



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
**ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**  
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ  
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ENERGYPLUS



**ΒΗΤΤΑΣ ΖΗΣΗΣ**

**ΓΚΑΡΟΥΜΠΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΨΗ:** ΤΖΟΥΒΑΔΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

**ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΨΗ:** ΞΕΝΑΚΗΣ ΜΕΝΕΛΑΟΣ, ΥΠΟΨΗΦΙΟΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2015



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστούμε θερμά τον αναπληρωτή καθηγητή Ε.Μ.Π. και επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής κ. Ιωάννη Τζουβαδάκη, για την ουσιαστική βοήθεια και καθοδήγηση σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας. Ευχαριστίες επίσης στον συνεπιβλέπων κ. Μενέλαο Ξενάκη, Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Ακόμη θέλουμε να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας στους γονείς μας για την αμέριστη συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό να παρουσιαστούν οι βασικές αρχές, οι μέθοδοι - τεχνικές και τα πλεονεκτήματα του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Ο χρόνος πραγματοποίησης της εργασίας προσδιορίζεται μεταξύ του Μαΐου 2013 και του Μαρτίου 2015. Κατά τη διάρκεια αυτή, πραγματοποιήθηκε αναλυτική βιβλιογραφική ερευνά, καθώς και εκμάθηση των απαραίτητων λογισμικών. Τα λογισμικά αυτά είναι το Google SketchUp το OpenStudio και το EnergyPlus. Τα πρώτα κεφάλαια της εργασίας χρησιμεύουν ως εισαγωγή στις έννοιες και τεχνικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Αναλύθηκαν όροι όπως βιοκλιματική αρχιτεκτονική, βιοκλιματικές τεχνικές, καθώς και μια εισαγωγή στο νομικό πλαίσιο το οποίο διέπει τις βιοκλιματικές αρχές στην Ελλάδα. Στη συνέχεια επεκταθήκαμε σε όρους όπως ο προσανατολισμός κτιρίων σύμφωνα με το βιοκλιματικό σχεδιασμό και μια αναλυτική παρουσίαση παθητικών ηλιακών συστημάτων. Στη συνέχεια εξηγήσαμε όρους όπως φυσικός αερισμός και φυσικός φωτισμός των κτιρίων, όπως και τεχνικές θερμομόνωσης. Τέλος αναλύθηκαν τα πλεονεκτήματα της χρήσης βλάστησης στον κατασκευαστικό τομέα.

Το δεύτερο μέρος της εργασίας έγινε με τη χρήση των λογισμικών τα οποία αναφέρονται παραπάνω. Έγινε προσομοίωση τριών προκατασκευασμένων κτιριάτων στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου και σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα των μετρήσεων από αισθητήρες τοποθετημένους στα κτίσματα αυτά. Στη συνέχεια έγινε προσομοίωση στο EnergyPlus μικρής κατοικίας η οποία βρίσκεται στο Δήμο Σαρωνίδας. Προχωρήσαμε στην προσθήκη παθητικών ηλιακών συστημάτων στην κατοικία αυτή, έτσι ώστε να εξετάσουμε τα θερμικά οφέλη τα οποία προκύπτουν εξ αιτίας των συστημάτων αυτών. Το τελευταίο μέρος της εργασίας αποτελείται από σύγκριση και ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης όλων των μοντελοποιημένων κτιρίων, αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και προτάσεις για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση.



## ABSTRACT

This thesis was done to illustrate the basic principles, methods - techniques and advantages of bioclimatic design. The labor timing is determined between May 2013 to March 2015. During this time, a detailed literature search was made and we acquired the necessary software. This software is Google SketchUp , OpenStudio and EnergyPlus. The first chapter of work serves as an introduction to the concepts and techniques of bioclimatic design. We analyzed conditions as bioclimatic architecture, bioclimatic techniques and an introduction to the legal framework governing the bioclimatic principles in Greece. Then we expanded in terms as the orientation of buildings according to bioclimatic design and a detailed presentation of passive solar systems. Then we explained terms such as natural ventilation and natural lighting of buildings, as thermal insulation techniques. Finally we analyzed the advantages of using vegetation in the construction sector.

The second part of the work was done using the software referred to above. Simulated three prefabricated buildings in Campus and comparing the results with those of measurements from sensors located in these buildings. Then we simulated in EnergyPlus small house located in the Municipality of Saronida. We moved to the addition of passive solar systems in this house, in order to consider thermal benefits that arise because of these systems. The last part of the paper consists of comparing and analyzing the energy consumption of all buildings modeled, evaluation of results and suggestions for further processing and analysis.





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Εισαγωγή</b>	13
<b>Κεφάλαιο 1. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός</b>	16
<b>1.1. Ιστορική Αναδρομή</b>	16
<b>1.2. Η βασική αρχή του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού</b>	17
1.2.1. Βασική εξίσωση	17
1.2.2. Βιοκλιματική Αντίληψη	18
1.2.3. Βασικές Αρχές	19
1.2.4. Τι είναι η Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική	20
<b>1.3. Τεχνικές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού</b>	21
<b>1.4. Βασικοί Ορισμοί</b>	23
1.4.1. Θερμική Άνεση	23
1.4.2. Θερμικό Ισοζύγιο	24
1.4.3. Θερμική Μάζα	27
1.4.4. Χρονική Υστέρηση	31
1.4.5. Θερμική Αντίσταση	33
1.4.6. Συντελεστής Θερμοπερατότητας	35
<b>Κεφάλαιο 2. Ενεργειακή Πολιτική</b>	36
<b>2.1. Ενεργειακή Πολιτική σχετικά με τον κτιριακό τομέα</b>	36
2.1.1. Κοινοτικό νομικό πλαίσιο	37
2.1.2. Γενικό Πλαίσιο για τον υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων	38
<b>2.2. Εθνικό Νομικό Πλαίσιο</b>	40

<b>2.3. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)</b>	45
---	----

<b>Κεφάλαιο 3. Προσανατολισμός Κτιρίου</b>	47
--	----

<b>3.1. Βασικές Αρχές</b>	47
---------------------------	----

<b>3.2. Χωροθέτηση, Σχήμα και Προσανατολισμός του κτιρίου</b>	48
---	----

3.2.1. Βέλτιστος Προσανατολισμός	48
----------------------------------	----

3.2.2. Φυσικός Φωτισμός	50
-------------------------	----

3.2.3. Διαρρύθμιση Χώρων	50
--------------------------	----

<b>3.3. Ηλιακή Ακτινοβολία</b>	50
--------------------------------	----

<b>3.4. Περιβαλλοντικές Παράμετροι</b>	51
--	----

3.4.1. Το Κλίμα του Τόπου	51
---------------------------	----

3.4.2. Το φυσικό Περιβάλλον	52
-----------------------------	----

<b>3.5. Η επίδραση του Ήλιου</b>	54
----------------------------------	----

3.5.1. Φαινόμενες Τροχιές	54
---------------------------	----

3.5.2. Ηλιακοί Χάρτες	55
-----------------------	----

<b>Κεφάλαιο 4. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα</b>	61
--	----

<b>4.1. Συστήματα Άμεσου Κέρδους</b>	63
--------------------------------------	----

4.1.1 Ανοίγματα	63
-----------------	----

4.1.1.1. Κριτήρια σχεδιασμού για το άνοιγμα	64
---	----

<b>4.2. Συστήματα Έμμεσου Κέρδους</b>	67
---------------------------------------	----

<b>4.2.1. Τοίχοι</b>	68
4.2.1.1. Τοίχος Trombe	68
4.2.1.2. Τοίχος Μάζας	70
4.2.1.3. Τοίχος Νερού	73
4.2.1.4. Λίμνες Οροφής	74
4.2.1.5. Μεταλλικός Ακτινοβολητής	75
4.2.1.6. Θερμοσιφωνικό Πανέλο/ Τοίχος Barra Constantini	75
4.2.1.7. Τοιχοποιία με Διαφανή Μόνωση	78
<b>4.2.2. Θερμοκήπιο ή Ηλιακός Χώρος</b>	79

## **Κεφάλαιο 5. Αερισμός**

86

<b>5.1. Φυσικός Αερισμός - Υβριδικός Αερισμός</b>	86
5.1.1 Φυσικός Αερισμός	87
5.1.2. Διαμπερής Αερισμός	88
5.1.3. Φυσικός Ελκυσμός	90
<b>5.2. Κατασκευαστικές Ρυθμίσεις στο Κέλυφος του Κτιρίου</b>	93
5.2.1. Ηλιακή Καμινάδα	93
5.2.2. Καμινάδα Αερισμού	94
5.2.3. Διπλή Επιδερμίδα	95
5.2.4. Αεριζόμενο Κέλυφος	95

## **Κεφάλαιο 6. Φυσικός Φωτισμός**

97

<b>6.1. Συστήματα Φυσικού Φωτισμού και Τεχνικές</b>	97
---	----

6.1.1. Κατηγορίες Συστημάτων Φυσικού Φωτισμού	98
6.1.2. Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού	98
6.1.3. Αξιολόγηση της Συμπεριφοράς του Φυσικού Φωτισμού	100
<b>6.2. Κατηγορίες Συστημάτων</b>	103
6.2.1. Ανοίγματα Οροφής	104
6.2.2. Αίθριο	104
6.2.3. Φωταγωγοί	106
6.2.4. Ειδικοί Υαλοπίνακες	107
6.2.5. Πρισματικά Φωτοδιαπερατά Υλικά	112
6.2.6. Διαφανή Μονωτικά Υλικά	112
6.2.7. Ράφια Φωτισμού	113
6.2.8. Ανακλαστικές Περσίδες	113
<b>6.3. Σκιασμός</b>	
	114
<b>Κεφάλαιο 7. Θερμομόνωση</b>	119
7.1. Θερμοχωρητικότητα Δομικών Στοιχείων	119
7.2. Θερμομόνωση	124
7.3. Θερμική Προστασία των Εξωτερικών Δομικών Στοιχείων του Κελύφους	138
<b>Κεφάλαιο 8. Χρήση Βλάστησης</b>	141
8.1. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός με χρήση Βλάστησης	141
8.1.1. Φύτευση στις Στέγες των Κτιρίων	149

<b>8.1.2. Συστήματα Φύτευσης Ταρατσών</b>	153
<b>8.1.3. Φύτευση στις Προσόψεις των Κτιρίων</b>	154

## **Κεφάλαιο 9.** 159

<b>9.1. Περιγραφή Κτισμάτων</b>	159
<b>9.2 Περίοδος Μετρήσεων</b>	162
<b>9.3. Μοντελοποίηση στο SketchUp</b>	164
<b>9.4. Μοντελοποίηση στο EnergyPlus</b>	169
<b>9.5. Περιγραφή Κτιρίου</b>	178
9.5.1. Προσομοίωση Κατοικίας	180
9.5.2. Χωρισμός σε Θερμικές Ζώνες	180
9.5.3. Μοντελοποίηση στο Google SketchUp	182
9.5.4. Επεξεργασία στο EnergyPlus	183
<b>9.6. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα στο EnergyPlus</b>	189
9.6.1. Low- e Υαλοπίνακες	189
9.6.2. Πράσινη Στέγη (Ecoroof)	192
<b>9.7. Κατανάλωση Ενέργειας</b>	198
9.7.1. Κτίρια Πολυτεχνειούπολης	198
9.7.2. Κατοικία στο Δήμο Σαρωνίδας	201
<b>9.8. Συμπεράσματα - Προτάσεις</b>	204
9.8.1. Το Λογισμικό EnergyPlus	204
9.8.2. Σύγκριση Μετρήσεων - EnergyPlus	204
9.8.3. Κατοικία στο Δήμο Σαρωνίδας	205
9.8.4. Ενεργειακή Ανάλυση	206

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

	209
<b>1. Τι είναι το EnergyPlus και από πού προήλθε</b>	209
<b>2. Τα προτερήματα του EnergyPlus</b>	213
2.1. Η δομή του EnergyPlus	214
2.2. Η Τμηματικότητα	215
2.3. Οι Εγκατεστημένοι Σύνδεσμοι (Links)	216
2.4. Η Ολοκληρωμένη Προσομοίωση	217
2.5. Ο "ανοιχτός" Πηγαίος Κώδικας	218
<b>3. Κατηγορίες Δεδομένων - Αποτελεσμάτων</b>	219
3.1. Κατηγορίες Δεδομένων	219
3.2. Κατηγορίες Αποτελεσμάτων	223
<b>4. Google SketchUp</b>	227
<b>5. Open Studio</b>	235
<b>6. EnergyPlus</b>	245
<b>Βιβλιογραφία</b>	252







## Εισαγωγή

Στο **1ο Κεφάλαιο** της Διπλωματικής Εργασίας θέτουμε τις βασικές αρχές του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού. Γίνεται μια πρώτη γνωριμία με τους στόχους τις τεχνικές και βασικές έννοιες. Αναλύονται όροι, όπως βιοκλιματική αρχιτεκτονική, βιοκλιματική αντίληψη και τεχνικές βιοκλιματικού σχεδιασμού. Τέλος δίνονται ορισμοί και μαθηματικές εξισώσεις για χρήσιμους όρους, σχετικούς με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό.

Στο **2ο Κεφάλαιο**, εστιάζουμε στο νομικό πλαίσιο που καλύπτει το βιοκλιματικό σχεδιασμό. Παρουσιάζεται η ενεργειακή πολιτική, το Κοινοτικό νομικό πλαίσιο, το Γενικό πλαίσιο για τον υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης των κτιρίων. Τέλος, δίνεται το Εθνικό Νομικό Πλαίσιο και ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.).

Στο **3ο Κεφάλαιο**, δίνονται οι βασικές αρχές, οι οποίες αφορούν τον προσανατολισμό και τη χωροθέτηση των κτιρίων, σύμφωνα με την βιοκλιματική Αρχιτεκτονική. Εξετάζονται καταστάσεις οι οποίες επηρεάζουν τη λειτουργία του κτιρίου, όπως περιβαλλοντικές παράμετροι, ηλιακή ακτινοβολία και ο προσανατολισμός και το σχήμα του κτιρίου.

Στο **4ο Κεφάλαιο** εστιάζουμε πλέον στα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα. Γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση πληθώρας συστημάτων, παλαιότερων ή νεότερων τεχνολογιών, δίνοντας έμφαση στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε συστήματος. Τα συστήματα εξετάστηκαν ανά κατηγορία χωριζόμενα σε άμεσου ή έμμεσου κέρδους. Το κεφάλαιο αυτό είναι ίσως από τα σημαντικότερα της εργασίας αυτής, καθώς η γνώση και η βασική κατανόηση της λειτουργίας των συστημάτων αυτών κρίνεται απαραίτητη για την κατανόηση των δύο τελευταίων κεφαλαίων της εργασίας.

Στο **5ο Κεφάλαιο** εστιάζουμε στον αερισμό των κτιρίων. Εξετάζουμε αρχές φυσικού και υβριδικού αερισμού, καθώς και κατασκευαστικές ρυθμίσεις που ευνοούν μια επιθυμητή κίνηση και ανανέωση του αέρα στο κτίριο. Τέλος παρουσιάζονται αναλυτικά τεχνικές φυσικού αερισμού, όπως ηλιακή καμινάδα, η καμινάδα αερισμού και το αεριζόμενο κέλυφος.

Στο **6ο Κεφάλαιο** επικεντρωνόμαστε στα συστήματα και τις τεχνικές φυσικού φωτισμού και σκιασμού των κτιρίων. Παρουσιάζονται οι κατηγορίες συστημάτων και οι τεχνικές φυσικού φωτισμού

και γίνεται μια αξιολόγηση της συμπεριφοράς των τεχνικών φυσικού φωτισμού. Τέλος, γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση συστημάτων φωτισμού, όπως τα ανοίγματα οροφής, το αίθριο, οι φωταγωγοί, οι ειδική υαλοπίνακες και τα ράφια φωτισμού.

Στο **7ο Κεφάλαιο** γίνεται ανάλυση των τεχνικών θερμομόνωσης. Παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα της θερμομόνωσης και της εφαρμογής της στις κατασκευές. Αναλύονται όροι όπως η θερμοχωρητικότητα δομικών στοιχείων και δίνονται τεχνικές που παρέχουν θερμική προστασία των εξωτερικών δομικών στοιχείων του κελύφους.

Στο **8ο Κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα της χρήσης βλάστησης στο κτίρια. Αναλύονται τεχνικές φύτευσης και βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού με χρήση βλάστησης. Δίνονται πληροφορίες που αφορούν τη φύτευση ταρατσών, στεγών και προσόψεων των κτιρίων.

Στο **9ο και τελευταίο κεφάλαιο** της διπλωματικής εργασίας γίνεται επεξεργασία με τη χρήση του λογισμικού EnergyPlus τριών προκατασκευασμένων κτιρίων στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου και σε μια κατοικία στο Δήμο Σαρωνίδας. Αρχικά, σχεδιάστηκαν τα τρία κτίρια με τη χρήση των λογισμικών. Στη συνέχεια εξαγάγαμε αποτελέσματα που αφορούν τις ημερήσιες εσωτερικές θερμοκρασίες καθώς και τις ωριαίες θερμοκρασίες κατά την πιο ζεστή και πιο κρύα μέρα του χρόνου. Τα αποτελέσματα συγκριθήκαν με τα αποτελέσματα μετρήσεων από αισθητήρες τοποθετημένους στο εσωτερικό των κτιρίων αυτών. Με τον τρόπο αυτό, είμαστε σε θέση να ελέγξουμε την αποτελεσματικότητα των λογισμικών και την ορθότητα των μεθόδων μοντελοποίησής μας. Στα κτίρια αυτά είμαστε σε θέση να εργαστούμε στη χρησιμότητα δύο τεχνικών παθητικών ηλιακών συστημάτων, καθώς στο ένα κτίριο έχει τοποθετηθεί τοίχος Trombe ενώ σε άλλο κτίριο έχει τοποθετηθεί ηλιακός χώρος- θερμοκήπιο. Στη συνέχεια προχωρήσαμε στην μοντελοποίηση της κατοικίας στο Δήμο Σαρωνίδας, όπου έγινε προσπάθεια ενεργειακής βελτίωσης του κτιρίου με την χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων. Έγινε αντικατάσταση των υαλοπινάκων με διπλούς υαλοπίνακες Low-e και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν πράσινες στέγες σε δύο επιφάνειες της οροφής. Τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν και συγκρίθηκαν ως προς τη θερμοκρασιακή μεταβολή και ως προς την ενεργειακή κατανάλωση.

Στο **Παράρτημα** γίνεται εισαγωγή στο λογισμικό EnergyPlus καθώς και στα λογισμικά Google SketchUp και OpenStudio. Ο ρόλος του κεφαλαίου αυτού είναι να δώσει αναλυτικές οδηγίες - βήματα για τη χρήση των λογισμικών αυτών. Αρχικά παρουσιάζονται πληροφορίες - χαρακτηριστικά των λογισμικών, όπως βασικές λειτουργίες, επεξεργασία αποτελεσμάτων, κατηγορίες αποτελεσμάτων,

ιστορική αναδρομή κλπ. Τέλος, γίνεται μια λεπτομερέστατη παρουσίαση, επεξήγηση των λογισμικών αυτών, έτσι ώστε να γίνει ευκολότερη η κατανόηση από τον αναγνώστη, ή και η χρήση των προγραμμάτων από κάποιον ενδιαφερόμενο

# Κεφάλαιο 1. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

## 1.1. Ιστορική Αναδρομή

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι γνωστός σαν όρος από τα αρχαία χρόνια. Στα Απομνημονεύματα του ιστορικού και φιλόσοφου Ξενοφώντα, εύκολα κάποιος παρατηρεί ότι οι αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού ήταν ήδη γνωστές από το Σωκράτη. Συγκεκριμένα, αναφέρει ο Ξενοφώντας για το Σωκράτη [1]:

«...Καὶ οἰκίας δὲ λέγων τὰς αὐτὰς καλὰς τε εἶναι καὶ χρησίμους παιδεύειν ἔμοιγ' ἐδόκει, οἷας χρή, οἰκοδομεῖσθαι. ἐπεσκόπει δὲ ὧδε· Ἄρα γε τὸν μέλλοντα οἰκίαν, οἷαν χρή, ἔχειν τοῦτο δεῖ μηχανᾶσθαι, ὅπως ἡδίστη τε ἐνδαιατᾶσθαι καὶ χρησιμωτάτη ἔσται; τούτου δὲ ὁμολογουμένου, Οὐκοῦν ἡδὺ μὲν θέρους ψυχρινὴν ἔχειν, ἡδὺ δὲ χειμῶνος ἀλεινὴν; ἐπειδὴ δὲ καὶ τοῦτο συμφαῖεν, Οὐκοῦν ἐν ταῖς πρὸς μεσημβρίαν βλεπούσαις οἰκίαις τοῦ μὲν χειμῶνος ὁ ἥλιος εἰς τὰς παστάδας ὑπολάμπει, τοῦ δὲ θέρους ὑπὲρ ἡμῶν αὐτῶν καὶ τῶν στεγῶν πορευόμενος σκιὰν παρέχει. Οὐκοῦν, εἴ γε καλῶς ἔχει ταῦτα οὕτω γίνεσθαι, οἰκοδομεῖν δεῖ ὑψηλότερα μὲν τὰ πρὸς μεσημβρίαν, ἵνα ὁ χειμερινὸς ἥλιος μὴ ἀποκλείηται, χθαμαλότερα δὲ τὰ πρὸς ἄρκτον, ἵνα οἱ ψυχροὶ μὴ ἐμπίπτωσιν ἄνεμοι· ὥς δὲ συνελόντι εἰπεῖν, ὅποι πάσας ὥρας αὐτός τε ἂν ἡδιστα καταφεύγοι καὶ τὰ ὄντα ἀσφαλέστατα τιθοῖτο, αὕτη ἂν εἰκότως ἡδίστη τε καὶ καλλίστη οἴκησις εἴη·...»

*«...Και όταν ἔλεγε ὅτι τα ἴδια σπίτια εἶναι ωραία καὶ χρήσιμα, νομίζω ὅτι δίδασκε με ποιο τρόπο πρέπει αὐτά να χτίζονται. Εξέταζε τὸ θέμα ἔτσι: « Πρέπει ἀραγε, ὅποιος πρόκειται να ἔχει κατάλληλη οἰκία να βρεῖ τὸν τρόπο να τὴν κάνει ὅσο τὸ δυνατόν πιο ευχάριστη για τὴν κατοίκηση καὶ χρησιμῆ; » Και όταν αὐτὸ γινόταν παραδεκτό, συνέχιζε : «Εἶναι, λοιπόν, ευχάριστο να εἶναι δροσερὴ τὸ καλοκαίρι καὶ ζεστὴ τὸ χειμῶνα;» Και όταν συμφωνούσαν καὶ σε αὐτό, ἔλεγε: «Ο ἥλιος λοιπόν στα σπίτια τα στραμμένα πρὸς νότο λάμπει κάτω στα δωμάτια, ἐνῶ τὸ καλοκαίρι προχωρώντας πάνω ἀπὸ ἐμᾶς καὶ ἀπὸ τὶς στέγες παρέχει σκιά. Επομένως, ἀν αὐτὰ βέβαια εἶναι καλὸ να γίνονται ἔτσι, τα σπίτια που εἶναι στραμμένα πρὸς τὸ νότο πρέπει να χτίζονται ψηλότερα, για να μὴ μένει ἀπέξω ὁ χειμωνιάτικος ἥλιος, ἐνῶ ὅσα βλέπουν πρὸς βορὰ πρέπει να χτίζονται χαμηλότερα, για να μὴ δέρνονται ἀπὸ τοῦ κρύους ἀνέμους. Με μια λέξη, τὸ σπίτι, στο οποίο μπορεῖ ὁ ιδιοκτῆτης να βρεῖ πολὺ ευχάριστο καταφύγιο σε ὅλες τὶς ἐποχές καὶ να τοποθετήσῃ ἀσφαλέστατα τὰ υπάρχοντά του, αὕτη θα ἦταν καὶ ἡ πιο ευχάριστη καὶ ὀμορφη κατοικία...»*

Στόχος από την αρχαιότητα, λοιπόν, ήταν τα σπίτια να εξασφαλίζουν μια αρμονική σχέση του ανθρώπου με το περιβάλλον. Ο Αριστοτέλης σημειώνει:

«τα κύρια δωμάτια του σπιτιού δεν θερμαίνονταν μόνο από τις ακτίνες του ηλίου που περνούσαν στο εσωτερικό του από το χαγιάτι, αλλά ήταν και προστατευμένα από το βορρά για να κρατήσουν μακριά τους κρύους ανέμους »

## 1.2. Η βασική αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού

### 1.2.1. Βασική εξίσωση

Η βασική εξίσωση που απλοποιεί μεθοδολογικά το βιοκλιματικό σχεδιασμό είναι :



$$o + (e + c)^a + a^o = b$$

Εικόνα 1.1. Βασική εξίσωση βιοκλιματικού σχεδιασμού <http://buildinggreen.gr/articles>

όπου,

o = occupant/χρήστης

c = climate/κλίμα

e = environment/περιβάλλον

a = architect/αρχιτέκτων

b = building/κτίριο

### 1.2.2. Βιοκλιματική αντίληψη

Η βιοκλιματική αντίληψη για το σχεδιασμό κτιρίων και οικιστικών συνόλων εντάσσεται στην στρατηγική της βιωσιμότητας, μιας ήπιας, συμβιωτικής διαχείρισης του περιβάλλοντος, φυσικού και δομημένου. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποσκοπεί στην προσαρμογή των κτιρίων στο περιβάλλον και στο τοπικό κλίμα, διασφαλίζοντας παράλληλα συνθήκες θερμικής άνεσης στο εσωτερικό τους. Η υιοθέτηση του βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτιρίων εξυπηρετεί τέσσερις (4) βασικούς στόχους:

1) Την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας και της υποκατάστασής τους από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), άρα την εξοικονόμηση συμβατικής ενέργειας.

2) Την εξοικονόμηση χρήματος. Η χρησιμοποίηση της αδάπανης ηλιακής ενέργειας για την θέρμανση των κτιρίων ή/και των δροσερών ανέμων για τον δροσισμό τους αποτελούν πρόκληση οικονομική, μια και η προκύπτουσα εξοικονόμηση χρημάτων είναι της τάξης του 50%, ενδεχομένως και μεγαλύτερη.

3) Την προστασία του περιβάλλοντος, λόγω του περιορισμού στη χρήση συμβατικών καυσίμων και ηλεκτρισμού, συνεπώς τη μείωση των εκλυόμενων ρύπων στην ατμόσφαιρα.

4) Τη βελτίωση του εσω-κλίματος των κτιρίων με τη διασφάλιση συνθηκών βιολογικής άνεσης – θερμικής και οπτικής, ποιότητας αέρα – και τη δημιουργία υγιεινών συνθηκών κατοικησιμότητας. Ουσιαστικά, η βιοκλιματική αντίληψη διατυπώνει μια εμπλουτισμένη άποψη για τον σχεδιασμό του δομημένου χώρου, η οποία εμπεριέχει την περιβαλλοντική διάσταση και την αντίστοιχη ευαισθησία. Πρόκειται για μια αρχιτεκτονική, φιλική προς το περιβάλλον και τους χρήστες, για μια εναλλακτική θεώρηση της δόμησης του χώρου -αναπόφευκτης δραστηριότητας του ανθρώπου- η οποία οφείλει να επιφέρει τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση στο φυσικό χώρο, με το μικρότερο δυνατό ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα.



*Εικόνα 1.2. Συνύπαρξη κτιρίου - περιβάλλοντος [http://hellainvest.com.gr/en/housing\\_estate/bioclimate\\_design](http://hellainvest.com.gr/en/housing_estate/bioclimate_design)*

### **1.2.3. Βασικές Αρχές**

Συνοπτικά, οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού συνοψίζονται στα εξής:

- 1) Εξασφάλιση ηλιασμού και μείωσης των θερμικών απωλειών κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ώστε να αξιοποιείται η ηλιακή ενέργεια για την θέρμανση των χώρων.
- 2) Εξασφάλιση ηλιοπροστασίας το καλοκαίρι προκειμένου να επιτυγχάνεται μείωση των θερμικών κερδών, άρα και μείωση της ανάγκης για ψυκτικό φορτίο.
- 3) Αξιοποίηση του ήλιου για φυσικό φωτισμό
- 4) Εκμετάλλευση των δροσερών ανέμων για φυσικό αερισμό και δροσισμό
- 5) Βελτίωση του μικροκλίματος γύρω από το κτίριο
- 6) Βελτίωση και ρύθμιση των εσωτερικών συνθηκών ενός χώρου για επίτευξη θερμικής άνεσης των ατόμων [2,3,4,5]

#### 1.2.4. Τι είναι η βιοκλιματική αρχιτεκτονική

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αναφέρεται στο σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών - υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτίρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών (π.χ. ήλιο, αέρα - άνεμο, βλάστηση, νερό, έδαφος, ουρανό) για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων.



*Εικόνα 1.3. Αρχιτεκτονική κτιρίου σύμφωνα με την αξιοποίηση περιβαλλοντικών πηγών <http://blog.moudaniwn.gr>*

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός πραγματοποιείται σύμφωνα με το τοπικό κλίμα και βασίζεται στις παρακάτω αρχές:

1) Θερμική προστασία των κτιρίων τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών που εφαρμόζονται στο εξωτερικό κέλυφος των κτιρίων, ιδιαίτερα με την κατάλληλη θερμομόνωση και αεροστεγάνωση του κτιρίου και των ανοιγμάτων του.

2) Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων τη χειμερινή περίοδο και για φυσικό φωτισμό όλο το χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προσανατολισμό των χώρων και ιδιαίτερα των ανοιγμάτων (ο νότιος προσανατολισμός είναι ο καταλληλότερος) και την διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων ανάλογα με τις θερμικές τους ανάγκες και με τα παθητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και αποτελούν «φυσικά» συστήματα θέρμανσης, αλλά και φωτισμού.



3) Προστασία των κτιρίων από τον καλοκαιρινό ήλιο, κυρίως μέσω της σκίασης, αλλά και της χρησιμοποίησης των κατάλληλων υλικών κατασκευής του κελύφους.

4) Απομάκρυνση της θερμότητας που το καλοκαίρι συσσωρεύεται μέσα στο κτίριο με φυσικό τρόπο προς το εξωτερικό περιβάλλον με συστήματα και τεχνικές παθητικού δροσισμού, όπως ο φυσικός αερισμός, κυρίως με τον φυσικό αερισμό τις νυχτερινές ώρες.

5) Βελτίωση - ρύθμιση των περιβαλλοντικών συνθηκών μέσα στους χώρους έτσι ώστε οι άνθρωποι να νιώθουν άνετα και ευχάριστα

6) Εξασφάλιση επαρκούς ηλιασμού και ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας για φυσικό φωτισμό των κτιρίων, ο οποίος θα πρέπει να εξασφαλίζει επάρκεια και ομαλή κατανομή του φωτός μέσα στους χώρους.

7) Βελτίωση του κλίματος έξω και γύρω από τα κτίρια, με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό των χώρων γύρω και έξω από τα κτίρια και εν γένει, του δομημένου περιβάλλοντος, ακολουθώντας όλες τις παραπάνω αρχές.

