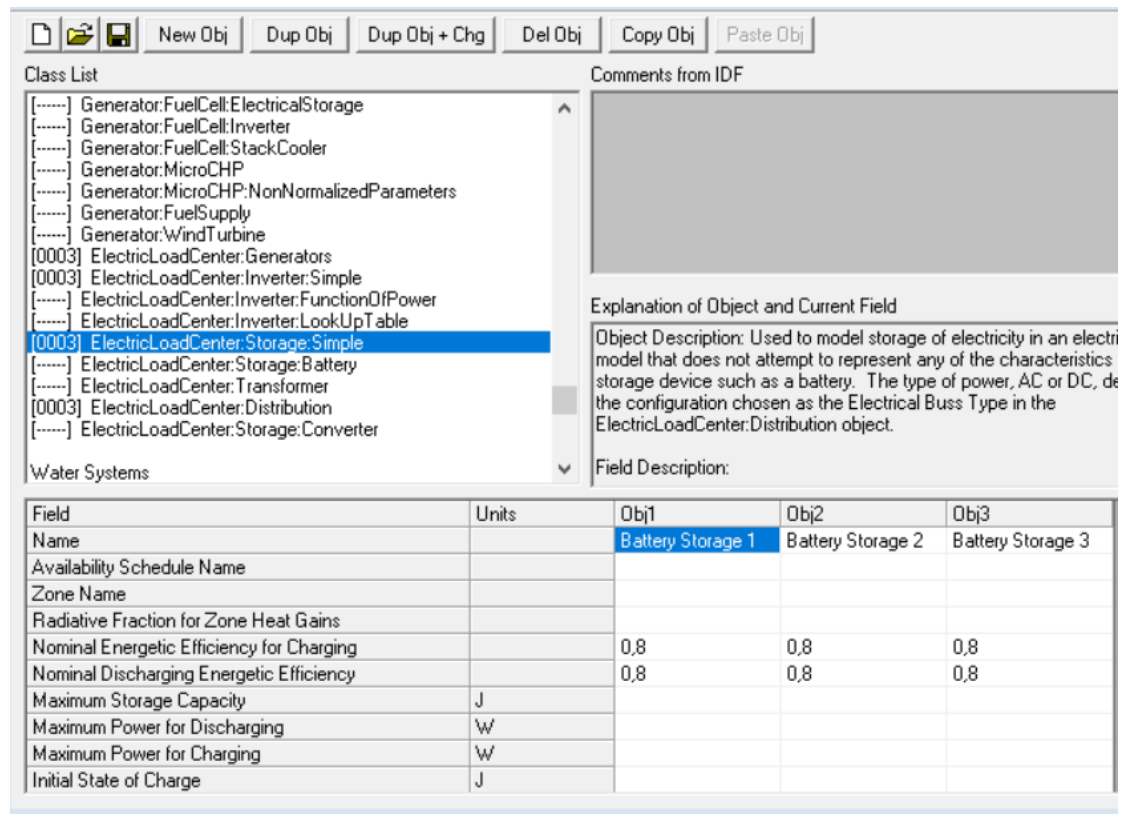
Σε αυτήν την κατηγορία δηλώνονται όλα τα αντικείμενα του κτηρίου που χρησιμοποιεί το κτήριο και έχουν την δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως για παράδειγμα μηχανές εσωτερικής, ανεμογεννήτριες και για την περίπτωση μας φωτοβολταϊκά. Μέσω του ονόματος κάθε πάνελ που έχει ήδη οριστεί προηγουμένως αντιστοιχούμε σε τι κατηγορία ανήκει μέσω της επιλογής *Generator: Photovoltaic*. Στην συνέχεια, μπορεί να δηλωθεί το χρονοδιάγραμμα που λειτουργεί κάθε πάνελ από το *Availability Schedule Name*. Σε περίπτωση κενού τότε τα φωτοβολταϊκά λειτουργούν συνέχεια όπως και επιλέχθηκε. Λόγω του υψηλού αριθμού πάνελ ορίζονται 3 αντικείμενα.



Σχήμα 5.74 Αντικείμενα στην κατηγορία Electric Load Center: Generators.

Electric Load Center: Storage: Simple

Η προσθήκη του μοντέλου αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζεται σε αυτήν την κατηγορία. Εν συνεχεία, με τον ορισμό των φωτοβολταϊκών δηλώθηκε η πιο απλή μορφή αποθήκευσης ενέργειας που περιέχει το EnergyPlus ώστε να αποκτήσουμε μία γενική εικόνα της ενεργειακής συμπεριφοράς τους. Με την συγκεκριμένη επιλογή προσθέτουμε 3 μπαταρίες με το πλήθος τους να είναι συναρτήσει του πλήθους των φωτοβολταϊκών. Επίσης, υπάρχει η επιλογή του χρονοδιαγράμματος (*Availability Schedule Name*) που δηλώνεται τότε λειτουργούν και της θερμικής ζώνης (*Zone Name*) που δηλώνεται που βρίσκονται και διοχετεύεται η θερμότητα που παράγεται κατά την λειτουργία τους. Αφήνοντας τα 2 πεδία κενά δηλώνεται ότι οι μπαταρίες μπορούν να λειτουργήσουν συνέχεια και ότι η θερμότητα που παράγεται διοχετεύεται στο εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, στις επόμενες σειρές ορίστηκε ο βαθμός απόδοσης τους να είναι 80% ενώ στις μέγιστες τιμές αποθήκευσης και ρυθμού φόρτισης και αποφόρτισης αφέθηκαν κενές ώστε να μην έχουμε κάποιο περιορισμό. Έτσι και αλλιώς, η παραγόμενη ισχύς των φωτοβολταϊκών δεν είναι πολύ μεγάλη και στην πλειονότητα των περιπτώσεων με την παραγωγή ενέργειας υπάρχει άμεση κατανάλωση από τα συστήματα του κτηρίου και εξαιτίας αυτών δεν υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις αποθήκευσης.



Σχήμα 5.75 Αντικείμενα στην κατηγορία Electric Load Center: Storage: Simple.

Electric Load Center: Distribution

Σε αυτήν την κατηγορία δηλώνονται τα αντικείμενα από την κατηγορία *Electric Load Center: Generators* που συμμετέχουν ενεργά στη παραγωγή ενέργειας και στο τρόπο που γίνεται η κατανομή της. Από την κατηγορία *Generator Operation Scheme Type* ορίζεται ο σκοπός για την οποίο έχει εγκατασταθεί κάθε αντικείμενο. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι *Baseload*, *Demand Limit*, *Track Electrical*, *Track Schedule*, *Track Meter*, *Follow Thermal* και *Follow Thermal Limit Electrical* ανάλογα εάν θέλουμε την παραγωγή θερμικού ή ηλεκτρικού φορτίου. Έγινε η επιλογή *Track Electrical* κατά την οποία οι απαιτήσεις ηλεκτρικού φορτίου αποδίδονται πρώτα από τα φωτοβολταϊκά και ύστερα ότι απομένει αγοράζεται από τον πάροχο ηλεκτρικού ρεύματος. Στην συνέχεια, από την κατηγορία *Electrical Buss Type* θα οριστεί ο τρόπος με τον οποίο θα συνδεθούν τα φωτοβολταϊκά στο υπόλοιπο σύστημα. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι *Alternating Current*, *Alternating Current With Storage*, *Direct Current With Inverter*, *Direct Current With Inverter DC Storage* και *Direct Current With Inverter AC Storage*. Έγινε επιλογή του *Direct Current With Inverter AC Storage* καθώς το συνεχές ρεύμα (DC) που παράγεται από τα PV μετατρέπεται μέσω του Inverter σε εναλλασσόμενο (AC) και στην συνέχεια εάν υπάρχει ζήτηση για κατανάλωση διοχετεύεται στα συστήματα ή αλλιώς αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Στην

επόμενη κατηγορία *Inverter name* επιλέγεται ο inverter που θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά.

The screenshot shows a software interface with a 'Class List' on the left and a 'Table' at the bottom. The 'Class List' includes various generator and electric load center classes. The 'Table' displays field values for three objects (Obj1, Obj2, Obj3) under the 'Electric Load Center: Distribution' category.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Electric:Distribution	Electric:Distribution	Electric:Distribution
Generator List Name		Generators 1	Generators 2	Generators 3
Generator Operation Scheme Type		TrackElectrical	TrackElectrical	TrackElectrical
Generator Demand Limit Scheme Purchased Electric D...	W			
Generator Track Schedule Name Scheme Schedule Na...				
Generator Track Meter Scheme Meter Name				
Electrical Buss Type		DirectCurrentWithIn	DirectCurrentWithIn	DirectCurrentWithIn
Inverter Name		Inverter 1	Inverter 2	Inverter 3
Electrical Storage Object Name		Battery Storage1	Battery Storage2	Battery Storage3
Transformer Object Name				
Storage Operation Scheme		TrackFacilityElectric	TrackFacilityElectric	TrackFacilityElectric

Σχήμα 5.76 Αντικείμενα στην κατηγορία **Electric Load Center: Distribution**.

6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Μετά το πέρας της ενεργειακής προσομοίωσης τα αποτελέσματα παρέχονται σε διάφορους τύπους αρχείων όπως .html και .xls. Επειδή ο όγκος είναι μεγάλος παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που κρίνονται τα πιο σημαντικά. Συνολικά έγιναν διάφορες αναλύσεις όπου οι συνθήκες και όλη η δομή του κτηρίου παρέμενε σταθερή και απλά μεταβάλλαμε τους υαλοπίνακες ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε πως συμπεριφέρεται ο καθένας.

6.1 Σταθερά Στοιχεία

Αρχικά, παρουσιάζονται τα δεδομένα που έχουν να κάνουν κυρίως με το αρχείο καιρού και απεικονίζεται η τοποθεσία που έγινε η προσομοίωση, οι συνολικές ώρες που διήρκεσε και οι συνθήκες περιβάλλοντος που επικρατούν. Οι πιο σημαντικές από αυτές, για τις οποίες έχει σχηματιστεί και σχετικό διάγραμμα, είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία ξηρού βολβού περιβάλλοντος μαζί με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές της, η μέση μηνιαία διάχυτη και άμεση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και η μέση μηνιαία θερμοκρασία υγρού βολβού.

Στην συνέχεια, δίνονται ορισμένα από τα δεδομένα που έχουν να κάνουν με την αμετάβλητη δομή του κτηρίου όπως το συνολικό του εμβαδόν, την έκταση των υαλοπινάκων ανά προσανατολισμό και το πλήθος τους ανά θερμοκή ζώνη. Επίσης, δίνονται κάποια κύρια στοιχεία όπως τα υπολόγισε το EnergyPlus για τις αδιαφανείς δομές όπως η θερμοκή διαπερατότητα και η τραχύτητα τους.

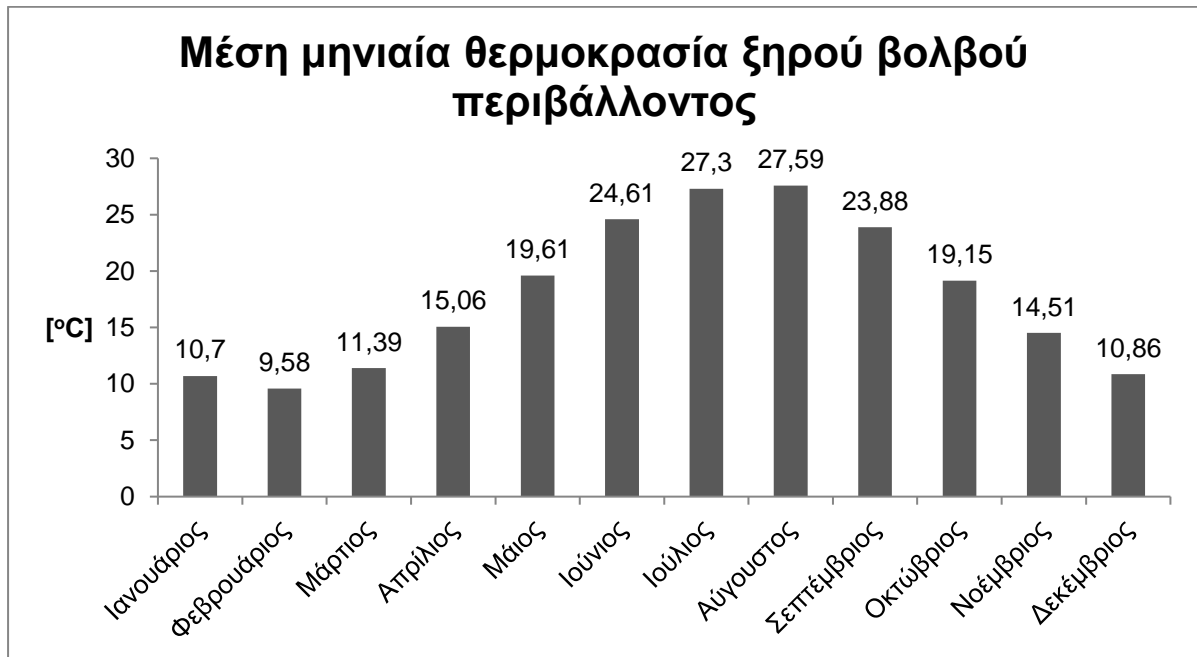
Πίνακας 6.1. Γενικά στοιχεία μέσω της προσομοίωσης του EnergyPlus.

General

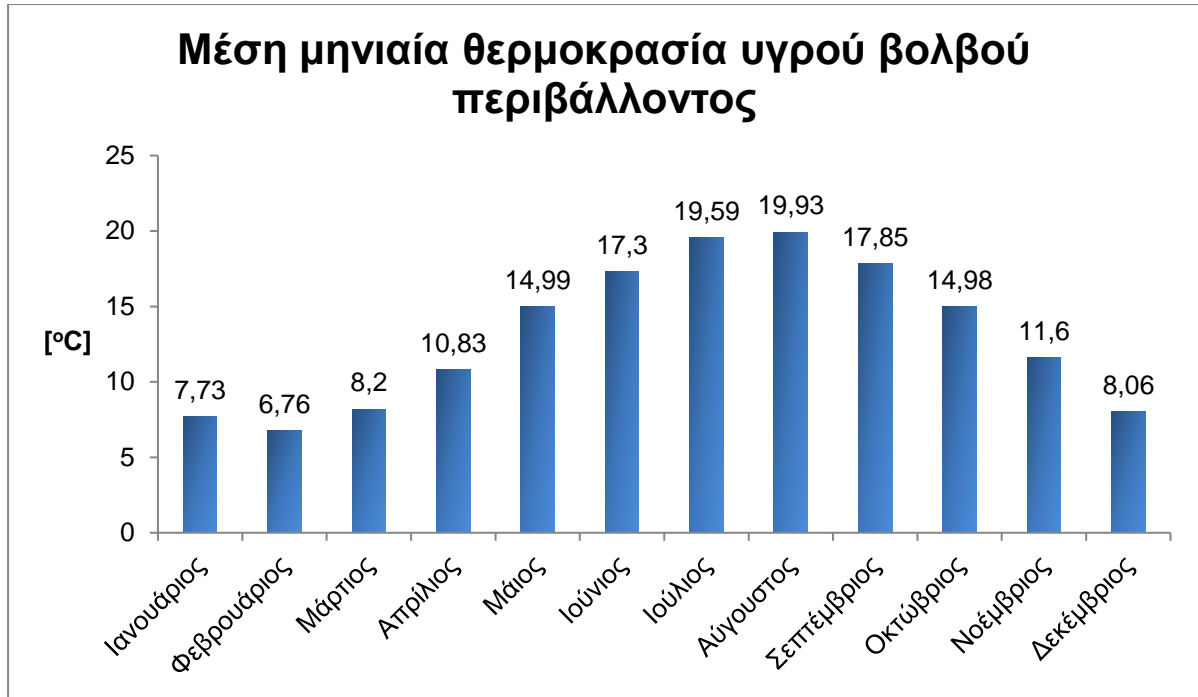
	Value
Program Version and Build	EnergyPlus, Version 9.2.0-921312fa1d, YMD=2020.12.10 23:50
RunPeriod	RUN PERIOD 1
Weather File	ATHENS - GRC IWEC Data WMO#=167160
Latitude [deg]	37.90
Longitude [deg]	23.73
Elevation [m]	15.00
Time Zone	2.00
North Axis Angle [deg]	0.00
Rotation for Appendix G [deg]	0.00
Hours Simulated [hrs]	8760.00

Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα για την μέση μηνιαία θερμοκρασία ξηρού και υγρού βολβού αέρα περιβάλλοντος, την άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία πρόσπτωσης οριζώντιου επιπέδου και λοιπά στοιχεία.