### **1.3. Τεχνικές βιοκλιματικού σχεδιασμού**

Οι πιο γνωστές τεχνικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι :

1) Η Θερμική προστασία του κελύφους (π.χ. με αυξημένη θερμομόνωση, ελαχιστοποίηση βόρειων και δυτικών ανοιγμάτων, ηλιοπροστασία / σκιασμός, φυτεμένα δώματα, αεριζόμενη τοιχοποιία, ανεμοπροστασία)

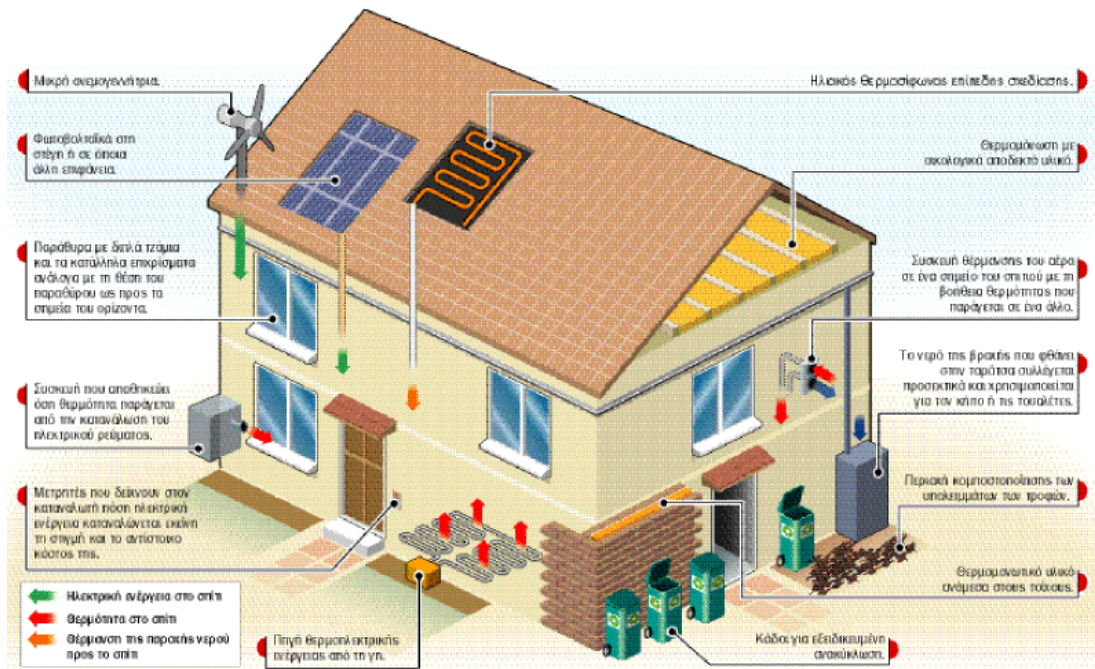
2) Τα παθητικά ηλιακά συστήματα ( π.χ. νότια ανοίγματα, ηλιακοί τοίχοι, θερμοσιφονικά πανέλα, ηλιακοί χώροι / θερμοκήπια, αίθρια)

3) Οι τεχνικές και τα συστήματα φυσικού δροσισμού και φυσικού φωτισμού, (π.χ. διαμπερής / κατακόρυφος αερισμός, ηλιακές καμινάδες, ηλιοπροστασία / σκίαση, σωλήνες εδάφους)

4) Άλλες τεχνικές ορθολογικής χρήσης ενέργειας (θερμικές ζώνες, αποθήκευση θερμότητας στα δομικά στοιχεία του κτιρίου).

Ένα κτίριο το οποίο έχει σχεδιαστεί με βάσει τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, έχει πολλά πλεονεκτήματα τόσο για το περιβάλλον, όσο και για τους χρήστες του, όπως:

- μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και εξοικονόμηση φυσικών πόρων ( ενέργεια, νερό)



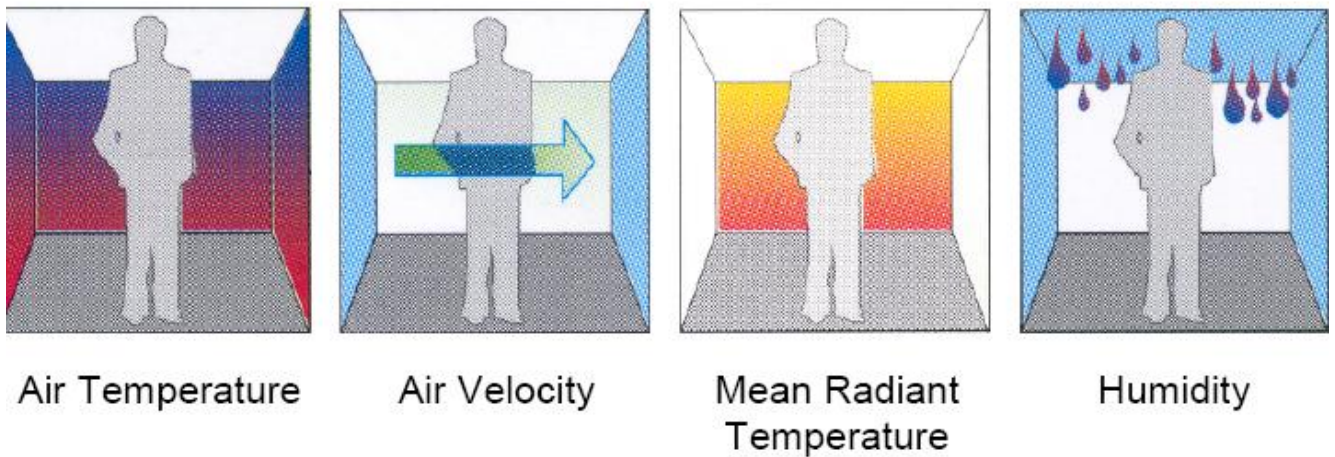
Εικόνα 1.4. Βιοκλιματικές τεχνικές σε κτίριο <http://www.tovima.gr/science/article/?aid=182717>

- εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση ως και 60% και ως 30% για φωτισμό σε σχέση με ένα συμβατικό κτίριο
- βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, μέσω της χρήσης φιλικών προς το περιβάλλον κατασκευαστικών υλικών και καλού εξαερισμού
- ευνοϊκό μικροκλίμα, με κατάλληλη φύτευση και υλικά
- βελτίωση της υγιεινής, της ασφάλειας και της θερμικής άνεσης.

## 1.4. Βασικοί ορισμοί

### 1.4.1. Θερμική άνεση

Ως θερμική άνεση, ορίζεται η κατάσταση εκείνη κατά την οποία ο άνθρωπος εγκέφαλος εκφράζει ικανοποίηση σχετικά με το θερμικό περιβάλλον. Διαφορετικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι σε συνθήκες καλής θερμικής άνεσης το άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή στο περιβάλλον του, διότι δεν αισθάνεται ανεπιθύμητη ζέστη, ούτε ανεπιθύμητο κρύο. Η εσωτερική θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι σταθερή και κάθε θερμότητα που δημιουργείται από αυτό πρέπει να αποβάλλεται. Για το λόγο αυτό, συνθήκες βέλτιστης θερμικής άνεσης έχουμε όταν η παραγωγή εσωτερικής θερμοκρασίας εξισώνεται με τις θερμικές απώλειες του σώματος. Η ισορροπία μεταξύ αυτών των παραμέτρων καθορίζει τις συνθήκες θερμικής άνεσης η οποία εξαρτάται από ένα συνδυασμό φυσικών, οργανικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Εξαιτίας των διαφορών μεταξύ των ανθρώπων και την υποκειμενικότητα του συναισθήματος τη θερμικής άνεσης τα διαγράμματα και οι συνθήκες άνεσης που έχουν ορισθεί, ικανοποιούν την πλειοψηφία του πληθυσμού και μάλιστα ένα ποσοστό 80% του πληθυσμού [3,4,6,7].

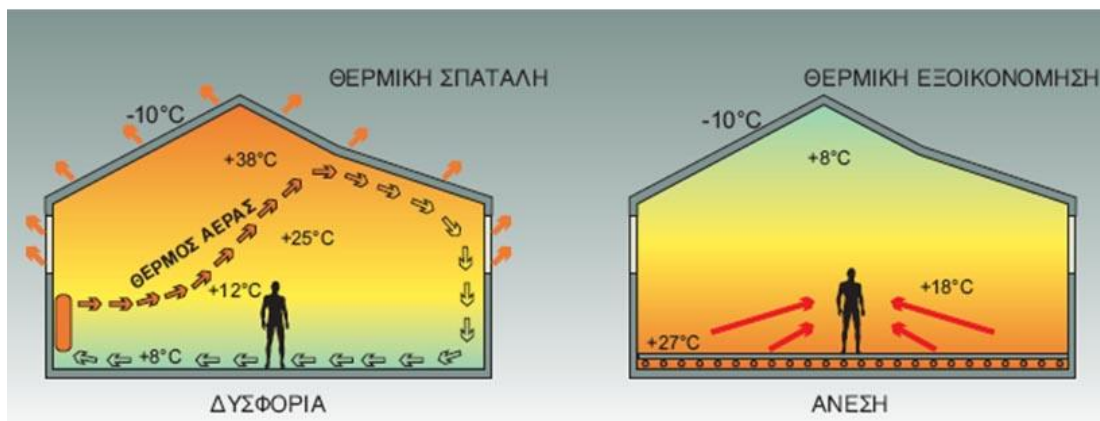


Εικόνα 1.5. Παράμετροι Θερμικής Άνεσης <http://www.tiemme.gr/content.asp?catid=84>

### 1.4.2. Θερμικό ισοζύγιο

Η επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα για ένα χώρο, καθορίζεται από τους κανόνες που ισχύουν, με στόχο την εξασφάλιση θερμικής άνεσης για τον συγκεκριμένο χρήστη του χώρου και έχει άμεση σχέση με τους “προσωπικούς παράγοντες”, δηλαδή την δραστηριότητα που εκτελείται στον χώρο, την ηλικία, τον τρόπο ένδυσης κ.λ.π.. Για να επιτευχθεί και να διατηρηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία, παρέχεται στο κτίριο θέρμανση ή ψύξη που καλύπτει την θερμοκρασιακή διαφορά από την θερμοκρασία που θα επικρατούσε στο κτίριο χωρίς αυτήν την παροχή, μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία. Όσο μικρότερη είναι η συμβολή της θέρμανσης ή της ψύξης για την εξισορρόπηση του θερμικού ισοζυγίου και την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης, τόσο οικονομικότερη είναι η λειτουργία του κτιρίου.

Ο σωστός σχεδιασμός βελτιστοποιεί την απόδοση ορισμένων από τους παράγοντες που συμμετέχουν στο θερμικό ισοζύγιο. Με τον προσανατολισμό του κτιρίου και κυρίως των ανοιγμάτων του, την μορφή του κτιρίου, την αναλογία συμπαγών στοιχείων και ανοιγμάτων, την κατασκευή του κελύφους, και την επιλογή των συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και φωτισμού επεμβαίνει ο μελετητής στην θερμική συμπεριφορά του κτιρίου.



Εικόνα 1.6. Διαχείριση θερμότητας βάση σχεδιασμού <http://www.tiemme.grcontent.aspcatid=84>

Εκτός όμως από το κτισμένο περιβάλλον (σχεδιασμός και κατασκευή), είναι και ο τρόπος χρήσης του κτιρίου που επηρεάζει την κατανάλωση ενέργειας. Οι χρήστες του κτιρίου με την “συμπεριφορά” και τις συνήθειές τους, μπορούν να διαφοροποιήσουν ουσιαστικά την θερμική συμπεριφορά και επομένως την τελική κατανάλωση ενέργειας. Ενημερωμένοι, και συνεπώς συνειδητοποιημένοι σε σχέση με το “ενεργειακό πρόβλημα”, χρήστες, με την ορθολογική χρήση των

διαφόρων συστημάτων ελέγχου του εσωκλίματος που έχουν στην διάθεσή τους, μπορούν να συμβάλλουν στην μείωση των θερμικών απωλειών, στην αποφυγή της υπερθέρμανσης και γενικότερα στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Με τον όρο θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου εννοούμε το άθροισμα όλων των θερμικών ροών από και προς ένα κτίριο. Οι θερμικές αυτές ροές αναφέρονται σε κέρδη (θερμικές πρόσδοδοι ή θερμικά κέρδη) και σε απώλειες (θερμικές απώλειες) του κτιρίου που οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος .

Το θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου μπορεί να εκφραστεί με τη μορφή μιας απλής μαθηματικής σχέσης που έχει τη μορφή:

$$QI + QS \pm QC \pm QV \pm QM - QE = 0 \quad \text{όπου,}$$

QI: η θερμότητα που αποδίδεται από τους ενοίκους, τις διάφορες συσκευές και τον φωτισμό

QS: η θερμική πρόσδοδος από την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτίριο

QC: οι θερμικές απώλειες ή τα κέρδη με αγωγιμότητα από το κέλυφος του κτιρίου

QV: οι θερμικές απώλειες ή τα κέρδη από τον αερισμό

QM: οι θερμαντικές ή ψυκτικές ανάγκες του χώρου

QE: οι θερμικές απώλειες από την εξάτμιση

Οι παράμετροι του θερμικού ισοζυγίου ισχύουν για κάθε κτίριο, με διαφορετική όμως βαρύτητα της καθεμιάς, ανάλογα με την χρήση του κτιρίου και τον τρόπο λειτουργίας του. Αναλυτικότερα διακρίνουμε:

QC(Conduction) : οι απώλειες (ή τα κέρδη) από αγωγιμότητα, από τα δομικά στοιχεία του περιβλήματος. Μπορεί να γίνει διαχωρισμός στις απώλειες από τα συμπαγή ή τα διαφανή στοιχεία. Ας σημειωθεί ότι κατά τη θερινή περίοδο είναι πολύ πιθανό λόγω αγωγιμότητας να μην υπάρχουν

απώλειες αλλά θερμικά κέρδη για το κτίριο, ιδίως κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπου η εξωτερική θερμοκρασία είναι κατά κανόνα μεγαλύτερη από την εσωτερική.

Οι θερμικές απώλειες (ή τα κέρδη) από αγωγιμότητα μέσα από τα συμπαγή και διαφανή στοιχεία του κελύφους δεν επηρεάζονται από την χρήση του κτιρίου, παρά μόνον από τους παράγοντες που σχετίζονται με την χωροθέτηση, την μορφή και τον τρόπο κατασκευής του περιβλήματος του κτιρίου.

QV (Qvent): οι απώλειες εξ αιτίας του αερισμού του κτιρίου, ηθελημένου ή αθέλητου αερισμού. Ο αερισμός συμβάλλει στην δημιουργία άνετου και υγιεινού περιβάλλοντος για τους χρήστες, με την αντικατάσταση του αέρα που χρησιμοποιήθηκε από ισόποσο εξωτερικό αέρα. Μελέτες που έγιναν έδειξαν ότι, μέχρι και 50% από την συνολική κατανάλωση καυσίμων για την θέρμανση των κτιρίων χρησιμοποιείται για να καλυφθούν οι θερμικές απώλειες λόγω του αερισμού. Και αυτός ο παράγοντας μπορεί να μετατραπεί σε θερμική πρόσοδο κατά τη θερινή περίοδο.

QE(Evaporation) : οι απώλειες από την εξάτμιση στις επιφάνειες ή μέσα στο κτίριο.

QI(Internal): τα εσωτερικά κέρδη από τη λειτουργία του κτιρίου είναι ουσιαστικός και σε μεγάλο βαθμό ανελαστικός παράγοντας του θερμικού ισοζυγίου για το κτίριο. Πρόκειται για θερμότητα που δημιουργείται λόγω της χρήσης του κτιρίου και έχει τη μορφή είτε αισθητής, είτε λανθάνουσας θερμότητας. Η παρουσία των χρηστών σε συνδυασμό με τη δραστηριότητα που εκτελούν, ο τεχνητός φωτισμός, η λειτουργία των συσκευών και η χρησιμοποίηση του ζεστού νερού, δημιουργούν ένα σημαντικό θερμικό φορτίο, που στην χειμερινή περίοδο συμβάλλει στην θέρμανση του χώρου, ενώ στις θερμές περιόδους αυξάνει το ψυκτικό φορτίο.

QS(Solar): τα ηλιακά κέρδη τα οποία οφείλονται στην προσπίπτουσα στο κτίριο ηλιακή ακτινοβολία και μπορούν να διαχωριστούν σ' αυτά που προέρχονται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία στις συμπαγείς ή στις διαφανείς επιφάνειες του περιβλήματος. Η θερμική πρόσοδος από την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτίριο, είναι σημαντικός παράγοντας που σχετίζεται με τον προσανατολισμό του κτιρίου, και ιδιαίτερα της επιφάνειας των ανοιγμάτων του. Σωστά μέτρα τόσο κατά τον σχεδιασμό, όσο και κατά την κατασκευή του κτιρίου, που να παίρνουν υπόψη τους τον παράγοντα "ήλιο", συμβάλλουν στην αξιοποίηση της δωρεάν θερμικής ηλιακής προσόδου.

QM : το θερμικό ή ψυκτικό φορτίο του κτιρίου καλύπτεται με την παροχή θέρμανσης ή ψύξης. Γενικά, η επιλογή του τρόπου θέρμανσης ή και ψύξης, εξαρτάται από το μέγεθος του έργου, την σπουδαιότητά του, τις ειδικές κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος, τις οικονομικές δυνατότητες, τα διατιθέμενα μέσα καθώς και το συγκριτικά οικονομικότερο καύσιμο στην περιοχή και την δυνατότητα αποθήκευσης της θερμαντικής ύλης.

Είναι σαφές ότι, οι απώλειες ή τα κέρδη από τον αερισμό και η θερμική πρόσδοδος από τους χρήστες και τον φωτισμό, είναι οι δύο παράμετροι του θερμικού ισοζυγίου που αφενός επηρεάζονται άμεσα από την χρήση του κτιρίου και αφετέρου καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το θερμικό ή ψυκτικό φορτίο του.

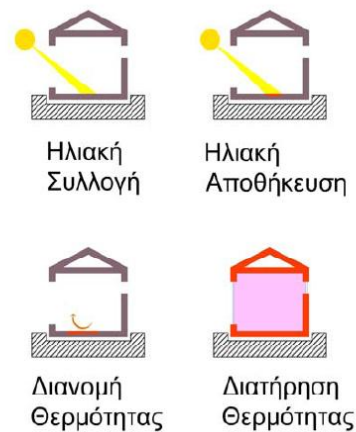
Αξίζει να σημειωθεί ότι στον υπολογισμό του θερμικού ισοζυγίου δεν παίρνεται υπόψη η διαθέσιμη στον θερμαινόμενο χώρο θερμική μάζα, η οποία επηρεάζει όχι μόνον την χρονική και στον χώρο κατανομή της θερμοκρασίας (αίσθημα θερμικής άνεσης), αλλά έμμεσα και την τελική κατανάλωση ενέργειας για την διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας, ή θερμοκρασίας σχεδιασμού [8,9,10].

### **1.4.3. Θερμική Μάζα**

Θερμική μάζα ενός κτιρίου, ορίζεται ως το σύνολο των υλικών και των δομικών στοιχείων του κτιρίου που έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν θερμότητα.

Η μάζα αυτή όταν αξιοποιηθεί σωστά μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση των απαιτήσεων σε θέρμανση και κλιματισμό και να έχει ευεργετική επίδραση τόσο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (ψύξη), όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο (θέρμανση). Ιδανικά υλικά για τη συγκρότηση της θερμικής μάζας ενός κτιρίου είναι υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας, δηλαδή ικανά να αποθηκεύουν θερμότητα σε μεγάλο βαθμό. Τέτοια υλικά είναι συμπαγή, πυκνά υλικά, όπως είναι η πέτρα και οι φυσικοί λίθοι γενικότερα, το τούβλο, το μπετόν, κεραμικές πλάκες κ.α., τα οποία επιλέγονται παραδοσιακά για τα μέρη του κτιρίου όπου απαιτείται καλή θερμική αποθήκευση. Έχουν την ιδιότητα να συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας, χωρίς να γίνονται τα ίδια ιδιαίτερα θερμά και να την αποβάλλουν όταν το περιβάλλον γίνει ψυχρότερο. Με άλλα λόγια, λειτουργούν ως

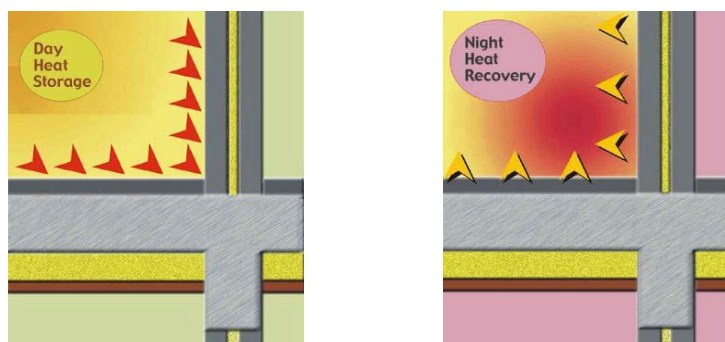
μέσα αποθήκευσης θερμότητας και κρύου με το να θερμαίνονται, αλλά και να αποβάλλουν θερμότητα σχετικά αργά. Το ξύλο, για παράδειγμα, είναι ελαφρύ υλικό και έχει μικρή ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας.



Εικόνα 1.7. Λειτουργία Θερμικής Μάζας <http://www.staticsart.gr>

Η σωστή χρήση της μάζας ενός κτιρίου εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες και τις αντίστοιχες ανάγκες σε κλιματισμό και θέρμανση. Η ηλιακή ενέργεια αφού εισέλθει στο κτίριο προς το εσωτερικό του (με άμεσο –ανοίγματα- ή έμμεσο τρόπο), παγιδεύεται και μεταφέρεται στα δομικά υλικά.

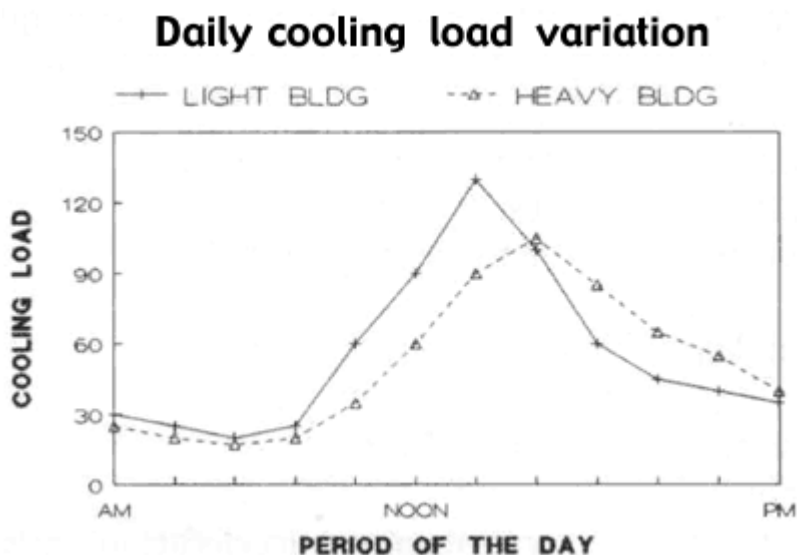
Κατά το χειμώνα, η περίσσεια ηλιακή ενέργεια αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία του κτιρίου τις ώρες της ημέρας. Τη νύχτα που η θερμοκρασία πέφτει, η αποθηκευμένη αυτή θερμότητα απελευθερώνεται σταδιακά προς τον εσωτερικό χώρο, μειώνοντας τις ανάγκες σε βοηθητική θέρμανση. Χαλιά και άλλες επικαλύψεις του δαπέδου, έπιπλα ή άλλα υλικά ελαφριάς κατασκευής εξουδετερώνουν τη θερμική μάζα του κτιρίου, για αυτό συνιστάται τα σημεία άμεσης πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να μην καλύπτονται το χειμώνα.



Εικόνα 1.8. Λειτουργία Θερμικής Μάζας <http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/tree.html>



Τη διάρκεια του θέρους, η λειτουργία της θερμικής μάζας συνίσταται στο να καθυστερεί τη ροή θερμότητας από το εξωτερικό στο εσωτερικό του κτιρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας, που υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Η θερμότητα αποθηκεύεται, δηλαδή, στους τοίχους, τα πατώματα και τις οροφές λόγω του ημερήσιου ηλιασμού και τη νύχτα με εφαρμογή κατάλληλου εξαερισμού (άνοιγμα παραθύρων) αποβάλλεται προς τον εξωτερικό χώρο. Κατά αυτόν τον τρόπο, το επόμενο πρωινό, έχει εξασφαλισθεί χαμηλή θερμοκρασία για το χώρο ο οποίος πρόκειται να συσσωρεύσει εκ νέου θερμότητα. Το καλοκαίρι, λοιπόν, η διαδικασία αυτή παρέχει μια εξασθένηση των μέγιστων εσωτερικών θερμοκρασιών, με το να μεταθέτει την αποφόρτιση της θερμότητας αργότερα, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη. Για καλύτερη απόδοση και αποφυγή της υπερθέρμανσης βεβαίως, είναι απαραίτητος ο κατάλληλος σκιασμός των ανοιγμάτων, ώστε να μειώνεται όσο είναι δυνατόν η ηλιακή ενέργεια που εισρέει στο κτίριο.

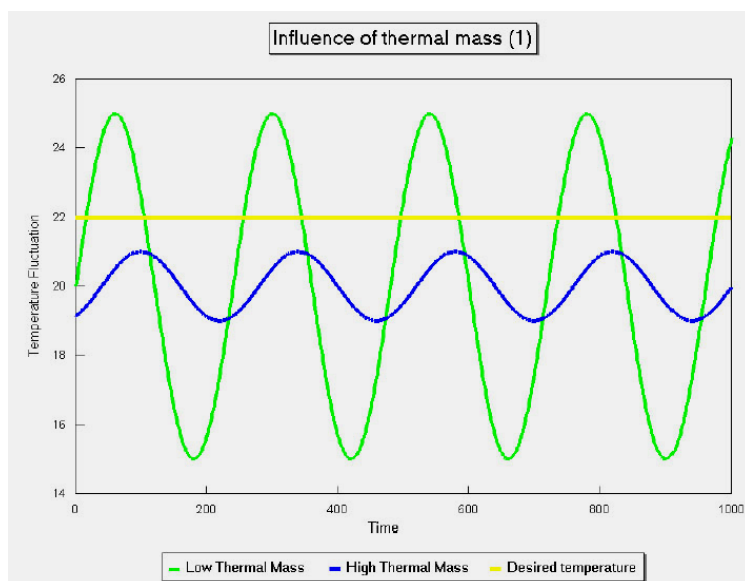


*Εικόνα 1.9. Διακύμανση του ψυκτικού φορτίου κατά τη διάρκεια της ημέρας για μικρή και μεγάλη θερμική μάζα*

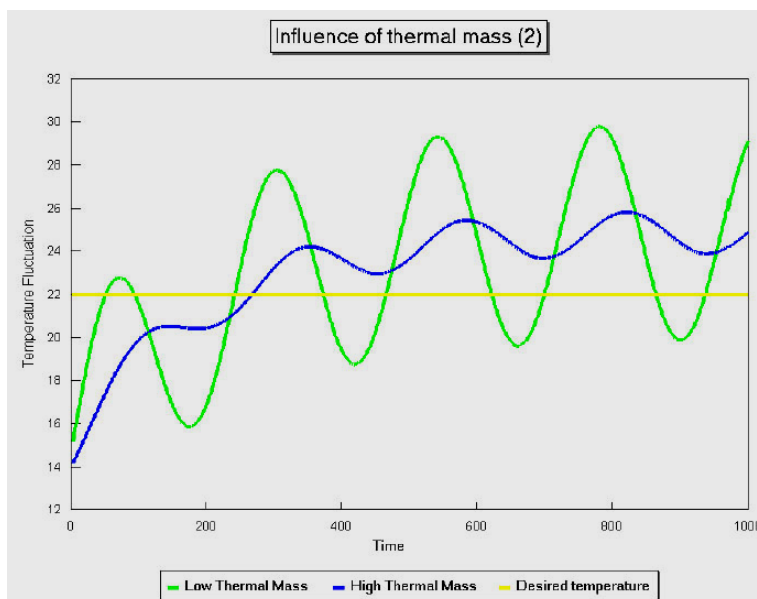
<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/tree.html>

Η χρήση της θερμικής μάζας σε μεγάλη κλίμακα είναι κατάλληλη ιδιαίτερα σε ζεστά κλίματα, όπως είναι η έρημος και οι τροπικές ζώνες. Σε εύκρατα κλίματα, οι πολύ μεγάλης κλίμακας εφαρμογές (π.χ. αρκετά παχύ στρώμα τοιχοποιίας από βαριά υλικά), μπορεί να καταστήσει δύσκολη την ψύξη ή τη θέρμανση ενός σπιτιού. Η διαδικασία θερμικής φόρτισης και αποφόρτισης της θερμικής μάζας οφείλεται στη θερμοδυναμική αρχή που επιβάλλει τη ροή θερμότητας από τα θερμότερα στα ψυχρότερα. Σε κάθε περίπτωση, η θερμική μάζα πρέπει να συνδυάζεται με επαρκή μόνωση του

εξωτερικού κελύφους του κτιρίου. Θερμική μάζα που δεν συνδυάζεται με θερμομόνωση, μειώνει κατά πολύ τα πιθανά θερμικά κέρδη κατά το χειμώνα. Πέρα από τη χρήση δομικών υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας, για την αύξηση της θερμικής μάζας ενός κτιρίου χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα όπως οι ηλιακοί τοίχοι, οι ηλιακές λίμνες, καθώς και υλικά αλλαγής φάσης που θα μελετηθούν παρακάτω.



Εικόνα 1.10. Επίδραση της θερμικής μάζας <http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/tree.html>



Εικόνα 1.11. Επίδραση της θερμικής μάζας <http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/tree.html>

#### 1.4.4. Χρονική Υστέρηση

Η χρονική υστέρηση (time lag) που μεσολαβεί από τη στιγμή της μέγιστης εξωτερικής θερμοκρασίας μέχρι τη στιγμή που μεγιστοποιείται η εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία, εκφράζεται σε ώρες και εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα των υλικών. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοχωρητικότητα και το πάχος ενός υλικού, τόσο αργότερα γίνεται η ροή της θερμότητας.

Η χρονική υστέρηση προσδιορίζεται από τους ακόλουθους τύπους:

$$\phi = \rho c L^2 / k$$

όπου, είναι:

$\phi$ , η χρονική υστέρηση ( s)

$\rho$ , η πυκνότητα του υλικού ( $\text{kg/m}^3$ )

$c$ , η ειδική θερμότητα –ειδική θερμοχωρητικότητα ( $\text{kJ/kgK}$ )

$L$ , το πάχος του υλικού (m)

$k$ , η ειδική θερμική αγωγιμότητα του υλικού ( $\text{W/mK}$ )

Επίσης, εκφράζεται από τον τύπο:

$$\phi = L^2 / \alpha$$

όπου, είναι:

$\phi$ , η χρονική υστέρηση ( s)

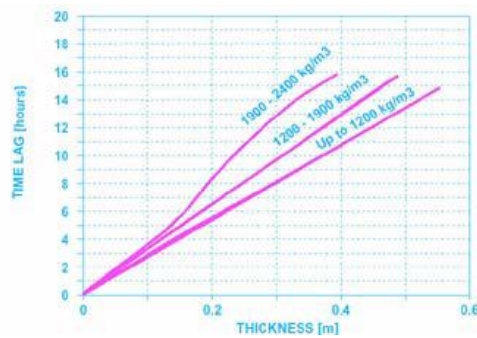
$\alpha = k / \rho C$ , η θερμοκρασιακή αγωγιμότητα, ή θερμική διαχυτότητα του υλικού ( $\text{m}^2/\text{s}$ ), όπου:

$k$ , η θερμική αγωγιμότητα ( $\text{W/mK}$ )

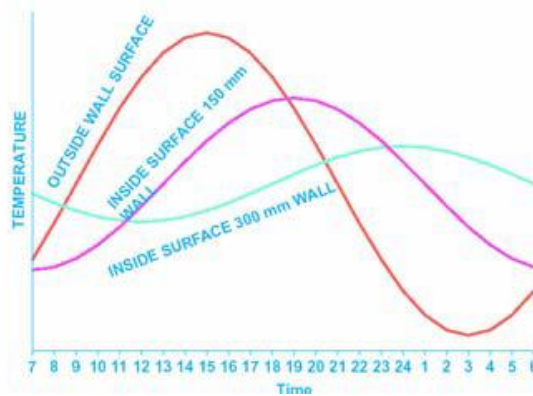
$\rho$ , η πυκνότητα ( $\text{kg/m}^3$ )

$c$ , η ειδική θερμοχωρητικότητα ( $\text{J/kgK}$ )

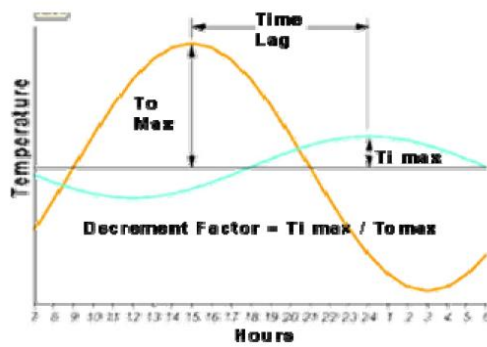
Η φυσική σημασία της θερμοκρασιακής αγωγιμότητας  $\alpha$  συνδέεται με τη μεταφορά θερμότητας σε ένα σώμα ,όταν η θερμοκρασία του μεταβάλλεται με το χρόνο, δηλαδή όσο υψηλότερη είναι η τιμή της θερμοκρασιακής αγωγιμότητας ,τόσο ταχύτερα διαχέεται η θερμότητα στο υλικό.



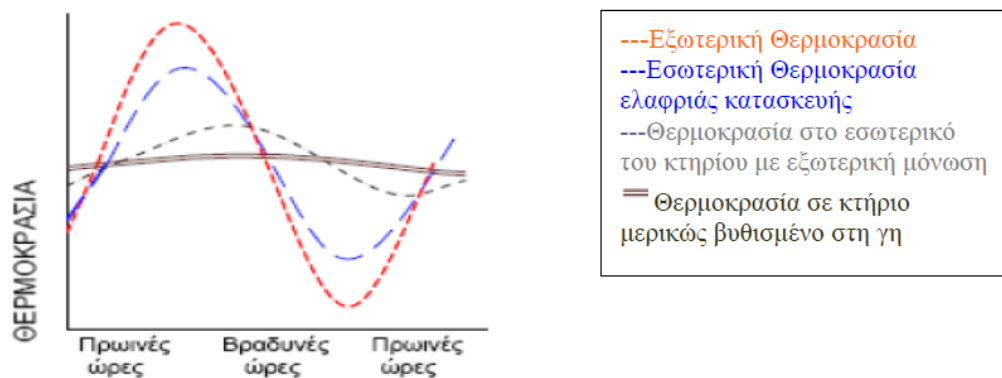
**Εικόνα 1.12.** Χρονική Υστέρηση (time lag) σε σχέση με το πάχος του υλικού και την πυκνότητα  
<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/tree.html>



**Εικόνα 1.13.** Διακύμανση της θερμοκρασίας του τοίχου, λόγω χρονικής υστέρησης  
<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/tree.html>



Εικόνα 1.14. Χρονική Υστέρηση. Ο παράγων μείωσης είναι ίσος με  $T_{i\max}/T_{o\max}$  (Decrement Factor)  
<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/tree.html>



Εικόνα 1.15. Διακύμανση της θερμοκρασίας κτηρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας.  
<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/tree.html>

### 1.4.5. Θερμική Αντίσταση (R-Value)

Η ροή της θερμότητας δια μέσου του κελύφους ενός κτιρίου εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας, που πρόκειται για εξωτερικό παράγοντα και την αγωγιμότητα και το πάχος των υλικών, που είναι ιδιότητες των υλικών. Οι παράμετροι αυτοί συνιστούν τη θερμική αντίσταση του κελύφους που ορίζεται ως:

$$R = l/k$$

Όπου:

**R** ( $\text{m}^2\text{K/W}$ ), είναι η θερμική αντίσταση ανά μονάδα επιφάνειας του υλικού, **l** (**m**) το πάχος του υλικού και **k** ( $\text{W/mK}$ ) η θερμική αγωγιμότητα του.

Η **συνολική** θερμική αντίσταση του κελύφους που συγκροτείται από στρώματα διαφορετικών υλικών υπολογίζεται ως εξής:

$$R_t = R_{so} + \sum R_n + s_i$$

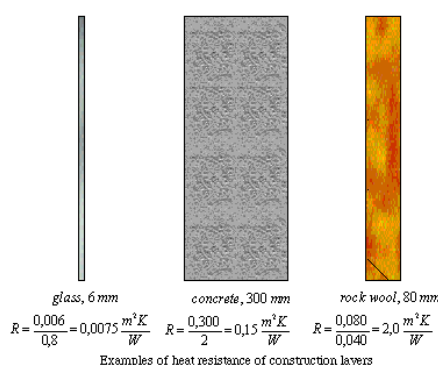
Όπου, είναι:

**R<sub>t</sub>**, η συνολική θερμική αντίσταση του στοιχείου του κελύφους ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )

**R<sub>n</sub>**, είναι η θερμική αντίσταση του νιοστού στρώματος, ίση με **R<sub>n</sub>=l<sub>n</sub>/k<sub>n</sub>**, όπου **l<sub>n</sub>** το πάχος του νιοστού υλικού (**m**) και **k<sub>n</sub>** η θερμική αγωγιμότητα του (**W/mK**)

**R<sub>so</sub>** και **R<sub>si</sub>**, οι αντιστάσεις της εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας του προς μελέτη στοιχείου αντίστοιχα ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )

Η θερμική αντίσταση συνήθως συμβολίζεται με «R» (**R-Value**) και είναι η θερμική αντίσταση υλικού εμβαδού **1 m<sup>2</sup>**, σε διαφορά θερμοκρασίας **1 K**. Κατά αυτόν τον τρόπο, γνωρίζοντας τη τιμή της θερμικής αντίστασης «R» ( $\text{m}^2\text{K/Watt}$ ), το εμβαδό του υλικού και τη θερμοκρασιακή διαφορά, μπορούμε να βρούμε τη ροή θερμότητας δια μέσου του υλικού.

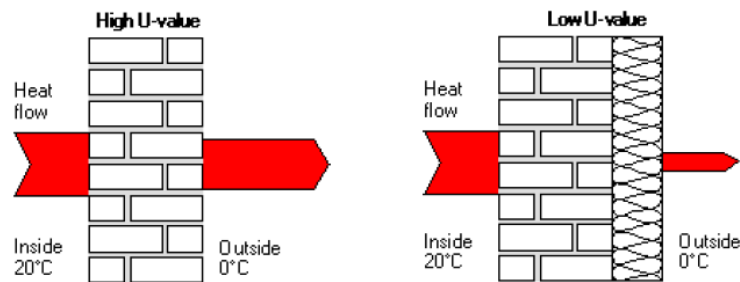


**Εικόνα 1.16.** Παραδείγματα θερμικής αντίστασης στρωμάτων της τοιχοποιίας  
<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/tree.htm>

### 1.4.6. Συντελεστής θερμοπερατότητας (U value)

Ένας άλλος τρόπος για να εξετάσει κανείς τη θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου είναι να μετρήσει την ικανότητα του να μεταδίδει θερμότητα, πράγμα που εξετάζεται με τον παράγοντα U («U value»). Μαθηματικά ισχύει ότι:

$$U = 1/Rt$$



Εικόνα 1.17. Συντελεστές θερμοπερατότητας <http://www.builddesk.com/sw56126>

Είναι δηλαδή, το αντίστροφο της θερμικής αντίστασης. Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του, τόσο μικρότερη είναι η μετάδοση θερμότητας, άρα τόσο χαμηλότερες είναι και οι θερμικές απώλειες. Ορίζεται ως ο ρυθμός που μεταδίδεται η θερμότητα από ένα υλικό ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα θερμοκρασιακής διαφοράς στις δυο πλευρές του υλικού.

## Κεφάλαιο 2. Ενεργειακή Πολιτική

### 2.1. Ενεργειακή πολιτική σχετικά με τον κτιριακό τομέα

Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από τον μεσογειακό τύπο του εύκρατου κλίματος και έχει ήπιους υγρούς χειμώνες και ζεστά ξηρά καλοκαίρια. Το κλίμα της χώρας μπορεί να διαιρεθεί σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

- 1) Υγρό μεσογειακό: [Δυτική Ελλάδα, δυτική Πελοπόννησος, πεδινά και ημιορεινά της Ηπείρου]
- 2) Ξηρό μεσογειακό: [Κυκλάδες, παραλιακή Κρήτη, 4ωδεκάνησα, ανατολική Πελοπόννησος, Αττική, πεδινές περιοχές Ανατολικής Στερεάς]
- 3) Ηπειρωτικό: [Κυκλάδες, παραλιακή Κρήτη, 4ωδεκάνησα, ανατολική Πελοπόννησος, Αττική, πεδινές περιοχές Ανατολικής Στερεάς]
- 4) Ορεινό: [Ορεινές περιοχές με υψόμετρο περίπου >1500μ στη βόρεια Ελλάδα, >1800μ στην κεντρική Ελλάδα και >2000μ στην Κρήτη]

Η Ελλάδα έχει μεγάλη ηλιοφάνεια όλο σχεδόν το χρόνο. Λεπτομερέστερα στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα βέβαια μέσα στα πλαίσια του μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου και εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Τέτοιες κλιματικές διαφορές συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο.

Πιο συγκεκριμένα για τον ελλαδικό χώρο και όσον αφορά το μακρόκλιμα, μπορούμε να προσδιορίσουμε, σύμφωνα με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης, τρεις κλιματολογικές ζώνες (Εικ. 2.1.). Τα κτίρια που βρίσκονται στη ζώνη Α έχουν μεγαλύτερες ανάγκες για ψύξη και μικρότερες για θέρμανση, στη ζώνη Β έχουν περίπου τις ίδιες ανάγκες σε ψύξη και σε θέρμανση και στη ζώνη Γ έχουν πολύ μικρές ανάγκες σε ψύξη και πολύ μεγάλες σε θέρμανση [11].





*Εικόνα 2.1. Οι κλιματικές ζώνες της Ελλάδας [4]*

### **2.1.1. Κοινοτικό νομικό πλαίσιο**

Οδηγία 89/106/ΕΟΚ της 21ης Δεκεμβρίου 1988: ορίζει να γίνονται οι δομικές κατασκευές και οι εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης και αερισμού κατά τρόπο ώστε η απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας κατά τη χρησιμοποίηση του έργου να είναι χαμηλή, ανάλογα με τα κλιματικά δεδομένα του τόπου αλλά και τους χρήστες.

Οδηγία 93/76/ΕΟΚ της 13ης Δεκεμβρίου 1993 : ορίζει ότι τα κράτη μέλη πρέπει να καταρτίζουν και εφαρμόζουν προγράμματα και να υποβάλουν σχετικές εκθέσεις για την ενεργειακή απόδοση στον κτιριακό τομέα. 30 Μαΐου 2000 και 5 Δεκεμβρίου 2000 : εγκρίνεται πρόγραμμα δράσης της Κοινότητας για την ενεργειακή απόδοση και ζητείται λήψη ειδικών μέτρων στον τομέα των κτιρίων.

Οδηγία 2002/91/ΕΚ της 16ης Δεκεμβρίου 2002 : Στο άρθρο 1 αναφέρεται ο στόχος της οδηγίας, ο οποίος είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων εντός της Κοινότητας, λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές κλιματολογικές και τοπικές συνθήκες, καθώς και τις κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων και τη σχέση κόστους/οφέλους. Επίσης, επισημαίνεται το δυναμικό εξοικονόμησης σε σχέση με τον σχεδιασμό και τον προσανατολισμό του κτιρίου.

Η πρόταση καλύπτει τέσσερα βασικά στοιχεία:

1) Καθιέρωση γενικού πλαισίου κοινής μεθοδολογίας για τον υπολογισμό της ολοκληρωμένης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

2) Εφαρμογή προτύπων ελάχιστης ενεργειακής απόδοσης για νέα κτίρια και ορισμένα υφιστάμενα κτίρια κατά την ανακαίνισή τους.

3) Προγράμματα πιστοποίησης για νέα και υφιστάμενα κτίρια βάσει των ανωτέρω προτύπων και δημόσια επίδειξη των πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης.

4) Ειδική επιθεώρηση και αξιολόγηση των λεβήτων και των εγκαταστάσεων θέρμανσης/ψύξης.

Παρακάτω, παρατίθεται το γενικό πλαίσιο που προβλέπεται από την παρούσα οδηγία και αφορά τη μεθοδολογία υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίων [12].

### **2.1.2 Γενικό πλαίσιο για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων**

1) Η μέθοδος υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων πρέπει τουλάχιστον να περιλαμβάνει τους ακόλουθους παράγοντες:

- θερμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου
- εγκατάσταση θέρμανσης και τροφοδοσία θερμού νερού
- εγκατάσταση κλιματισμού
- αερισμό
- ενσωματωμένη εγκατάσταση φωτισμού
- θέση και προσανατολισμό των κτιρίων
- παθητικά ηλιακά συστήματα και ηλιακή προστασία
- φυσικό αερισμό
- εσωτερικές κλιματικές συνθήκες, στις οποίες περιλαμβάνονται οι επιδιωκόμενες εσωτερικές κλιματικές συνθήκες.

2) Στον υπολογισμό αυτόν θα συνεκτιμάται, κατά περίπτωση, η θετική επίδραση των ακολούθων παραγόντων:

- ενεργά ηλιακά συστήματα και άλλα συστήματα θέρμανσης και ηλεκτρικά συστήματα βασιζόμενα σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη με ΣΠΗΘ
- συστήματα κεντρικής θέρμανσης και ψύξης
- φυσικός φωτισμός

3) Για το σκοπό αυτού του υπολογισμού, τα κτίρια θα κατατάσσονται σε κατηγορίες, όπως:

- οικογενειακές κατοικίες διαφόρων τύπων
- συγκροτήματα διαμερισμάτων
- γραφεία
- εκπαιδευτικά κτίρια
- νοσοκομεία
- ξενοδοχεία και εστιατόρια
- αθλητικές εγκαταστάσεις
- κτίρια υπηρεσιών χονδρικού και λιανικού εμπορίου
- άλλα είδη κτιρίων που καταναλώνουν ενέργεια.

Πράσινη βίβλος 2005 : εκτιμά ότι η εφαρμογή της κοινοτικής οδηγίας 2002/91 θα αποδώσει κέρδος 40 Μταπ μέχρι το 2020. Ακόμη αναφέρει ότι, καθώς το 1/3 της ενεργειακής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα αντιστοιχεί στο φωτισμό, η Κοινότητα πρέπει να προωθήσει τη χρήση πιο μοντέρνου, ενεργειακά οικονομικού και «έξυπνου» φωτισμού.

Πράσινη βίβλος 2006 : προτείνει μακροχρόνιες στοχοθετημένες εκστρατείες για την ενεργειακή απόδοση, συμπεριλαμβανομένης της απόδοσης στα κτίρια, ιδίως στα δημόσια.

Οδηγία 2006/32/EK : στο άρθρο 1 αναφέρεται ότι σκοπός της παρούσας οδηγίας είναι να ενισχυθεί η οικονομικώς αποτελεσματική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση στα κράτη μέλη.

Σύμφωνα με την παρούσα οδηγία, τα κράτη μέλη θεσπίζουν και προσπαθούν να επιτύχουν εθνικό ενδεικτικό στόχο εξοικονόμησης ενέργειας 9 % για το ένατο έτος εφαρμογής της, με τη βοήθεια ενεργειακών υπηρεσιών και άλλων μέτρων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

Λευκή βίβλος 2006 : αναφέρει ότι η κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα και τον τομέα των υπηρεσιών μπορεί να μειωθεί σημαντικά αν ληφθούν μέτρα ορθολογικής χρήσης της ενέργειας τόσο για το κέλυφος των κτιρίων, όσο και για το φωτισμό, τη θέρμανση, τον αερισμό και την ψύξη, χρησιμοποιώντας επίσης τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας. Συγκεκριμένα η μείωση υπολογίζεται ότι μπορεί να φτάσει το 50% στην Ευρωπαϊκή Ένωση μέχρι το 2010 και προτείνονται ειδικότερα μέτρα για εισαγωγή ανανεώσιμης ενέργειας στα κτίρια :

- χρήση ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό
- εγκατάσταση παραθύρων και σκιάστρων υψηλής αποδοτικότητας
- χρήση φυσικού αερισμού
- προώθηση οικολογικών δομικών υλικών

Σχέδιο δράσης 2007-2012 : προτείνεται σχέδιο δράσης με σκοπό να αξιοποιηθεί το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Στο σχέδιο απαριθμείται σειρά μέτρων που συμφέρουν οικονομικά και προτείνονται κατά προτεραιότητα δράσεις προς άμεση ανάληψη, και άλλες προς σταδιακή δρομολόγηση στη διάρκεια των έξι ετών εφαρμογής του σχεδίου. Θα απαιτηθούν περαιτέρω δράσεις ώστε να αξιοποιηθεί το πλήρες δυναμικό μέχρι το 2020.

Μεταξύ άλλων ορίζεται η "παθητική κατοικία": συνήθως σπίτι χωρίς παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης και χωρίς ενεργητική ψύξη. Αυτό μπορεί να σημαίνει πολύ καλά επίπεδα μόνωσης και ένα σύστημα μηχανικού αερισμού με πολύ υψηλής απόδοσης ανάκτηση θερμότητας. Ως πρώτη προτεραιότητα ορίζεται η ενεργειακή απόδοση στον κτιριακό τομέα [11,12].

## **2.2. Εθνικό νομικό πλαίσιο**

ΦΕΚ 320Δ/1979 - Κανονισμός θερμομόνωσης : εγκρίθηκε το 1979 και σύμφωνα με αυτόν η χώρα χωρίζεται σε 3 κλιματικές ζώνες : Α, Β, Γ . Η ζώνη Γ είναι αυτή με τις μεγαλύτερες θερμομονωτικές απαιτήσεις. Κριτήρια για το διαχωρισμό αυτό ήταν η μέση ελάχιστη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα και η μέση διάρκεια της περιόδου θέρμανσης.

Βάσει του κανονισμού καθορίζονται :

- οι μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες πόλεων-περιοχών.
- οι συνιστώμενες επιθυμητές θερμοκρασίες των χώρων διαμονής και εργασίας.
- οι θερμοκρασίες για τους μη θερμαινόμενους χώρους του κτιρίου και για τυχόν γειτονικά κτίσματα.

Ο Κανονισμός Θερμομόνωσης ορίζει :

- Ανώτατο όριο για το συντελεστή θερμοπερατότητας  $K_{max}$  για κάθε δομικό στοιχείο του κελύφους του κτιρίου
- Μέγιστο επιτρεπόμενο μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας  $K_m$  των εξωτερικών τοιχωμάτων (τοιχών και ανοιγμάτων) του κάθε ορόφου του κτιρίου. ( $K_m (w,F) = 1,60 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } \circ\text{C}$ )
- Μέγιστο επιτρεπόμενο μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας  $K_m$  ολόκληρου του κτιρίου, ο οποίος αναφέρεται σε όλο το κέλυφος του κτιρίου, που το διαχωρίζει από το περιβάλλον ή από μη θερμαινόμενους χώρους και είναι συνάρτηση της ζώνης που ανήκει το κτίριο και του λόγου  $F/V$  ( όπου:  $F$ , η εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου μέσω της οποίας γίνεται η συναλλαγή θερμότητας και  $V$ , ο όγκος που περικλείει η επιφάνεια  $F$  ).

ΦΕΚ 4/Α του 1985 , ν.1512/85 : περιλαμβάνει διατάξεις που αφορούν «κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας»

ΦΕΚ 210/Α/18-12-1985 , ν.1577/85 : Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός

ΦΕΚ 59/Β του 1989 : Κτιριοδομικός Κανονισμός : Σύμφωνα με το άρθρο 11 του Κτιριοδομικού Κανονισμού, όλοι οι χώροι κύριας χρήσης των κτιρίων και δομικών έργων πρέπει να έχουν επαρκή φυσικό φωτισμό και αερισμό, άμεσο ή έμμεσο. Ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου οι ανάγκες θα καλύπτονται στο απαιτούμενο ποσοστό από φυσικό φωτισμό και αερισμό. Ιδιαίτερα άμεσο φωτισμό και αερισμό πρέπει να έχουν οι χώροι άθλησης, οι θάλαμοι νοσηλείας ή περίθαλψης, τα μαγειρεία, τα αναγνωστήρια βιβλιοθηκών, τα εργαστήρια, τα εστιατόρια κ.α.

ΦΕΚ 880/Β της 19ης Αυγούστου 1998 - εμπεριέχεται ο Κανονισμός για την Ορθολογική Χρήση και Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ): εκδίδεται με σκοπό την ενσωμάτωση στο εθνικό δίκαιο της κοινοτικής οδηγίας 93/76/ΕΟΚ του 1993. Στο άρθρο 4 του ΦΕΚ θεσπίζεται ο Κανονισμός για την Ορθολογική Χρήση και Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ) :

Ο ΚΟΧΕΕ αντικαθιστά τον ισχύοντα κανονισμό θερμομόνωσης και έχει εφαρμογή σε όλα τα νεοανεγερμένα κτίρια για την μελέτη και κατασκευή τους, καθώς και σε υφιστάμενα κτίρια για τη μελέτη των αναγκαίων επεμβάσεων βελτίωσης της ενεργειακής τους απόδοσης. Επιβάλλει την ενεργειακή μελέτη και ενεργειακή επιθεώρηση των κτιρίων για την πιστοποίηση του πραγματοποιούμενου βαθμού ενεργειακής απόδοσης και την κατάταξη τους στην αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία (βαθμονόμηση). Τα στοιχεία της ενεργειακής μελέτης και της επιθεώρησης αναγράφονται στο ειδικό έντυπο (ΔΕΤΑ), το οποίο αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της οικοδομικής άδειας του κτιρίου και είναι απαραίτητο σε όλες τις δικαιοπραξίες που καταρτίζονται για το ακίνητο.

Στόχοι του ΚΟΧΕΕ είναι :

- Η εξοικονόμηση συμβατικής ενέργειας για την θέρμανση, την ψύξη, τον αερισμό, τον φωτισμό και το ζεστό νερό χρήσης, με συγκεκριμένους κανόνες και διατάξεις που περιορίζουν τις ενεργειακές ανάγκες.
- Η υποκατάσταση της συμβατικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την κάλυψη μέρους ή του συνόλου των αναγκών σε ενέργεια στα κτίρια σε συνδυασμό με εφαρμογή των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού.
- Η εξασφάλιση υγιεινής και άνετης διαβίωσης των ενοίκων του κτιρίου με τη διατήρηση των επιπέδων θερμικής και οπτικής άνεσης, καθώς και της καλής ποιότητας του εσωτερικού αέρα.
- Η οικονομία στο κόστος κατασκευής και λειτουργίας (αποδοτικής) των εγκαταστάσεων θέρμανσης - κλιματισμού.

Τα περιεχόμενα του ΚΟΧΕΕ είναι:

- Οι όροι και προϋποθέσεις για τον βέλτιστο σχεδιασμό των κτιρίων και τη θερμική τους προστασία και ο καθορισμός των ορίων θερμικής άνεσης.
- Ανώτατα επιτρεπόμενα όρια κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας .

- Κλιματικές ζώνες για όλη τη χώρα.
- Παράμετροι θερμικών απωλειών του κτιρίου, απαιτήσεις σε θερμομόνωση του κελύφους, μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές θερμοπερατότητας.
- Παράμετροι θερμικών συνεισφορών στα κτίρια .
- Παράμετροι για τη φυσική ψύξη του κτιρίου.
- Χαρακτηριστικά των υλικών κατασκευής .
- Υπολογισμοί ενεργειακών αναγκών του κτιρίου και τρόπος εκπόνησης μελετών, όπως ενεργειακή μελέτη για την εκτίμηση του βαθμού ενεργειακής απόδοσης.
- Παράμετροι και κριτήρια για την εκπόνηση μελέτης βιοκλιματικού σχεδιασμού του κτιρίου ως συμπληρώματος της αρχιτεκτονικής μελέτης του κτιρίου και στοιχείου της ενεργειακής μελέτης αυτού.
- Παράμετροι για τη συμπλήρωση της μελέτης Η/Μ εγκαταστάσεων με τη μελέτη εγκατάστασης και ένταξης ΕΗΣ ή / και Φ/Β, εφόσον προβλέπονται, ως στοιχεία της ενεργειακής μελέτης του κτιρίου.
- Μέθοδος υπολογισμού απαιτήσεων μελέτης φωτισμού - φυσικού και τεχνητού - με βάση τη χρήση του κτιρίου.
- Ειδικό έντυπο ΔΕΤΑ, όπου αναγράφονται τα αποτελέσματα όλων των υπολογισμών των σχετικών μελετών και όπου καταγράφεται ο σχεδιαζόμενος βαθμός ενεργειακής απόδοσης και η ενεργειακή κατηγορία του κτιρίου.
- Τρόποι διενέργειας περιοδικών ενεργειακών επιθεωρήσεων.
- Σύστημα και διαδικασία ενεργειακής πιστοποίησης και βαθμονόμησης κτιρίων.
- Έντυπο - πιστοποιητικό που συμπληρώνεται κατά τις περιοδικές ενεργειακές επιθεωρήσεις.

ΦΕΚ 89/Α της 19ης Μαΐου 2008 : με τις διατάξεις του νόμου 3661, εναρμονίζεται η ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2002 «Για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων».

Συγκεκριμένα :

- εγκρίνεται Κανονισμός ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων
- τα νέα κτίρια πρέπει να πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που ορίζονται στον Κανονισμό.

- στα υφιστάμενα κτίρια συνολικής επιφάνειας άνω των 1.000 m<sup>2</sup> , που υφίστανται ριζική ανακαίνιση, η ενεργειακή απόδοσή τους αναβαθμίζεται, στο βαθμό που αυτό είναι τεχνικά, λειτουργικά και οικονομικά εφικτό, ώστε να πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, όπως αυτές καθορίζονται στον Κανονισμό.
- με την ολοκλήρωση της κατασκευής νέου κτιρίου ή την ριζική ανακαίνιση υφιστάμενου κτιρίου, ο ιδιοκτήτης υποχρεούται να ζητήσει την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, το οποίο εκδίδεται από διαπιστευμένους ενεργειακούς επιθεωρητές και ισχύει, κατά ανώτατο όριο, για δέκα (10) έτη.
- ορίζεται ενεργειακή επιθεώρηση λεβήτων και εγκαταστάσεων κλιματισμού με σκοπό τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> .

ΦΕΚ 140/Α της 13ης Ιουνίου 2000 : τροποποιεί τον Γενικό Οικοδομικό Κανονισμό

Σχέδιο Δράσης «Ενέργεια 2001» : εκπονήθηκε από το ΥΠΕΧΩΔΕ αρχές 1996 σε συνεργασία με το ΚΑΠΕ και εκπροσώπους Ανωτάτων Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων της χώρας, ερευνητικών κέντρων, Κλαδικών Συλλόγων αρμόδιων Οργανισμών, κ.ά. και από ομάδες εξειδικευμένων επιστημόνων. Με βάση αυτό το σχέδιο :

- Αναμορφώνεται και συμπληρώνεται ο ισχύον Κανονισμός Θερμομόνωσης με τον Κανονισμό Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ) για την εισαγωγή περιβαλλοντικών και ενεργειακών δεικτών, προτύπων και προδιαγραφών για τον σχεδιασμό και τη κατασκευή νέων κτιρίων, καθώς και νέων διαδικασιών και μεθόδων ελέγχου, όπως είναι η διενέργεια ενεργειακής πιστοποίησης της ενεργειακής ταυτότητας των κτιρίων (του βαθμού ενεργειακής απόδοσης) και η κατάταξή τους στην αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία .
- Η ενεργειακή ταυτότητα του κτιρίου θα αναγράφεται σε σχετικό δελτίο.
- Θεσπίζεται η εκπόνηση ενεργειακής μελέτης.
- Σε όλα τα υφιστάμενα κτίρια του ευρύτερου δημόσιου τομέα εφαρμόζονται υποχρεωτικά επεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης μέσω της χρηματοδότησης εκ μέρους τρίτων.
- Θεσπίζονται υποχρεωτικοί ενεργειακοί έλεγχοι και επιθεωρήσεις για την ενεργειακή πιστοποίηση και βαθμονόμηση των κτιρίων, αλλά και των πολύ ενεργοβόρων



επιχειρήσεων, κανονισμοί εγκατάστασης ενεργειακού εξοπλισμού και προδιαγραφές ενεργειακής κατανάλωσης.

- Καθορίζονται διαδικασίες και κανονισμοί ενεργειακής πιστοποίησης και πιστοποίησης ποιότητας.
- Προβλέπεται η εφαρμογή του ισχύοντος κανονισμού κατανομής δαπανών θέρμανσης.
- Προβλέπονται θεσμικά, οικονομικά και διοικητικά κίνητρα για την εφαρμογή επεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης σε υφιστάμενα κτίρια [11,13].

### **2.3. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)**

Με τον Κ.Εν.Α.Κ. θεσμοθετείται ο ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός στον κτιριακό τομέα με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, με συγκεκριμένες δράσεις:

- Εκπόνηση Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων,
- Θέσπιση ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων,
- Ενεργειακή Κατάταξη Κτιρίων (Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης),
- Ενεργειακές Επιθεωρήσεις κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού.

Η Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων αντικαθιστά τη μελέτη θερμομόνωσης και θα εκπονείται για κάθε κτίριο (άνω των 50 τ.μ.), νέο ή υφιστάμενο που ανακαινίζεται ριζικά και βασίζεται σε μια συγκεκριμένη μεθοδολογία η οποία αναφέρεται:

- στην απαίτηση κάλυψης ελάχιστων προδιαγραφών του κτιρίου όσον αφορά στο σχεδιασμό του, το κτιριακό κέλυφος και τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις και
- στη σύγκρισή του με κτίριο αναφοράς. Ως κτίριο αναφοράς νοείται κτίριο με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτίριο που πληροί όμως ελάχιστες προδιαγραφές και έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά.

Το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης ισχύει για δέκα χρόνια και αφορά σε όλα τα κτίρια, συνολικής επιφάνειας άνω των 50 τ.μ., νέα ή υφιστάμενα που υπόκεινται σε ριζική ανακαίνιση, τα υφιστάμενα κτίρια επιφάνειας άνω των 50 τ.μ. ή τμήματα αυτών όταν πωλούνται ή εκμισθώνονται, καθώς και σε όλα τα κτίρια του δημόσιου & ευρύτερου δημόσιου τομέα. Η απαίτηση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης στην περίπτωση αγοροπωλησίας και ενοικίασης τίθεται σε εφαρμογή από 9 Ιανουαρίου 2011.

Το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του ενεργειακού επιθεωρητή και συστάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, ώστε οι καταναλωτές να είναι σε θέση να συγκρίνουν και να αξιολογήσουν την πραγματική τους κατανάλωση και τις τυχόν δυνατότητες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

Η έκδοση του πιστοποιητικού είναι υποχρεωτική. Η ενεργειακή επιθεώρηση αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο διάγνωσης της ενεργειακής κατάστασης των υφιστάμενων κτιρίων και των δυνατοτήτων βελτίωσής της, αλλά και της εφαρμογής της νομοθεσίας για την ενεργειακή απόδοση των νέων κτιρίων. Ο ιδιώτης Ενεργειακός Επιθεωρητής, που θα ενταχθεί σε Μητρώο Ενεργειακών Επιθεωρητών του ΥΠΕΚΑ, επιθεωρεί το κτίριο και το κατατάσσει σε ενεργειακή κατηγορία, βάσει του λόγου της κατανάλωσης του κτιρίου προς την κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς.

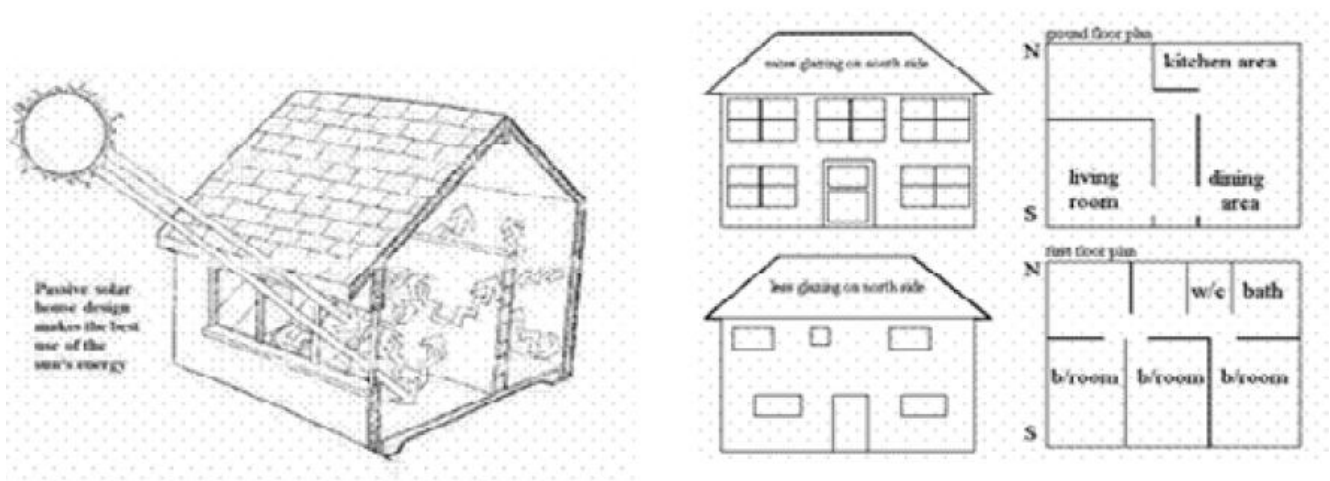
Ο έλεγχος για την ορθή εφαρμογή του θεσμικού πλαισίου θα γίνεται από την Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας, που συγκροτείται στην Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης & Ενέργειας του ΥΠΕΚΑ και στελεχώνεται με υπαλλήλους του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα.

Τα οφέλη από τον Κ.Εν.Α.Κ. είναι οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά. Τα οικονομικά οφέλη αφορούν κυρίως στον περιορισμό των λειτουργικών εξόδων και εξόδων συντήρησης των κτιρίων, αλλά και στην αναθέρμανση της οικοδομικής δραστηριότητας. Τα κοινωνικά οφέλη αφορούν στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής, ενώ τα περιβαλλοντικά οφέλη αφορούν στον περιορισμό των εκπομπών ρύπων, κυρίως διοξειδίου του άνθρακα, με σημαντική συμβολή στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και στην εξοικονόμηση ενέργειας [13].