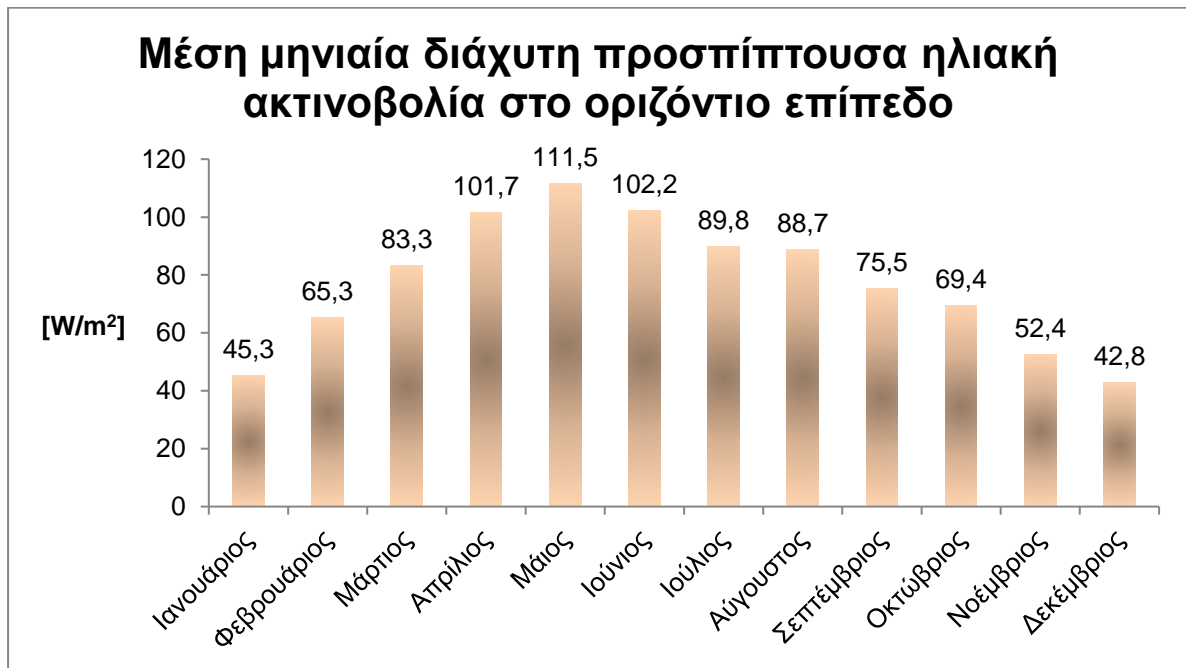
	SITE OUTDOOR AIR DRYBULB TEMPERATURE [C]	SITE OUTDOOR AIR WETBULB TEMPERATURE [C]	SITE OUTDOOR AIR DEWPOINT TEMPERATURE [C]	SITE WIND SPEED [m/s]	SITE SKY TEMPERATURE [C]	SITE DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE PER AREA [W/m2]	SITE DIRECT SOLAR RADIATION RATE PER AREA [W/m2]	SITE RAIN STATUS []
January	10.70	7.73	4.66	3.29	-1.6	45.33	101.80	0.01
February	9.58	6.76	3.61	3.75	-2.7	65.28	104.85	0.10
March	11.39	8.20	5.04	3.55	-1.4	83.34	139.69	0.07
April	15.06	10.83	7.17	2.67	1.97	101.66	168.52	0.01
May	19.61	14.99	11.88	2.94	6.45	111.47	200.69	0.03
June	24.61	17.30	12.83	3.73	11.44	102.17	274.86	0.00
July	27.30	19.59	15.46	3.24	14.26	89.80	296.23	0.00
August	27.59	19.93	15.92	2.96	14.97	88.70	257.08	0.00
September	23.88	17.85	14.34	3.09	10.84	75.45	229.34	0.00
October	19.15	14.98	12.20	3.24	6.56	69.38	136.39	0.03
November	14.51	11.60	9.21	3.12	2.90	52.38	81.88	0.08
December	10.86	8.06	5.11	2.60	-1.4	42.80	84.69	0.07
Annual Sum or Average	17.90	13.19	9.83	3.18	5.24	77.35	173.39	0.03
Minimum of Months	9.58	6.76	3.61	2.60	-2.7	42.80	81.88	0.00
Maximum of Months	27.59	19.93	15.92	3.75	14.97	111.47	296.23	0.10



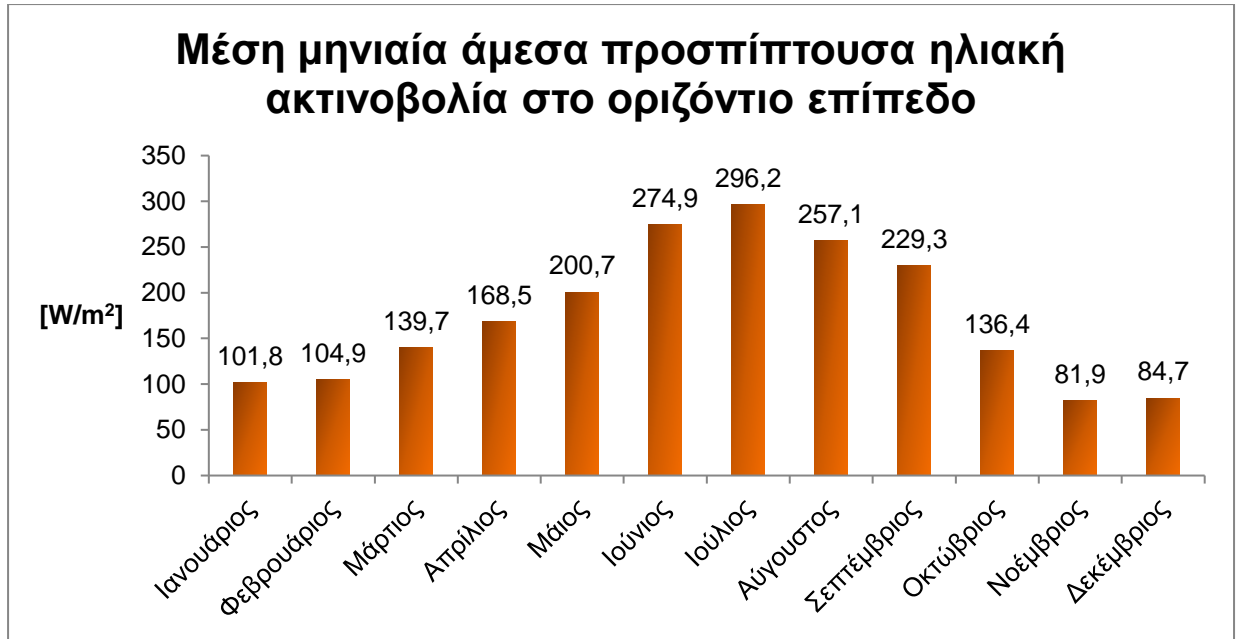
Σχήμα 6.1 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ξηρού βολβού στον αέρα περιβάλλοντος.



Σχήμα 6.2 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υγρού βολβού αέρα περιβάλλοντος.



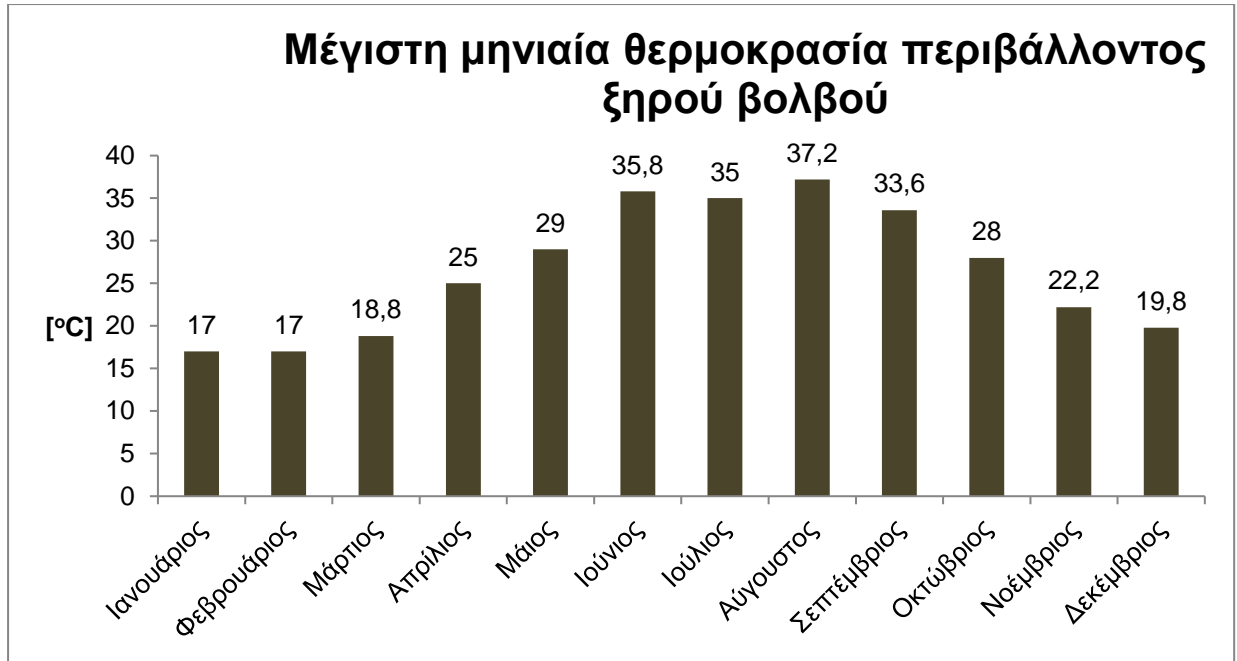
Σχήμα 6.3 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας πρόσπτωσης στο οριζόντιο επίπεδο.



Σχήμα 6.4. Διάγραμμα μέσης μηνιαίας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας πρόσπτωσης στο οριζόντιο επίπεδο.

Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα για την μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία ξηρού βολβού αέρα περιβάλλοντος και λοιπά στοιχεία.

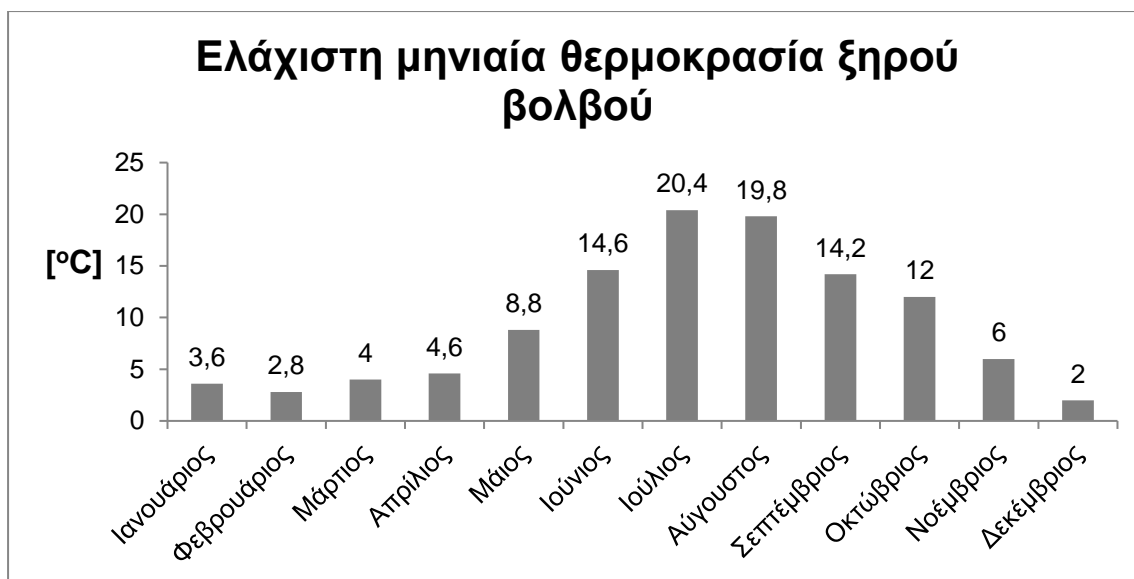
	SITE OUTDOOR AIR DRYBULB TEMPERATURE {Maximum} [C]	SITE OUTDOOR AIR DRYBULB TEMPERATURE {TIMESTAMP}	SITE OUTDOOR AIR WETBULB TEMPERATURE {AT MAX/MIN} [C]	SITE OUTDOOR AIR DEWPOINT TEMPERATURE {AT MAX/MIN} [C]	SITE WIND SPEED {AT MAX/MIN} [m/s]	SITE SKY TEMPERATURE {AT MAX/MIN} [C]	SITE DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE PER AREA {AT MAX/MIN} [W/m2]	SITE DIRECT SOLAR RADIATION RATE PER AREA {AT MAX/MIN} [W/m2]
January	17.00	12-JAN-13:00	13.73	11.50	2.60	5.13	210.00	45.50
February	17.00	03-FEB-15:00	11.57	7.00	5.10	3.06	73.50	561.50
March	18.80	18-MAR-13:00	13.16	8.90	5.10	7.35	232.00	594.50
April	25.00	24-APR-13:00	17.20	12.60	2.60	12.98	406.00	152.50
May	29.00	07-MAY-10:00	16.82	8.90	7.20	13.54	144.00	862.00
June	35.80	29-JUN-13:00	19.05	8.60	7.70	20.05	162.00	820.50
July	35.00	15-JUL-15:00	20.20	12.00	3.10	20.05	156.00	672.50
August	37.20	06-AUG-13:00	19.91	10.10	4.10	21.78	153.00	823.50
September	33.60	18-SEP-13:00	18.21	8.00	5.70	17.75	146.00	773.00
October	28.00	02-OCT-11:00	17.54	11.00	5.10	13.16	234.50	601.00
November	22.20	08-NOV-13:00	18.02	15.90	2.10	11.07	128.00	597.50
December	19.80	09-DEC-13:00	16.62	14.80	4.10	7.55	173.00	17.50



Σχήμα 6.5 Διάγραμμα μέγιστης μηνιαίας θερμοκρασίας ξηρού βολβού αέρα περιβάλλοντος.

Πίνακας 6.4 Αποτελέσματα για την ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία ξηρού βολβού αέρα περιβάλλοντος και λοιπά στοιχεία.

	SITE OUTDOOR AIR DRYBULB TEMPERATURE {MINIMUM}[C]	SITE OUTDOOR AIR DRYBULB TEMPERATURE {TIMESTAMP}	SITE OUTDOOR AIR WETBULB TEMPERATURE {AT MAX/MIN} [C]	SITE OUTDOOR AIR DEWPOINT TEMPERATURE {AT MAX/MIN} [C]	SITE WIND SPEED {AT MAX/MIN} [m/s]	SITE SKY TEMPERATURE {AT MAX/MIN} [C]	SITE DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE PER AREA {AT MAX/MIN} [W/m2]	SITE DIRECT SOLAR RADIATION RATE PER AREA {AT MAX/MIN} [W/m2]
January	3.60	17-JAN-07:00	2.00	-0.2	0.00	-12.4	23.50	177.00
February	2.80	18-FEB-04:00	0.17	-3.7	0.00	-14.2	0.00	0.00
March	4.00	04-MAR-05:00	0.79	-4.0	2.60	-11.9	0.00	0.00
April	4.60	02-APR-04:00	2.05	-1.4	4.10	-10.7	0.00	0.00
May	8.80	03-MAY-04:00	5.08	0.40	2.10	-7.6	0.00	0.00
June	14.60	07-JUN-22:00	12.40	10.80	0.00	1.80	0.00	0.00
July	20.40	04-JUL-04:00	18.17	17.10	0.00	7.35	0.00	0.00
August	19.80	20-AUG-04:00	17.24	15.80	0.00	7.75	0.00	0.00
September	14.20	24-SEP-04:00	9.34	4.80	2.60	-1.4	0.00	0.00
October	12.00	23-OCT-02:00	9.30	7.00	0.00	-3.0	0.00	0.00
November	6.00	30-NOV-03:00	4.16	2.00	2.60	-8.5	0.00	0.00
December	2.00	26-DEC-03:00	-1.0	-6.0	0.00	-13.2	0.00	0.00



Σχήμα 6.6 Διάγραμμα ελάχιστης μηνιαίας θερμοκρασίας ξηρού βολβού αέρα περιβάλλοντος.

Πίνακας 6.5 Συνολικό εμβαδόν κτηρίου όπως υπολογίστηκε από το EnergyPlus.

Building Area

	Area [m2]
Total Building Area	600.00
Net Conditioned Building Area	600.00
Unconditioned Building Area	0.00

Πίνακας 6.6 Στοιχεία για το εμβαδόν της επιφάνειας των υαλοπινάκων στο κτήριο όπως υπολογίστηκε από το EnergyPlus.

Window-Wall Ratio

	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Gross Wall Area [m2]	420.00	120.00	90.00	120.00	90.00
Above Ground Wall Area [m2]	420.00	120.00	90.00	120.00	90.00
Window Opening Area [m2]	285.88	65.58	67.00	89.00	64.30
Gross Window-Wall Ratio [%]	68.07	54.65	74.44	74.17	71.44
Above Ground Window-Wall Ratio [%]	68.07	54.65	74.44	74.17	71.44

Πίνακας 6.7 Πλήθος εξωτερικών υαλοπινάκων σε κάθε θερμική ζώνη. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι θερμικές ζώνες 1 και 2 έχουν βόρειο προσανατολισμό.

	Zone Name	Number of Exterior Windows
1	THERMAL ZONE 1-LOBBY	2
2	THERMAL ZONE 2-RESTROOM	10
3	THERMAL ZONE 3-CLOSEDOFFICE WEST	18
4	THERMAL ZONE 4-CLOSEDOFFICE SOUTH	28
5	THERMAL ZONE 5-CLOSEDOFFICE EAST	16

Πίνακας 6.8 Στοιχεία για την αδιαφανή δομή του κτηρίου όπως υπολογίστηκε από το EnergyPlus.

Construction CTF

	Construction Name	Index	#Layers	#CTFs	Time Step {hours}	ThermalConductance {w/m2-K}	OuterThermalAbsorptance	InnerThermalAbsorptance	OuterSolarAbsorptance	InnerSolarAbsorptance	Roughness
1	ROOF	1	3	13	0.333	0.2296	0.900	0.900	0.700	0.600	VeryRough
2	EXTERIOR DOOR	2	2	3	0.167	1.181	0.900	0.900	0.700	0.600	Smooth
3	FLOOR	3	2	7	0.167	5.634	0.900	0.900	0.850	0.800	Rough
4	INTERIOR WALL	4	3	4	0.167	6.248	0.900	0.900	0.400	0.400	MediumSmooth
5	EXT WALL	7	4	15	0.167	0.2490	0.900	0.900	0.920	0.400	Smooth

Πίνακας 6.9 Στοιχεία για τις θερμικές ζώνες όπως το εμβαδόν, ο όγκος και τα φορτία φωτισμού και χρηστών όπως υπολογίστηκε από το EnergyPlus.

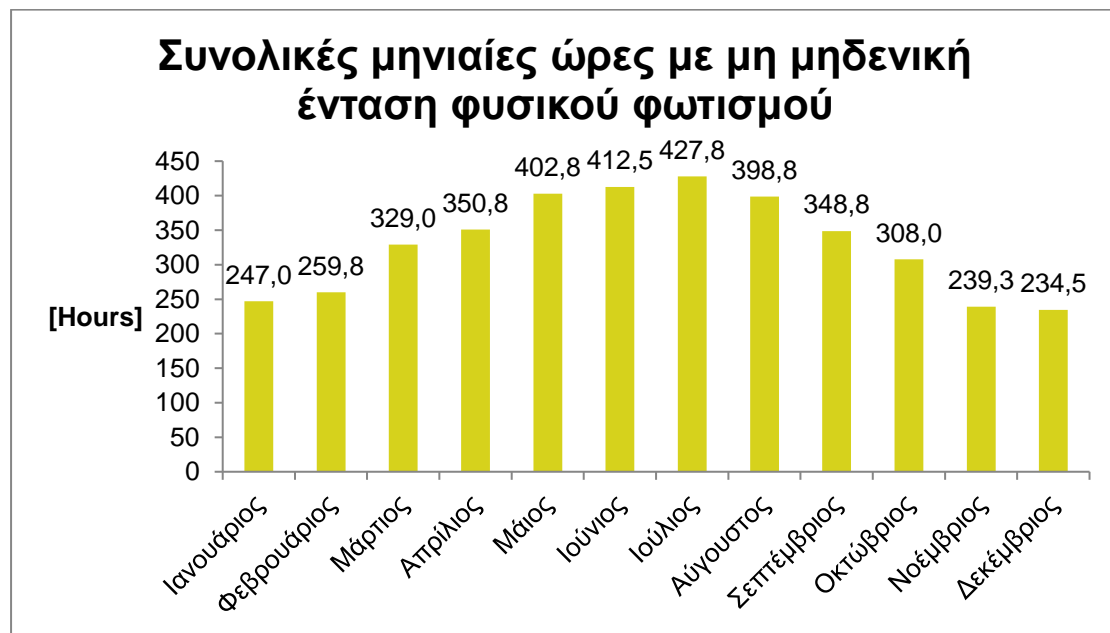
PERFORMANCE

Zone Summary

	Area [m2]	Conditioned (Y/N)	Part of Total Floor Area (Y/N)	Volume [m3]	Multipliers	Above Ground Gross Wall Area [m2]	Underground Gross Wall Area [m2]	Window Glass Area [m2]	Opening Area [m2]	Lighting [W/m2]	People [m2 per person]	Plbg and Process [W/m2]
THERMAL ZONE 1-LOBBY	208.62	Yes	Yes	625.86	1.00	24.00	0.00	9.36	9.36	5.0000		0.0000
THERMAL ZONE 2-RESTROOM	38.50	Yes	Yes	115.49	1.00	36.43	0.00	12.72	12.72	5.0000		0.0000
THERMAL ZONE 3-CLOSEDOFFICE WEST	97.88	Yes	Yes	293.65	1.00	98.57	0.00	70.80	70.80	12.5000	10.00	1.3500
THERMAL ZONE 4-CLOSEDOFFICE SOUTH	140.00	Yes	Yes	420.00	1.00	162.00	0.00	120.00	120.00	12.5000	10.00	1.3500
THERMAL ZONE 5-CLOSEDOFFICE EAST	115.00	Yes	Yes	345.00	1.00	99.00	0.00	73.00	73.00	12.5000	10.00	1.3500
Total	600.00			1800.00		420.00	0.00	285.88	285.88	9.4111	17.00	0.7940
Conditioned Total	600.00			1800.00		420.00	0.00	285.88	285.88	9.4111	17.00	0.7940
Unconditioned Total	0.00			0.00		0.00	0.00	0.00	0.00			
Not Part of Total	0.00			0.00		0.00	0.00	0.00	0.00			

Πίνακας 6.10 Συνολικές μηνιαίες ώρες με μη μηδενική ένταση φυσικού φωτισμού όπως υπολογίστηκε από το EnergyPlus.

	SITE EXTERIOR BEAM NORMAL ILLUMINANCE {HOURS NON- ZERO} [HOURS]
January	247.00
February	259.83
March	329.00
April	350.83
May	402.83
June	412.50
July	427.83
August	398.83
September	348.83
October	308.00
November	239.33
December	234.50



Σχήμα 6.7 Συνολικές μηνιαίες ώρες με μη μηδενική ένταση φυσικού φωτισμού.

6.2 Σύγκριση διάφορων τύπων υαλοπινάκων

6.2.1 Ιδιότητες-Χαρακτηριστικά για κάθε υαλοπίνακα

Κατά την διαδικασία των προσομοιώσεων δοκιμάστηκαν διάφορα είδη υαλοπινάκων. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανάμεσα σε 9 υαλοπίνακες, η δομή των οποίων μαζί με τα βασικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον επόμενο πίνακα. Για οικονομία χώρου οι υαλοπίνακες θα αναφέρονται εν συντομία σύμφωνα με παρακάτω:

- **Μονός:** ο οποίος αποτελείται από ένα απλό διάφανο φύλλο 6 mm.
- **Διπλός:** ο οποίος αποτελείται από 2 διαφανή φύλλα 6mm με πλήρωση αργού 12mm.
- **Τριπλός:** ο οποίος αποτελείται από 3 διάφανα φύλλα 6mm με πλήρωση αργού 12mm.
- **Διπλός EC:** ο οποίος αποτελείται από ένα εξωτερικό φύλλο 6mm με ηλεκτροχρωμικές ιδιότητες, ένα διάφανο φύλλο 6mm και έχει πλήρωση αργού 12mm.
- **Τριπλός TC:** ο οποίος αποτελείται από ένα εξωτερικό φύλλο 7mm με θερμοχρωμικές ιδιότητες, ένα διάφανο φύλλο 6mm και έχει πλήρωση αργού 12mm.
- **Διπλός low-e:** ο οποίος αποτελείται από ένα εξωτερικό φύλλο 6mm χαμηλής εκπομπής 2^{ης} γενιάς, ένα διάφανο φύλλο 6mm και έχει πλήρωση αργού 12mm.
- **Τριπλός low-e:** ο οποίος αποτελείται από 1 εξωτερικό φύλλο 6mm χαμηλής εκπομπής 2^{ης} γενιάς, 2 διάφανα φύλλα 6mm προς το εσωτερικό χώρο και έχει πλήρωση αργού 12mm.
- **Τριπλός EC low-e:** ο οποίος αποτελείται από ένα εξωτερικό φύλλο 6mm με ηλεκτροχρωμικές ιδιότητες, ένα μεσαίο φύλλο 6mm χαμηλής εκπομπής 2^{ης} γενιάς, ένα διάφανο φύλλο 6mm και έχει πλήρωση αργού 12mm.
- **Τριπλός TC low-e:** ο οποίος αποτελείται από ένα εξωτερικό φύλλο 7mm με θερμοχρωμικές ιδιότητες, ένα μεσαίο φύλλο 6mm χαμηλής εκπομπής 2^{ης} γενιάς, ένα διάφανο φύλλο 6mm και έχει πλήρωση αργού 12mm.

Πίνακας 6.11 Αναλυτική δομή για κάθε υαλοπίνακα. Εκ των αριστερών της δομής έχουμε το φύλλο που αλληλοεπιδρά με το εξωτερικό περιβάλλον. Όπου Clr= καθαρός διαυγής, Ar= πλήρωση αργού, EC=ηλεκτροχρωμικό φύλλο, TC=θερμοχρωμικό φύλλο, LowE= φύλλο χαμηλής εκπομπής 2ης γενιάς.

Όνομα Υαλοπίνακα	Δομή Υαλοπίνακα [Out-->In]
Μονός	6mmClr
Διπλός	6mmClr-12mmAr-6mmClr
Τριπλός	6mmClr-12mmAr-6mmClr-12mmAr-6mmClr
Διπλός EC	6mmEC-12mmAr-6mmClr
Διπλός TC	7mmTC-12mmAr-6mmClr
Διπλός low-e	6mmLowE-12mmAr-6mmClr
Τριπλός low-e	6mmLowE-12mmAr-6mmClr-12mmAr-6mmClr
Τριπλός EC low-e	6mmEC-12mmAr-6mmLowE-12mmAr-6mmClr
Τριπλός TC low-e	7mmTC-12mmAr-6mmLowE-12mmAr-6mmClr

Στην συνέχεια, στον πίνακα 6.12 δίνονται τα χαρακτηριστικά κάθε υαλοπίνακα όπως η θερμική διαπερατότητα U [$W/(m^2K)$], ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους SHGC και η οπτική διαπερατότητα τους (VLT) όπως προέκυψαν από το EnergyPlus. Αξίζει να σημειωθεί ότι για τους ηλεκτροχρωμικούς παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τους και για τις 2 καταστάσεις, την πλήρως διαφανής (Light State) και την σκούρα (Dark State), ενώ για τους θερμοχρωμικούς έχουμε 5 καταστάσεις που εξαρτώνται από την θερμοκρασία περιβάλλοντος και έχουμε περιπτώσεις για 24 °C, 34 °C, 48 °C, 62 °C, 75 °C.

6.2.1.1 Αποτελέσματα για την θερμική διαπερατότητα U-Value

Από τον πίνακα 6.12 παρατηρούμε ότι όσο προσθέτουμε φύλλα σε έναν υαλοπίνακα τόσο αυξάνεται η θερμική διαπερατότητα. Μάλιστα, όπως προκύπτει ένας απλός διπλός υαλοπίνακας έχει σχεδόν την μισή θερμική διαπερατότητα από ότι ένας μονός. Επίσης, σε περίπτωση που χρησιμοποιήσουμε φύλλα διαφορετικής σύστασης από τα καθαρά διαφανή τότε έχουμε σημαντική μείωση της διαπερατότητας. Πιο συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι υαλοπίνακες που περιέχουν επίστρωση χαμηλής εκπομπής έχουν και την χαμηλότερη θερμική διαπερατότητα όπως περιμέναμε. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επίστρωση χαμηλής εκπομπής δεν επιτρέπει στην ακτινοβολία να περάσει από αυτήν και αντανακλά το μεγαλύτερο μέρος της προς τα πίσω αυξάνοντας έτσι την θερμική αντίσταση. Αντίθετα, οι ηλεκτροχρωμικοί και οι θερμοχρωμικοί επηρεάζουν σχεδόν αμελητέα το U καθώς η αποτελεσματικότητα της λειτουργία τους εστιάζει κυρίως στην μεταβολή του SHGC.

6.2.1.2 Αποτελέσματα για τον συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους SHGC

Όσον αφορά τον συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους SHGC παρατηρούμε ότι τις χαμηλότερες τιμές έχουν οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες στην σκούρα κατάσταση τους. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς οι EC χρησιμοποιούνται ώστε να μεταβαίνουν σε αυτήν την κατάσταση και να μειώνουν το ηλιακό θερμικό κέρδος του χώρου, όπως δηλώνει και ο SHGC. Εξαιτίας αυτής της μεγάλης μείωσης επιλέγεται να χρησιμοποιούνται μόνο τους θερινούς μήνες γιατί το χειμώνα συνήθως θέλουμε το μέγιστο δυνατό θερμικό κέρδος ώστε να μην επιβαρύνεται το σύστημα θέρμανσης. Παράλληλα, οι θερμοχρωμικοί λειτουργούν όλο το χρόνο και η μετάβαση τους σε άλλη κατάσταση εξαρτάται από την θερμοκρασία όποτε οι μικρές τιμές SHGC εμφανίζονται σε μεγάλες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Επίσης, επειδή η επίστρωση χαμηλής εκπομπής στους low-e είναι 2^{ης} γενιάς οι υαλοπίνακες που την περιέχουν έχουν μεσαίο ηλιακό κέρδος ενώ αν συνδυάζεται και με EC στον σκούρο χρωματισμό τους τότε έχουμε το μικρότερο SHGC από το όλους τους υαλοπίνακες που συγκρίνονται.