## Κεφάλαιο 3. Προσανατολισμός Κτιρίου

### 3.1. Βασικές αρχές

Ο προσανατολισμός του κτιρίου είναι ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα για την κατασκευή ενός κτιρίου φιλικού προς το περιβάλλον με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση. Το θέμα του προσανατολισμού γενικά μπορεί να το προσεγγίσει κάποιος από δύο κατευθύνσεις. Πρώτον ως προς τον τρόπο με τον οποίο τοποθετείται το κτίριο στο οικόπεδο και δεύτερον ως προς την επιλογή του ίδιου του οικοπέδου. Για τον προσανατολισμό του οικοπέδου μπορούμε να πούμε ότι όσο πιο ευνοϊκός είναι, τόσο βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Σε οικόπεδα με δυσμενή προσανατολισμό μπορούμε να αμβλύνουμε τις επιπτώσεις στο κτίριο με την χωροθέτηση των λειτουργιών στο εσωτερικό του, την διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου και τον κατάλληλο αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κελύφους του. Για την τοποθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο εντοπίζονται δύο είδη προσανατολισμών ο εξωτερικός και ο εσωτερικός.



Εικόνα 3.1. Βέλτιστη Χωροθέτηση <http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/tree.html>

Ο εξωτερικός προσανατολισμός αφορά το σύνολο του κτιρίου. Το κτίριο θα πρέπει να τοποθετείται με τέτοιο τρόπο στο οικόπεδο ώστε ο προσανατολισμός των διάφορων χώρων να είναι ο πιο ευνοϊκός για την χρήση που πρόκειται να φιλοξενήσουν. Αυτό εξαρτάται άμεσα από τις απαιτήσεις που προκύπτουν κάθε φορά από το τοπικό κλίμα. Για παράδειγμα, ενώ στις βορειότερες

χώρες της Ευρώπης επιδιώκεται έντονος ηλιασμός των αιθουσών διδασκαλίας για μακρύ χρονικό διάστημα της χειμερινής περιόδου αυτό είναι εξαιρετικά ενοχλητικό και ανθυγιεινό στις νότιες χώρες.

Ο εσωτερικός προσανατολισμός αφορά την χωροθέτηση των χρήσεων – λειτουργιών στο εσωτερικό του κτιρίου. Όταν δεν είναι εφικτός ο επιθυμητός προσανατολισμός του συνολικού κτιρίου, μπορούμε να χωροθετήσουμε τις λειτουργίες στο εσωτερικό του ώστε να έχουν τον ευνοϊκότερο δυνατό προσανατολισμό.

Κατά το σχεδιασμό της κάτοψης οι εσωτερικοί χώροι πρέπει να οργανωθούν και να ομαδοποιηθούν έτσι, ώστε αυτοί με μεγάλο χρόνο χρήσης και υψηλές επιθυμητές θερμοκρασίες (καθιστικό, τραπεζαρία, γραφείο) να χωροθετηθούν στη νότια πλευρά του κτιρίου. Αντίθετα οι χώροι με περιορισμένο χρόνο χρήσης που απαιτούν συγκριτικά και χαμηλότερες θερμοκρασίες (W.C, υπνοδωμάτια ) θα πρέπει να χωροθετούνται σε ενδιάμεση θερμική ζώνη. Οι υπόλοιποι βοηθητικοί χώροι εάν υπάρχουν στη μελέτη (garage, αποθήκες κ.λπ.) θα πρέπει να προβλεφθούν στη βορινή πλευρά, ώστε να λειτουργούν ως ζώνη θερμικής ανάσχεσης ανάμεσα στους θερμαινόμενους χώρους και το εξωτερικό περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται στην πραγματικότητα οι θερμικές απώλειες από τους βασικούς κύριους χώρους [14].

### **3.2. Χωροθέτηση, σχήμα και προσανατολισμός του κτιρίου.**

#### **3.2.1. Βέλτιστος προσανατολισμός**

Σημαντικό ρόλο στο πώς συμπεριφέρεται ενεργειακά ένα κτίριο παίζουν το σχήμα και το περιβάλλον του. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να προκαλέσουν εισροή ηλιακών κερδών όταν ο δροσισμός είναι απαραίτητος, ή απώλειες θερμότητας όταν υπάρχει ανάγκη για συλλογή θερμικής ενέργειας. Δυο όμοια κτίρια, κατασκευασμένα από τα ίδια υλικά και με τον ίδιο όγκο, είναι δυνατόν να παρουσιάσουν τελείως διαφορετική ενεργειακή συμπεριφορά αν διαφέρει το σχήμα, ο περιβάλλον χώρος, αλλά και ο προσανατολισμός τους.

Η τοποθέτηση ενός κτιρίου στο οικόπεδο πρέπει να είναι τέτοια ώστε να λαμβάνει υπόψη τις τροχιές του ήλιου, τη διάρκεια ηλιασμού και την ένταση της θερμικής ακτινοβολίας. Πολύτιμο εργαλείο αποτελούν οι ηλιακοί χάρτες, οι οποίοι μπορούν να βοηθήσουν στον καθορισμό του

ανάγλυφου του περιβάλλοντος για το συγκεκριμένο οικόπεδο, καθώς επίσης και να ορίσουν τις ανάγκες σε σκιασμό από δέντρα ή γειτονικά κτίρια.

Οι νότιες προσόψεις είναι οι πιο αξιόλογες, όσον αφορά στη δυνατότητα συλλογής ακτινοβολίας κατά το χειμώνα και αποφυγή της υπερθέρμανσης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Το σχήμα του κτιρίου, όπως είναι αναμενόμενο, εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και τις κλιματολογικές συνθήκες μιας περιοχής. Ο λόγος της συνολικής επιφάνειας ενός κτιρίου προς τον όγκο του είναι ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τα ηλιακά κέρδη και τις θερμικές απώλειες ενός κτιρίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια ενός κτιρίου τόσο μεγαλύτερα τα κέρδη/ απώλειες. Ελάχιστος λόγος επιφάνειας προς όγκο από την άλλη μεριά, οδηγεί σε ελάχιστα κέρδη και ελάχιστες απώλειες. Το κτίριο σε σχήμα κύβου, αν και παρουσιάζει συνεπτυγμένο σχήμα δεν είναι το βέλτιστο, διότι για παράδειγμα δεν συμβάλλει στην προστασία των δυτικών τοίχων από την υπερθέρμανση. Ύστερα από έρευνες που έχουν διεξαχθεί σε σχέση με το σχήμα ενός κτιρίου, ως βέλτιστο σχήμα θεωρείται το επίμηκες κατά τον άξονα ανατολής-δύσης. Το σχήμα αυτό εξασφαλίζει μεγαλύτερη επιφάνεια προς το νότο για τη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα και τον ελάχιστο ηλιασμό το καλοκαίρι.

Συνεπώς, ο βέλτιστος προσανατολισμός ενός κτιρίου για την εύκρατη ζώνη θεωρείται ο νότιος. Φυσικά, το πρόβλημα του προσανατολισμού εξαρτάται και από την τοπογραφία μιας περιοχής, τους πολεοδομικούς περιορισμούς, τον άνεμο και την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς επίσης και από την προσπάθεια μείωσης του θορύβου. Μελέτες αναδεικνύουν ως βέλτιστο προσανατολισμό αυτόν που βρίσκεται  $17,5^\circ$  ανατολικότερα του νότου, για βόρεια γεωγραφικά πλάτη  $40^\circ$  (Η Ελλάδα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος  $38^\circ$ ). Το χειμώνα παρέχεται έτσι προστασία από τους βόρειους ανέμους και το καλοκαίρι μειώνονται οι συνθήκες υπερθέρμανσης. Επίσης, ένα κτίριο που προστατεύεται από τη γη έχει μειωμένες απώλειες θερμότητας από διείδυση, ιδιαίτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Αυτό οφείλεται στο ότι οι θερμοκρασίες του εδάφους μένουν σταθερές σε όλη τη διάρκεια του έτους και το χώμα συμβάλλει στο να δίνει μια πρόσθετη θερμική αντίσταση στο περίβλημα του κτιρίου [3,6,7,15].

### **3.2.2. Φυσικός φωτισμός**

Ο προσανατολισμός ενός κτιρίου εκτός των ηλιακών κερδών που αποφέρει, σχετίζεται επίσης και με τις συνθήκες φυσικού φωτισμού. Μια κατοικία πρέπει να είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο έτσι, ώστε να εκμεταλλεύεται όσο το δυνατόν περισσότερο το φως κατά τη διάρκεια της μέρας. Επίσης, ο σωστός προσανατολισμός του σπιτιού είναι εκείνος που εξασφαλίζει την ποσότητα και την ποιότητα του φωτός που εισέρχεται στους εσωτερικούς χώρους [6,7,15].

### **3.2.3. Διαρρύθμιση χώρων**

Σημαντική είναι ακόμα και η διαρρύθμιση των χώρων, η οποία πρέπει να γίνεται με βάση το βαθμό δραστηριότητας που πραγματοποιείται. Έτσι, οι χώροι συχνής χρήσης με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις προσανατολίζονται προς τον νότο, ενώ οι υπόλοιποι προς τη βόρεια πλευρά του κτιρίου. Για τα εύκρατα κλίματα στην βορινή πλευρά του κτιρίου, η οποία είναι η ψυχρότερη και η πιο σκοτεινή, πρέπει να τοποθετούνται χώροι μικρότερης χρήσης, όπως αποθήκες, κλιμακοστάσια και γκαράζ. Οι χώροι αυτοί προστατεύουν το υπόλοιπο κτίριο, λειτουργούν ως χώροι ανάσχεσης και μετριάζουν τις εξωτερικές θερμοκρασιακές συνθήκες. Τα υπόγεια και οι σοφίτες μπορούν να επιτελούν παρεμφερείς λειτουργίες. Για να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά αυτοί οι χώροι, καλό είναι να υπάρχει μόνωση μεταξύ αυτών των τμημάτων του κτιρίου από τα άλλα τμήματα που θερμαίνονται καλύτερα.

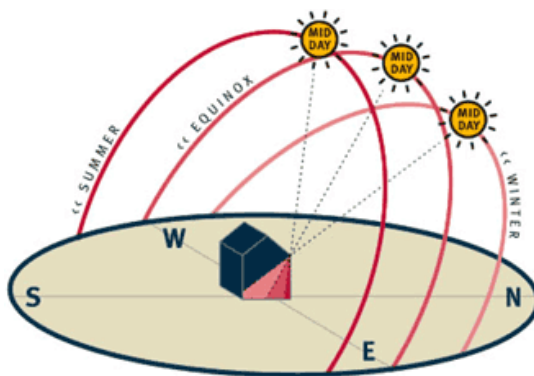
Στη νότια πλευρά, η οποία δέχεται το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας κατά το χειμώνα και το ελάχιστο κατά το θέρος, μπορούν να προσαρτηθούν θερμοκήπια και βεράντες που συμβάλλουν στη δέσμευση της θερμικής ενέργειας, καθώς επίσης να τοποθετηθούν οι αίθουσες καθημερινής χρήσης όπως τα σαλόνια, η τραπεζαρία και η κουζίνα που έχουν ανάγκες σε φωτισμό και θέρμανση [6,7,15].

### **3.3. Ηλιακή ακτινοβολία**

Οι διαφορές που παρουσιάζονται στην ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζει τεράστιες διαφορές και είναι σε αναλογία με το χρόνο, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες, την υγρασία,

κλπ. Επιπλέον, επηρεάζεται σημαντικά και από άλλους παράγοντες όπως η ρύπανση του περιβάλλοντος και τις ηλιακές κηλίδες.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η τοποθεσία που λαμβάνει την ακτινοβολία. Κατά την διάρκεια ενός έτους, λόγω της περιφοράς της γης γύρο από τον ήλιο, η τοποθεσία λαμβάνει διάφορες θέσεις και έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της απόκλισης  $\delta^\circ$ , η οποία είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της γραμμής που αρχίζει από το κέντρο της γης μέχρι το κέντρο του ήλιου και τον Ισημερινό (Εικ. 3.2.) . Οι ακραίες τιμές για το Βόρειο ημισφαίριο είναι  $+23,45^\circ$  στις 21 Ιουνίου και  $-23,45^\circ$  στις 21 Δεκεμβρίου [16].



Εικόνα 3.2. Πορεία ήλιου [16].

### 3.4. Περιβαλλοντικές παράμετροι

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των κτιρίων επηρεάζεται καθοριστικά από κάποιες παραμέτρους από τις οποίες διακρίνονται :

α. Το κλίμα του τόπου.

β. Το φυσικό περιβάλλον, δηλαδή το ανάγλυφο του εδάφους, η βλάστηση, το τοπίο – θέα, η γειτνίαση με νερό.

#### 3.4.1. Το κλίμα του τόπου

Το κλίμα κάθε τόπου ή περιοχής αποτελείται από το σύνολο των μετεωρολογικών δεδομένων. Τα στοιχεία του κλίματος επηρεάζουν την ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο κτήριο και το εξωτερικό περιβάλλον, συνεπώς καθορίζουν την αίσθηση της άνεσης – ευεξίας στους ανθρώπους.

Επίσης, καθορίζουν την ποσότητα και ποιότητα του παρεχόμενου φυσικού φωτός και κατά συνέπεια την αίσθηση οπτικής άνεσης. Οι βασικές παράμετροι του κλίματος, οι οποίες κρίνονται απαραίτητες για το βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων, είναι:

- Η θερμοκρασία του αέρα (μέση, μέγιστη, ελάχιστη) και οι διακυμάνσεις της χειμώνα και καλοκαίρι,
- Η ηλιακή ακτινοβολία, ηλιοφάνεια και ένταση σε μηνιαία βάση,
- Οι άνεμοι –χειμερινοί, ψυχροί θερινοί, δροσεροί– κατεύθυνση και ένταση,
- Η σχετική υγρασία (μέση, μέγιστη, ελάχιστη) και οι διακυμάνσεις της χειμώνα και καλοκαίρι.

Οι κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν το σχεδιασμό του κτιρίου στη φάση των αρχικών επιλογών, δηλαδή στα προσχέδια, με την έννοια της χωροθέτησής του στο οικόπεδο, έτσι ώστε να αξιοποιούνται οι θετικές παράμετροι –ήλιος το χειμώνα, δροσεροί άνεμοι το καλοκαίρι– με παράλληλη αποφυγή των ψυχρών ανέμων και της υγρασίας. Στην περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμα τα τοπικά κλιματικά δεδομένα, λαμβάνονται υπόψη αυτά του πλησιέστερου μετεωρολογικού σταθμού.

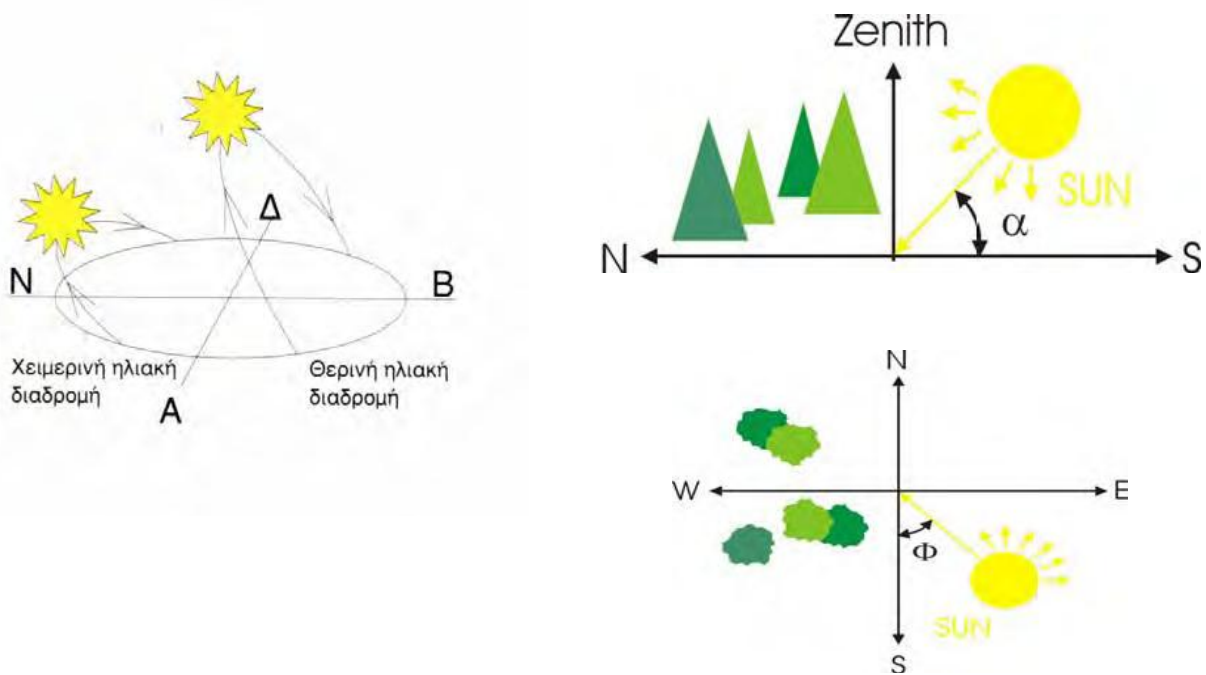
### **3.4.2. Το φυσικό περιβάλλον**

Όσον αφορά το φυσικό περιβάλλον, την βλάστηση, το τοπίο και την γειτνίαση με το νερό, παράγοντες, δηλαδή, που επηρεάζουν καθοριστικά τον βιοκλιματικό σχεδιασμό, ισχύουν τα εξής :

- Το ανάγλυφο του εδάφους, επίπεδο ή με κλίση, επηρεάζει την τοποθέτηση του κτιρίου, αλλά και τη μορφολογία του, σε επίπεδη ή κλιμακωτή διάταξη προσαρμοσμένη στο έδαφος.
- Ο προσδιορισμός των προσήλιων και υπήνεμων περιοχών, σε σχέση με τους ψυχρούς χειμερινούς ανέμους καθορίζει την ένταξη του κτιρίου στο οικόπεδο.
- Το τοπίο -βλάστηση χαμηλή ή δέντρα- καθορίζει τις επιλογές για τη χωροθέτηση του κτιρίου -αποφυγή της σκίασης το χειμώνα, εξαρτώμενης από το ύψος των γύρω στοιχείων - κτιρίων, ανάγλυφου και δέντρων -φυλλοβόλα ή αειθαλή, ενώ αντίστροφα το καλοκαίρι επιδιώκεται η σκίασή του από τα δέντρα και τα γύρω στοιχεία, εφόσον είναι εφικτή.



- Η θέα -εφόσον υπάρχει- είναι καθοριστικός παράγων ως προς την τοποθέτηση του κτιρίου και των ανοιγμάτων στο κέλυφός του, καθώς και ως προς τη διάταξη των εσωτερικών χώρων. Στην περίπτωση που η θέα βρίσκεται στη βορεινή πλευρά του οικοπέδου, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, προβλέποντας μεγάλα ανοίγματα στο κτίριο προς το Βορρά, παρά το γεγονός ότι ίσως αυξάνονται οι θερμικές απώλειες του κελύφους.
- Η γειτνίαση με νερό -θάλασσα, ποτάμι, λίμνη- αποτελεί στοιχείο βοηθητικό για τη δημιουργία άνετου μικροκλίματος το καλοκαίρι στο άμεσο περιβάλλον του κτιρίου, αρκεί να διασφαλίζεται η προστασία του από την υγρασία, κυρίως το χειμώνα.

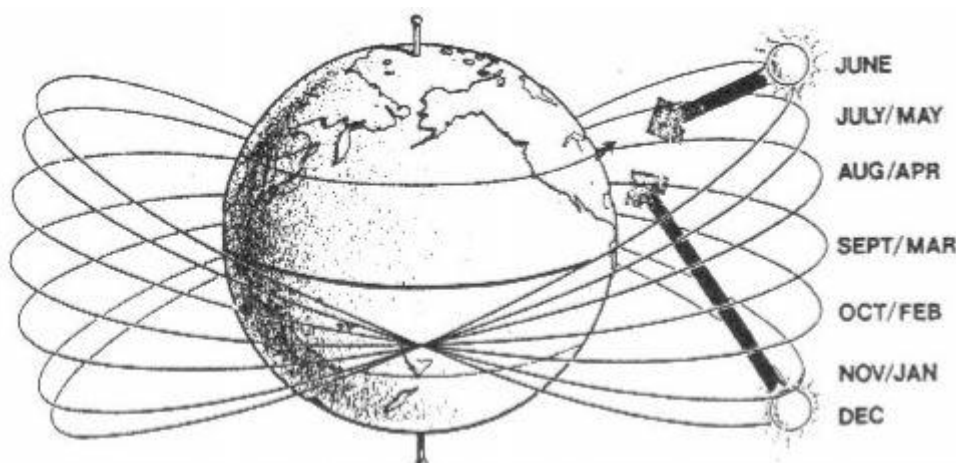


*Εικόνα 3.3. Η τροχιά του ήλιου και η Γωνία αζιμούθιου και ύψους ήλιου [16]*

### 3.5. Η επίδραση του ήλιου

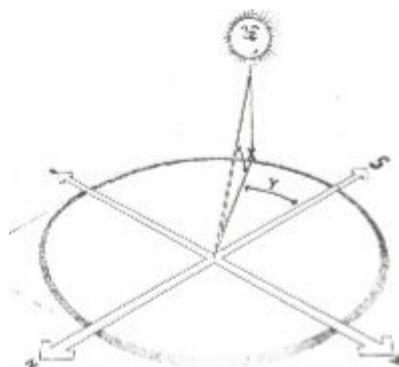
#### 3.5.1. Φαινόμενες τροχιές

Προκειμένου να προσδιοριστεί ο ηλιασμός ενός κτιρίου ή ενός οικοπέδου προβαίνουμε στην παραδοχή των φαινόμενων τροχιών του ήλιου, δηλαδή θεωρούμε ότι η γη παραμένει σταθερή, ενώ ο ήλιος κινείται. Αυτή η παραδοχή διευκολύνει στη γεωμετρική απεικόνιση των φαινόμενων τροχιών του ήλιου, οι οποίες ακολουθούν μια μεγάλη συνεχή σπείρα. Οι φαινόμενες τροχιές του ήλιου ταυτίζονται ανά δύο μήνες (Εικ. 3.4.), εκτός των 4ης Δεκεμβρίου και 17ης Ιουνίου. Ο μήνας Δεκέμβριος έχει την χαμηλότερη τροχιά, ενώ ο Ιούνιος την υψηλότερη.



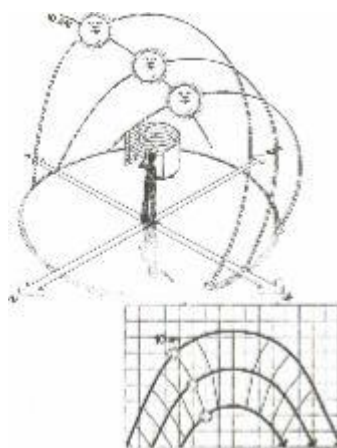
Εικόνα 3.4. Τροχιά του Ήλιου στο διάστημα ενός έτους [16]

Για να κατανοηθεί η επίδραση του ήλιου στο σχεδιασμό κτιρίων και συνόλων, πρέπει να είναι γνωστή η θέση του στον ουρανό και στον ορίζοντα αντιστοίχως. Η θέση αυτή προσδιορίζεται από την στερεά γωνία, η οποία αναλύεται σε δύο επίπεδες γωνίες (Εικ. 3.5.) : τη γωνία ύψους (γωνία  $x$ ) που ορίζεται από τη θέση του ήλιου στον ουρανό ως προς το οριζόντιο επίπεδο και τη γωνία αζιμούθιου (γωνία  $y$ ), η οποία ορίζεται από την ορθή προβολή της θέσης του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο, σε σχέση με την πραγματική κατεύθυνση του Νότου. Οι γωνίες του ήλιου (ύψος και αζιμούθιο) μπορούν να προσδιοριστούν αναλυτικά ή γραφικά (Εικ. 3.6.)



*Εικόνα 3.5. Οι γωνίες ύψους και αζιμούθιου ορίζουν την θέση του ήλιου [16]*

Ο προσδιορισμός του ηλιασμού βασίζεται στη συσχέτιση των γεωμετρικών δεδομένων του κτιρίου με τα γεωμετρικά δεδομένα της εκάστοτε θέσης του ήλιου. Με άλλα λόγια, επιχειρείται, με βάση τις φαινόμενες τροχιές του ήλιου, να καθορισθεί ελεγχόμενα ο ηλιασμός ενός χώρου ή κτιρίου σε όλη την διάρκεια του χρόνου.

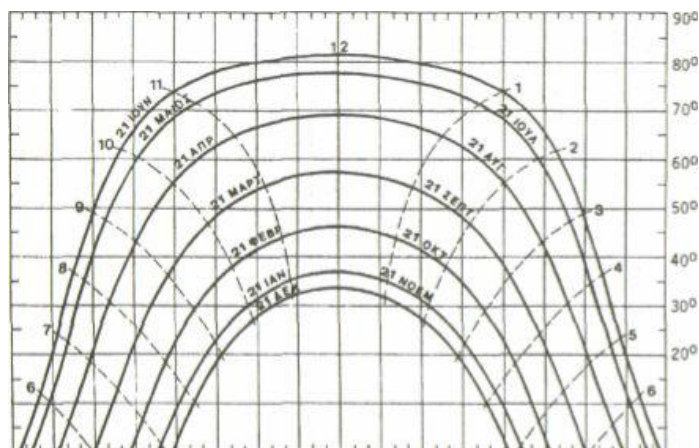


*Εικόνα 3.6. Η ορθή προβολή των φαινόμενων τροχιών του ήλιου στον χάρτη [16]*

### 3.5.2. Ηλιακοί χάρτες

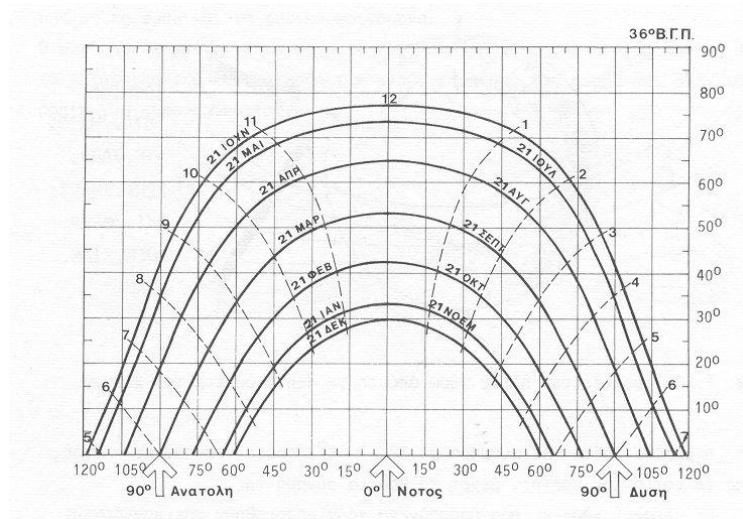
Ηλιακοί χάρτες (Εικ. 3.7.) ονομάζονται τα διαγράμματα, τα οποία απεικονίζουν τις φαινόμενες τροχιές του ήλιου στο επίπεδο ορθής προβολής, για συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος. Με τα διαγράμματα αυτά προσδιορίζεται η θέση —ύψος και αζιμούθιο— του ήλιου για κάθε μήνα για όλες τις ώρες της ημέρας. Έχουν δημιουργηθεί ηλιακοί χάρτες για όλα τα γεωγραφικά πλάτη τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους κατά  $4^\circ$ . Για την Ελλάδα, με γεωγραφικό πλάτος από  $32^\circ$ , στα νότια της

Κρήτης, μέχρι  $41^\circ$  στο βορειότερο τμήμα της χώρας, υπάρχουν διαθέσιμοι τρεις ηλιακοί χάρτες, για  $40^\circ$ ,  $36^\circ$  και  $32^\circ$ , ενώ μπορούν να κατασκευαστούν τέτοιοι χάρτες για ενδιάμεσα γεωγραφικά πλάτη, με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα.

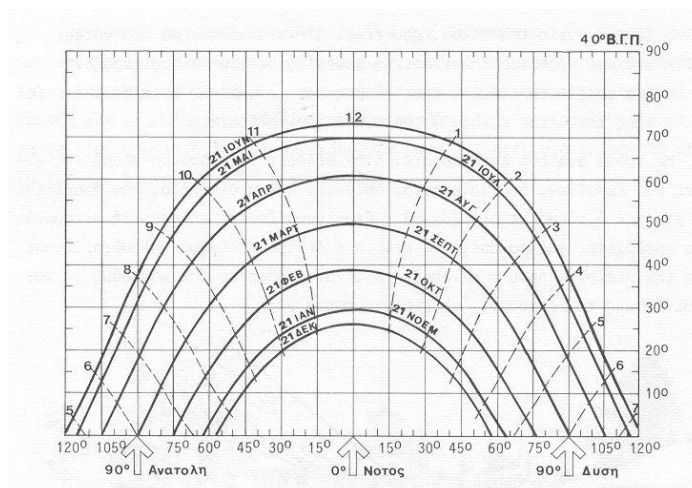


*Εικόνα 3.7. Ηλιακός χάρτης για γεωγραφικό πλάτος  $32^\circ$  [17]*

Σε κάθε ηλιακό χάρτη απεικονίζονται επτά (7) φαινόμενες τροχιές του ήλιου, από τις οποίες αυτή του Δεκεμβρίου έχει την μικρότερη & χαμηλότερη τροχιά, ενώ του Ιουνίου έχει τη μεγαλύτερη & υψηλότερη. Οι υπόλοιπες φαινόμενες τροχιές αντιστοιχούν σε δύο μήνες, φθινόπωρο και άνοιξη. Η εκάστοτε θέση του ήλιου ορίζεται από τη γωνία αζιμούθιου και τη γωνία ύψους. Στην κάτω οριζόντια ευθεία 19 του ηλιακού χάρτη καταγράφονται οι γωνίες αζιμούθιου ως προς τον ηλιακό νότο, που βρίσκεται στο κέντρο, με γωνία  $0^\circ$ . Αριστερά του νότου, στη γωνία των  $90^\circ$  ορίζεται η ανατολή και δεξιά, πάλι στη γωνία των  $90^\circ$ , ορίζεται η δύση. Η κάθετη ευθεία (τεταγμένη) προσδιορίζει τις γωνίες ύψους του ήλιου, για όλες τις ώρες της ημέρας και για όλους τους μήνες. Οι διακεκομμένες καμπύλες προσδιορίζουν τις ηλιακές ώρες, από την ανατολή μέχρι τη δύση.



*. Εικόνα 3.8. Ηλιακός χάρτης για γεωγραφικό πλάτος 36° Β.Γ.Π. [17]*

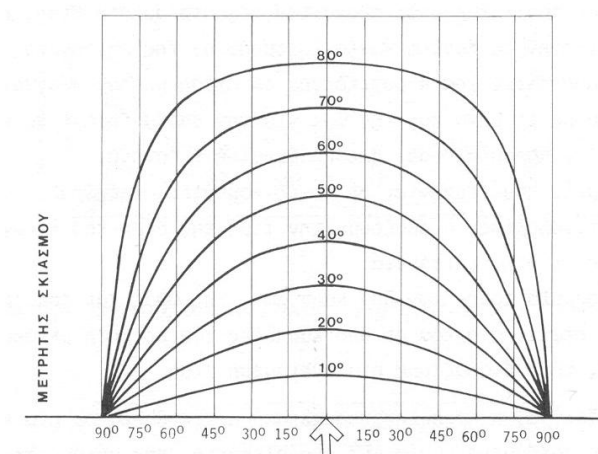


*Εικόνα 3.9.. Ηλιακός χάρτης για γεωγραφικό πλάτος 40° Β.Γ.Π. [17].*

Για την Ελλάδα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, υπάρχουν διαθέσιμοι ηλιακοί χάρτες στο Παράρτημα Γ' της ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 «Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών», για γεωγραφικά πλάτη από 35° Β έως 40° Β, με βήμα 1°. Ηλιακοί χάρτες απεικονίζονται στην εικόνα 3.8. και 3.9. αντίστοιχα, για βόρεια γεωγραφικά πλάτη 36° και 40° αντίστοιχα.

Ο μετρητής σκιασμού (Εικ 3.10.) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της σκιάς που δημιουργούν τα απέναντι ή τα κάθετα προς το κτίριο ή το οικόπεδο εμπόδια, για τα οποία αναζητείται

ο ηλιασμός τους σε όλη τη διάρκεια του χρόνου. Οι γωνίες ύψους απεικονίζονται με τις καμπύλες, από 0°-80° και ορίζουν τη γωνία ύψους του/των απέναντι εμποδίων ως προς την οριζόντια ευθεία. Μετρητής σκιασμού για τον προσδιορισμό της σκίασης από τον περιβάλλοντα χώρο - κτίρια, δέντρα. Με βάση το τοπογραφικό και τους όρους δόμησης που ισχύουν για την περιοχή, προσδιορίζεται η γωνία ύψους των εμποδίων που περιβάλλουν το οικοπέδο, είτε επί της οικοδομικής γραμμής είτε σε υποχώρηση από την οικοδομική γραμμή σε θέση της επιλογής μας.

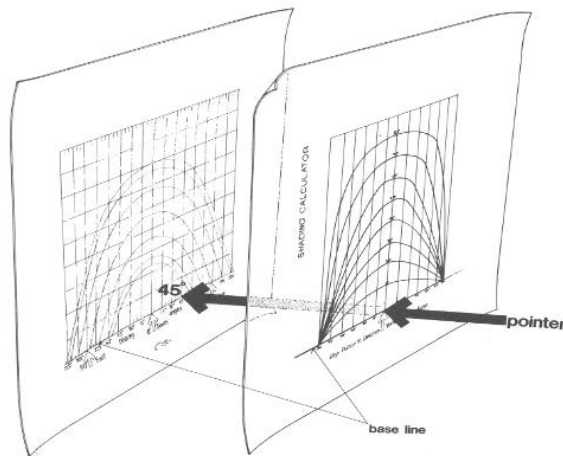


*Εικόνα 3.10. Μετρητής σκιασμού για τον προσδιορισμό της σκίασης από τον περιβάλλοντα χώρο -κτίρια, δέντρα [16]*

Πιο αναλυτικά ακολουθούνται τα εξής βήματα:

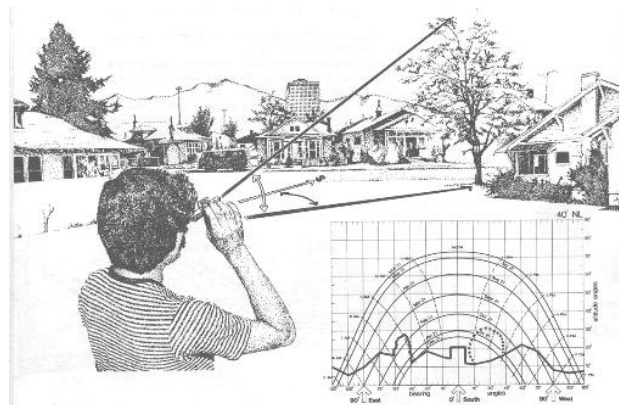
α) Προσανατολίζεται το οικοπέδο μας ή το κτίριο στον ηλιακό χάρτη. Εάν είναι νότιο, ταυτίζεται η γωνία αζιμουθίου του οικοπέδου με τη γωνία 0° του ηλιακού χάρτη, η οποία αντιστοιχεί στον ηλιακό νότο. Εάν είναι ανατολικό ταυτίζεται με τη γωνία των 90° στα αριστερά του νότου, ενώ αν είναι δυτικό με τη γωνία των 90° δεξιά του νότου. Δηλαδή, ως παρατηρητές βλέπουμε προς το νότο, οπότε αριστερά μας είναι η ανατολή και δεξιά η δύση.

β) Στην περίπτωση που το οικοπέδο ή κτίριο έχει άλλο προσανατολισμό -όχι ακριβώς νότιο, ανατολικό ή δυτικό- χαράζεται η κάθετη στην οικοδομική γραμμή του οικοπέδου και προσδιορίζεται η γωνία απόκλισης από το νότο, η οποία σημειώνεται στον ηλιακό χάρτη με ένα βέλος (Εικ 3.11.).



*Εικόνα 3.11. Ταύτιση ηλιακού χάρτη με τον μετρητή σκιασμού για γωνία 45° δυτικότερα του νότου [16]*

γ) Στη συνέχεια ορίζονται τα αζιμούθια των απέναντι εμποδίων και υψώνονται κάθετες προς την οριζόντια ευθεία. Τα σημεία τομής των γωνιών που αντιστοιχούν στη γωνία ύψους των εμποδίων με τις κάθετες που υψώθηκαν (γωνίες αζιμουθίου), ορίζουν σημειακά τα απέναντι εμπόδια (Εικ 3.12.).



*Εικόνα 3.12. Η χρήση του ηλιακού χάρτη για τον προσδιορισμό του σκιασμού από το περιβάλλον κτήρια, δέντρα. [16]*

δ) Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για κάθε εμπόδιο, οπότε προκύπτουν πολλά σημεία τομής. Το αποτέλεσμα είναι μία τεθλασμένη γραμμή, η οποία καθορίζει τη σκιά του περιβάλλοντος χώρου. Η επιφάνεια που βρίσκεται κάτω από την τεθλασμένη βρίσκεται στη σκιά, ενώ η επάνω από την τεθλασμένη δέχεται ήλιο.

ε) Εάν τα απέναντι κτίρια είναι ισοϋψή, λόγω ισχύοντος οικοδομικού κανονισμού, τότε η γραμμή σκιασμού είναι μια καμπύλη, η οποία αντιστοιχεί στη γωνία ύψους των απέναντι εμποδίων σε σχέση με το υπό εξέταση οικόπεδο ή κτίριο και μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα με την χρήση του μετρητή σκιασμού, στον οποίο απεικονίζονται οι γωνίες ύψους των απέναντι εμποδίων [14].



## Κεφάλαιο 4. Παθητικά ηλιακά συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν το μέσο προκειμένου να αξιοποιούνται οι φυσικές πηγές, όπως ο ήλιος, ο άνεμος κ.α. για τη θέρμανση, την ψύξη του κτιρίου, την παροχή φυσικού φωτισμού αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, χωρίς να παρεμβάλλονται μηχανικά μέσα. Η λειτουργία των παθητικών συστημάτων για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας προϋποθέτει ένα σωστά ενεργειακά σχεδιασμένο κτίριο, σύμφωνα με τις αρχές που ήδη αναπτύχθηκαν. Ιδιαίτερα, η διαμόρφωση του κελύφους του κτιρίου πρέπει να είναι τέτοια, που να επιτρέπει τη μέγιστη συλλογή της ηλιακής ενέργειας, τη μέγιστη δυνατότητα για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας και τις ελάχιστες θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης στηρίζεται στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, στη θερμοχωρητικότητα των υλικών για την αποθήκευση της θερμότητας και στους βασικούς νόμους της θερμοδυναμικής για τη μεταφορά της θερμότητας από τη συλλογή στην αποθήκη και στο χώρο που θα θερμανθεί. Η χρήση τους είναι εξαιρετικά σημαντική και αποτελούν δομικά στοιχεία του κτιρίου [18].

Πρόκειται για συστήματα που παρέχουν στο κτίριο θέρμανση και δροσισμό από την εκμετάλλευση των φυσικών πηγών ενέργειας, καθώς και των στοιχείων απορρόφησης ενέργεια. Καθημερινά, η γη δέχεται από τον ήλιο μια εντυπωσιακή ποσότητα θερμότητας που αποβάλλεται προς τον ουρανό κυρίως μέσω της νυχτερινής επανακτινοβολίας. Για την επίτευξη μιας ικανοποιητικής θερμικής άνεσης μέσα σε ένα κτήριο, με ταυτόχρονο περιορισμό της χρήση συμβατικών πηγών, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε πηγές φυσικής ενέργειας (ηλιακή ακτινοβολία, εξωτερικός αέρας, εσωτερικά κέρδη), καθώς και κατάλληλα στοιχεία απορρόφησης (όπως είναι ο ουρανός, ο εξωτερικός αέρας, οι υγρές επιφάνειες και η βλάστηση). Η θερμική εκμετάλλευση στα παθητικά κτήρια γίνεται, εκτός από τον τρόπο του σχεδιασμού του, την τοποθέτηση, προσανατολισμό, τη μορφή του, κλπ. με τη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων τα οποία συγκεντρώνουν, αποθηκεύουν, μεταδίδουν, και διαχέουν θερμότητα ,και αποτελούν μέρη των αρχιτεκτονικών στοιχείων. Σε γενικές γραμμές, τα αρχιτεκτονικά και δομικά στοιχεία που ρυθμίζουν τη θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου είναι:

1. Τα γυάλινα ανοίγματα και ο εξοπλισμός τους
2. Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης που λειτουργούν ως συλλέκτες θερμότητας
3. Τα προσαρτημένα θερμοκήπια
4. Οι προσαρτημένες ηλιακές καμινάδες

5. Η εφαρμογή κατάλληλης γεωμετρίας σκιάστρων
6. Η δημιουργία ενεργειακής σκεπής
7. Τα κατάλληλα δομικά στοιχεία (μονώσεις, χρώματα, κονιάματα, υαλοπίνακες, στοιχεία τοιχοποιίας)
8. Η διαμόρφωση του εξωτερικού περιβάλλοντος χώρου (βλάστηση)

Όταν σε ένα κτίριο η ροή της θερμότητας γίνεται, λοιπόν, με φυσικό τρόπο, δηλαδή μέσω αγωγής, μεταφοράς και ακτινοβολίας και η ηλιακή ενέργεια συνεισφέρει πάνω από το μισό της ολικής εξωτερικής ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση, το κτήριο θεωρείται σαν ηλιακή παθητική κατασκευή. Τα παθητικά συστήματα συνεισφέρουν θετικά στις θερμικές απαιτήσεις του κτηρίου σε ψυχρό καιρό, ενώ σε θερμές περιόδους, αποτρέπουν τη διείσδυση του θερμού εξωτερικού αέρα και περιορίζουν τα εσωτερικά κέρδη, ώστε να εξασφαλίζουν αποδεκτές θερμικές καταστάσεις για τους ενοίκους. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους από θερμική άποψη, χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

#### **A. Συστήματα άμεσου ή απευθείας ηλιακού κέρδους:**

1. Κατάλληλη θερμική μάζα (χρήση υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας), σε συνδυασμό με συστήματα θερμικής προστασίας (θερμομόνωση κελύφους, διπλοί υαλοπίνακες) και την απαιτούμενη ηλιοπροστασία για τους καλοκαιρινούς μήνες
2. Κατάλληλα προσανατολισμένα ανοίγματα

#### **B. Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους:**

1. Ηλιακοί τοίχοι οι οποίοι αποτελούνται από τοιχοποιία συνδυαζόμενη με υαλοστάσιο που τοποθετείται εξωτερικά Μπορεί να πρόκειται για αμόνωτο τοίχο – τοίχος ηλιακής συλλογής και θερμικής αποθήκευσης- ή θερμομονωμένο τοίχο με θυρίδες- θερμοσιφωνικό πανέλο. Στην κατηγορία αυτή είναι:

- Τοίχοι μάζας Trombe
- Τοίχος Barra Constantini
- Τοίχοι νερού

- Θερμοσιφωνικό πανέλο
- Οροφή νερού

2. Στα συστήματα αυτά ανήκουν και οι χώροι θερμικής αποθήκευσης:

- Θερμοκήπια, προσαρτημένα στη νότια όψη του κτηρίου
- Ηλιακά αίθρια

**Γ. Συστήματα απομονωμένου ηλιακού κέρδους**, όπου η συλλέκτρια επιφάνεια της ηλιακής ενέργειας, διαχωρίζεται από το χώρο της θερμικής αποθήκευσης. Πρόκειται για μικτά συστήματα που ονομάζονται υβριδικά και βασίζονται στη φυσική ροή κάποιου ρευστού (π.χ. του αέρα). Σε αυτά τα συστήματα, χρησιμοποιούνται κάποια απλά μηχανικά μέσα για την μεταφορά της θερμότητας (π.χ. ανεμιστήρες) [2,4,5,15].

#### **4.1. Συστήματα άμεσου κέρδους**

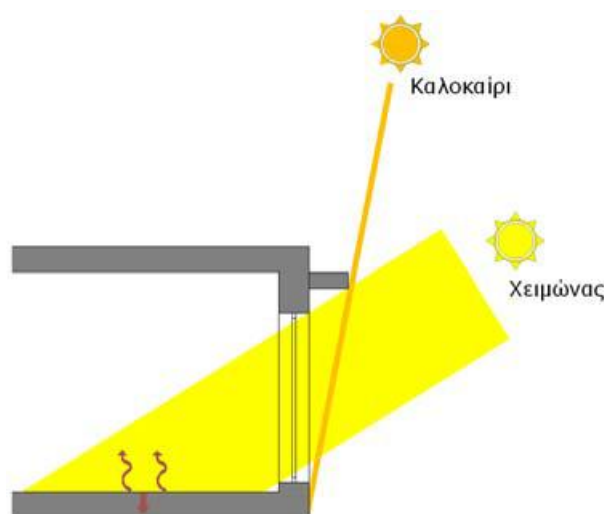
Το πιο σύνηθες παθητικό ηλιακό σύστημα είναι το σύστημα άμεσου (ηλιακού) κέρδους, το οποίο αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση, με άμεσο τρόπο μέσω ανοιγμάτων κατάλληλου (νότιου) προσανατολισμού των χώρων. Εκτός από τα ανοίγματα το σύστημα αποτελείται από την απαιτούμενη θερμική μάζα (χρήση υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας), την κατάλληλη θερμική προστασία (θερμομόνωση κελύφους, διπλοί υαλοπίνακες) και την απαιτούμενη προστασία κατά τους θερινούς μήνες [19].

##### **4.1.1 Ανοίγματα**

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας για τη θέρμανση των κτιρίων είναι η δέσμευσή της μέσα από τα γυάλινα ανοίγματα του κτηρίου. Στην περίπτωση αυτή το κτίριο λειτουργεί ως συλλέκτης, αποθήκη και διανομέας της θερμότητας (Εικ. 4.1.).

Όλα τα ανοίγματα του κτηρίου συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία (άμεση και διάχυτη) που στη συνέχεια μετατρέπεται σε θερμότητα και αποθηκεύεται ως θερμική ενέργεια στα δομικά στοιχεία του χώρου, ιδιαίτερα σε εκείνα που δέχονται άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία. Η θερμότητα που αποθηκεύεται, αποδίδεται με χρονική υστέρηση, αναλόγως των χαρακτηριστικών των δομικών

στοιχείων, καθ' όλη τη διάρκεια του 24ωρου. Είναι σημαντικό, ιδιαίτερα τα δομικά υλικά στο εσωτερικό του κτιρίου που δέχονται άμεση ηλιακή ακτινοβολία, να έχουν ικανή απορροφητικότητα και θερμική μάζα, ώστε αφενός να μεγιστοποιείται η απολαβή των ηλιακών κερδών, αφετέρου να αποθηκεύεται η θερμότητα. Έτσι ομαλοποιούνται οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στον εσωτερικό χώρο -καθώς η θερμότητα από τα αυξημένα ηλιακά κέρδη που έχει αποθηκευτεί απελευθερώνεται σταδιακά στο εσωτερικό του κτιρίου- αποφεύγεται η υπερθέρμανση κατά τις περιόδους με μεγάλη ηλιοφάνεια και η θερμότητα αποδίδεται στο χώρο όταν δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία (απογευματινές και νυχτερινές ώρες) [19].



*Εικόνα 4.1. Αρχή λειτουργίας ηλιακού παθητικού συστήματος άμεσου κέρδους[19]*

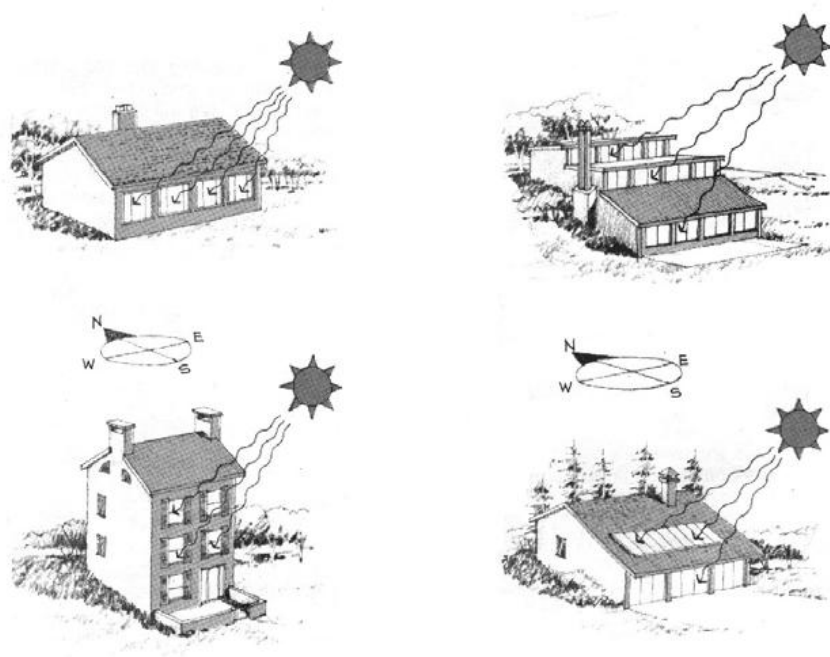
#### **4.1.1.1. Κριτήρια σχεδιασμού για το άνοιγμα**

Τα κριτήρια σχεδιασμού για το άνοιγμα στο σύστημα του άμεσου κέρδους αφορούν:

1. Στην περίοδο ηλιασμού του ανοίγματος: Η ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να εισέρχεται στο κτίριο το χειμώνα και να αποτρέπεται το καλοκαίρι. Ο προσανατολισμός και η κατάλληλη ηλιοπροστασία συμβάλλουν σε αυτό. Η νότια πρόσοψη ή με απόκλιση  $30^{\circ}$  ανατολικά ή δυτικά από το Νότο δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία κατανεμημένη στις διάφορες εποχές του έτους, με τον πιο ευνοϊκό τρόπο: τη μέγιστη μέση τιμή στη χειμερινή περίοδο και την ελάχιστη μέση τιμή στη θερινή. Επίσης δέχεται τη μεγαλύτερη διάρκεια ηλιασμού στη χειμερινή περίοδο. Μονώροφα κτίρια με μικρό βάθος, τοποθετημένα με την κύρια όψη τους στο Νότο, ή πολώροφα κτίρια με νότια πρόσοψη ή κλιμακωτές διατάξεις κτιρίων, για να εκμεταλλεύονται το νότιο προσανατολισμό, είναι αρχιτεκτονικές

συνθέσεις που ευνοούν την εφαρμογή του συστήματος άμεσου κέρδους. Επίσης το άνοιγμα πρέπει να τοποθετείται σε τέτοια θέση στην όψη του κτιρίου ώστε να δέχεται ηλιακή ακτινοβολία για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διάρκεια. Παράθυρα οροφής, πριονωτές στέγες, φεγγίτες κλπ. εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία και συμβάλλουν στη διανομή της ακόμη και σε χώρους με δυσμενή προσανατολισμό (π.χ. βορινό).

Τα ανοίγματα που είναι προσανατολισμένα στο Νότο (ή  $\pm 30^\circ$ ) δέχονται περίπου το 90% της ημερήσιας ακτινοβολίας, αλλά απαιτούν ηλιοπροστασία για την αποφυγή της υπερθέρμανσης τη θερινή περίοδο. Ανοίγματα σε ανατολικό, δυτικό προσανατολισμό συνεισφέρουν επίσης, αλλά σε μικρότερο βαθμό, στη θέρμανση του χώρου. Και σ' αυτούς τους προσανατολισμούς απαιτείται ηλιοπροστασία για τον έλεγχο των θερμικών κερδών τη θερινή περίοδο.



*Εικόνα 4.2. Νότια ανοίγματα (ηλιακά παράθυρα) στο σύστημα του άμεσου ηλιακού κέρδους[19]*

Με τη χρήση εξωτερικών ανακλαστήρων (υλικά με υψηλό συντελεστή ανακλαστικότητας, η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο άνοιγμα μπορεί να αυξηθεί έως και 40%. Ανακλαστικές επιφάνειες ή επιστρώσεις μπορεί επίσης να τοποθετηθούν στο εσωτερικό του κτιρίου για να κατευθύνουν την ηλιακή ακτινοβολία στις θέσεις όπου υπάρχει θερμική μάζα. Σε σχέση με την κλίση, το κατακόρυφο νότιο υαλοστάσιο είναι προτιμότερο από το κεκλιμένο, γιατί το καλοκαίρι σκιάζεται ευκολότερα, ενώ το χειμώνα δέχεται εξίσου με το κεκλιμένο σημαντική ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας. Γενικά η κατανομή των ανοιγμάτων επιλέγεται έτσι ώστε να διανέμεται η θερμότητα σε

όλο τον εσωτερικό χώρο του κτηρίου. Επίσης τα ανοίγματα διατάσσονται με τέτοιο τρόπο στην όψη ώστε η θερμική μάζα για την αποθήκευση να δέχεται άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία. Δε θα πρέπει να παραβλέπεται και η συμβολή του ανοίγματος στην ποσότητα και ομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτισμού.

2. Στην ηλιοπροστασία: Η ηλιοπροστασία είναι απαραίτητη, επειδή το μεγάλο μέγεθος των ανοιγμάτων για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να έχει ως συνέπεια την υπερθέρμανση του χώρου, ακόμη και κατά την περίοδο θέρμανσης.



*Εικόνα 4.3. Μέθοδος ηλιοπροστασίας <http://www.charlottetentandawning.com/architecturalsunshadesandlouvers.htm>*

Ο κατάλληλος συνδυασμός και η διαστασιολόγηση εξωτερικών ηλιοπροστατευτικών διατάξεων μπορεί να διασφαλίσει αποτελεσματικό ηλιακό έλεγχο και μείωση των ψυκτικών φορτίων τη θερινή περίοδο.

3. Στην επιλογή του υαλοστασίου: Πλαίσιο με χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας (θερμομονωμένο πλαίσιο, μεταλλικό πλαίσιο με θερμική διακοπή, ξύλινο πλαίσιο κ.ο.κ.), διπλός υαλοπίνακας ή ειδικοί θερμομονωτικοί υαλοπίνακες και αεροστεγανότητα του κουφώματος συμβάλλουν σε θετικό θερμικό ισοζύγιο, με το θερμικό όφελος από την ηλιακή ακτινοβολία να υπερκαλύπτει τις θερμικές απώλειες από το άνοιγμα.



*Εικόνα 4.4. Τριπλοί υαλοπίνακες [www.cres.gr](http://www.cres.gr)*

Για την αύξηση της απόδοσης του συστήματος το χειμώνα εφαρμόζεται στα ανοίγματα νυχτερινή κινητή θερμομόνωση, που περιορίζει τις θερμικές απώλειες το βράδυ. Ενδείκνυνται ειδικά θερμομονωμένα φύλλα ασφαλείας και θερμομονωτικά πετάσματα. Ακόμη και η χρήση συμβατικών ρολών μειώνει τις θερμικές απώλειες από το άνοιγμα περίπου κατά 30%, και τα βενετικά στόρια και οι κουρτίνες κατά 5%. Όσο μεγαλύτερο είναι το άνοιγμα τόσο πιο επιτακτική είναι η εφαρμογή νυχτερινής μόνωσης. Στην αντίθετη περίπτωση, το άνοιγμα μπορεί να αποδώσει αρνητικά στο σύνολο του 24ωρου, καθώς επιτρέπει, λόγω μεγέθους, αυξημένες θερμικές απώλειες τη νύχτα. Η χρησιμοποίηση συστημάτων αυτόματου ελέγχου βελτιώνει τη λειτουργία της κινητής μόνωσης των ανοιγμάτων, ιδιαίτερα σε κτίρια του τριτογενούς τομέα.

4. Στην απαίτηση για φυσικό φωτισμό του κτιρίου με σύγχρονη αποφυγή θάμβωσης, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου. Η χωροθέτηση και διαστασιολόγηση των ανοιγμάτων σε σχέση με το βάθος του φωτιζόμενου χώρου, η προστασία των ανοιγμάτων και η λαμπρότητα των περιβαλλουσών επιφανειών του φωτιζόμενου χώρου πρέπει να συνυπολογίζονται. Επίσης για την επιλογή του υαλοπίνακα, εκτός από το συντελεστή θερμοπερατότητας θα πρέπει να παίρνεται υπόψη διαπερατότητά του στη φωτεινή ακτινοβολία και να συνεκτιμώνται το επίπεδο του φυσικού φωτισμού που παρέχεται και οι συνθήκες οπτικής άνεσης [19].

#### **4.2. Έμμεσου κέρδους**

**Ηλιακοί τοίχοι:** αποτελούνται από τοιχοποιίες συνδυαζόμενες με υαλοστάσιο, τοποθετημένο εξωτερικά, σε απόσταση 5 -15cm. Η τοιχοποιία είναι είτε αμόνωντος τοίχος μεγάλης θερμικής μάζας (τοίχος θερμικής αποθήκευσης), είτε θερμομονωμένος (θερμοσιφωνικό πάνελ), ενώ, το υαλοστάσιο

μπορεί να είναι σταθερό ή ανοιγόμενο και να φέρει μονούς ή διπλούς υαλοπίνακες. Ο ηλιακός τοίχος λειτουργεί ως ηλιακός συλλέκτης και η θερμότητα που δημιουργείται μεταφέρεται μέσω της μάζας του τοίχου ή μέσω θυρίδων στον προσκείμενο χώρο. Μια ειδική κατηγορία τοίχων θερμικής αποθήκευσης είναι ο τοίχος Trombe-Michel (τοίχος μάζας με θυρίδες), ο οποίος συνδυάζει και τις δύο λειτουργίες θερμικής απόδοσης.

**Θερμοκήπια** (ηλιακοί χώροι): είναι κλειστοί χώροι που προσαρτώνται ή ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Η ηλιακή ακτινοβολία, εισερχόμενη από τα νότια υαλοστάσια του θερμοκηπίου, μετατρέπεται σε θερμική και μέρος αυτής αποδίδεται άμεσα στο χώρο (αυξάνοντας τη θερμοκρασία του αέρα), ενώ μέρος αυτής αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία του χώρου (θερμική μάζα) και αποδίδεται με χρονική υστέρηση. Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας από τον ηλιακό χώρο προς το εσωτερικό του κτιρίου επιτυγχάνεται μέσω θυρίδων ή ανοιγμάτων του διαχωριστικού δομικού στοιχείου.

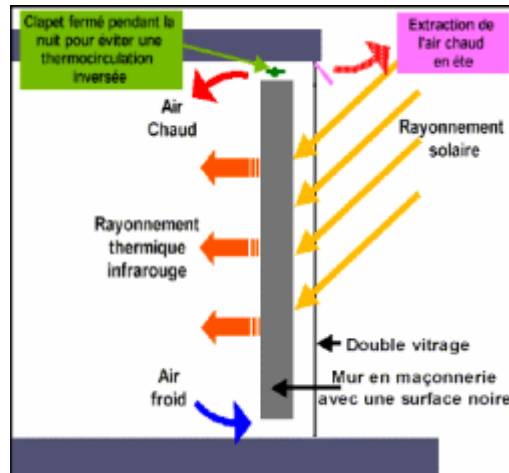
**Ηλιακά αίθρια:** είναι οι αιθριακοί χώροι του κτιρίου οι οποίοι επικαλύπτονται με υαλοστάσια και η θερμική τους λειτουργία είναι παρόμοια με αυτή των θερμοκηπίων.

#### 4.2.1. Τοίχοι

##### 4.2.1.1 Τοίχος Trombe

Ο τοίχος Trombe είναι μια έξυπνη συσκευή για τη συλλογή και την αποθήκευση της θερμότητας από τον ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας και απελευθερώνοντας θερμότητα μέσα σε ένα χώρο του κτιρίου κατά τη διάρκεια της νύχτας, είναι ένα μέσο για την ελεύθερη ηλιακή θέρμανση χώρου. Ο τοίχος συνήθως βρίσκεται στη νότια πλευρά του κτιρίου ( στο βόρειο ημισφαίριο) για να μεγιστοποιήσει την έκθεση στον ήλιο τις εποχές του χρόνου. Προεξοχές χρησιμοποιούνται για την σκιά στον τοίχο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση, αλλά επιτρέπει το ηλιακό φως σε χαμηλότερες γωνίες για να θερμάνει τον τοίχο κατά τη διάρκεια του χειμώνα.



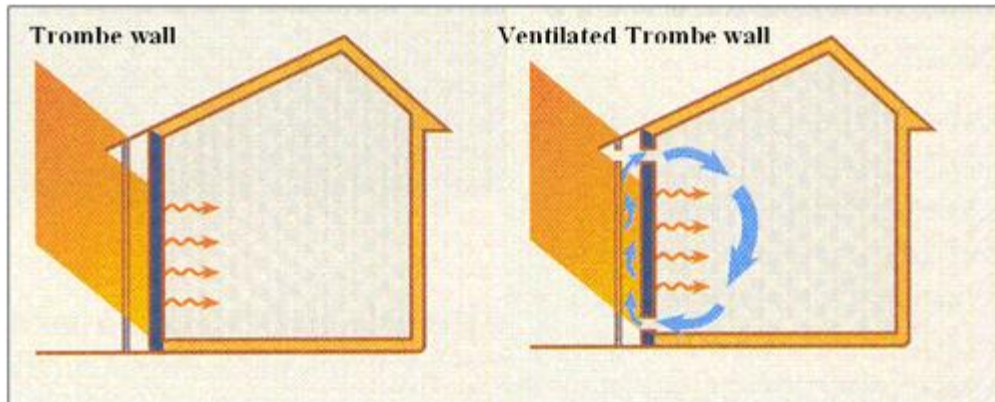


Εικόνα 4.5. Λειτουργία τοίχου Trombe κατά το χειμώνα [16]

Η θερμότητα συλλέγεται και αποθηκεύεται στο παχύ τοίχο. Ένα ή περισσότερα στρώματα υαλοπινάκων στο εξωτερικό και μια επιλεκτική επιφανειακή μετατρέπει τον τοίχο σε μία μονόδρομη βαλβίδα θερμότητας. Ο υαλοπίνακας σχηματίζει ένα διάκενο αέρος μεταξύ της επιφάνειας του τοίχου και του εξωτερικού αέρα που βοηθά να μονώσει τον τοίχο από το εξωτερικό. Η εκλεκτική επιφάνεια προσκολλάται στην επιφάνεια του τοίχου και χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή απορροφητικότητα και πολύ χαμηλό συντελεστή εκπομπής, επιτρέποντας την ηλιακή ακτινοβολία να απορροφηθεί αλλά αποτρέποντας την από το να εκπέμπεται εκ νέου ως ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος.

### Ιστορία:

Ένας Αμερικανός που ονομάζεται E.L. Morse ήταν ο πρώτος που περιέγραψε την έννοια τοίχος Trombe σε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1881 ( Morse 1881 ). Παρόλα αυτά, δεν ήταν μέχρι το 1972 όπου η ιδέα πήρε κατοχύρωση ευρεσιτεχνίας και διαδόθηκε από τον Γάλλο εφευρέτη Felix Trombe και τον αρχιτέκτονα Jacques Michel ( Trombe 1972 ). Ο τοίχος Trombe είναι επίσης γνωστός ως ένας τοίχος Trombe -Michel , ηλιακός τοίχος, θερμικό τοίχωμα αποθήκευσης, ή απλά τοίχωμα αποθήκευσης.

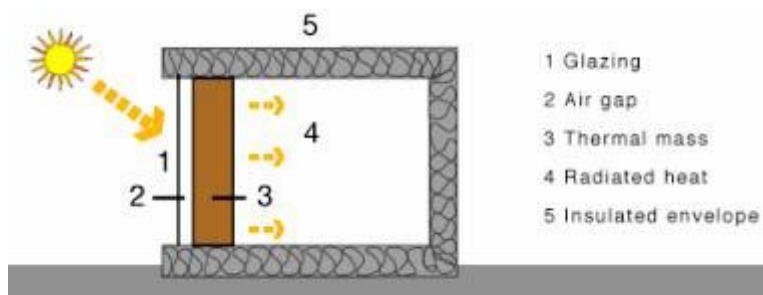


Εικόνα 4.6. Ventilated Trombe Wall <http://www.the-green-house.net/passive-solar-energy/>

Παρά το γεγονός ότι τα κείμενα τα βιβλία περιγράφουν συνήθως τον τοίχο Trombe με ανοίγματα ( οι αρχικοί τοίχοι Trombe ήταν αεριζόμενοι) ( Trombe 1977 ) , η έρευνα έχει δείξει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις , ο μη αεριζόμενος τοίχος Trombe αποδίδει καλύτερα από τον εξαεριζόμενο τοίχο Trombe ( Balcomb et al . 1980a ) . Ο εξαερισμός τείνει να αναιρεί την αποθηκευτική επίδραση του τοίχου και εξαλείφει την αποτελεσματικότητα του διακένου αέρα ως μόνωση ( Balcomb 2003 ) . Ο προτιμώμενος σχεδιασμός τώρα είναι ένα σφραγισμένο διάκενο αέρα μεταξύ του υαλοπίνακα και του τοίχου , καθιστώντας τον μη αεριζόμενο τοίχο Trombe [3].