6.2.1.3 Αποτελέσματα για την οπτική διαπερατότητα (VLT)

Από την άλλη μεριά η τιμή της διαπερατότητας της ορατής ακτινοβολίας (Visible Transmittance – T_{vis} ή VLT) επιδιώκεται στις περισσότερες περιπτώσεις να είναι μεγάλη ώστε να παρέχεται φυσικός φωτισμός στον χώρο. Βέβαια, πολύ υψηλές τιμές δεν είναι επιθυμητές καθώς μπορούν να προκαλέσουν θάμβωση και εφόσον το κτήριο προορίζεται για γραφεία ενδέχεται να δημιουργήσουν πρόβλημα στην οπτική άνεση και κατά επέκταση στην αποδοτικότητα της εργασίας. Από τον παρακάτω πίνακα φαίνεται ότι τις χαμηλότερες τιμές και άρα την μεγαλύτερη επίδραση στην μείωση του VLT έχουμε στους υαλοπίνακες που περιέχουν TC και EC φύλλα. Οι 2 συγκεκριμένες κατηγορίες υαλοπινάκων βασίζουν την λειτουργία τους στη μεταβολή των οπτικών τους ιδιοτήτων μέσω της αλλαγής του χρώματος τους. Όσο αποκτούν σκούρο χρώμα για τη μείωση του SHGC τόσο μειώνουν παράλληλα και την οπτική διαπερατότητα. Επιπλέον, όπως και στο SHGC οι TC έχουν περισσότερες καταστάσεις όπου τους κάνει πιο ευέλικτους σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες και έχουν ετήσια λειτουργία. Επίσης, σημαντικό είναι ότι η low-e επίστρωση αν και μειώνει αρκετά το SHGC και U δεν ισχύει τόσο για την οπτική διαπερατότητα με αποτέλεσμα να έχουν πλεονεκτήματα τόσο το χειμώνα όπου επιτρέπουν φυσικό φως να εισέλθει στο εσωτερικό αλλά και το καλοκαίρι όπου αποκόπτουν την πολύ έντονη ηλιακή ακτινοβολία να περάσει στο κτήριο χωρίς να μειώνουν πολύ το φυσικό φως. Άλλωστε λόγω αυτού του εν μέρη ηλιακού ελέγχου λέγονται και επιλεκτικοί ή τεσσάρων εποχών ενώ ιδιαίτερα για θερμά κλίματα μεγιστοποιείται η απόδοση τους.

Πίνακας 6.12 Ιδιότητες των υαλοπινάκων που χρησιμοποιήθηκαν. Για κάθε υαλοπίνακα παρουσιάζεται το U-Value, το SHGC και η οπτική διαπερατότητα. Επίσης για κάθε EC έχουμε 2 καταστάσεις ενώ για τα TC έχουμε 5 καταστάσεις.

Υαλοπίνακας	U-Factor [W/(m ² K)]	SHGC	VLT
Μονός	5,789	0,816	0,884
Διπλός	2,521	0,7	0,787
Τριπλός	1,613	0,609	0,703
Διπλός EC	2,519 (Light State)	0,729 (Light State)	0,755 (Light State)
	2,519 (Dark State)	0,209 (Dark State)	0,114 (Dark State)
Διπλός TC	2,512 (24 °C)	0,637 (24 °C)	0,654 (24 °C)
	2,512 (34 °C)	0,602 (34 °C)	0,553 (34 °C)
	2,512 (48 °C)	0,532 (48 °C)	0,370 (48 °C)
	2,512 (62 °C)	0,445 (62 °C)	0,175 (62 °C)
	2,512 (75 °C)	0,389 (75 °C)	0,077 (75 °C)
Διπλός low-e	1,353	0,404	0,693
Τριπλός low-e	1,026	0,371	0,618
Τριπλός EC low-e	0,981 (Light State)	0,39 (Light State)	0,593 (Light State)
	0,981 (Dark State)	0,096 (Dark State)	0,089 (Dark State)
Τριπλός TC low-e	0,980 (24 °C)	0,338 (24 °C)	0,513 (24 °C)
	0,980 (34 °C)	0,317 (34 °C)	0,434 (34 °C)
	0,980 (48 °C)	0,277 (48 °C)	0,291 (48 °C)
	0,980 (62 °C)	0,277 (62 °C)	0,137 (62 °C)
	0,980 (75 °C)	0,194 (75 °C)	0,060 (75 °C)

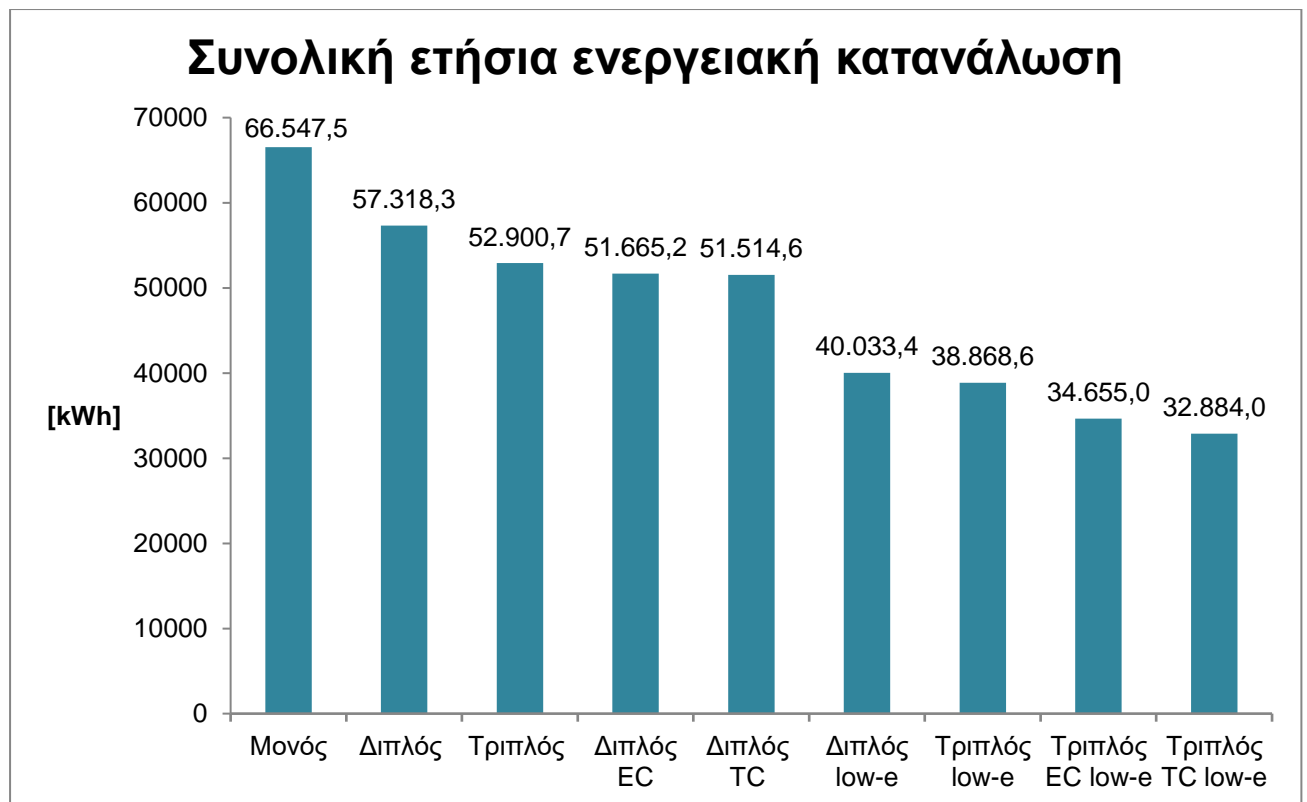
6.2.2 Ενεργειακή απόδοση κάθε υαλοπίνακα

Σε αυτό το υπό κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής απόδοσης κάθε υαλοπίνακα. Πιο συγκεκριμένα, έχουν δημιουργηθεί διαγράμματα για την συνολική ετήσια ενέργεια, την ετήσια ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο αλλά και τα ετήσια φορτία ψύξης, θέρμανσης και φωτισμού τα οποία θεωρούνται τα πιο σημαντικά. Όπως έχει ήδη αναφερθεί κατά την διάρκεια των προσομοιώσεων έχουν μείνει αμετάβλητα ολόκληρη η αδιαφανής δομή του κτηρίου, τα φορτία χρηστών, φωτισμού, ηλεκτρικού εξοπλισμού, ο θερμοστάτης και το σύστημα HVAC και αλλάξαμε μόνο τους υαλοπίνακες ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

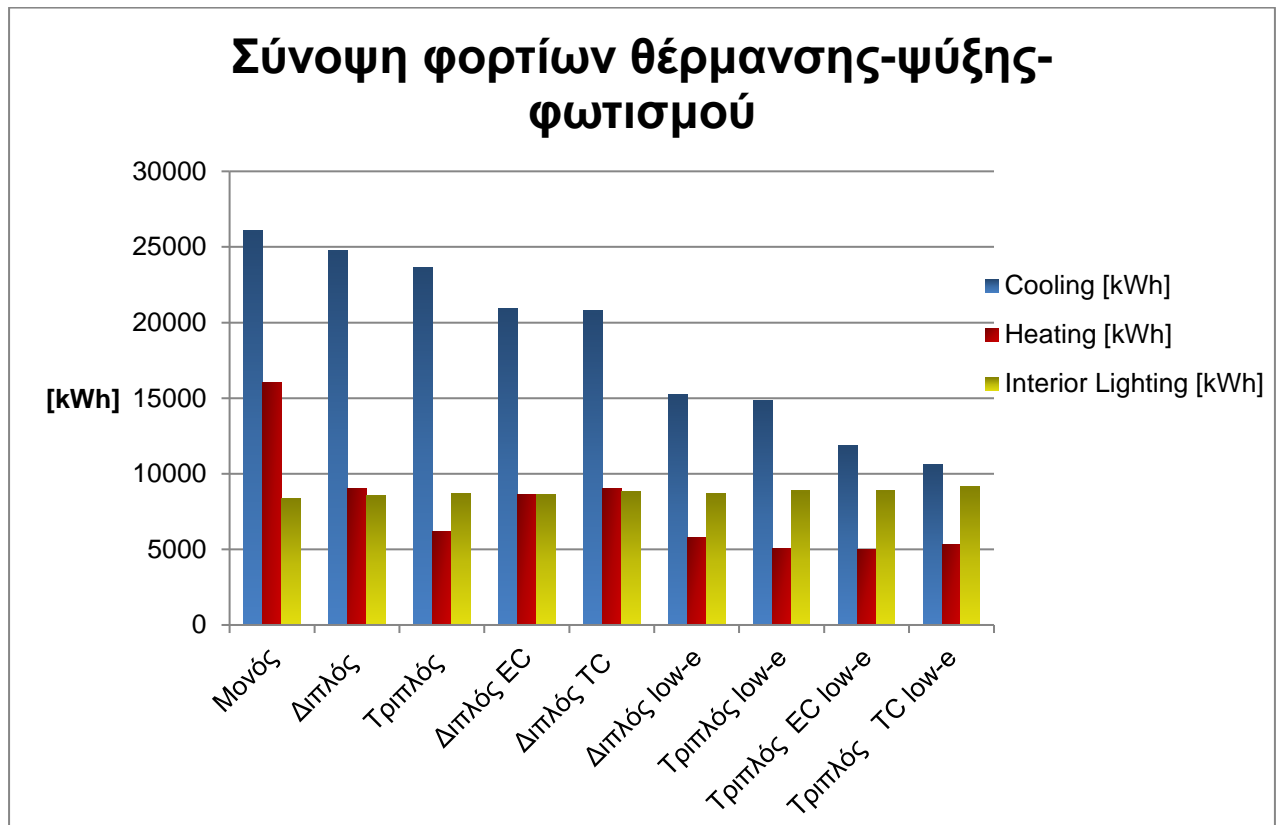
6.2.2.1 Συνολική ετήσια ενέργεια

Η ετήσια συνολική ενέργεια αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά αποτελέσματα για την αξιολόγηση ενός υαλοπίνακα καθώς προσδιορίζει το πόσο αποδοτικός είναι. Πιο αναλυτικά, η συνολική ετήσια ενέργεια αποτελεί το άθροισμα της ενέργειας που χρησιμοποιεί το σύστημα κατά την λειτουργία του και διακρίνεται στην ενέργεια θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, εξοπλισμού εσωτερικού χώρου,

ανεμιστήρων, αντλιών, της απόρριψης θερμότητας για τον πύργο ψύξης και τον συμπυκνωτή του ψύκτη. Από το επόμενο διάγραμμα παρατηρούμε ότι την ελάχιστη ενέργεια έχουμε όταν χρησιμοποιούμε τριπλό TC low-e υαλοπίνακα και αμέσως μετά πιο οικονομικός είναι ο τριπλός EC low-e. Αυτό συμβαίνει καθώς υπάρχει συνδυασμός των φύλλων χαμηλής εκπομπής με τα ηλεκτροχρωμικά και θερμοχρωμικά φύλλα. Επίσης, από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η χρήση των TC είναι πιο αποδοτική από εκείνη των EC κάτι που προκύπτει τόσο από την σύγκριση του Διπλού TC με τον Διπλό EC όσο και από την σύγκριση του Τριπλού TC low-e με τον Τριπλό EC low-e. Επιπλέον, διακρίνεται ότι πιο σημαντικό είναι το είδος κάθε φύλλου του υαλοπίνακα και όχι τόσο το πλήθος τους. Άλλωστε, σε σύγκριση με τον απλό Μονό ο απλός Τριπλός υαλοπίνακας είναι πιο αποδοτικός κατά $\approx 20,50\%$ ενώ ο Διπλός low-e είναι πιο αποδοτικός κατά $\approx 40\%$.



Σχήμα 6.8 Συνολική ετήσια ενέργεια υαλοπινάκων.



Σχήμα 6.9 Σύνοψη αποτελεσμάτων για τα φορτία ψύξης, θέρμανσης, φωτισμού συναρτήσεϊ του υαλοπίνακα που χρησιμοποιείται.

6.2.2.2 Ετήσια ενέργεια ανά επιφάνεια

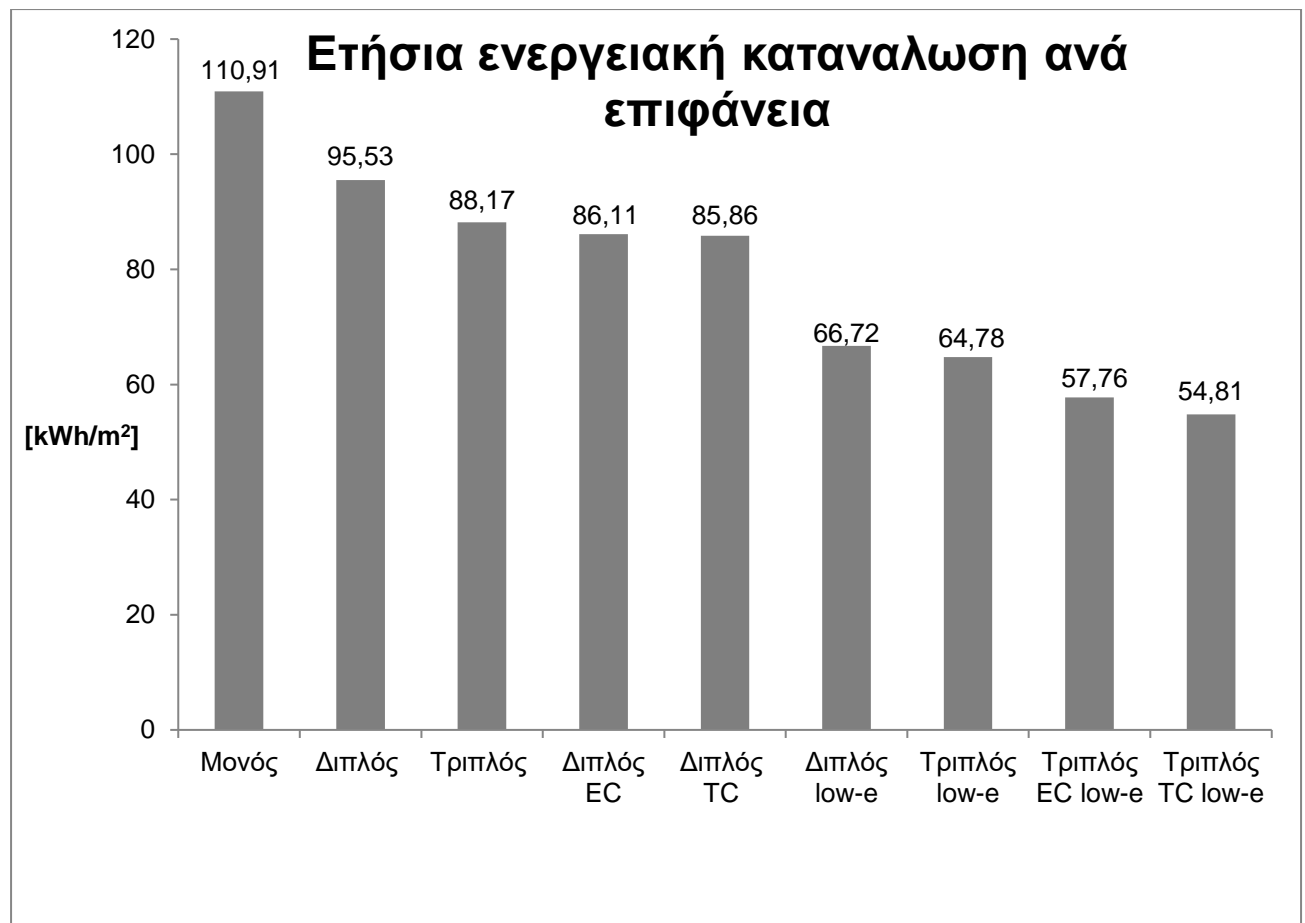
Αντίστοιχα με τα αποτελέσματα για την συνολική ετήσια ενέργεια είναι και τα αποτελέσματα για την ετήσια ενέργεια ανά τετραγωνικό καθώς είναι οι ίδιες τιμές διαιρεμένες με το συνολικό εμβαδόν (=600m²). Μάλιστα, η συγκεκριμένη κατηγορία είναι που χρησιμοποιείται περισσότερο ενώ σύμφωνα με αυτή κατατάσσονται και τα κτήρια σε ενεργειακές κλάσεις.