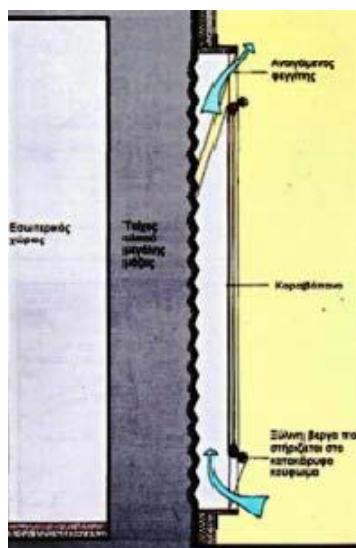
#### 4.2.1.2. Τοίχος μάζας

Ο τοίχος μάζας όπως και ο τοίχος Trombe, χρειάζονται ένα συλλέκτη ο οποίος διαθέτει γυάλινη μεγάλη επιφάνεια που έχει νότια όψη, ενώ η θερμική μάζα συγκεντρώνεται στο πίσω μέρος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως θερμική μάζα είναι η πέτρα, το σκυρόδεμα, τα σύνθετα υλικά από τσιμεντόλιθους ή τούβλα.



Εικόνα 4.7. Τοίχος μάζας <http://www.learn.londonmet.ac.uk>

Το σύστημα αυτό λειτουργεί με την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας από τον τοίχο μάζας και θερμαίνει την επιφάνειά του. Η θερμότητα μέσω της προοδευτικής αύξησης της θερμοκρασίας, μεταδίδεται και διαχέεται στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου μέσω συναγωγής. Το πάχος και ο τύπος του υλικού που χρησιμοποιείται προκαλεί χρονική απόκλιση, η οποία είναι 18 λεπτά για 10 mm σκυρόδεμα. Σε περίπτωση που το πάχος του τοίχου ξεπερνά τα 100 mm η συναγωγή της θερμότητας στο εσωτερικό της κατοικίας δεν αυξάνεται ιδιαίτερα. Με τον τοίχο Trombe, γίνεται επίσης η διανομή της θερμότητας, η οποία συλλέγεται μέσω της φυσικής κυκλοφορίας. Μεταξύ της θερμικής μάζας και του τζαμιού παρεμβάλλεται αέρας του οποίου η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει τους 60°C τις μέρες που δεν υπάρχουν σύννεφα. Η χρήση των ανοιγμάτων, στην κορυφή και τη βάση του τοίχου είναι σημαντική καθώς ο θερμός αέρας ανεβαίνει και εισέρχεται στο εσωτερικό της κατοικίας, ενώ παράλληλα ο ψυχρός αέρας κατέρχεται προς τα ανοίγματα της βάσης της μάζας συσσώρευσης. Προς αποφυγή της αντίστροφης κυκλοφορίας του αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας, η οποία μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα του τοίχου Trombe, είναι απαραίτητος ο έλεγχος των θυρίδων με φραγές .



*Εικόνα 4.8. Ηλιοπροστασία και αερισμός τοίχου μάζας. Οι ανοιγόμενοι άνω και κάτω φεγγίτες απομακρύνονται και αποθηκεύονται στη διάρκεια της θερινής περιόδου.[19]*

Η λειτουργική απόδοση του τοίχου Trombe και των συστημάτων τοίχου μάζας, επηρεάζεται από τα μέσα μόνωσης, διανομής και αποθήκευσης. Γι' αυτό είναι απαραίτητοι οι έλεγχοι λειτουργίας του. Με τον έλεγχο, επιτυγχάνεται η μείωση των απωλειών θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας ή τις μέρες που υπάρχει συννεφιά, με την εφαρμογή εξωτερικών μονωμένων πατζουριών, τη χρήση βαφών με υψηλό δείκτη απορροφητικότητας και μικρό δείκτη εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας, με τη βελτίωση του συντελεστή μόνωσης του υαλοστασίου, η οποία επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας διπλά

τζάμια ή τζάμια που αντανακλούν τη θερμότητα ή χρησιμοποιώντας διαφανή μόνωση. Όλα αυτά μεγιστοποιούν την απόδοση κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Για το καλοκαίρι, οι έλεγχοι που θα πραγματοποιηθούν θα πρέπει να στοχεύουν στην αποφυγή της υπερθέρμανσης, αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση προστεγασμάτων, τη χρήση εξωτερικών οπών αερισμού, αλλά και με το κλείσιμο της εξωτερικής μόνωσης. Επίσης μπορούν να τοποθετηθούν παράθυρα στον τοίχο Trombe, παρέχοντας έτσι φως και θέα.

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



*Εικόνα 4.9. Χειμερινή και θερινή τοίχου Trombe, με ανοιγόμενα υαλοστάσια [19]*

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

Τα μειονεκτήματα είναι το κόστος των ελέγχων που χρειάζεται να γίνουν, αλλά και των δύο νότιων τοίχων όπου ο ένας θα είναι με τζάμι και ο άλλος με θερμική μάζα, κάτι που μειώνει και το διαθέσιμο χώρο. Ο σχεδιασμός ενός τοίχου Trombe πρέπει να είναι τέτοιος που να διευκολύνει τον καθαρισμό των τζαμιών, επίσης ο ενδιάμεσος χώρος μεταξύ τζαμιού και θερμικής μάζας συγκεντρώνει υγρασία η οποία προκαλεί προβλήματα. Εκτός από τις ανάγκες σε επαρκή θερμική μάζα η χρήση των τοίχων αυτών θα πρέπει να μην εμποδίζει την ικανοποίηση των αναγκών σε θέα και φυσικό φωτισμό. Ένα ακόμη μειονέκτημα που παρουσιάζεται, είναι η έλλειψη άνεσης κατά τη διάρκεια της μέρας, η οποία προκαλείται από τον υπερθερμασμένο αέρα του τοίχου ή της ανεξέλεγκτης ακτινοβολίας από τις εσωτερικές επιφάνειες, αυτή η κατάσταση μπορεί να περιοριστεί με επαρκή αερισμό [19].

#### **4.2.1.3. Τοίχος νερού**

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

Οι απαιτήσεις ενός τέτοιου συστήματος είναι η μεγάλη επιφάνεια τζαμιού στη νότιο όψη, στον εξωτερικό χώρο αποθήκευσης του νερού. Οι τρόποι αποθήκευσης του νερού ποικίλουν, καθώς ο τύπος του δοχείου που χρησιμοποιείται επηρεάζει την ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας καθώς και την ταχύτητα με την οποία διανέμεται αυτή. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι δοχεία από γυαλί ή μέταλλο σε σχήμα σωλήνα, δοχεία ή βαρέλια καθώς και τοίχοι από σκυρόδεμα πλήρεις νερού. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένος, όπως και το σχήμα το οποίο διαθέτει καθορίζουν τη λειτουργικότητα και το κόστος κατασκευής του. Το νερό έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει άμεσα τη θερμότητα, λόγω της ισοθερμικής του φύσης, κάτι που διαφοροποιεί το σύστημα αυτό σε σχέση με τον τοίχο Trombe, στον οποίο υπάρχει χρονική απόκλιση. Οι έλεγχοι που απαιτεί το σύστημα, απαιτούνται στη διανομή της θερμότητας, στην περίπτωση που η μελέτη έγινε σε κλίμα που απαιτείται χαμηλότερη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για περαιτέρω μόνωση μεταξύ του χώρου αποθήκευσης και των εσωτερικών χώρων.

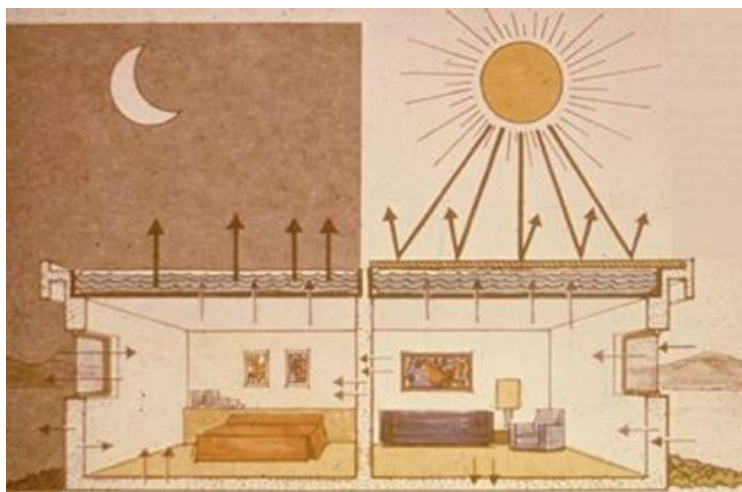
Ο τοίχος νερού παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Δεν προκαλεί προβλήματα θάμβωσης, φθοράς υφασμάτων λόγω της υπερϊώδους ακτινοβολίας, και παράλληλα εξασφαλίζεται η ιδιωτικότητα

των ενοίκων. Ο χώρος αποθήκευσης, έχει την ιδιότητα να παραμένει θερμός και να παρέχει θερμότητα έως αργά το βράδυ. Οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας όπως και στην περίπτωση του τοίχου Trombe, είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές των συστημάτων άμεσου κέρδους. Λόγω της ισοθερμικής φύσης του χώρου αποθήκευσης, χάνεται λιγότερη ενέργεια τις νυχτερινές ώρες, στην ατμόσφαιρα, διότι προκαλείται μειωμένη θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια [18].

#### 4.2.1.4. Λίμνες οροφής

Μπορεί να διαμορφωθεί στην οροφή ενός κτιρίου αβαθής δεξαμενή νερού (ανοιχτή ή κλειστή με διαφανή επικάλυψη), η οποία σκιάζεται την ημέρα (π.χ. με κινητό σύστημα θερμομονωτικού υλικού) και, ανοιγόμενη τη νύχτα, ακτινοβολεί θερμότητα στο περιβάλλον. Η λίμνη οροφής μπορεί να λειτουργήσει αντίστροφα το χειμώνα, δεχόμενη την ηλιακή ακτινοβολία παραμένοντας ανοιχτή την ημέρα, ενώ τη νύχτα κλείνει με θερμομονωτικά φύλλα.

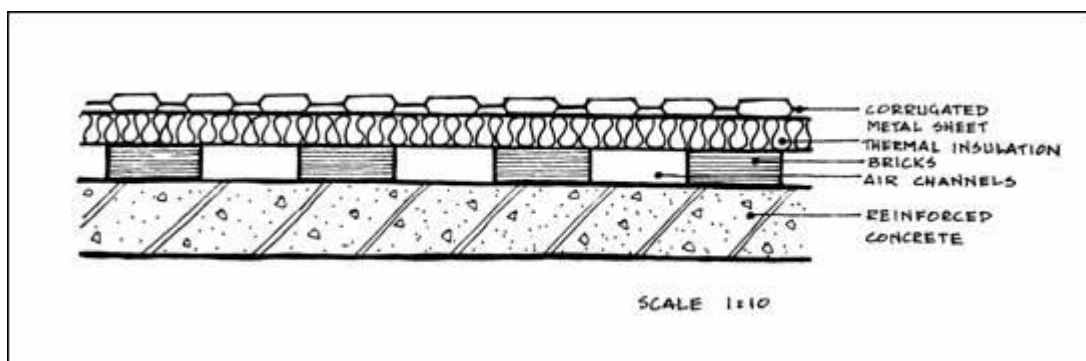
Για τις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας αυτό το σύστημα δεν είναι αρκετά αποδοτικό σαν παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης, λόγω του οριζόντιου προσανατολισμού της συλλεκτικής επιφάνειας, ενώ τεχνικοί/κατασκευαστικοί και λειτουργικοί λόγοι το καθιστούν ασύμφορο [43].



Εικόνα 4.10. Λίμνη οροφής [www.azsolarcenter.com](http://www.azsolarcenter.com)

#### 4.2.1.5. Μεταλλικός ακτινοβολητής

Το σύστημα αποτελείται από μεταλλική, αυλακωτή, διπλή πλάκα τοποθετημένη εξωτερικά της οροφής του κτιρίου. Η εξωτερική του επιφάνεια είναι ανακλαστική, ενώ στην εσωτερική πλευρά τοποθετείται θερμομονωτικό υλικό. Η μεταλλική πλάκα ακτινοβολεί προς το νυχτερινό ουρανό μεγάλη ποσότητα θερμικής ενέργειας. Μέσα στο σύστημα του ακτινοβολητή διοχετεύεται θερμός αέρας από το κτίριο, ο οποίος διέρχεται μέσα από το σύστημα, ψύχεται καθώς έρχεται σε επαφή με την ψυχρή εξωτερική πλευρά και επαναδιοχετεύεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Το σύστημα λειτουργεί ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε περιοχές με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και χαμηλή σχετική υγρασία.

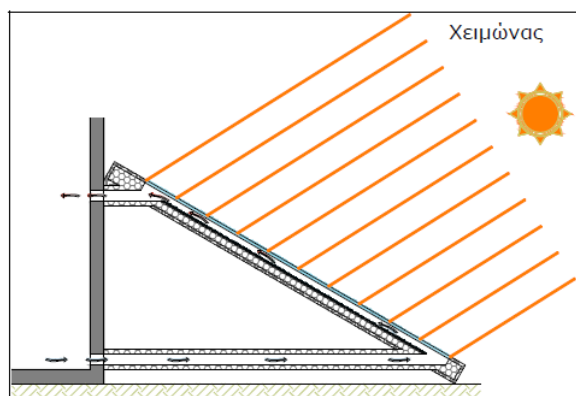


Εικόνα 4.11. Σύστημα δροσισμού οροφής με ακτινοβολητή [18]

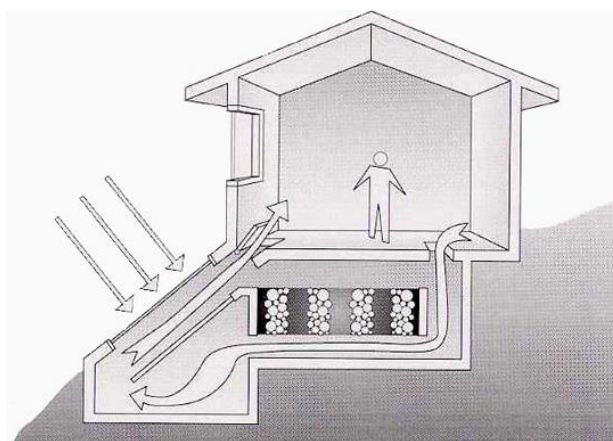
Σε περιοχές με έντονα ρεύματα αέρα, το σύστημα καλύπτεται με φύλλο πολυαιθυλενίου (σε απόσταση περ. 5 εκ.) - διαπερατό από την υπέρυθη ακτινοβολία. Το πολυαιθυλένιο επιτρέπει την εκπομπή της θερμικής ακτινοβολίας, ενώ περιορίζει την επαφή της ψυχρής επιφάνειας του ακτινοβολητή με το θερμότερο αέρα του περιβάλλοντος και συνεπώς περιορίζει την αύξηση της θερμοκρασίας στον ακτινοβολητή [18].

#### 4.2.1.6. Θερμοσιφωνικό πανέλο / Τοίχος Barra Constantini

Αποτελεί σύστημα παρόμοιας κατασκευής και λειτουργίας με τον τοίχο Trombe - Michel, αλλά δίχως την ύπαρξη και λειτουργία της θερμικής μάζας. Η βασική διαφορά από τον τοίχο μάζας θερμοσιφωνικής ροής είναι ότι ο τοίχος του θερμοσιφωνικού πανέλου απομονώνεται θερμικά από το διάκενο με χρήση θερμομονωτικής (συνήθως μεταλλικής) επικάλυψης και η μεταφορά θερμότητας γίνεται αποκλειστικά με συναγωγή (μεταφορά) από τον αέρα του διακένου και όχι με ακτινοβολία.



Εικόνα 4.12. Αρχή λειτουργίας θερμοσιφωνικού πάνελου [18]



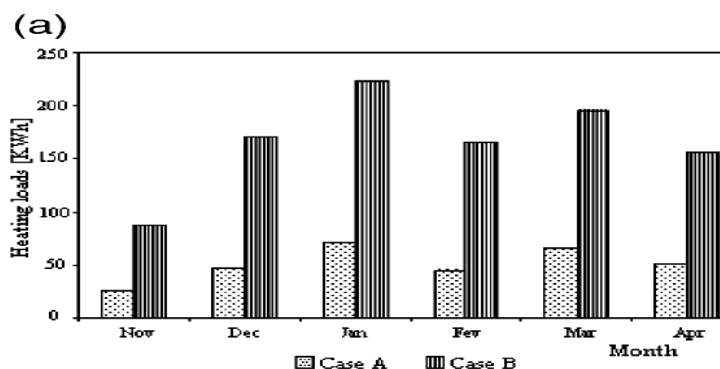
Εικόνα 4.13. Θερμοσιφωνικό πάνελο <http://www.cres.gr>

Ο αέρας μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο , πάλι μέσω θυρίδων ή αγωγών . Σε αυτό το σύστημα , έχουμε ένα νότιο τοίχο από συμβατικά υλικά (μπετόν , τούβλα κ .λ .π .), σε συνδυασμό με υαλοστάσιο , ο οποίος πρέπει να είναι καλά μονωμένος εξωτερικά . Ένα στοιχείο ηλιακής συλλογής είναι τοποθετημένο μπροστά από τον τοίχο ( μεταλλική επιφάνεια ) . Το χειμώνα , λόγω του μονωμένου τοίχου δεν έχουμε απώλειες θερμότητας , ενώ το καλοκαίρι αποφεύγουμε ηλιακά κέρδη .

Ο ζεστός αέρας, εισρέει από άνω θυρίδες, κυκλοφορεί και διαπερνάει αρχικά οριζοντίως το κτίριο, μέσα από κανάλια ενσωματωμένα στο ταβάνι και έπειτα κυκλοφορεί γύρω από τοίχους και το πάτωμα, πριν επιστρέψει προς τα έξω μέσω των κάτω θυρίδων. Κατά αυτόν τον τρόπο θερμαίνονται ακόμα και τα βορινά δωμάτια . Έτσι έχουμε καλή διανομή θερμότητας σε όλο το κτίριο. Αντίστοιχα, κατά την θερινή περίοδο, ο κρύος νυχτερινός αέρας μπορεί να εισέλθει μέσω των κάτω θυρίδων, παρέχοντας δροσισμό.



Από έρευνα του Πανεπιστημίου και του Κέντρου Ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών της Αλγερίας, διαπιστώθηκε ότι η εγκατάσταση ενός συστήματος – τοίχου Barra Constantini, σε συνδυασμό με μια βοηθητική μονάδα θέρμανσης, μπορεί να πετύχει εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι και 60- 70%, σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης. Οι εκτιμήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο όμοια σπίτια (A) και (B) σε τρεις διαφορετικές κλιματικές ζώνες της χώρας. Στην πρώτη (A) περίπτωση, η παροχή θέρμανσης εξασφαλίστηκε από τον τοίχο θερμοσιφωνικής ροής και μια βοηθητική συσκευή θέρμανσης, ενώ στη δεύτερη κατοικία (B), η θέρμανση εξασφαλίστηκε εξ' ολοκλήρου από ένα συμβατικό σύστημα. Αυτονόητο είναι ότι τα παθητικά συστήματα δεν επαρκούν για την κάλυψη των συνολικών αναγκών σε θέρμανση, για το λόγο αυτό είναι απαραίτητος ο συνδυασμός τους με βοηθητικές μονάδες θέρμανσης. Τα μηνιαία φορτία σε θέρμανση για μία από τις τρεις περιοχές απεικονίζεται στην εικόνα (4.14.), ενώ παρόμοια εικόνα παρουσιάζεται και για τις άλλες κλιματικές ζώνες. Σε κάθε περίπτωση είναι προφανής η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται.



**Εικόνα 4.14.** Μηνιαία φορτία για θέρμανση για την περίπτωση του συνδυασμού τοίχου BC-βοηθητική συσκευή θέρμανσης (Περίπτωση A) και για ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης (Περίπτωση B), [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

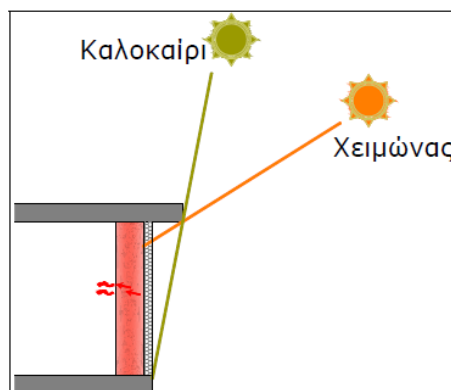
Σε περίπτωση που τοποθετείται κεκλιμένα, το θερμοσιφωνικό πάνελo έχει καλύτερη απόδοση αλλά χρειάζεται περισσότερο ελεύθερο χώρο. Προσαρτημένο κατακόρυφα στον τοίχο μπορεί να εναρμονισθεί αισθητικά με το κτήριο πιο εύκολα [18].

#### 4.2.1.7. Τοιχοποιία με διαφανή μόνωση

Πρόκειται για τοίχο νότιου προσανατολισμού με απόκλιση έως  $30^\circ$ , με υλικό μεγάλης θερμοχωρητικότητας (συνήθως τούβλο), εξωτερικά του οποίου τοποθετείται διαφανής μόνωση χωρίς επίχρισμα (Εικ 3.15.). Η εξωτερική παρειά του τοίχου βάφεται με σκούρο χρώμα. Ουσιαστικά πρόκειται για τοίχο μάζας, ο οποίος όμως θερμομονώνεται. Με αυτό τον τρόπο, μειώνεται μεν ο συντελεστής θερμικών ηλιακών απολαβών του διαφανούς θερμομονωτικού υλικού (μικρότερος σε σχέση με εκείνον του καθαρού γυαλιού), αλλά καθώς ο τοίχος είναι πλέον θερμομονωμένος, αυξάνουν τα καθαρά κέρδη, σε σχέση με τον τοίχο μάζας.

Η διαφανής μόνωση είναι θερμομονωτικό υλικό, κυψελωτής δομής. Λόγω της δομής της, επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να διαπεράσει τη μάζα της, παράλληλα όμως μειώνει τις θερμικές απώλειες. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται ηλιακά κέρδη, μικρότερα σε σχέση με τα ηλιακά κέρδη καθαρού τζαμιού, με πολύ μικρότερες όμως θερμικές απώλειες. Έχει μεγάλη απόδοση, ιδιαίτερα κατά τους ψυχρότερους μήνες και δεν απαιτεί αυτοματισμούς ή τη συμμετοχή του χρήστη για την ορθή θερμική λειτουργία του συστήματος. Τη θερινή περίοδο πρέπει οπωσδήποτε να σκιάζεται εξωτερικά είτε με προεξοχές είτε με κατακόρυφα, εξωτερικά σκίαστρα, προκειμένου να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του χώρου. Ως προς τη χειμερινή του λειτουργία, δε χρειάζεται νυχτερινή θερμική προστασία.

Η ενέργεια που αποδίδεται από το αδιαφανές στοιχείο με διαφανή μόνωση στο εσωτερικό του κτηρίου εξαρτάται από τα εξής:



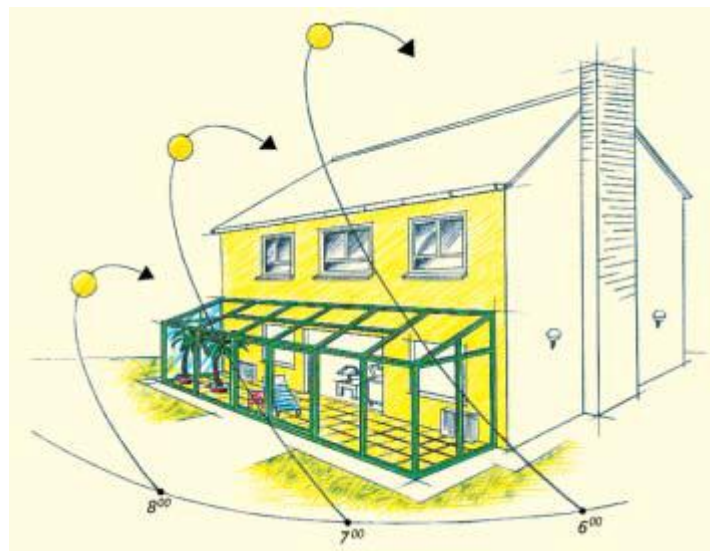
Εικόνα 4.15. Αρχή λειτουργίας αδιαφανούς στοιχείου με διαφανή μόνωση [20]

Τον προσανατολισμό και τη σκίαση του τοίχου από τον περιβάλλοντα χώρο, προεξοχές του κτηρίου ή/και εξωτερικά σκίαστρα

Το διαφανές υλικό και τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του (συντελεστής θερμικής διαπερατότητας, συντελεστής θερμικών ηλιακών απολαβών)

Το εμβαδόν της συλλεκτικής επιφάνειας του τοίχου, την απορροφητικότητα και την θερμοπερατότητα [18].

#### 4.2.2. Θερμοκήπιο ή ηλιακός χώρος



Εικόνα 4.16. Ηλιακός Χώρος – Θερμοκήπιο [19]

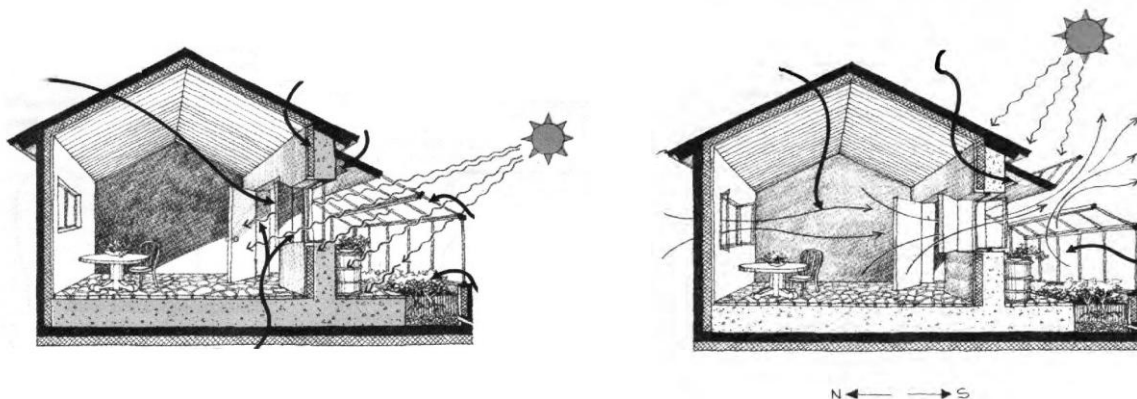
Ο ηλιακός χώρος ή θερμοκήπιο είναι ο συνδυασμός παθητικού συστήματος άμεσου κέρδους και τοίχου θερμικής αποθήκευσης. Το κτίριο, δηλαδή, αποτελείται από δύο θερμικές ζώνες: τον ηλιακό χώρο που προσαρτάται στο κτίριο, όπου γίνεται συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, και τον έμμεσα θερμαινόμενο από τον ηλιακό χώρο, κύριο κατοικήσιμο χώρο. Οι δύο ζώνες χωρίζονται μεταξύ τους με συμπαγή τοίχο με θερμική μάζα (με ή χωρίς θερμομόνωση) και με ή χωρίς υαλοστάσια. Αντί για υαλοστάσια ο ενδιάμεσος τοίχος μπορεί να διαθέτει θυρίδες για τη μεταφορά του θερμού αέρα από το θερμοκήπιο στον κύριο χώρο (Εικ.4.17.).

Ανάλογα με την αρχιτεκτονική λύση, ο ηλιακός χώρος συνδέεται με έναν κοινό τοίχο με το κτίριο ή ενσωματώνεται σ' αυτό και συνδέεται με το κτίριο με περισσότερους κοινούς τοίχους, συμπαγείς ή με συνδυασμό τοιχοποιίας και υαλοστασίου. Ευνόητο είναι ότι οι γυάλινες όψεις του

θερμοκηπίου πρέπει να έχουν τον κατάλληλο προσανατολισμό για τη μεγιστοποίηση της συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας. Η επιστέγαση του ηλιακού χώρου μπορεί να είναι συμπαγής ή διαφανής. Επίσης, το θερμοκήπιο μπορεί να ενσωματωθεί στο κτίριο, ώστε να έχει τρεις κοινούς τοίχους και έναν υάλινο τοίχο προς το Νότο. Θερμοκήπια θεωρούνται και τα αίθρια στον πυρήνα των κτιρίων, σκεπασμένα με γυάλινη επιστέγαση, που είναι ανεξάρτητοι μη θερμαινόμενοι χώροι. Ο ηλιακός χώρος συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην εξασφάλιση συνθηκών άνεσης, βοηθά στην ανάπτυξη των φυτών, διευκολύνει την παραγωγή αγροτικών προϊόντων για οικιακή χρήση και προσφέρει χρηστικό χώρο στους ενοίκους.

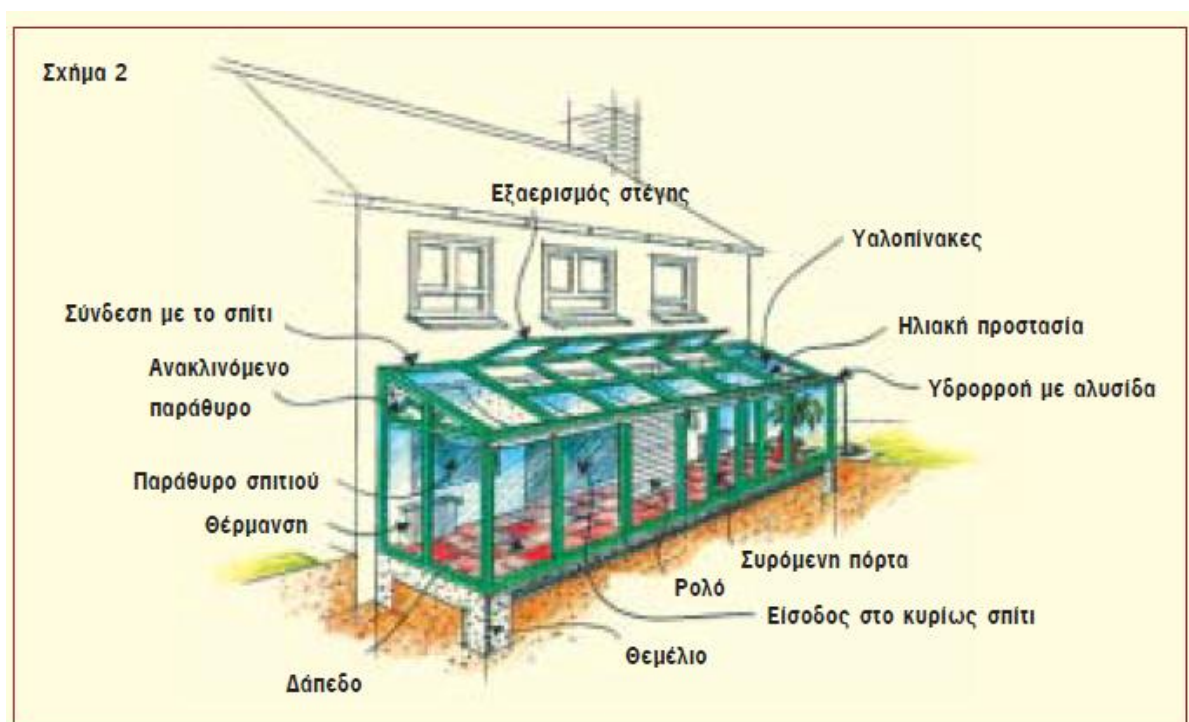
Για να χαρακτηριστεί ένας χώρος ως θερμοκήπιο, πρέπει να μην είναι θερμαινόμενος, να προσαρτάται στο κτίριο και να διαθέτει μεγάλα υαλοστάσια με ευνοϊκό προσανατολισμό (προς το Νότο, με απόκλιση έως  $\pm 30^0$ ), διανεμημένα στις εξωτερικές του επιφάνειες για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Ο χώρος του θερμοκηπίου θερμαίνεται απευθείας από την ηλιακή ακτινοβολία και λειτουργεί όπως το παθητικό σύστημα του «άμεσου κέρδους». Συγχρόνως η ηλιακή ενέργεια απορροφάται από τον πίσω συμπαγή τοίχο του θερμοκηπίου ή/και το δάπεδο, μετατρέπεται σε θερμότητα και ένα ποσοστό μεταφέρεται στο κτίριο. Από αυτή την άποψη, το προσαρτημένο θερμοκήπιο είναι ένα εκτεταμένο σύστημα τοίχου θερμικής αποθήκευσης, με τη μόνη διαφορά ότι το υαλοστάσιο είναι τοποθετημένο σε αρκετή απόσταση από τον τοίχο, ώστε να δημιουργείται κατοικήσιμος χώρος για την ημέρα ή ένας χώρος όπου καλλιεργούνται φυτά. Το θερμοκήπιο χαρακτηρίζεται από έντονη θερμική διαστρωμάτωση, με τις πιο θερμές μάζες του αέρα να ανυψώνονται προς την ανώτατη στάθμη του. Έτσι, τοποθέτηση θυρίδων στα υψηλότερα σημεία του στοιχείου που συνδέει το θερμοκήπιο με το κτίριο είναι ικανές να προσάγουν θερμό αέρα στους θερμαινόμενους χώρους του κτιρίου.