Στην δική μας περίπτωση μας, με Μονό υαλοπίνακα έχουμε 110,91 kWh/m² και το κτήριο θεωρείται οριακά ενεργειακής κλάσεις B+. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχουμε χαμηλούς συντελεστές θερμικής διαπερατότητας των αδιαφανών δομικών στοιχείων όπως για παράδειγμα οι εξωτερικοί τοίχοι που έχουν $U_{ExtWall}=0,249 [W/(m^2 \cdot K)]$ ή η οροφή με $U_{Roof}=0,229[W/(m^2 \cdot K)]$ (Πίνακας 6.8). Επίσης, ένας άλλος παράγοντας είναι ότι το κτήριο έχει σχεδιαστεί με ορισμένες βασικές αρχές του βιοκλιματισμού κατά τον οποίο η βόρεια πλευρά έχει το μικρότερο ποσοστό WWR και εκεί βρίσκονται κυρίως οι χώροι των λουτρό και των προθάλαμων ενώ η νότια πλευρά έχει την μεγαλύτερη έκταση και το μεγαλύτερο ποσοστό WWR και εκεί βρίσκονται τα περισσότερα γραφεία. Στην συνέχεια, κατά την εφαρμογή των Διπλών low-e υαλοπινάκων το κτήριο αποκτά

ενεργειακή κλάση A ενώ με Τριπλά EC low-e και Τριπλά TC low-e βρισκόμαστε εντός ορίων για την ενεργειακή κλάση A+.

Πίνακας 6.13 Στοιχεία για την εξοικονόμηση ενέργειας για κάθε υαλοπίνακα σε σχέση με την χρήση Μονών υαλοπινάκων.

Υαλοπίνακας	Ενέργεια/επιφάνεια [kWh/m ²]	Εξοικονόμηση Ενέργειας
Μονός	110,91	
Διπλός	95,53	13,87%
Τριπλός	88,17	20,50%
Διπλός EC	86,11	22,36%
Διπλός TC	85,86	22,59%
Διπλός low-e	66,72	39,84%
Τριπλός low-e	64,78	41,59%
Τριπλός EC low-e	57,76	47,92%
Τριπλός TC low-e	54,81	50,58%



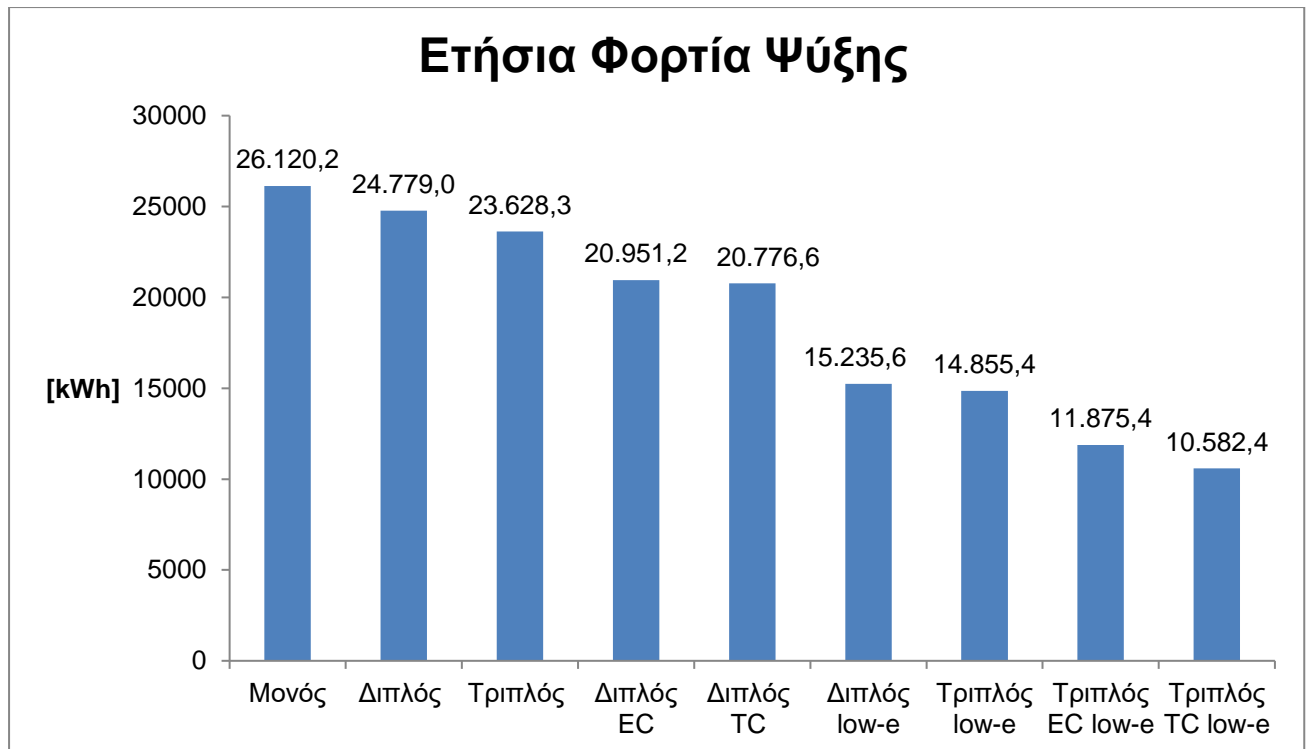
Σχήμα 6. 10 Συνολική ετήσια ενέργεια υαλοπινάκων ανά επιφάνεια.

6.2.2.3 Ετήσια φορτία ψύξης

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 6.11 τα φορτία ψύξης έχουν την μεγαλύτερη βαρύτητα όσον αφορά την συνολική ετήσια κατανάλωση. Αυτό συμβαίνει καθώς για τα θερμά κλίματα όπως αυτό της Αθήνας η ψύξη είναι που απαιτεί την υψηλότερη ισχύ ώστε να υπάρξει η σχεδιασμένη θερμική άνεση. Επίσης, παρατηρούμε ότι έχουν πολλαπλάσια τιμή σε σχέση με τα λοιπά φορτία και όπως φαίνεται από την μεταβολή τους έχουν την πιο "ευαίσθητη" συμπεριφορά στην αλλαγή των υαλοπινάκων. Κατά την χρήση του Μονού υαλοπίνακα χρειαζόμαστε 26120,24 kWh για τα φορτία ψύξης το οποίο αντιστοιχεί στο ~60% της συνολικής κατανάλωσης. Με την χρήση του Διπλού έχουμε μείωση 5,13% και με τον Τριπλό 9,54%. Επίσης, μεγάλη διαφορά έχουμε στην χρήση χαμηλής εκπομπής με τον Διπλό low-e να έχει εξοικονόμηση 41,67%. Επιπλέον, με την χρήση του Τριπλού TC low-e χρειαζόμαστε 10582,4 kWh ψυκτικά φορτία με την εξοικονόμηση σε σχέση με τον Μονό είναι στο ≈59,5% για την συγκεκριμένη κατηγορία. Τα στοιχεία που επηρεάζουν τα φορτία ψύξης σε σχέση με τους υαλοπίνακες είναι εκείνη της θερμικής διαπερατότητας και του SHGC. Η περίοδος ψύξης γίνεται τους καλοκαιρινούς μήνες όπου οι EC σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα που λειτουργούν έχουν την δυνατότητα να μεταβούν και στη χρωματισμένη κατάσταση τους μειώνοντας το SHGC όποτε χρειαστεί και έτσι ο Διπλός EC είναι πιο οικονομικός από τον απλό Διπλό και ο Τριπλός EC low-e πιο οικονομικός από τον Τριπλό low-e. Επίσης, το χαμηλό SHGC σε συνδυασμό με τον μειωμένο συντελεστή διαπερατότητας των τριπλών low-e, EC low-e και TC low-e είναι που δίνουν την καλύτερη οικονομία στα φορτία ψύξης.

Πίνακας 6.14 Στοιχεία για τα φορτία ψύξης και την εξοικονόμηση σε σχέση με την χρήση Μονών υαλοπινάκων.

Υαλοπίνακας	Φορτία Ψύξης [kWh]	Εξοικονόμηση Ενέργειας
Μονός	26120,24	
Διπλός	24779,02	5,13%
Τριπλός	23628,27	9,54%
Διπλός EC	20951,22	19,79%
Διπλός TC	20776,55	20,46%
Διπλός low-e	15235,59	41,67%
Τριπλός low-e	14855,44	43,13%
Τριπλός EC low-e	11875,44	54,54%
Τριπλός TC low-e	10582,4	59,49%



Σχήμα 6.11 Ετήσια φορτία ψύξης για διάφορα είδη υαλοπινάκων.

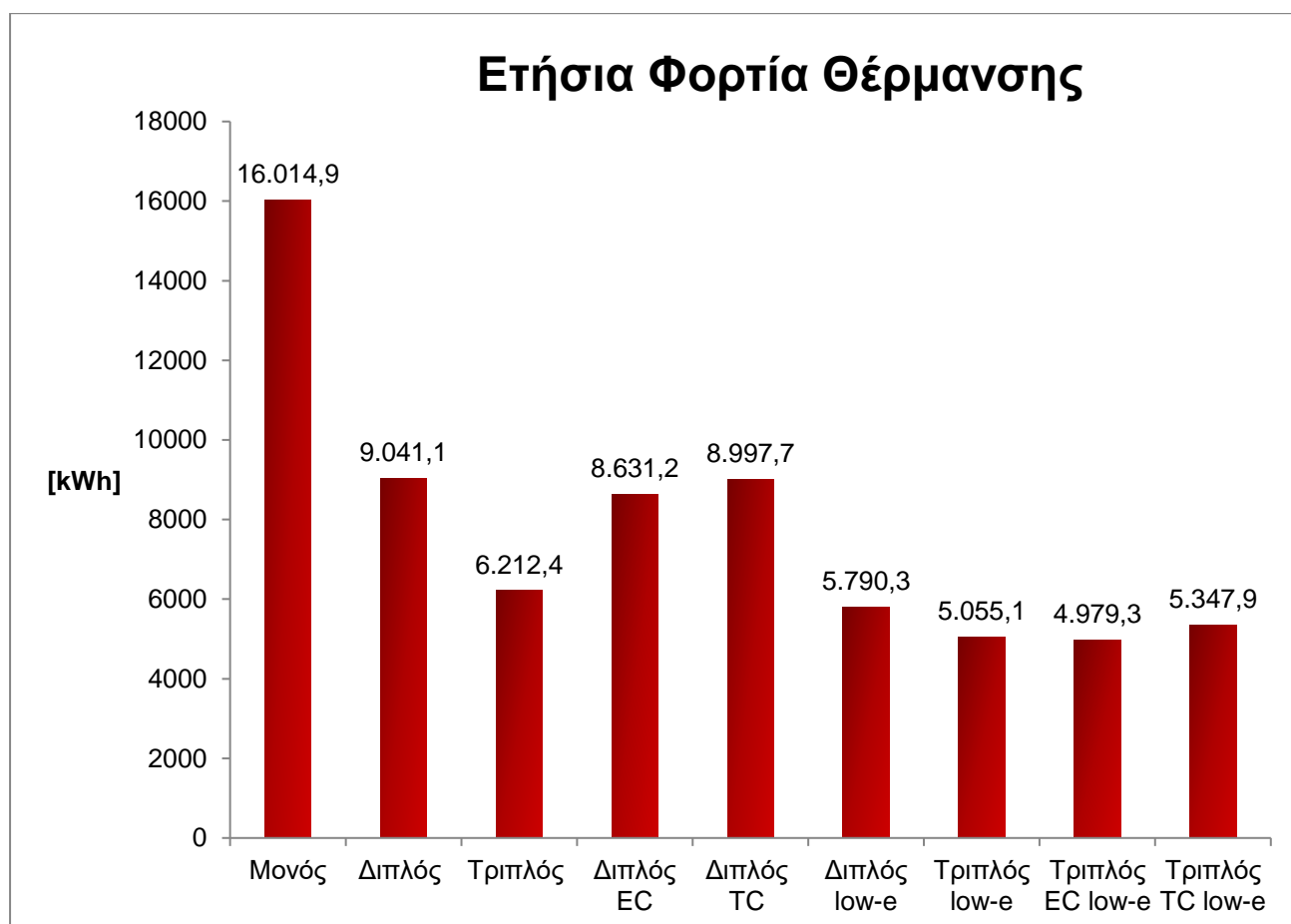
6.2.2.4 Ετήσια φορτία θέρμανσης

Τα φορτία θέρμανσης αποτελούν σημαντική παράμετρο για τον σχεδιασμό κάθε κτηρίου. Στην περίπτωση μας, παρατηρούμε σημαντικές μεταπτώσεις ανάλογα τον υαλοπίνακα που χρησιμοποιούμε. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται ότι η χρήση του Μονού με φορτίο θέρμανσης 16014,95 kWh έχει την μεγαλύτερη «απαίτηση» ενέργειας για την συγκεκριμένη κατηγορία λόγω του μεγάλου U και κατά επέκταση των υψηλών απωλειών. Μάλιστα, η σημασία του συντελεστή διαπερατότητας φαίνεται και από το γεγονός ότι ο απλός Τριπλός είναι αρκετά πιο οικονομικός από τον Διπλό, Διπλό EC και Διπλό TC. Επίσης λόγω της πλήρους απενεργοποίησης του τον χειμώνα ο Διπλός EC έχει καλύτερη συμπεριφορά από τον Διπλό TC. Άξιο αναφοράς είναι ότι ο Διπλός TC εφόσον την περίοδο της θέρμανσης δεν μεταβαίνει συχνά στις πιο σκούρες καταστάσεις του έχει πανομοιότυπη απόδοση με τον απλό Διπλό όπου κυρίως οι τιμές των U και εν μέρη των SHGC, για χαμηλές θερμοκρασίες, είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους. Ίδια λογική ακολουθείτε και στους τριπλούς. Την καλύτερη απόδοση έχει ο Τριπλός EC low-e με απαίτηση για 4979,28 kWh και πολύ κοντά είναι ο Τριπλός low-e με 5055,14 kWh καθώς έχουν πανομοιότυπα χαρακτηριστικά λόγω της αποκλειστικής λειτουργίας των EC στην διαφανή κατάσταση. Ο Τριπλός TC low-e με 5347,91 kWh είναι ο τρίτος πιο οικονομικός. Επιπροσθέτως, από τα αποτελέσματα των φορτίων θέρμανσης σε συνδυασμό με εκείνα της ψύξης αποδεικνύουν την αποδοτική χρήση της επίστρωσης χαμηλής εκπομπής 2^{ης}

γενιάς όλο τον χρόνο και γιατί χαρακτηρίζονται ως υαλοπίνακες τεσσάρων ε-ποχών.

Πίνακας 6.15 Στοιχεία για τα φορτία θέρμανσης και την εξοικονόμηση σε σχέση με την χρήση Μονών υαλοπινάκων .

Υαλοπίνακας	Φορτία Θέρμανσης [kWh]	Εξοικονόμηση Ενέργειας
Μονός	16014,94	
Διπλός	9041,09	43,55%
Τριπλός	6212,37	61,21%
Διπλός EC	8631,24	46,11%
Διπλός TC	8997,71	43,82%
Διπλός low-e	5790,31	63,84%
Τριπλός low-e	5055,14	68,43%
Τριπλός EC low-e	4979,28	68,91%
Τριπλός TC low-e	5347,91	66,61%



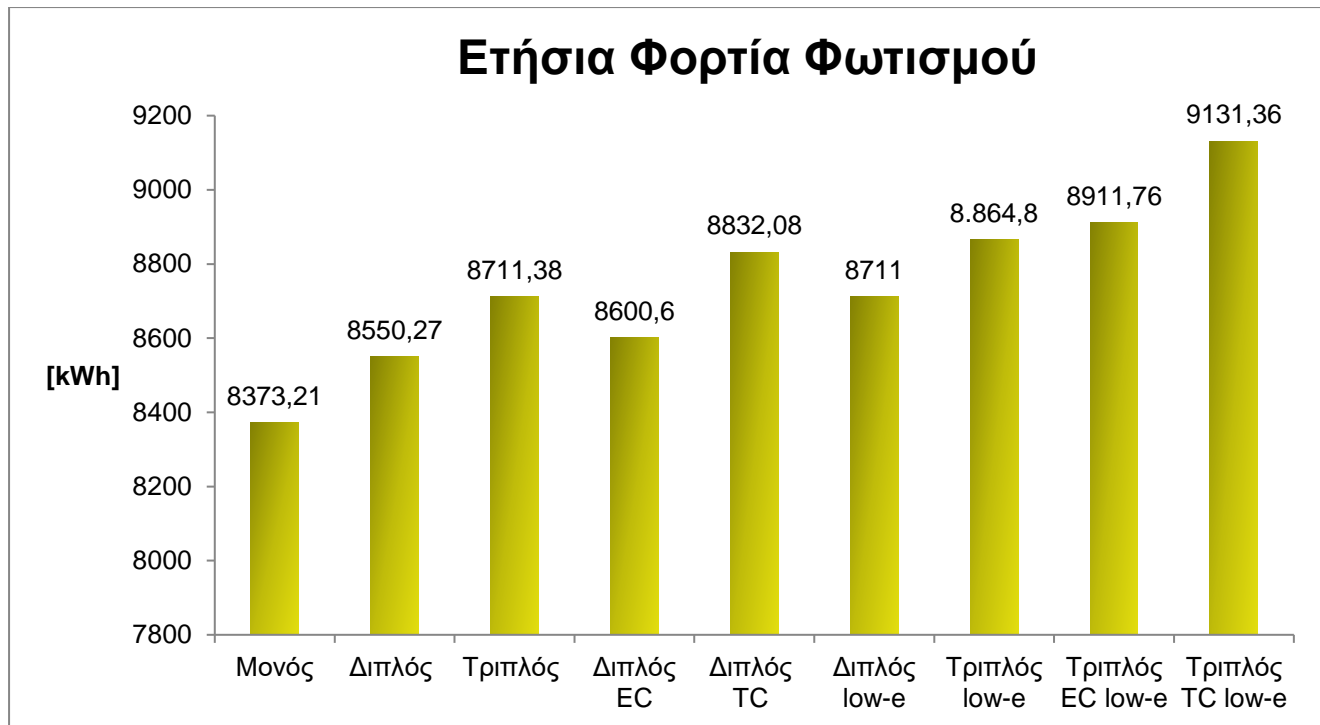
Σχήμα 6. 12 Ετήσια φορτία θέρμανσης για διάφορα είδη υαλοπινάκων.

6.2.2.5 Ετήσια φορτία φωτισμού

Άλλη μία πολύ σημαντική παράμετρος που πάντα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι τα φορτία φωτισμού. Μάλιστα, σε αρκετές περιπτώσεις η κατανάλωση σε τεχνητό φως είναι σχεδόν διπλάσια από εκείνη της θέρμανσης. Σε αυτή την κατηγορία ο πιο αποδοτικός υαλοπίνακας όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας είναι ο Μονός με 8373,21 kWh για τα φορτία φωτισμού. Αυτό συμβαίνει καθώς όσο πιο διαυγής είναι ένας υαλοπίνακας τόσο μεγαλύτερο συντελεστή οπτικής διαπερατότητας έχει με αποτέλεσμα να διαπερνά πιο εύκολα το φυσικό φως και να μην χρειάζεται ο τεχνητός φωτισμός. Βέβαια, σε κάθε περίπτωση δεν θα πρέπει να ξεχνάμε το φαινόμενο της θάμβωσης όπου κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες σε χώρους γραφείου λόγω υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στην εργασία. Από εκεί και πέρα, μετά τον Μονό παρατηρούμε ότι πιο αποδοτικός είναι ο Διπλός με 8550,27 kWh και ακολουθεί ο Διπλός EC με 8600,6 kWh. Συγκρίνοντας, λοιπόν τις τιμές του σχήματος 6.13 με τον πίνακα 6.12 καταλήγουμε στο ότι η απόδοση έχει να κάνει αποκλειστικά με τον συντελεστή οπτικής διαπερατότητας VLT. Επίσης, επειδή οι EC βρίσκονται στην χρωματισμένη κατάσταση λιγότερες ώρες από ότι στην αποχρωματισμένη εν μέρη λειτουργούν με το VLT της διαυγής κατάστασης για την περίοδο ενός ολόκληρου χρόνου και είναι πιο οικονομικοί στην συγκεκριμένη κατηγορία σε σχέση τους θερμοχρωμικούς. Για τον Διπλό TC χρειαζόμαστε 8832,08 kWh και για τον Τριπλό TC low-e 9131,36 kWh που είναι και η μεγαλύτερη τιμή κατανάλωσης φορτίων φωτισμού με αύξηση ενέργειας 9,05% σε σχέση με τον Μονό.

Πίνακας 6.16 Στοιχεία για τα φορτία φωτισμού και την αύξηση ενέργειας σε σχέση με την χρήση Μονών υαλοπινάκων.

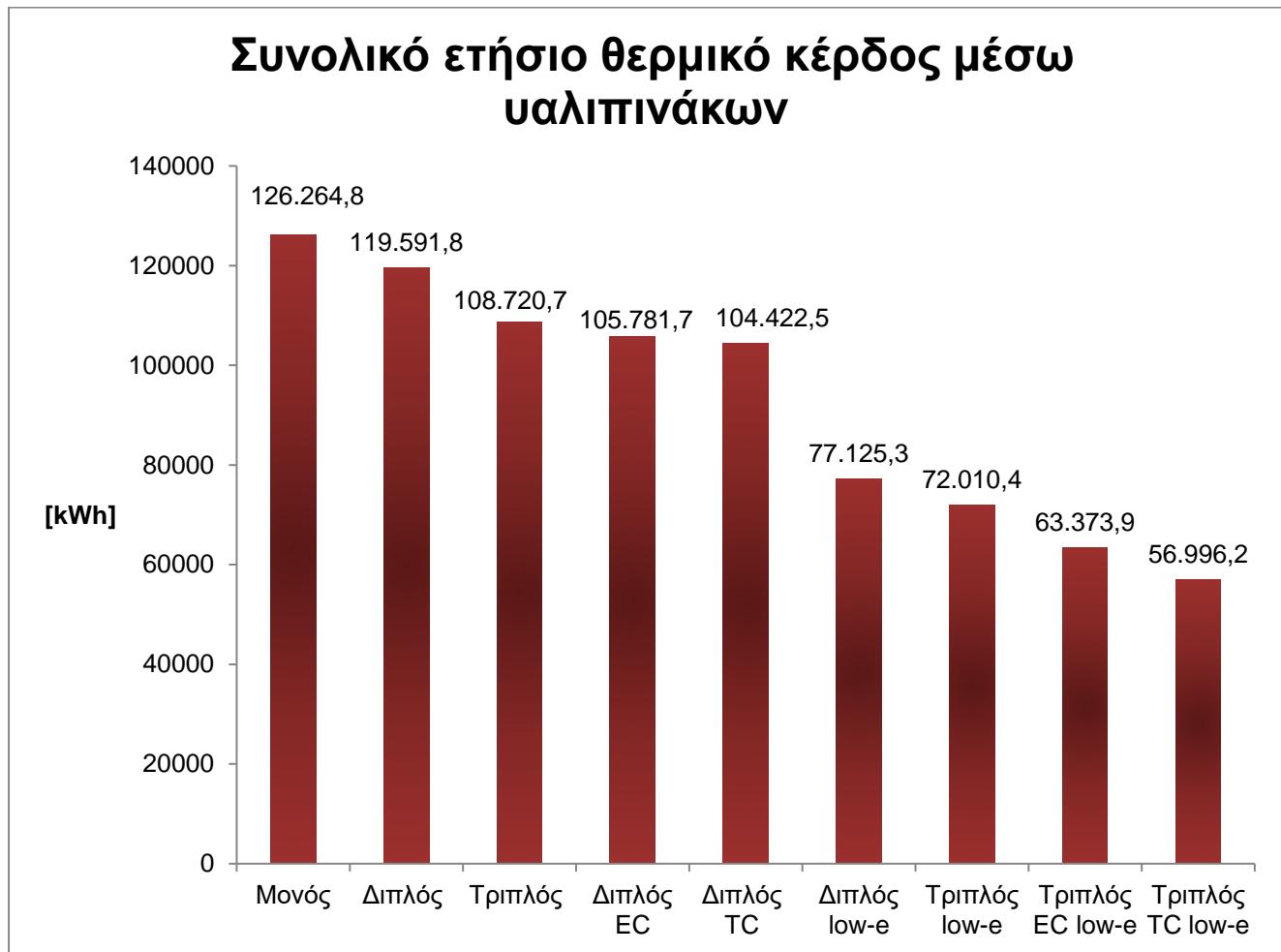
Υαλοπίνακας	Φορτία Φωτισμού [kWh]	Αύξηση Ενέργειας
Μονός	8373,21	
Διπλός	8550,27	2,11%
Τριπλός	8711,38	4,04%
Διπλός EC	8600,6	2,72%
Διπλός TC	8832,08	5,48%
Διπλός low-e	8711	4,03%
Τριπλός low-e	8864,77	5,87%
Τριπλός EC low-e	8911,76	6,43%
Τριπλός TC low-e	9131,36	9,05%



Σχήμα 6.13 Ετήσια φορτία φωτισμού για διάφορα είδη υαλοπινάκων.

6.2.2.6 Ετήσια θερμικά κέρδη μέσω υαλοπινάκων

Παρακάτω δίνονται τα ετήσια θερμικά κέρδη μέσω υαλοπινάκων σε μονάδες [kWh] όπως προέκυψαν από το EnergyPlus. Από τα αποτελέσματα αποδεικνύεται ότι όσο μεγαλύτερο είναι το SHGC τόσο μεγαλύτερο το θερμικό κέρδος. Επίσης, την χαμηλότερη τιμή έχει ο Τριπλός TC low-e ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει με μέγιστο SHGC=0,338 και ελάχιστο SHGC=0,194. Επιπλέον, παρατηρώντας την συμπεριφορά των EC φαίνεται ότι παρόλο που έχουν πολύ χαμηλό SHGC στην χρωματισμένη κατάσταση δεν έχουν πολύ μικρό συνολικό θερμικό κέρδος λόγω του προγράμματος λειτουργίας του. Βέβαια, το ετήσιο θερμικό κέρδος υπολογίζεται ως το άθροισμα όλων των μορφών θερμότητας που εισέρχονται στον χώρο μέσω των υαλοπινάκων οπότε και ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας θα πρέπει να λαμβάνετε υπόψη.



Σχήμα 6.14 Συνολικό ετήσιο θερμικό κέρδος μέσω υαλοπινάκων.

6.2.2.7 Ετήσια θερμικές απώλειες μέσω υαλοπινάκων

Αντίστοιχα με τα ετήσια θερμικά κέρδη διαμορφώνεται και το διάγραμμα των ετήσιων θερμικών απωλειών. Ο Τριπλός TC low-e έχει τις χαμηλότερες απώλειες και ακολουθεί ο Τριπλός EC low-e ενώ τις μεγαλύτερες απώλειες έχει ο Μονός. Μία διαφορά που αξίζει να αναφερθεί είναι η συμπεριφορά του απλού Τριπλού ο οποίος έχει τις λιγότερες απώλειες τόσο από τον Διπλό EC όσο και από τον Διπλό TC. Σε αυτήν την περίπτωση φαίνεται ότι ο υψηλός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας των Διπλών EC και Διπλών TC έχει οδηγήσει στο να έχουν τις ίδιες απώλειες περίπου με τον απλό Διπλό που έχει παρόμοιο U με αυτούς.



Σχήμα 6.15 Συνολικές ετήσιες θερμικές απώλειες μέσω υαλοπινάκων.

6.3 Αποτελέσματα χρήσης φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων

Από την ενεργειακή ανάλυση των φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων διαπιστώνουμε ότι με την χρήση τους έχουμε την δυνατότητα για υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας. Αν και η συγκεκριμένη τεχνολογία βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο και έχουμε χαμηλούς βαθμούς απόδοσης όσον αφορά την μετατροπή ενέργειας σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ από τα αποτελέσματα διακρίνουμε ότι η ενεργειακή τους απόδοση είναι συγκρίσιμη με άλλους «έξυπνους» υαλοπίνακες.

6.3.1 Χαρακτηριστικά BIPV

Αρχικά, μέσω του EnergyPlus υπολογιστήκαν τα χαρακτηριστικά κάθε φωτοβολταϊκού υαλοπίνακα όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα. Παρατηρούμε, ότι ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας ($\sim 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) είναι πολύ κοντά σε αυτόν ενός διπλού υαλοπίνακα. Αντίθετα, ο συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών SHGC έχει αρκετά μικρότερες τιμές καθώς το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας ενός BIPV καλύπτεται από τα ηλιακά κελιά που απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία. Αντίστοιχα, η οπτική διαπερατότητα είναι ιδιαίτερα χαμηλή όπως αναμενόταν από την δήλωση των ιδιοτήτων των φωτοβολταϊκών φύλλων στο EnergyPlus.

Πίνακας 6.17 Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων.

Υαλοπίνακας	U-Factor [W/(m ² K)]	SHGC	VLT
Διπλός	2,521	0,7	0,787
Διπλός low-e	1,353	0,404	0,693
BIPV1	2,599	0,400	0,278
BIPV2	2,675	0,274	0,128

6.3.2 Ενεργειακές επιδόσεις των BIPV

Από την λειτουργία των BIPV παράγεται ηλεκτρικής ισχύς η οποία καταναλώνεται για τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου. Μέσω του EnergyPlus υπολογίστηκε πόσο είναι η αρχική παραγόμενη ισχύς, πόσο χάνεται κατά την μετατροπή του DC σε AC από τον inverter και πόσο τελικά καταναλώνεται. Επίσης, μοντελοποιήθηκε μπαταρία στην πιο απλή της μορφή για την προσομοίωση της αποθήκευση της ενέργειας και την διάχυση της στην συνέχεια στα συστήματα του κτηρίου. Για την πρώτη περίπτωση του BIPV1 προκύπτει ότι σε ένα έτος παράγεται ισχύς 8100,2 kWh με την ισχύς που χάνεται κατά την μετατροπή να είναι 405,11 kWh. Αντίστοιχα, για τον BIPV2 παράγεται 9075,859 kWh και ύστερα χάνονται 453,73 kWh. Όσον αφορά την ισχύ που μπορούμε να καταναλώσουμε για τον BIPV1 παράγεται καθαρή ισχύς 7697,11 kWh ενώ για το BIPV2 8622,06 kWh. Επίσης, όπως φαίνεται από τους παρακάτω πίνακες τα φωτοβολταϊκά συμβάλουν κατά 21,81% και 25,34% αντίστοιχα, των συνολικών ηλεκτρικών φορτίων του κτηρίου.