*Εικόνα 4.17. Χειμερινή και θερινή λειτουργία θερμοκηπίου, με ανοιγόμενα υαλοστάσια [19*

Το θερμοκήπιο-ηλιακός χώρος, επίσης, λειτουργεί ως φράγμα θερμικών απωλειών του κτιρίου προς το εξωτερικό περιβάλλον (χώρος θερμικής ανάσχεσης, tampon espace, buffer zone). Σχεδόν όλες τις ώρες της ημέρας ο ηλιακός χώρος έχει υψηλότερη θερμοκρασία από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κι έτσι συμβάλλει στη μείωση των θερμικών απωλειών από το κτίριο. Σε ψυχρά όμως κλίματα, κατά τις νυχτερινές ώρες, μπορεί να συμβάλλει σε αύξηση θερμικών απωλειών, όταν ο ενδιάμεσος τοίχος δεν είναι επαρκώς μονωμένος. Σε ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια, η εσωτερική θερμοκρασία σ' ένα θερμοκήπιο με διπλό υαλοστάσιο φθάνει τουλάχιστον στους 10 °C όταν η εξωτερική είναι 0 °C. Η θερμική συνεισφορά του ηλιακού χώρου εξαρτάται από το γεωμετρικό σχήμα και τον τρόπο σύνδεσής του με το κτίριο. Η απόδοσή του είναι συγκρίσιμη και πολλές φορές καλύτερη από την απόδοση ενός τοίχου θερμικής αποθήκευσης, που έχει την ίδια επιφάνεια υαλοστασίου. Οι επί πλέον θερμικές απώλειες μέσω της οροφής και των τοίχων που περιβάλλουν έναν ηλιακό χώρο αντισταθμίζονται από το γεγονός ότι το υαλοστάσιο έχει τη βέλτιστη κλίση. Υπολογίζεται ότι κατά τους χειμερινούς μήνες 10% έως 30% από την θερμότητα που προέρχεται από τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας από έναν ηλιακό χώρο μεταφέρεται στους παρακείμενους χώρους του κτιρίου.



Εικόνα 4.18. Ηλιακός Χώρος [www.cres.gr](http://www.cres.gr)

Υπάρχουν πέντε βασικές μέθοδοι μεταφοράς θερμότητας από τον ηλιακό χώρο στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου:

1. Με απευθείας είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτιρίου (στην περίπτωση που υπάρχουν διαφανή στοιχεία στον ενδιάμεσο τοίχο).

2. Με μεταφορά του θερμού αέρα από το θερμοκήπιο στο χώρο με θερμοσιφονισμό (στην περίπτωση που υπάρχουν ανοίγματα ή θυρίδες στον ενδιάμεσο τοίχο) ή με βεβιασμένη μεταφορά (θυρίδες ενισχυμένες με ανεμιστήρες).

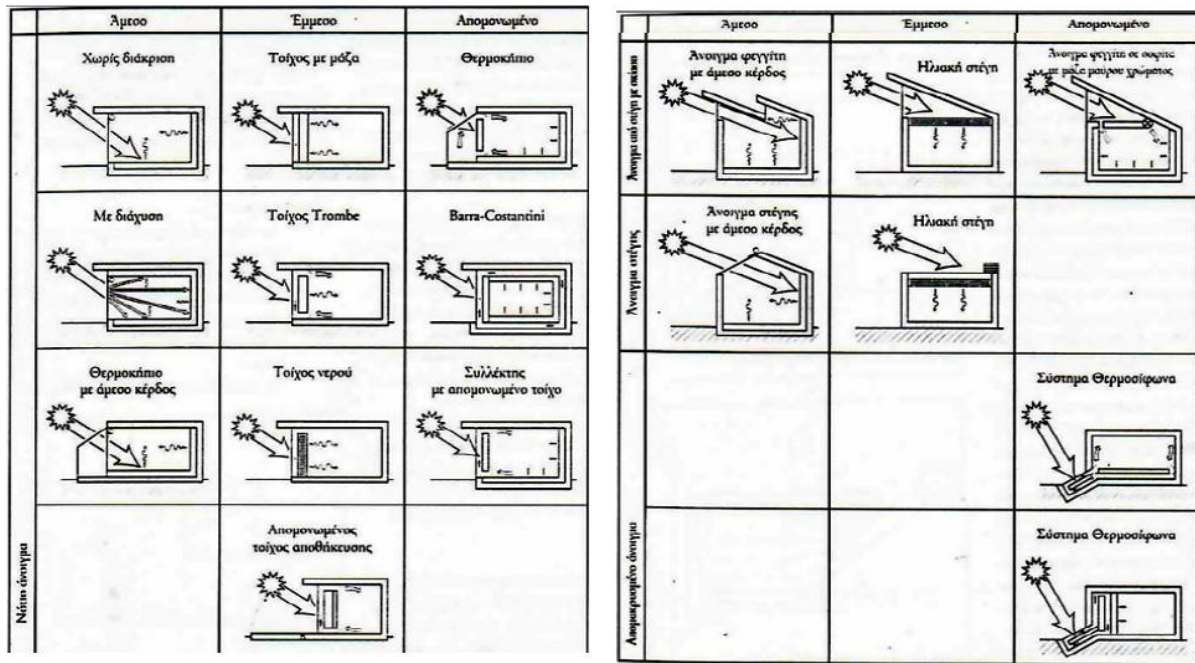
3. Με αγωγιμότητα μέσω των διαχωριστικών τοίχων θερμοκηπίου-κτιρίου (σε αυτή την περίπτωση ο ενδιάμεσος τοίχος δε διαθέτει θερμομόνωση κατά τη διάρκεια της ημέρας).

4. Με τη χρήση απλών μηχανικών μέσων (π.χ. ανεμιστήρας) και αποθήκευση της θερμότητας στον εσωτερικό χώρο απ' όπου και μεταδίδεται με ακτινοβολία ή μεταφορά. Σ' αυτή την περίπτωση, η θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί και σε χώρους που δεν δέχονται απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία.

5. Με συνδυασμό των ανωτέρω.

Ανάλογα με τη θερμική σύνδεση και τον επιθυμητό τρόπο μεταφοράς, αποθήκευσης και διανομής της θερμότητας, ο διαχωριστικός τοίχος και το διαχωριστικό υαλοστάσιο μεταξύ θερμοκηπίου και κατοικήσιμου χώρου, θερμομονώνεται ή όχι και εφαρμόζεται νυχτερινή μόνωση (η οποία εφαρμόζεται και τη θερινή περίοδο).

Στη μέθοδο της απευθείας εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτίριο, τμήμα του κοινού τοίχου μεταξύ του θερμοκηπίου και του κτιρίου αποτελείται από υαλοστάσιο. Ένα σημαντικό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο υαλοστάσιο του θερμοκηπίου εισέρχεται στο κτίριο απευθείας μέσα από ενδιάμεσα ανοίγματα, ενώ το υπόλοιπο παραμένει στο θερμοκήπιο και το θερμαίνει. Σ' αυτήν την περίπτωση το σύστημα λειτουργεί όπως το παθητικό σύστημα του «άμεσου κέρδους». Το πλεονέκτημα σε σχέση με το σύστημα του άμεσου κέρδους είναι ότι μειώνονται οι θερμικές απώλειες από το υαλοστάσιο του θερμαινόμενου χώρου, επειδή μεσολαβεί το θερμοκήπιο, όπου αναπτύσσεται υψηλότερη θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον.



Εικόνα 4.19. Παθητικά ηλιακά συστήματα [21]

Η μεταφορά του θερμού αέρα από το θερμοκήπιο στον εσωτερικό χώρο (είτε ο διαχωριστικός τοίχος διαθέτει ανοίγματα είτε όχι) βασίζεται στο φυσικό θερμοσιφωνισμό ή υποστηρίζεται από ανεμιστήρες. Για τη φυσική μεταφορά της θερμότητας απαιτούνται ανοίγματα (παράθυρα ή πόρτες ή θυρίδες) στον κοινό τοίχο θερμοκηπίου – κτιρίου, που ανοίγουν αυτόματα ή χειροκίνητα και έτσι δημιουργείται φυσική κυκλοφορία του θερμού αέρα. Όσο υψηλότερα είναι τοποθετημένα τα ανοίγματα στο διαχωριστικό τοίχο και όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο, τόσο μεγαλύτερη είναι η ροή της θερμότητας από το θερμοκήπιο στον κυρίως χώρο. Η θερμότητα που αποδίδεται στον εσωτερικό χώρο μπορεί, στη συνέχεια, να αποταμιευθεί στα εσωτερικά δομικά στοιχεία όπως και στην περίπτωση του άμεσου κέρδους. Αν χρησιμοποιηθούν ανεμιστήρες, με χειροκίνητη ή αυτόματη λειτουργία, η θερμοκρασία μπορεί να διοχετευθεί και στους βορινούς χώρους, που δεν δέχονται ηλιακή ακτινοβολία, και να αποταμιευθεί σε ειδικά στοιχεία αποθήκευσης, ή στα δομικά τους στοιχεία.

Η μετάδοση της θερμότητας με αγωγιμότητα μέσα από τους κοινούς τοίχους θερμοκηπίου – κτηρίου είναι ο πιο συνηθισμένος και αποτελεσματικός τρόπος για τη θερμική σύνδεση του κτιρίου με το θερμοκήπιο. Σ' αυτή την περίπτωση ο διαχωριστικός τοίχος δεν έχει θερμική μόνωση και ουσιαστικά λειτουργεί όπως το παθητικό σύστημα του τοίχου θερμικής αποθήκευσης.

Η αποτελεσματικότητα του συστήματος εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες όπως και στο σύστημα του τοίχου θερμικής αποθήκευσης: από το μέγεθος του υαλοστασίου, τον προσανατολισμό, την κλίση και τις ιδιότητες του υαλοστασίου του ηλιακού χώρου κι από την επιφάνεια, το πάχος, το υλικό κατασκευής και το χρώμα του διαχωριστικού τοίχου. Το πάχος του μη θερμομονωμένου διαχωριστικού τοίχου (από σκυρόδεμα ή συμπαγή πλινθοδομή) κυμαίνεται από 20-35 εκ. Όταν υπάρχει υδάτινος τοίχος μεταξύ του θερμοκηπίου και του κτιρίου, ο όγκος του νερού προσδιορίζει τη διακύμανση της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο και στους παρακείμενους κατοικήσιμους χώρους. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του νερού τόσο μικρότερες είναι οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Στην περίπτωση που η κατασκευή του θερμοκηπίου γίνεται σε περιοχή που χαρακτηρίζεται από χαμηλές θερμοκρασίες το βράδυ, επιβάλλεται η κινητή νυχτερινή θερμομόνωση του διαχωριστικού τοίχου, τόσο του διαφανούς όσο και του αδιαφανούς τμήματος όταν δεν είναι θερμομονωμένο.

Η μετάδοση της θερμότητας με τη χρήση απλών μηχανικών μέσων (π.χ. ανεμιστήρας) μπορεί να συνδυαστεί και με σύστημα σωληνώσεων που οδηγεί τον θερμό αέρα σε χώρο με θραυστό υλικό (rock bed, lit de pierres), όπου και αποθηκεύεται η θερμότητα και αποδίδεται στον εσωτερικό χώρο με ακτινοβολία ή μεταφορά. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε εύκρατα κλίματα, όπου την ημέρα συλλέγεται πολύ περισσότερη θερμότητα από όση είναι αναγκαία για τη θέρμανση του χώρου.

Για την αποδοτική λειτουργία του θερμοκηπίου, ανεξάρτητα από τον τρόπο θερμικής του σύνδεσης με το κτίριο, πρέπει να αποφεύγεται η υπερθέρμανση, η οποία εύκολα μπορεί να προκύψει ακόμη και το χειμώνα, λόγω της μεγάλης επιφάνειας των υαλοστασίων. Για την αποφυγή της υπερθέρμανσης απαιτείται ηλιοπροστασία το καλοκαίρι και συνιστάται να προβλέπονται αποσπώμενες γυάλινες επιφάνειες. Η ηλιοπροστασία του θερμοκηπίου είναι απαραίτητη και μπορεί να συνδυαστεί και με τα συστήματα νυχτερινής μόνωσης. Η ηλιοπροστασία αντιμετωπίζεται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στο σύστημα του άμεσου κέρδους.

Επίσης είναι απαραίτητος ο αερισμός του θερμοκηπίου, ο οποίος λειτουργεί και ως μέσο ελέγχου της υπερθέρμανσης και της υγρασίας αλλά και για την απομάκρυνση του CO<sub>2</sub> που παράγεται το βράδυ, στην περίπτωση που ο ηλιακός χώρος χρησιμοποιείται και για την καλλιέργεια των φυτών. Για να δημιουργηθεί ρεύμα αέρα πρέπει να τοποθετηθούν περίπου ίδιου μεγέθους ανοίγματα στους απέναντι τοίχους, ή ανοιγόμενες θυρίδες στο άνω τμήμα του θερμοκηπίου.

Για τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτιρίου σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ., το διαχωριστικό δομικό στοιχείο μεταξύ του κυρίως χώρου του κτιρίου και του



προσαρτημένου θερμοκηπίου, θεωρείται ως εξωτερική επιφάνεια του κελύφους προς μη θερμαινόμενο χώρο [19].

## Κεφάλαιο 5. Αερισμός

### 5.1. Φυσικός αερισμός - Υβριδικός αερισμός

Ο φυσικός αερισμός ενός εσωτερικού χώρου έχει πολλαπλά οφέλη, όταν χρησιμοποιείται βάσει «στρατηγικής». Η παροχή φρέσκου αέρα στο χώρο βελτιώνει την ποιότητα του αέρα απομακρύνοντας ρύπους, σκόνη, μικρόβια κ.λ.π. και μπορεί να εξασφαλίσει θερμική άνεση στους χρήστες ψύχοντας το χώρο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η υπολογισμός της παροχής του αέρα είναι πολύπλοκος διότι πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Επίσης το σύστημα φυσικού αερισμού που επιλέγεται κάθε φορά εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, τη διαμόρφωση του εξωτερικού περιβάλλοντος, την εσωτερική διαμόρφωση του κτιρίου και επιπλέον από οικονομικά κριτήρια.

Ο φυσικός αερισμός των χώρων ενός κτιρίου πραγματοποιείται με τη φυσική εισροή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό του κτιρίου. Προϋποθέτει ότι η θερμοκρασία του αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη από αυτή του εσωτερικού χώρου και των δομικών του στοιχείων. Η εισροή αέρα μπορεί να συμβεί είτε λόγω διαφοράς πίεσης, είτε λόγω διαφοράς θερμοκρασίας, είτε από συνδυασμό των δυο. Και οι δυο παραπάνω λόγοι προκαλούν την κίνηση του αέρα, ο οποίος διαμέσου των ανοιγμάτων οδηγείται στο εσωτερικό και κυκλοφορεί απάγοντας θερμότητα από τα δομικά στοιχεία του κελύφους και μειώνοντας τη θερμοκρασία του χώρου.

Η διαφορά πίεσης μεταξύ δυο πλευρών του κτιρίου δημιουργεί κίνηση του αέρα με κατεύθυνση από την πλευρά που βρίσκεται σε θετική πίεση, προσήνεμη πλευρά, προς την πλευρά με αρνητική πίεση, υπήνεμη πλευρά. Η ύπαρξη ανοιγμάτων στις δυο πλευρές έχει σαν αποτέλεσμα τον διαμπερή αερισμό του χώρου (cross ventilation). Ο αέρας εισέρχεται από την μια πλευρά του περιβλήματος, «σαρώνει» τον εσωτερικό χώρο και εξέρχεται από την άλλη πλευρά, με την κατεύθυνση που προαναφέρθηκε. Η διαφορά θερμοκρασίας σε ένα χώρο προκαλεί την κίνηση του αέρα και συγκεκριμένα προκαλεί άνοση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο θερμός αέρας να κινείται ανοδικά και τη θέση του να παίρνει ο ψυχρός. Πρόκειται για το λεγόμενο «θερμοσιφωνικό φαινόμενο» ή «φαινόμενο της καμινάδας», το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί για το φυσικό αερισμό ενός χώρου (stack ventilation). Ο αέρας εισέρχεται από την πλευρά που βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία και θετική πίεση, και διέρχεται από το χώρο κινούμενος ανοδικά ώσπου να εξέλθει από την απέναντι πλευρά.

Είναι σημαντικό τα ανοίγματα εισόδου και εξόδου να βρίσκονται σε υψομετρική διαφορά, με χαμηλότερο το άνοιγμα εισόδου. Η ροή του αέρα έχει αποδειχθεί ότι μεγαλώνει, με την αύξηση της διαφορά ύψους των ανοιγμάτων έως κάποια βέλτιστη τιμή, καθώς μετά από αυτή δημιουργείται ανεπιθύμητη αναστροφή της κυκλοφορίας του αέρα. Συνήθως τα ανοίγματα εξόδου βρίσκονται στην υπήνεμη πλευρά του κτιρίου, ώστε να ενισχύεται η κίνηση του αέρα από τη διαφορά πίεσης, χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο.

Η πιο διαδεδομένη και ιδιαίτερα αποδοτική μέθοδος φυσικού αερισμού είναι ο νυχτερινός αερισμός. Κατά τη διάρκεια της νύχτας που η θερμοκρασία είναι χαμηλή ο εξωτερικός αέρας εισέρχεται στο χώρο και απάγει την θερμότητα που έχει αποθηκευτεί στα δομικά στοιχεία κατά τη διάρκεια της ημέρας. Με τον τρόπο αυτό σταματά η ετεροχρονισμένη εκπομπή θερμότητας από τη μάζα του κτιρίου προς τον εσωτερικό χώρο και επιπλέον μειώνεται η θερμοκρασία της. Την επόμενη μέρα η θερμοκρασία των χώρων είναι χαμηλότερη και το κέλυφος ξεκινά να αποθηκεύει θερμότητα από χαμηλότερη θερμοκρασία. Ο νυχτερινός αερισμός είναι πολύ αποδοτικός στις περιοχές με μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας, αλλά ικανοποιητικά είναι τα αποτελέσματα και σε περιοχές με εύκρατο κλίμα, όπως η Ελλάδα. Ο ειδικός σχεδιασμός των ανοιγμάτων μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα του εισερχόμενου αέρα, αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα, και να ρυθμίσει την παροχή του.

Τέλος ο προσανατολισμός του κτιρίου και των ανοιγμάτων του είναι πολύ σημαντικός για την επίτευξη επαρκούς φυσικού αερισμού στο κτίριο. Σε συνδυασμό με την ανάγκη εξασφάλισης φυσικού φωτισμού χρειάζεται ειδική μελέτη των κλιματικών συνθηκών και συγκεκριμένα της έντασης και κατεύθυνσης του ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή.

### **5.1.1. Φυσικός Αερισμός**

Ο φυσικός δροσισμός επιτυγχάνεται με την απομάκρυνση της θερμότητας από το κτίριο με φυσικό αερισμό. Ο φυσικός αερισμός επιτυγχάνεται με :

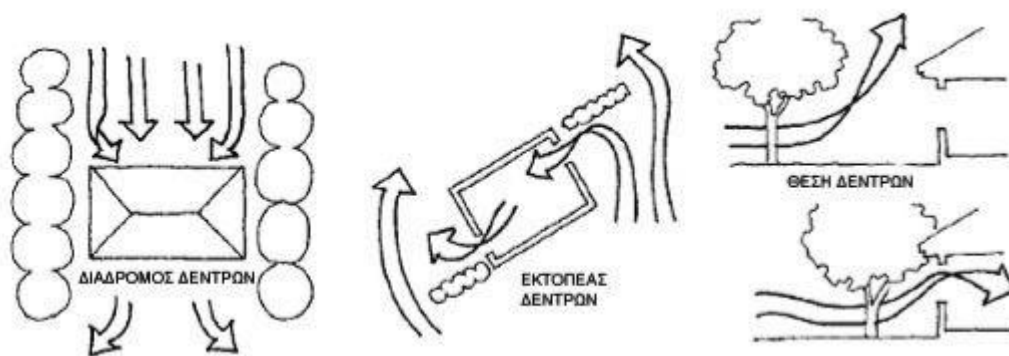
1. Διαμπερή αερισμό
2. Το φαινόμενο του ελκυσμού
3. Ηλιακή καμινάδα
4. Πύργο Ψύξης

### 5.1.2. Διαμπερήσ αερισμός

Η βασική αρχή κίνησης της ροής του ανέμου μέσα στο κέλυφος με διαμπερή αερισμό οφείλεται στις διαφορετικές κατανομές πιέσεων που δημιουργούνται γύρω από το κτίριο. Η εισροή του ανέμου στο κτίριο γίνεται από τα ανοίγματα της προσήνεμης επιφάνειας και εξέρχεται από την υπήνεμη επιφάνεια και την οροφή.

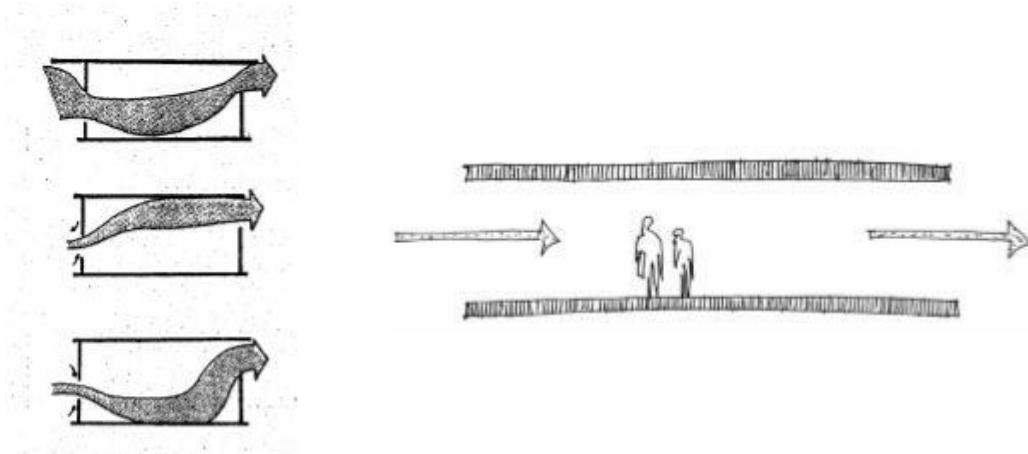
Προκειμένου να επιτύχουμε καλύτερο φυσικό αερισμό του κτιρίου με διαμπερή αερισμό θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε τις εξής αρχές σχεδιασμού:

1. Τοποθέτηση του κτιρίου κατά τη μέγιστη κατεύθυνση του κυρίαρχου ανέμου.
2. Τοποθέτηση των ανοιγμάτων εισόδου του αέρα στην προσήνεμη περιοχή και των ανοιγμάτων εξόδου στην απάνεμη περιοχή.
3. Διατάξεις πρασινάδας, ανεμοφρακτών, αρχιτεκτονικές προεξοχές, πλευρικοί τοίχοι προσαρτημένοι στα ανοίγματα προκειμένου να δημιουργηθούν περιοχές θετικών και αρνητικών πιέσεων ευνοώντας τον αερισμό.
4. Αποφυγή τοποθέτησης εμποδίων στην είσοδο των ανοιγμάτων εισόδου και εξόδου.



Εικόνα 5.1. Κίνηση του ανέμου γύρω από το κτίριο [23]

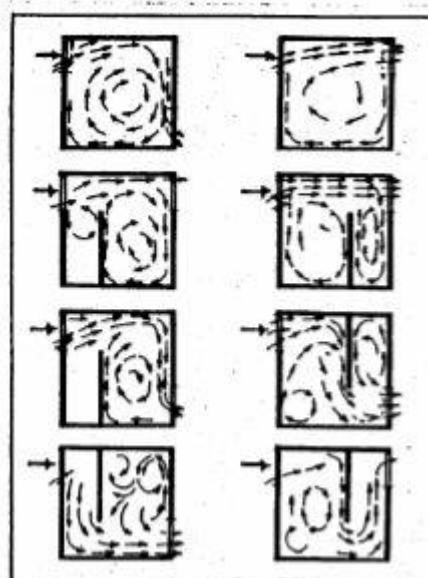
5. Η ταχύτητα του ανέμου μέσα στον κλειστό χώρο μεταβάλλεται σε σχέση με την θέση των ανοιγμάτων. Η επικρατέστερη τακτική είναι τα ανοίγματα εισόδου του αέρα και εξόδου να βρίσκονται στους αντικριστούς τοίχους.



Εικόνα 5.2. Διαμετρής κίνηση του ανέμου[23]

6. Η θέση των ανοιγμάτων εισόδου είναι σημαντικότερη από τη θέση ανοιγμάτων εξόδου. Εάν τα ανοίγματα εισόδου τοποθετηθούν σε πολύ μεγάλο ύψος υπάρχει η πιθανότητα ο αέρας που θα εισαχθεί να οδηγηθεί στο άνω μέρος του χώρου και να προσπεράσει το χώρο συγκέντρωσης των ανθρώπων.

7. Για μικρούς χώρους όπου τα ανοίγματα εξόδου του αέρα δεν είναι δυνατόν να τοποθετηθούν στον αντίκρυ τοίχο, μπορούμε να τοποθετήσουμε το άνοιγμα σε παρακείμενη θέση και να δημιουργηθεί ένα είδος φυσικού αερισμού (η εφαρμογή αυτή γίνεται σε πολύ μικρούς χώρους).



Εικόνα 5.3. Κίνηση του ανέμου μέσα στους χώρους του κτιρίου [23]

8. Κατά το σχεδιασμό του φυσικού αερισμού του κτιρίου καλό είναι να λάβουμε υπόψη μας και τις συνθήκες που επικρατούν κατά τις νυχτερινές ώρες προκειμένου να επωφεληθούμε από το φυσικό αερισμό τις ώρες αυτές.

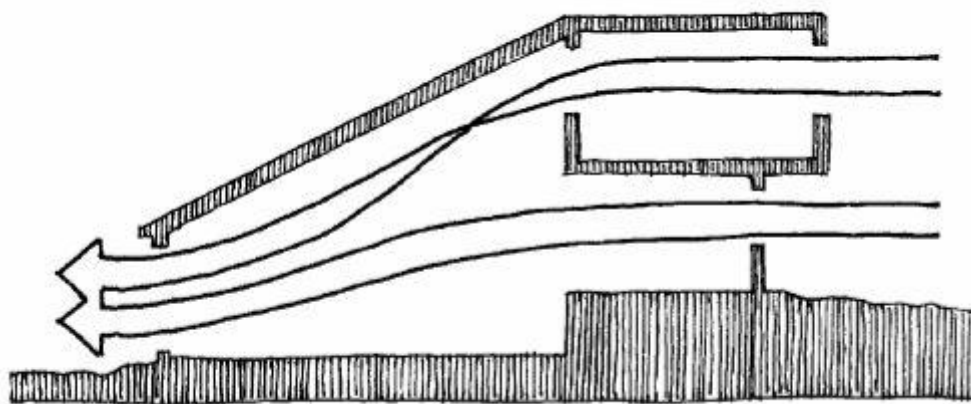
9. Τα ανοίγματα πρέπει να είναι ευκόλως προσβάσιμα από τους ενοίκους.

10. Η επιφάνεια εισόδου και η επιφάνεια εξόδου πρέπει να είναι ίσες. Υψηλές ταχύτητες μέσα στον κλειστό χώρο μπορούν να επιτευχθούν εάν αυξήσουμε την επιφάνεια ανοιγμάτων εξόδου κατά 25% σε σχέση με τα ανοίγματα της επιφάνειας εισόδου.

11. Σημαντικό είναι να αποφύγουμε τα ανοίγματα να βρίσκονται στην ίδια στάθμη και αντικριστά.

12. Οριζόντια φρεάτια και διατάξεις μπορούν οδηγήσουν τον αέρα στο εσωτερικό του χώρου με κάποια ταχύτητα.

13. Πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας την τοπογραφία, την τοπική αρχιτεκτονική προκειμένου να επαναπροσανατολίσουμε τη ροή του ανέμου και να δημιουργήσουμε τις κατάλληλες συνθήκες έκθεσης στους τοπικούς ανέμους της περιοχής.



*Εικόνα 5.4. Κίνηση του ανέμου μέσα από οριζόντιους χώρους φρεατίων [23]*

### **5.1.3. Φυσικός ελκυσμός**

Η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του ζεστού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου και του ψυχρού αέρα στο εξωτερικό προκαλούν τη συσσώρευση του θερμού αέρα στο υψηλότερο σημείο του δωματίου και την έξοδο του από την οροφή.

Ο αέρας θερμαινόμενος από εσωτερικά θερμικά φορτία (ανθρώπους, φώτα, θέρμανση) διαστέλλεται και ανέρχεται. Η μετακίνηση του αέρα δημιουργεί διαβάθμιση της πίεσης και άνοδο του

προς τα επάνω. Τα ανοίγματα του κτιρίου κάνουν το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού πιο έντονο. Το βάρος του αέρα εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πυκνότητα (ο κρύος αέρας είναι βαρύτερος από τον ζεστό αέρα στις ίδιες συνθήκες).

Το φαινόμενο του ελκυσμού έχει εφαρμογή κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η διαφορά θερμοκρασίας είναι η μεγίστη.

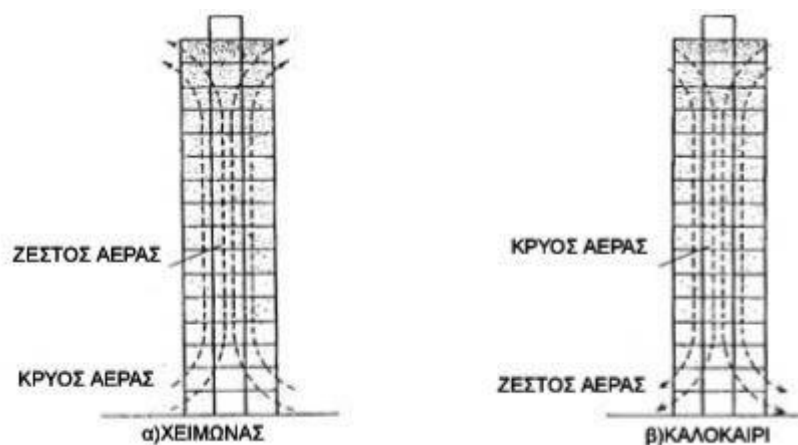
Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες το φαινόμενο του ελκυσμού δεν έχει εφαρμογή γιατί απαιτεί η εσωτερική θερμοκρασία να είναι μεγαλύτερη από την εξωτερική, γεγονός αδύνατον κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Κατά τις νυχτερινές ώρες του καλοκαιριού ο αερισμός όμως είναι πολύ σημαντικός και βοηθά στην απόρριψη της θερμότητας που έχει συσσωρευτεί στο κτίριο κατά τις ώρες της ημέρας.



Εικόνα 5.5. Κατανομή πιέσεων μέσα στον χώρο [23]

Προκειμένου να επιτύχουμε καλύτερο φυσικό αερισμό του κτιρίου με ελκυσμό θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε τις εξής αρχές σχεδιασμού:

1. Εάν τα ανοίγματα εισόδου και εξόδου έχουν ίσο εμβαδόν, δημιουργείται ισορροπημένος και μέγιστος αερισμός του χώρου.
2. Ο λόγος πλάτους –ύψους των ανοιγμάτων πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 1 (τα ανοίγματα πρέπει να τοποθετούνται οριζόντια).
3. Η ελάχιστη κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των ανοιγμάτων εισόδου και εξόδου προκειμένου να δημιουργηθεί το φαινόμενο της καμινάδας είναι 1,5m. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά ύψους που υπάρχει, τόσο καλύτερη ροή του ανέμου παρατηρείται.



*Εικόνα 5.6. Βασικές αρχές σχεδιασμού φυσικού αερισμού με το φαινόμενο του ελκυσμού[23]*

4. Κατακόρυφα φρεάτια και ανοιχτά κλιμακοστάσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να αυξηθεί το φαινόμενο της καμινάδας.

5. Τα ανοίγματα πρέπει να χρησιμοποιούνται σωστά ανάλογα με τις θερμοκρασίες του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος

6. Κάθε μηχανισμός που υπάρχει στην είσοδο και την έξοδο πρέπει να διατηρείται σε καλή κατάσταση και καθαρός προκειμένου ο αέρας εισόδου να διατηρεί τις συνθήκες υγιεινής.

7. Κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν η σωστή λειτουργία του φυσικού αερισμού με τον τεχνητό κλιματισμό του χώρου.