Πίνακας 6.18 Αποτελέσματα μέσω του EnergyPlus για τα ηλεκτρικά φορτία του BIPV 1 .

Electric Loads Satisfied

	Electricity [kWh]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	8102.222	22.96
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	-405.11	-1.1
Net Decrease in On-Site Storage	0.000	0.00
Total On-Site Electric Sources	7697.111	21.81
Electricity Coming From Utility	27843.393	78.90
Surplus Electricity Going To Utility	252.773	0.72
Net Electricity From Utility	27590.621	78.19
Total On-Site and Utility Electric Sources	35287.732	100.00
Total Electricity End Uses	35287.732	100.00

Πίνακας 6.19 Αποτελέσματα μέσω του EnergyPlus για τα ηλεκτρικά φορτία του BIPV 2.

Electric Loads Satisfied

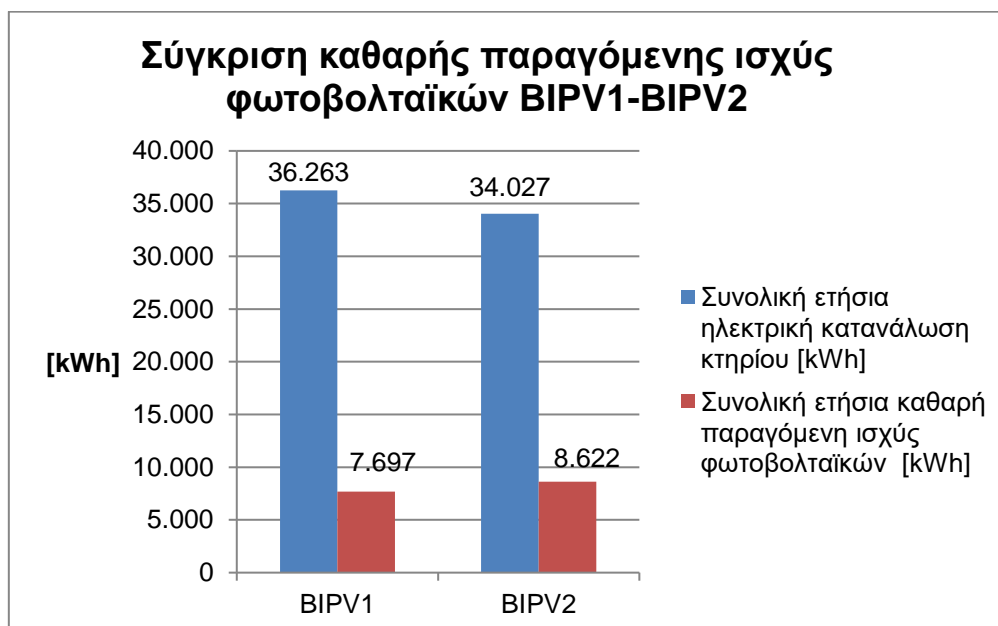
	Electricity [kWh]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	9075.859	26.67
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	-453.79	-1.3
Net Decrease in On-Site Storage	0.000	0.00
Total On-Site Electric Sources	8622.066	25.34
Electricity Coming From Utility	25796.978	75.81
Surplus Electricity Going To Utility	392.324	1.15
Net Electricity From Utility	25404.654	74.66
Total On-Site and Utility Electric Sources	34026.720	100.00
Total Electricity End Uses	34026.720	100.00

Πίνακας 6.20 Παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών. Στον πίνακα απεικονίζονται η ισχύς που παράγει κάθε φωτοβολταϊκό, η ισχύς που χάνεται κατά την μετατροπή της, η καθαρή ισχύς των φωτοβολταϊκών και τέλος οι συνολικές ηλεκτρικές καταναλώσεις του κτηρίου.

	BIPV1	BIPV2
Παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών [kWh]	8.102	9.076
Ετήσιες απώλειες ισχύος [kWh]	405,11	453,79
Συνολική ετήσια καθαρή παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών [kWh]	7.697	8.622
Συνολική ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση κτηρίου [kWh]	36.263	34.027

Πίνακας 6.21 Σύγκριση ποσοστιαίας συμμετοχής της παραγόμενης ισχύς των BIPV1 και BIPV2 στις συνολικές ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις.

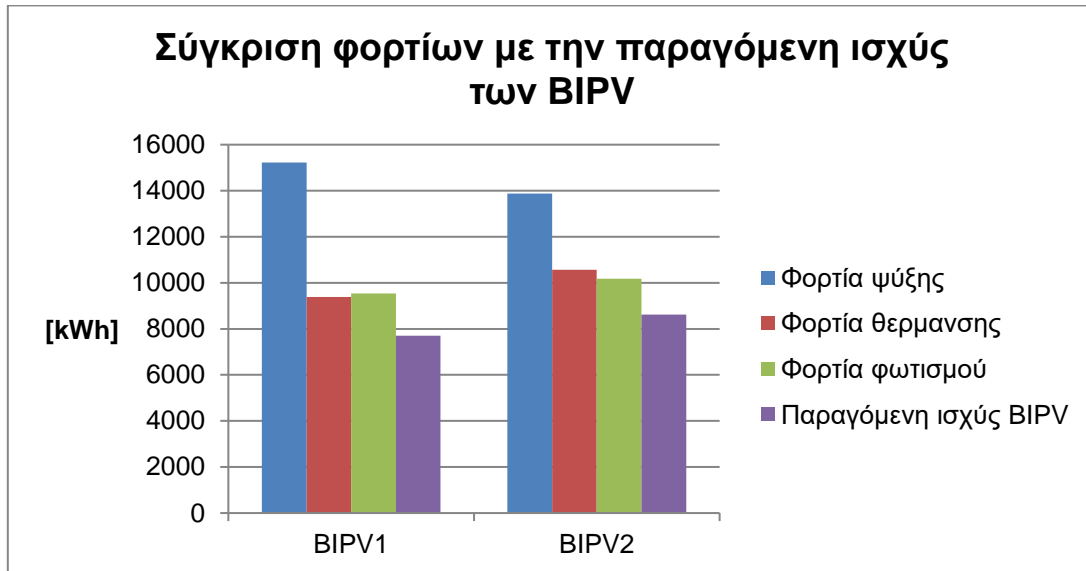
	BIPV1	BIPV2
Ποσοστό ηλεκτρικού ρεύματος που καλύπτεται από φωτοβολταϊκά [%]	21,81%	25,34%
Ποσοστό ηλεκτρικού ρεύματος που καλύπτεται από πάροχο [%]	78,19%	74,66%



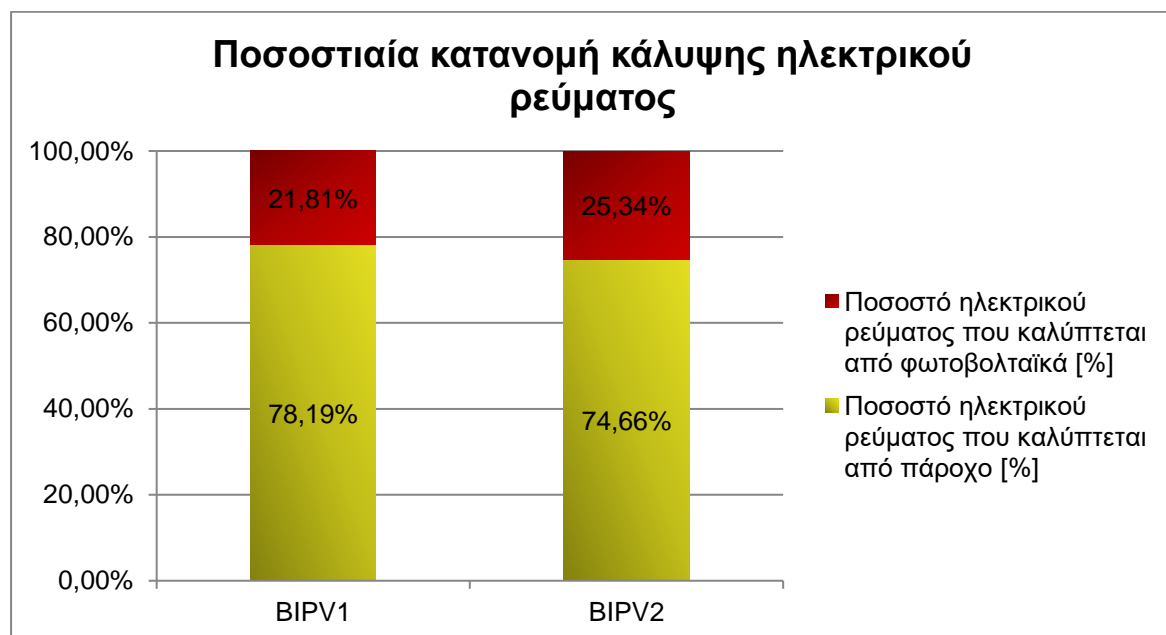
Σχήμα 6.16 Σύγκριση της παραγόμενης ισχύς των φωτοβολταϊκών σε σχέση με τις συνολικές ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρισμού για τα BIPV1 και BIPV2.

Όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα η ετήσια παραγόμενη ισχύς των PV σχεδόν φθάνει τα ετήσια φορτία θέρμανσης. Επίσης, από το σχήμα 6.19 φαίνεται ότι τα BIPV έχουν πολύ καλή ενεργειακή συμπεριφορά καθώς είναι σαφώς πιο οικονομικά από τον Διπλό υαλοπίνακα κατά 35,50% για τον BIPV1 και κατά 37,24% για τον BIPV2. Μάλιστα, για την Ελλάδα όπου τα κτήρια στην πλειονότητα τους χρησιμοποιούν διπλούς υαλοπίνακες με πλήρωση αέρα και όχι πλήρωση αργού που έχει ο Διπλός που συγκρίνεται η διαφορά είναι ακόμα μεγαλύτερη. Επιπλέον, τα BIPV έχουν συντελεστή απόδοσης 4,8% και 5,3% και συντελεστή πλήρωσης $FF \approx 70\%$ ο οποίος αυξάνει τη ανάγκη τεχνητού φωτισμού λόγω χαμηλής οπτικής διαπερατότητας. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα BIPV έχουν μεγάλες προοπτικές καθώς πιθανή αύξηση της απόδοσης τους από το 5% θα σημάνει και ακόμα μεγαλύτερη ενεργειακή εξοικονόμηση.

Σημαντικός τομέας επίσης της απόδοσης των BIPV είναι και η αποθήκευση της ενέργειας. Όπως κάθε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας έτσι και τα PV δεν μπορούν να παράγουν μία σταθερή τιμή ηλεκτρικής ισχύς όποτε υπάρχει ανάγκη κατανάλωσης λόγω των κλιματικών συνθηκών. Για αυτό τον λόγο τα τελευταία χρόνια γίνονται πολλές προσπάθειες για την δημιουργία και την εξέλιξη των υπαρχόντων τεχνολογιών που μπορούν να αποθηκεύσουν την ενέργεια χωρίς μεγάλες απώλειες με τελικό σκοπό της αύξηση του ποσοστού του ηλεκτρικού ρεύματος που οφείλεται στα BIPV.



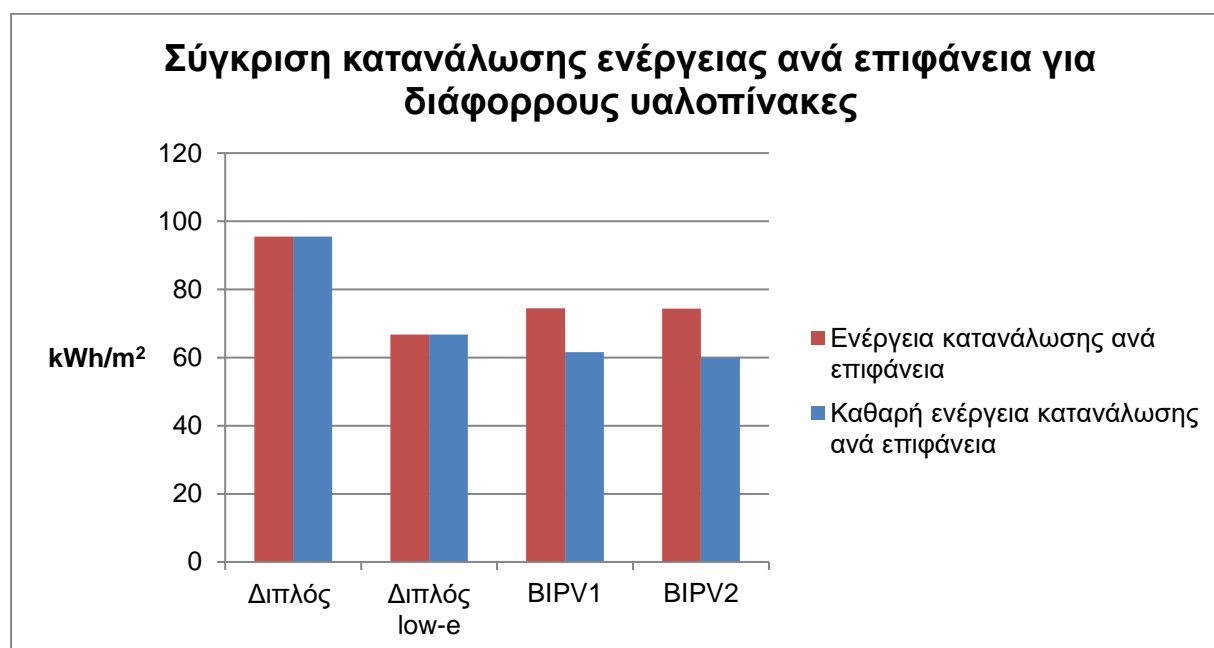
Σχήμα 6.17 Σύγκριση ετήσιων συνολικών φορτίων, φορτίων ψύξης, θέρμανσης, φωτισμού σε σχέση με την παραγόμενη ισχύ φωτοβολταϊκών για το BIPV1 και BIPV2.



Σχήμα 6.18 Ποσοστιαία σύγκριση παραγόμενης ισχύς φωτοβολταϊκών με ισχύ που αγοράζουμε από τον αρμόδιο πάροχο.

Πίνακας 6.22 Σύγκριση εξοικονόμησης ενέργειας μεταξύ των φωτοβολταϊκών BIPV1, BIPV2, Διπλού low-e με τον Διπλό υαλοπίνακα .

Υαλοπίνακας	Ενέργεια κατανάλωσης ανά επιφάνεια [kWh/m ²]	Καθαρή ενέργεια κατανάλωσης ανά επιφάνεια [kWh/m ²]	Εξοικονόμηση
Διπλός	95,53	95,53	
Διπλός low-e	66,72	66,72	30,16%
BIPV1	74,45	61,62	35,50%
BIPV2	74,32	59,95	37,24%



Σχήμα 6.19 Σύγκριση ετήσιας κατανάλωσης ανά τετραγωνικό διάφορων υαλοπινάκων .Πιο συγκεκριμένα, συγκρίνονται οι επιδόσεις του Διπλού, Διπλού Low-e και των 2 φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων .

7 Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

7.1 Συμπεράσματα

Για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε η ενεργειακή προσομοίωση ενός κτηρίου με την χρήση διάφορων υαλοπινάκων. Όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα η εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί μέσω προηγμένων και «έξυπνων» υαλοπινάκων είναι ικανή να φθάσει μέχρι και 50%. Εάν λάβουμε υπόψη ότι ο κτηριακός τομέας αντιστοιχεί περίπου στο 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας για την Ευρώπη τότε συμπεραίνουμε ότι η επιλογή κατάλληλου υαλοπίνακα είναι μία ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος. Ειδικά, για την περίπτωση της Ελλάδας όπου το κτηριακό απόθεμα εμφανίζει μεγάλη παλαιότητα και συνήθως εφαρμόζονται υαλοπίνακες στην πιο απλή τους μορφή, η αντικατάστασή τους με νέες και σύγχρονες τεχνολογίες θα οδηγήσει σε μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

Από τους διάφορους τύπους υαλοπινάκων που υπάρχουν στην αγορά έγινε εφαρμογή των ενεργειακών (χαμηλής εκπομπής), ηλεκτροχρωμικών (EC), θερμοχρωμικών (TC) και φωτοβολταϊκών (BIPV) υαλοπινάκων οι οποίοι συγκρίθηκαν με τους μονούς, διπλούς και τριπλούς που μοντελοποιήθηκαν επίσης. Από τα αποτελέσματα, προέκυψε ότι το μεσογειακό κλίμα της Αθήνας, το οποίο αναφέρεται και ως μεταβατικό μεταξύ των θερμών και ψυχρών κλιμάτων, ευνοεί ιδιαίτερα τους ενεργειακούς υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής. Η συνολική εξοικονόμηση ενός διπλού low-e μπορεί να φθάσει μέχρι και ~40% σχέση με έναν μόνο και σε ~30% σε σχέση με έναν διπλό χωρίς επίστρωση low-e. Όσον αφορά, τους TC και EC υαλοπίνακες παρατηρείται ότι η χρήση θερμοχρωμικών φύλλων έχει ελαφρώς καλύτερες επιδόσεις καθώς είναι πιο «ευαίσθητοι» στις κλιματικές μεταβολές και έχουν πολλαπλές καταστάσεις λειτουργίας σε σχέση με τις 2 των EC. Η χρήση των Διπλών TC έναντι των Μονών έχει συνολική εξοικονόμηση ~22,6% ενώ εκείνοι των Διπλών EC ~22,4%. Βέβαια, η καλύτερη ενεργειακή απόδοση εμφανίζεται στην περίπτωση που συνδυάζεται επίστρωση low-e με EC και κυρίως με TC φύλλο. Πιο συγκεκριμένα, ο τριπλός EC low-e μπορεί να πετύχει συνολική ετήσια συνολική εξοικονόμηση ~48% σε σχέση με έναν μόνο και ~39,5% σε σχέση με έναν διπλό ενώ ο τριπλός TC low-e φθάνει σε συνολική εξοικονόμηση μέχρι ~50% και ~42,6% αντίστοιχα.

Αναλύοντας περαιτέρω τα αποτελέσματα, μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα και για την επίδραση των χαρακτηριστικών κάθε υαλοπίνακα για κάθε μορφή φορτίου. Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση είναι τα οι συντελεστές U, SHGC, VLT. Λόγω της τοποθεσίας και του κλίματος, το μεγαλύτερο ποσοστό από την ετήσια κατανάλωση για τις κατάλληλες συνθήκες θερμικής άνεσης οφείλεται στα φορτία ψύξης. Για αυτό τον λόγο, σε γενικές γραμμές, θα θέλαμε χαμηλές τιμές των U και SHGC για την μείωση των θερμικών

απωλειών και σχετικά υψηλό VLT για την παροχή φυσικού φωτισμού με περιορισμό εξαιτίας του φαινομένου της θάμβωσης. Οι πιο οικονομικοί υαλοπίνακες όπως ο Τριπλός EC low-e και Τριπλός TC low-e παρουσιάζουν τα μικρότερα U με τιμές $0,981[W/(m^2 \cdot K)]$ και $0,980[W/(m^2 \cdot K)]$ αντίστοιχα. Επίσης, λόγω της δυναμικής τους δράσης οι τιμές του SGHC μεταβάλλονται χωρίς όμως να αποκτούν τιμές μεγαλύτερες του 0,39. Όσον αφορά τα φορτία θέρμανσης αν και εδώ για την καλύτερη εξοικονόμηση χρειαζόμαστε μικρές τιμές για το U το SHGC αντίθετα πρέπει να είναι εν μέρη υψηλό ώστε να εκμεταλλευόμαστε τα ηλιακά θερμικά κέρδη. Εξαιτίας αυτών, οι υαλοπίνακες με επίστρωση low-e έχουν τα μικρότερα φορτία θέρμανσης και για αυτό επίσης οι Διπλοί low-e και Τριπλοί low-e έχουν παρόμοιες επιδόσεις με τους Τριπλούς EC low-e και Τριπλούς TC low-e. Από την άλλη μεριά, στα φορτία φωτισμού η κατάσταση είναι πιο ξεκάθαρη καθώς όσο πιο μικρό συντελεστή VLT έχει ένας υαλοπίνακας τόσο μεγαλύτερες είναι οι ανάγκες για κατανάλωση τεχνητού φωτισμού. Άλλωστε, συγκρίνοντας τους υαλοπίνακες αποκλειστικά για τις ανάγκες τους σε φορτία φωτισμού ο Μονός παρουσιάζεται ως ο πιο οικονομικός.

Μία ιδιαίτερη κατηγορία υαλοπινάκων που εφαρμόστηκαν στο κτήριο είναι οι BIPV. Αν και τα φωτοβολταϊκά αρχικά δεν προορίζονταν για υαλοπίνακες οι μεγάλες προοπτικές που εμφανίζουν έχουν οδηγήσει στην συνεχή εξέλιξη τους. Σήμερα, υπάρχουν κυρίως μεμονωμένα κτήρια που τα χρησιμοποιούν αλλά γίνονται συνεχώς πειράματα για την αναβάθμιση τους. Ο λόγος που κάνει τα BIPV τόσο ξεχωριστά είναι η δυνατότητα που προσφέρουν για παραγωγή ενέργειας μέσω της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στην περίπτωση μας, μοντελοποιήθηκαν 2 διπλοί BIPV υαλοπίνακες οι οποίοι αν και είχαν απόδοση ~5%, όσον αφορά την μετατροπή ενέργειας, μπόρεσαν και είχαν συνολική ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας ~44,5% και ~46% σε σχέση με τους Μονούς υαλοπίνακες και συνολική ετήσια εξοικονόμηση ~35,5% και ~37,3% σε σχέση με τους Διπλούς. Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι με αύξηση της απόδοσης τους μπορούν να συμβάλουν σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Εν κατακλείδι, από την έρευνα και τις προσομοιώσεις που έγιναν διαπιστώθηκε ότι η επιλογή του πιο αποδοτικού τύπου υαλοπινάκων χρειάζεται προσοχή και κατάλληλη ανάλυση των συνθηκών που τοποθετούνται. Ιδιαίτερα από την στιγμή που η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς και οι ενεργειακές επιδόσεις τους συνοδεύονται με καλή αισθητική και συνεισφέρουν στον καλλωπισμό του κτηρίου η εφαρμογή προηγμένων υαλοπινάκων σε αστικά κέντρα έχει προοπτικές να οδηγήσει σε νέα δεδομένα όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας στο κτηριακό τομέα .

7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Γενικά, η θερμική συμπεριφορά κτηρίων αποτελεί έναν σημαντικό τομέα που περιέχει ποικίλα πεδία τα οποία συνεχώς αναπτύσσονται. Η συγκεκριμένη διπλωματική ασχολείται κυρίως με την εφαρμογή διάφορων υαλοπινάκων σε ένα κτήριο και μπορεί να αποτελέσει βάση για επιπρόσθετη έρευνα. Μάλιστα, ορισμένα θέματα που προτείνονται είναι :

- Η ενεργειακή προσομοίωση του παρόντος κτηρίου με διαφορετικό προσανατολισμό.
- Η ενεργειακή προσομοίωση του παρόντος κτηρίου σε διαφορετικά κλίματα.
- Η ενεργειακή προσομοίωση του παρόντος κτηρίου με διαφορετικούς λόγους WWR (Window to Wall Ratio).
- Η ενεργειακή προσομοίωση του παρόντος κτηρίου με χρήση παραπάνω τύπων υαλοπινάκων.
- Η ενεργειακή προσομοίωση του παρόντος κτηρίου με προσθήκη εξωτερικής σκίασης.
- Η ενεργειακή προσομοίωση του κτηρίου με πιο ακριβής ανάλυση των χαρακτηριστικών των BIPV και των ηλεκτρολογικών συστημάτων που τα συνοδεύουν.
- Ο οικονομοτεχνικός έλεγχος κάθε είδος υαλοπίνακα.
- Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA) των προηγμένων υαλοπινάκων.

Βιβλιογραφία

7.1 Ελληνική

- [1] Αναστασιάδης Σπύρος Π., Κλιματισμός για χειμώνα και καλοκαίρι, Αθήνα, Εκδόσεις: Α. Παπασωτηρίου .
- [2] Αντωνόπουλος Α. Κίμων, Κλιματισμός Μέρος Πρώτο, Αθήνα 2015, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [3] Αντωνόπουλος Α. Κίμων, Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα Μέρος Πρώτο, Αθήνα 2015, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [4] Δέτση Μιχαέλα-Παναγιώτα, Ενεργειακή Προσομοίωση θερμοχρωμικών και ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων σε κτίριο γραφείων με μεγάλη εξωτερική γυάλινη επιφάνεια, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα Σεπτέμβριος 2019 .
- [5] Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα, Αθήνα Ιανουάριος 2019 ,Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας .Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/greece_draftnecp.pdf .
- [6] Ενεργειακή Επιθεώρηση κτιρίων ,Αθήνα 2011, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής αλλαγής .Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://www.buildingcert.gr/entypo.pdf> .
- [7] Καζάντζας Π., Συγκρίσεις για την ενεργειακή απόδοση κτηρίου, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2018.
- [8] Μαντά Δήμητρα ,Επίδραση διαφορετικών τύπων υαλοπινάκων στην ενεργειακή κατανάλωση κτηρίων, Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα Σεπτέμβριος 2018 .
- [9] Μπερέτα Ρομίνα-Κατερίνα, Διερεύνηση των απαιτήσεων οπτικής άνεσης και εκτίμησης των σχετικών παραμέτρων σε τυπικό κτίριο γραφείων, Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη Νοέμβριος 2017 .
- [10] Ντελάλης Παναγιώτης, Επίδραση των θερμοχρωμικών υαλοπινάκων στην ενεργειακή απόδοση κτιρίων, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2016 .
- [11] Οδηγία 2010/21/ΕΕ άρθρο 9 για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτηρίων, Εθνικό Σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, Αθήνα Αύγουστος 2018 .Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.opengov.gr/minenv/wp-content/uploads/2018/09/ethniko_sxedio_KSMKE.pdf

- [12] Οδηγία 2010/31/ΕΕ άρθρο 9 για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτηρίων, Εθνικό Σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, Αθήνα Δεκέμβριος 2018 .Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/greece_el_version_2017.pdf
- [13] Προεστάτης Ε., Ενεργειακή ανάλυση κτιρίου και αξιολόγηση σεναρίων μείωσης των ενεργειακών απαιτήσεων μέσω του λογισμικού EnergyPlus, Διπλωματική Εργασία, Τ.Ε.Ι. Κρήτης , Χανιά 2008 .
- [14] Στέγγου Α. Σαγιά Ζ., Μετάδοση Θερμότητας, Μάρτιος 2016, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο .
- [15] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 ,Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του Πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, Α Έκδοση ,Αθήνα Σεπτέμβριος 2017 . http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak/files/TOTEE_20701-1_2017_TEE_1st_Edition.pdf
- [16] Φούντη Μ. Χουντάλας Δ., Μεταφορά Θερμότητας II , Αθήνα 2003, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο .
- [17]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos_yalopinakes.htm
- [18]https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BA%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CF%83%CF%87%CE%B5%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82_%CE%BA%CF%84%CE%B9%CF%81%CE%AF%CF%89%CE%BD
- [19]<https://sites.google.com/site/wildwaterwall/eliaka-spitia/bioklimatikos-schediasmos-t-o-t-e-e>
- [20]<https://sites.google.com/site/wildwaterwall/eliaka-spitia/2-eliasmos-ktiriou>
- [21]<https://www.decobook.gr/texnika-arthra/diafora/prosanatolismos-kai-xorothetisidomation>
- [22]<https://www.loparnakis.gr/%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CE%AF-%CF%85%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CF%80%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%BA%CE%B5%CF%82-low-e/>
- [23]<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/dg2013/ktirio/DE3-Bioklimatika-final.pdf>
- [24] <http://www.dsanet.gr/Epikairothta/Nomothesia/5447.PDF>
- [25]https://www.researchgate.net/figure/Climatic-zones-in-Greece-according-to-KENAK_fig5_282533618

[26]<http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/MECH105/I.%20%C E%94%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B 5%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84 %CE%BF%CF%82/VI.%20%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE% AE%20%CE%91%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE% BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1.pdf>

[27]<https://sites.google.com/site/wildwaterwall/eliaka-spitia/2-eliasmos-ktiriou>

[28]<https://fenestral.gr/%CF%85%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CF%80%CE%AF% CE%BD%CE%B1%CE%BA%CE%B5%CF%82-low-e/>

[29]https://www.buildingcert.gr/N4122_2013.pdf

7.2 Ξενόγλωσση

[30] Detsi Michaela, Manolitsis Aris, Atsonios Ioannis, Mandilaras Ioannis, Founti Maria, Energy Savings in an Office Buildings with High WWR Using Glazing Systems Combining Thermochromic and Electrochromic Layers, MDPI, Energies 2020, 12, 3020, (διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://dx.doi.org/10.3390/en13113020>) .

[31] Flavio Rosa, Buildings-Integrated Photovoltaics (BIPV) in Historical Build- ings; Oppurtunities and Constraints, MDPI, Energies 2020, 123, 3628 (διαθέ- σιμο στην ιστοσελίδα: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/14/3628>) .

[32] Myunghwan Oh, Jaesung Park, Seungjun Roh, Chulsung Lee, Deducing the Optical Control Method for Electrochromic Triple Glazing through an Inte- grated Evaluation of Building Energy and Daylight Perfomance, MDPI, Ener- gies 2018, 11, 2205 .(Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/9/2205>).

[33] Neil L. Sbar, Lou Podbelski, Hong Mo Yang c, Brad Pease, Electrochromic dynamic windows for office buildings, International Journal of Sustainable Built Environment (2012) 1, 125-139 .

[34] Ruben Baetens, Bjorn Petter Jelle, Arild Gustavsen, Properties require- ments and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review, Solar Energy & Solar Cells 94(2010) 87-105 .

[35] Xun Cao, Tianci Chang, Zewei Shao, Fang Xu, Hongjie Luo, Ping Jin, Chal- lenges and Oppurtunities toward Real Application of VO₂-Based Smart Glazing, Cell Press Reviews, Matter 2, 862-881 April 1, 2020 .

- [36]<https://www.openenclosure.com.au/glass-energy-efficiency-u-values-and-shgc-explained/>
- [37]<https://blog.palram.com/construction-and-architecture/the-importance-of-understanding-solar-properties-in-architecture>
- [38]<https://www.howitworksdaily.com/how-do-double-glazing-and-triple-glazing-compare/>
- [39]<https://www.displaysuk.co.uk/services/perspex-acrylic-secondary-double-glazing/>
- [40]<https://www.efficientwindows.org/gasfills/>
- [41]<https://medium.com/@glasxpertseo/types-of-heat-reflective-glass-664dea08679f>
- [42] <https://blog.solarart.com/does-reflective-window-film-really-keep-out-the-heat>
- [43]<https://www.schott.com/architecture/spanish/products/anti-reflective-glass/amiran.html>
- [44]<https://www.visionwindows.co.nz/glass-options/>
- [45]<https://www.harveybp.com/blog-and-news/benefits-low-e-windows/>
- [46]<https://build.com.au/low-e-glass>
- [47]<https://www.americanscientist.org/article/switching-colors-with-electricity>
- [48]<https://www.emdgroup.com/business-specifics/performance-materials/Architecture/us/LCW-licrivision-US.pdf>
- [49]<https://www.finepoint.glass/product/liquid-crystal-glass/>
- [50]<http://www.smartglassinternational.com/products-services/spd-principle/>
- [51]<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148117312533>
- [52]<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2666386420301478#fig6>
- [53]<https://www.solarpowerworldonline.com/2013/03/what-are-building-integrated-photovoltaics-or-bipv/>
- [54]https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs/pdfs_v8.3.0/InputOutputReference.pdf
- [55]<https://www.energy.gov/energysaver/window-types-and-technologies>
- [56]<https://www.wbdg.org/resources/windows-and-glazing>
- [57]<https://www.commercialwindows.org/technologies.php>
- [58]<https://www.thespruce.com/argon-and-krypton-gas-in-windows-4060992>

[59]<https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-9/engineering-reference/index.html>

[60]https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.2.0/InputOutputReference.pdf