*Εικόνα 5.7. Δημιουργία κατακόρυφων διόδων φρεατίων [23]*

8. Τα ανοίγματα που προκαλούν το φυσικό αερισμό πρέπει να παραμένουν κλειστά όταν ο μηχανικός τρόπος κλιματισμού είναι σε λειτουργία.

9. Τα ανοίγματα εισόδου του αέρα δεν πρέπει να τοποθετούνται σε χώρους στάθμευσης [22].

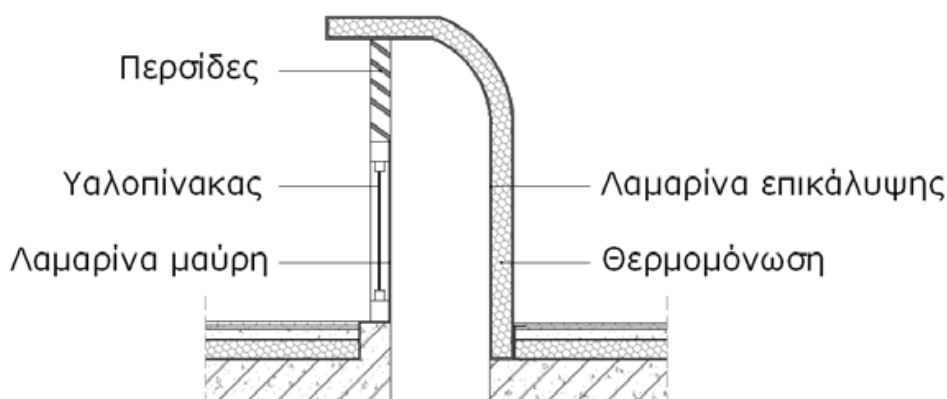


## 5.2. Κατασκευαστικές ρυθμίσεις στο κέλυφος του κτιρίου

Η διασφάλιση φυσικού αερισμού στον εσωτερικό χώρο μπορεί να πραγματοποιηθεί και με κατασκευές ενταγμένες στο κέλυφος του κτηρίου [19].

### 5.2.1. Ηλιακή καμινάδα

Η **ηλιακή καμινάδα** αποτελεί αποτελεσματική τεχνική για το φυσικό αερισμό και την απομάκρυνση της υγρασίας από τον εσωτερικό χώρο. Η συνηθισμένη κατασκευή είναι μια προεξέχουσα από το κέλυφος του κτιρίου κατασκευή (Εικ. 5.8. και Εικ. 5.9.), της οποίας η μια πλευρά, νότια, ανατολική ή δυτική είναι γυάλινη με περσίδες στο άνω μέρος. Μπορεί επίσης να είναι μία ορθογωνική διατομή, προσαρτημένη στην εξωτερική πλευρά του τοίχου, που συνδέεται με τον εσωτερικό χώρο με άνοιγμα/θυρίδα. Στο ανώτατο σημείο της καμινάδας τοποθετείται θυρίδα αερισμού προς το εξωτερικό περιβάλλον, επιτρέποντας τη συνεχή κίνηση του αέρα. Ανάλογα με τη λειτουργία της, για νυκτερινό ή ημερήσιο αερισμό, επιλέγεται ελαφροβαρής ή με μεγάλη θερμική μάζα κατασκευή, αντίστοιχα. Η εξωτερική πλευρά της ηλιακής καμινάδας μπορεί να έχει θερμική μάζα απευθείας εκτεθειμένη στον ήλιο, θερμική μάζα καλυμμένη με γυάλινη εξωτερική επιφάνεια, γυάλινη εξωτερική επιφάνεια και θερμική μάζα στην εσωτερική παρειά της καμινάδας ή κάποια ελαφροβαρή κατασκευή, ή μεταλλική επιφάνεια, κ.ά.



Εικόνα 5.8. Ενδεικτική τομή ηλιακής καμινάδας [23]

Οι μεγαλύτερες αποδόσεις της ηλιακής καμινάδας παρατηρούνται για νότιο ή νοτιοδυτικό προσανατολισμό, με βέλτιστο προσανατολισμό τον τελευταίο. Για ημερήσιο αερισμό, ο ήλιος ζεσταίνει τον αέρα που βρίσκεται μέσα στην καμινάδα ο οποίος γίνεται ελαφρύτερος και

απομακρύνεται προς τα πάνω, ενώ ψυχρότερος αέρας από κάτω τον αντικαθιστά. Για απογευματινό – νυκτερινό αερισμό, η ηλιακή καμινάδα παραμένει κλειστή κατά τη διάρκεια της ημέρας και αποθηκεύει θερμότητα στη θερμική της μάζα, η οποία αποδίδεται στον αέρα όταν αρχίζει ο αερισμός και ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως.

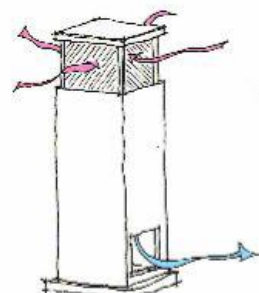
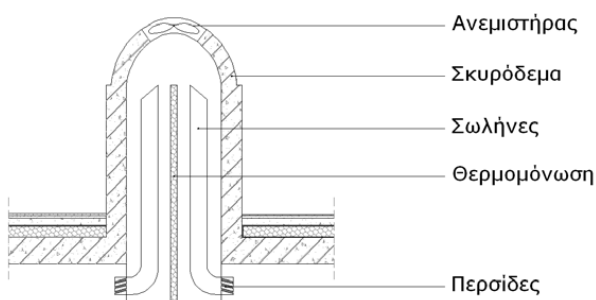


Εικόνα 5.9. Εικ.6.9: Ηλιακή καμινάδα [23]

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται με αποτέλεσμα τη διαρκή ανανέωση του εσωτερικού αέρα και το φυσικό δροσισμό του χώρου. Η εφαρμογή της είναι απολύτως κατάλληλη, όταν μάλιστα αποτελεί και μορφολογικό στοιχείο του οικισμού ή του κτιρίου [19].

### 5.2.2 Η καμινάδα αερισμού

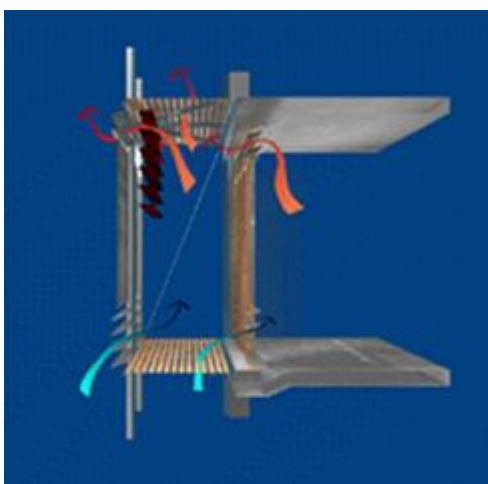
Η καμινάδα αερισμού αποτελεί τεχνική βασιζόμενη στην εξαναγκασμένη κίνηση του αέρα, με την λειτουργία μικρού ανεμιστήρα στην κορυφή, στο άνοιγμα της καμινάδας (Εικ. 5.10.). Η καμινάδα αερισμού λειτουργεί αποτελεσματικά και με τον άνεμο, αρκεί να έχει τον κατάλληλο προσανατολισμό [19].



Εικόνα 5.10. Ενδεικτική μορφή καμινάδας αερισμού [23]

### 5.2.3 Η διπλή επιδερμίδα

Η διπλή επιδερμίδα (ή διπλό κέλυφος) αποτελεί μια νέα τεχνική, η οποία εφαρμόζεται σε κτήρια κατασκευασμένα από γυαλί. Χρησιμοποιείται είτε για την ανανέωση του εσωτερικού αέρα είτε για την απαγωγή της θερμότητας από το εσωτερικό του κτιρίου (Εικ 5.11.). Η διπλή επιδερμίδα αποτελείται από δύο γυάλινες επιφάνειες με ενδιάμεσο κενό, στο οποίο κινείται αέρας. Η λειτουργία της βασίζεται στο φαινόμενο Venturi, όπως και η ηλιακή καμινάδα. Για την ενεργειακή απόδοση του συστήματος είναι αναγκαία η ύπαρξη θυρίδων στην βάση του ανοίγματος για την είσοδο φρέσκου αέρα και στην κορυφή του για την απαγωγή του ζεστού αέρα. Πρέπει, ωστόσο, να τονιστεί ότι απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή για την σκίαση του εσωτερικού χώρου, προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα θάμβωσης ή απευθείας πρόσπτωσης του ήλιου σε επιφάνειες που χρησιμοποιούνται από τους εργαζόμενους (κτήρια γραφείων). Προς τούτο επιβάλλεται η πρόβλεψη σκιάστρων/περσίδων στο κενό, ανάμεσα στις δυο γυάλινες επιφάνειες, σε επαφή με την εσωτερική παρειά του γυαλιού [19].

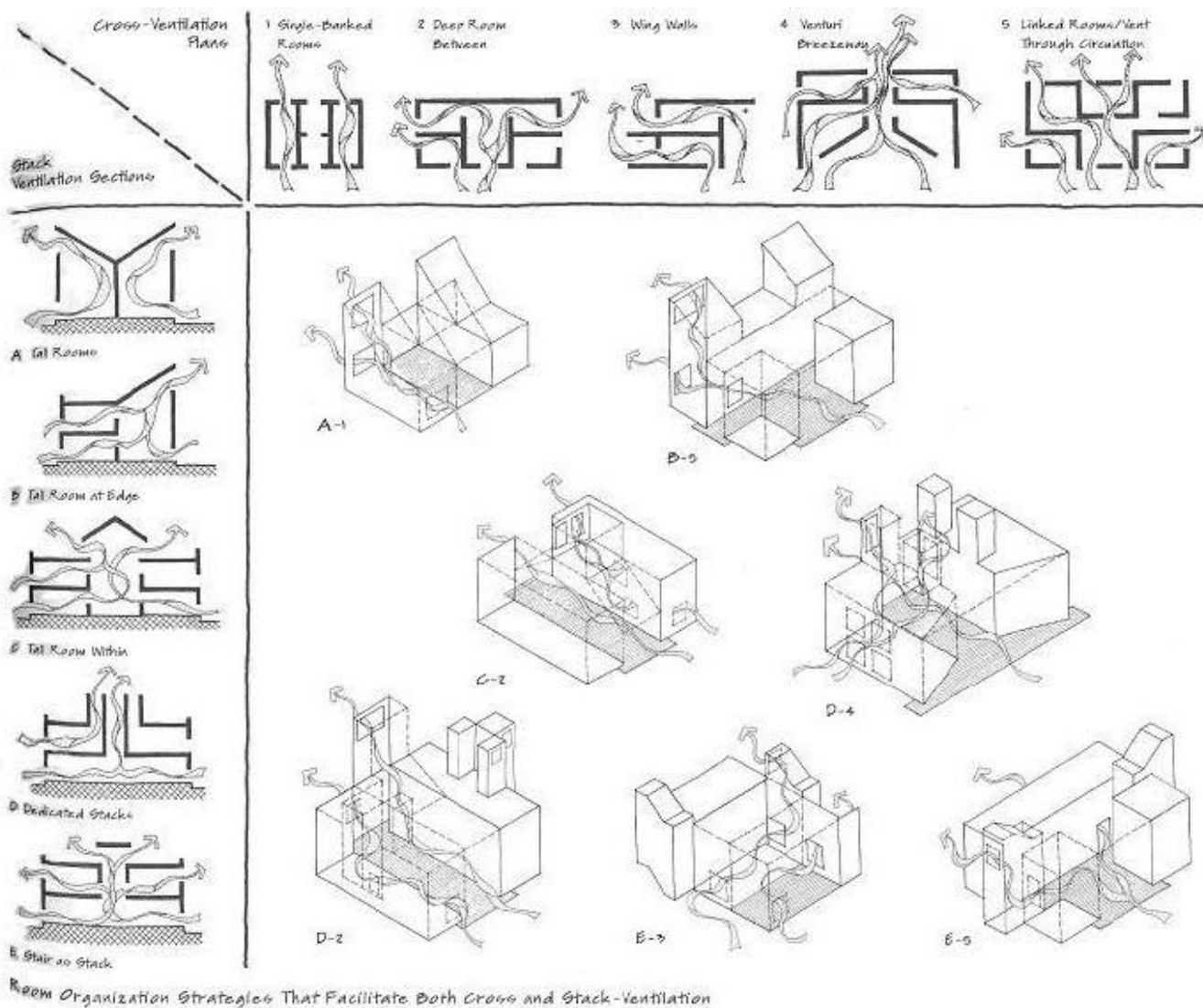


*Εικόνα 5.11. Φυσική κυκλοφορία του αέρα –θερμού, δροσερού- στο ενδιάμεσο κενό της διπλής επιδερμίδας  
[www.battlemccarthy.com](http://www.battlemccarthy.com)*

### 5.2.4 Αεριζόμενο κέλυφος

Πρόκειται για κατασκευή διπλού κελύφους, είτε στο δώμα είτε στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου με ενδιάμεσο κενό, μέσα στο οποίο κυκλοφορεί εξωτερικός αέρας. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το αεριζόμενο κέλυφος συμβάλλει στη μείωση της θερμικής επιβάρυνσης της πλάκας της οροφής ή του τοίχου από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Το αεριζόμενο κέλυφος μπορεί να συνεισφέρει και στην αυξημένη θερμική προστασία του κτιρίου κατά τους χειμερινούς μήνες, γιατί περιορίζονται οι θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον. Ως προς την κατασκευή του

αεριζόμενου δώματος απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην τοποθέτηση της θερμομόνωσης, η οποία πρέπει να βρίσκεται σε επαφή με την πλάκα του οπλισμένου σκυροδέματος. Το κενό, στο οποίο κυκλοφορεί ο αέρας, δημιουργείται επάνω από τη θερμομόνωση και ακολουθούν οι στρώσεις στεγάνωσης [19].



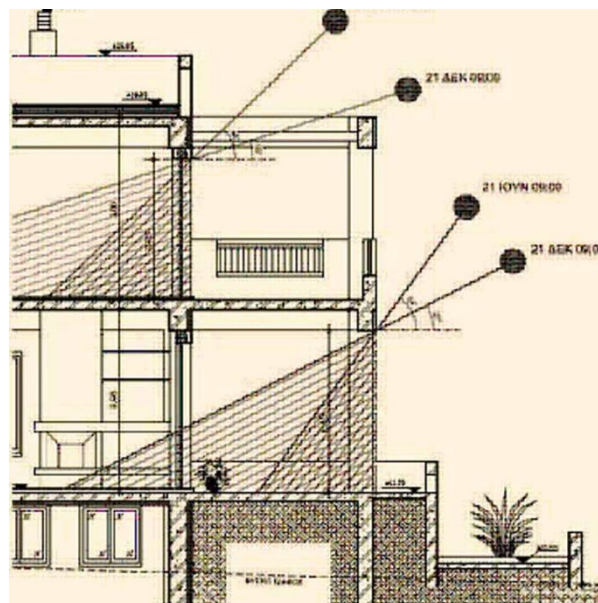
Εικόνα 5.12. Αρχές λειτουργίας αερισμού [19]

## Κεφάλαιο 6. Φυσικός Φωτισμός

### 6.1. Συστήματα φυσικού φωτισμού και τεχνικές

Ο φυσικός φωτισμός, έχει ως άμεσο στόχο την επίτευξη της οπτικής άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων αλλά και την βελτίωση της ποιότητας ζωής μέσα στους χώρους στους οποίους καταναλίσκουμε μεγάλο μέρος της ζωής μας. Για να επιτευχθεί αυτό συνδυάζεται το φως, η θέα εφόσον υπάρχει, η αξιοποίηση και η ρύθμιση της ηλιακής ενέργειας αλλά και η δυνατότητα αερισμού. Στη φάση του σχεδιασμού των συστημάτων φυσικού φωτισμού θα πρέπει να αξιοποιείται, η μεγαλύτερη και αποτελεσματικότερη κάλυψη των αναγκών της κατοικίας σε φυσικό φωτισμό, λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση του κάθε δωματίου και τις απαιτήσεις αυτού σε φωτισμό ανάλογα με τις δραστηριότητες που θα επιτελούνται σε αυτό.

Για να εξασφαλιστεί η οπτική άνεση, αξιοποιώντας το φυσικό φως, θα πρέπει να σχεδιαστούν και να χρησιμοποιηθούν τα ιδανικά συστήματα καθώς και οι τεχνικές, οι οποίες θα παρέχουν σε κάθε χώρο ικανή ποσότητα φυσικού φωτισμού, αλλά και ομαλή κατανομή αυτού, προς αποφυγή της θάμβωσης. Όλα αυτά εξαρτώνται από τα ανοίγματα, τη γεωμετρία του χώρου και τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά των αδιαφανών επιφανειών και των υαλοπινάκων [24].



**Εικόνα 6.1.** Διείσδυση φυσικού φωτός [www.michanikosapps.g](http://www.michanikosapps.g)

### 6.1.1. Κατηγορίες συστημάτων φυσικού φωτισμού

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παροχή φυσικού φωτισμού στα κτίρια ταξινομούνται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες: τα παράθυρα (ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία), τα ανοίγματα οροφής, τους φωταγωγούς και τα αίθρια. Αυτά τα συστήματα συνδυάζονται με συγκεκριμένες τεχνικές σχετικές με το σχεδιασμό ανοιγμάτων, τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά των επιφανειών όπως το χρώμα, η υφή και η φωτοδιαπερατότητα των υλικών, τις οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων και τη χρήση των ανακλαστήρων. Με αυτό τον τρόπο επιθυμείται η εξασφάλιση της επάρκειας και της ομαλής κατανομής του φυσικού φωτός στους εσωτερικούς χώρους της κατοικίας [25].

### 6.1.2. Τεχνικές φυσικού φωτισμού

Οι συνήθεις τεχνικές φυσικού φωτισμού που εφαρμόζονται αποτελούνται από πέντε κατηγορίες: α)τους υαλοπίνακες, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται σε θερμοχρωμικούς, φωτοχρωμικούς, ηλεκτροχρωμικούς, απορροφητικούς, σε υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής, σε έγχρωμους και αντανακλαστικούς υαλοπίνακες. β)τα πρισματικά φωτοδιαπερατά στοιχεία, γ)τους ανακλαστήρες (ή ράφια φωτισμού), δ)τις ανακλαστικές περσίδες και ε)τα διαφανή μονωτικά υλικά. Η εξασφάλιση φυσικού φωτισμού, απαιτεί καλό και προσεκτικό σχεδιασμό, ο οποίος θα πρέπει να συμπεριληφθεί από τα αρχικά στάδια της αρχιτεκτονικής μελέτης, διότι είναι πιο αποτελεσματική μέθοδος συγκρινόμενη με την εφαρμογή των τεχνικών μεθόδων φυσικού φωτισμού στο τέλος της μελέτης. Είναι σημαντικός ο έλεγχος και η σωστή διαστασιολόγηση των ανοιγμάτων, διότι έτσι αποφεύγονται τα προβλήματα θάμβωσης, υπερθέρμανσης, ή και υπερβολικής ψύξης. Με τη χρήση του φυσικού φωτισμού εξοικονομείται ενέργεια, καθώς περιορίζεται το ψυκτικό φορτίο που απαιτεί ο τεχνητός φωτισμός, όπως επίσης περιορίζεται η ατμοσφαιρική ρύπανση, διαμορφώνοντας έτσι ένα υγιές περιβάλλον στο χώρο που. Για την εξασφάλιση του φυσικού φωτισμού είναι αναγκαία η πραγματοποίηση κάποιων δαπανών, οι οποίες εξαρτώνται από το μέγεθος και τη διαμόρφωση του κτιρίου, το σύστημα κουφωμάτων καθώς και από το κάθε εμπόδιο στο φωτισμό του κτιρίου [26].

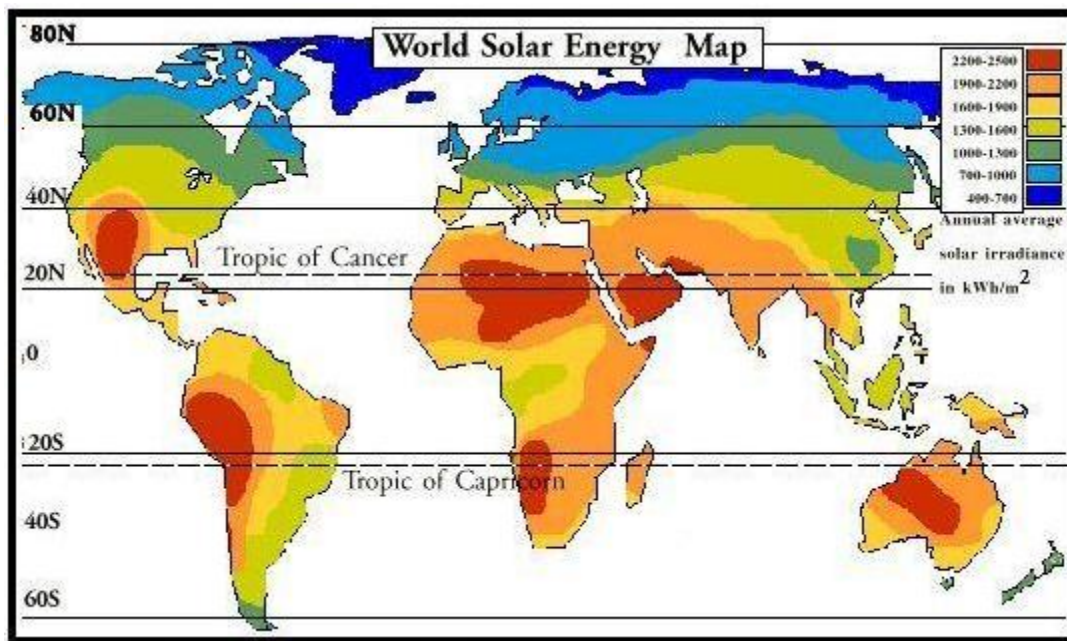
Κατά το σχεδιασμό συστημάτων φυσικού φωτισμού, κρίνεται απαραίτητος ο καθορισμός της στάθμης της έντασης του φωτός που πρέπει να εξασφαλιστεί. Αν αδυνατεί ο φυσικός φωτισμός, αυτή η στάθμη καλείται κρίσιμη στάθμη έντασης φωτισμού. Ο καθορισμός της είναι μια περίπλοκη διαδικασία διότι υπόκειται σε υποκειμενικούς παράγοντες και ποικίλες περιστάσεις. Η ανθρώπινη συμπεριφορά είναι αυτή που καθορίζει τη διαφορά μεταξύ κρίσιμη στάθμης έντασης φωτισμού και

απαιτήσεις για ηλεκτρικό φωτισμό, δεν υπάρχουν κάποιοι απόλυτοι κανόνες. Ο μελετητής θα πρέπει να θέσει λοιπόν ως στόχο, την παροχή λογικής ποσότητας φωτισμού ανάλογα με τον τρόπο χρήσης του κάθε χώρου, ενώ παράλληλα θα πρέπει να εξασφαλίζει ευχάριστη ποιότητα φωτός. Όπως προαναφέρθηκε, το άτομο είναι αυτό που θα επιλέξει σε ποια στάθμη της έντασης του φωτός αισθάνεται και λειτουργεί καλύτερα, ανάλογα με τη δραστηριότητά του αλλά και τον τρόπο που το φυσικό φως διεισδύει στο χώρο. Συνήθως η πλειοψηφία των ατόμων προτιμά τις υψηλές εντάσεις φωτισμού κι αυτό το προνόμιο το εξασφαλίζουν οι τεχνικές φυσικού φωτισμού για κάποιες ώρες της ημέρας και με πολύ οικονομικό τρόπο [27].

Ως παράγοντας διανομής φυσικού φωτός ορίζεται ο τρόπος με τον οποίο το φυσικό φως διεισδύει στο κτίριο, εξετάζοντας την κατανομή της εσωτερικής έντασης φωτισμού σε συνάρτηση με τις εξωτερικές συνθήκες φωτισμού. Ο υπολογισμός αυτού του παράγοντα γίνεται με αναφορά στο νεφελώδη ουρανό. Αποτελεί σημαντική παράμετρο περιγραφής του τρόπου που το φυσικό φως εισέρχεται στους εσωτερικούς χώρους του σπιτιού, εφόσον επικρατεί συννεφιά. Ο παράγοντας φυσικού φωτός αποτελεί χαρακτηριστικό στοιχείο της γεωμετρίας του χώρου ενώ είναι ανεξάρτητος της τοποθεσίας και του κλίματος. Επίσης χρησιμοποιείται για την περιγραφή της απόδοσης του συστήματος φυσικού φωτισμού σε ένα προσδιορισμένο εσωτερικό σημείο, όμως δεν προσδιορίζει την ποιότητα φωτισμού του εσωτερικού περιβάλλοντος. Στα σημεία που ο παράγοντας φυσικού φωτός έχει τις ίδιες τιμές με κάποιο άλλο σημείο, ο χώρος είναι τόσο σκοτεινός ή φωτεινός ανάλογα με τον τρόπο που εισέρχεται το φυσικό φως στο χώρο αλλά και από τη στάθμη αντίθεσης στο οπτικό πεδίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφορετικών φωτεινών περιβαλλόντων. Για να είναι πιο κατανοητό, θέτουμε ένα παράδειγμα, στο οποίο, η τιμή φυσικού φωτός σε ένα διάδρομο είναι 1% και είναι πολύ φωτεινό ενώ η ίδια τιμή σε ένα γραφείο το κάνει σκοτεινό. Επίσης, ένα γραφείο ίσως να δείχνει πιο άνετο αν διαθέτει τιμή φυσικού φωτός 3% από ότι θα έδειχνε αν η τιμή ήταν 4%, διότι η πρώτη περίπτωση μπορεί να προκαλεί λιγότερη θάμβωση, έτσι προτιμάται η τοποθέτηση του γραφείου σε ορθή γωνία ως προς το παράθυρο, παρά να τοποθετείται μπροστά από αυτό [28].

Στις τεχνικές φυσικού φωτισμού τίθενται κάποιοι περιορισμοί, που εμποδίζουν την αποτελεσματικότητά τους. Ένας περιορισμός αναφέρεται στην ποσότητα διαθέσιμου φωτός. Κατά τα θερινά μεσημέρια ο τυπικά συννεφιασμένος ουρανός είναι πολύ πιο φωτεινός από μια αντίστοιχη χειμερινή μέρα, διότι η θέση του ήλιου είναι ψηλότερα από το στρώμα των σύννεφων. Το διαθέσιμο φως μπορεί επίσης να περιοριστεί λόγω ύπαρξης γειτονικών κτιρίων ή δέντρων. Τέλος οι στάθμες φωτισμού κατά την έναρξη και λήξη της μέρας παρέχουν λιγοστό φυσικό φωτισμό στο εσωτερικό της κατοικίας. Ένας ακόμη περιορισμός, αναφέρεται στη διάρκεια της μέρας ως προς το γεωγραφικό

πλάτος και την εποχή. Συμπεραίνουμε με βάση τα παραπάνω, ότι κάθε κτίριο διαθέτει μια στάθμη εξωτερικού φωτισμού, η οποία πρέπει να ξεπεραστεί ώστε οι απαιτήσεις του εσωτερικού περιβάλλοντος να πλησιάζουν το φυσικό φωτισμό. Η διαθεσιμότητα του φυσικού φωτισμού διαφέρει από τόπο σε τόπο, για να μπορέσουμε να περιγράψουμε την κατάσταση φωτισμού θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον όρο που δείχνει πόσο συχνά ξεπερνάτε η τιμή εξωτερικής έντασης φωτισμού που θεωρείται δεδομένη σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα [29].



*Εικόνα 6.2. Παγκόσμιο Ηλιακό δυναμικό [www.foreignaffairs.gr](http://www.foreignaffairs.gr)*

### 6.1.3. Αξιολόγηση της συμπεριφοράς του φυσικού φωτισμού

Οι κρίσιμες εντάσεις φωτισμού εξωτερικού ή εσωτερικού περιβάλλοντος όπως και ο παράγοντας φυσικού φωτός χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς συγκεκριμένων διατάξεων ανοιγμάτων. Για την ενσωμάτωση αυτών των μεθόδων στην αρχιτεκτονική μελέτη, πρέπει πρώτα να γίνουν κάποιες αξιολογήσεις σε ήδη υπάρχοντα κτίρια, ώστε να υπάρχει σύγκριση. Αυτή η αξιολόγηση πραγματοποιείται επιτόπου και περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Επίσκεψη του κτιρίου σε συννεφιασμένη μέρα,
2. Μέτρηση της εξωτερικής έντασης του φωτός στην οροφή,
3. Μέτρηση των εσωτερικών εντάσεων φωτισμού με τη βοήθεια ενός ατόμου που θα καταγράφει το χρόνο των μετρήσεων,



#### 4. Χαρτογράφηση του εσωτερικού χώρου, σε σχέση με τις τιμές του φυσικού φωτός.

Για να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του φυσικού φωτός σε ένα κτίριο κατά τη διάρκεια της αρχιτεκτονικής μελέτης, χρησιμοποιούνται πρότυπα υπό κλίμακα, κι αυτό γιατί η διάδοση του φωτός είναι ανεξάρτητη της κλίμακας διότι η πηγή είναι ιδανική, η επίπλωση μπορεί να προσομοιωθεί, τα χαρακτηριστικά ανάκλασης των τελειωμάτων των επιφανειών είναι παρεμφερή, και η γεωμετρία του προτύπου διατηρεί τις αναλογίες όπως στο πρωτότυπο. Οι τιμές του παράγοντα φυσικού φωτός υπό κλίμακα πρότυπο καθορίζονται με φωτόμετρα, όπως συμβαίνει και σε ένα πραγματικό κτίριο. Η διαδικασία υπολογισμού γίνεται με τη μέτρηση της οριζόντιας έντασης φωτισμού εξωτερικού περιβάλλοντος, με τη μέτρηση της έντασης του φωτός σε συγκεκριμένη θέση στο εσωτερικό της κατοικίας, υπολογίζεται ο λόγος των παραπάνω μετρήσεων, και τέλος χαρτογραφείται η κατανομή του φωτός στο εσωτερικό. Οι ιδανικές συνθήκες πραγματοποίησης αυτού του υπολογισμού είναι σε νεφελώδη πραγματικό ουρανό, διότι προκύπτουν ιδανικά αποτελέσματα.

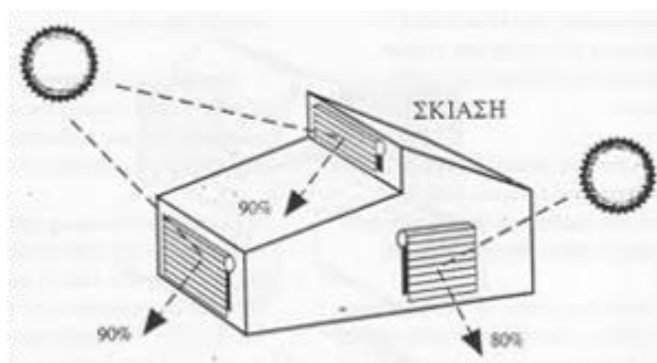
Η απόδοση του φυσικού φωτισμού σε ένα κτίριο μπορεί ακόμα να αξιολογηθεί μέσω λογισμικών προγραμμάτων που διαθέτουν μεθόδους προσομοίωσης των πολλαπλών ανακλάσεων του φωτός. Ο παραπάνω υπολογισμός περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Την προσομοίωση της πηγής του φωτός σε σχέση με τον τύπο ουρανού και τη θέση του ήλιου,
2. Την προσομοίωση του εξωτερικού περιβάλλοντος λαμβάνοντας υπόψη την ανάκλαση του φωτός από το έδαφος και τα άλλα στοιχεία του κτιρίου που βρίσκονται στο εξωτερικό του, αλλά και τα εμπόδια που προκαλούν τα γύρω κτίρια,
3. Την προσομοίωση της διείσδυσης του φωτός μέσω των συστημάτων φυσικού φωτισμού του κτιρίου,
4. Την προσομοίωση της διάδοσης του φωτός σε διάφορους χώρους, η οποία περιλαμβάνει επίσης και την προσομοίωση της ανάκλασης ή της μεταφοράς του φωτός στις επιφάνειες,
5. Την παρουσίαση της τελικής διανομής του φωτός ως λαμπρότητα ή ως ένταση φωτός.

Αυτή η απόδοση είναι η ιδανική και δεν είναι συνήθως εφικτή. Η συχνότερη μέθοδος που χρησιμοποιούν τα λογισμικά προγράμματα περιλαμβάνουν απλοποιημένες προσεγγίσεις του αριθμού των χώρων (μελετάται συνήθως ένας χώρος), της γεωμετρίας (λαμβάνεται υπόψη πως ο χώρος έχει απλή γεωμετρική κατασκευή), των επιφανειών (όπου αυτές παρουσιάζονται κατά τέτοιο τρόπο που να φαίνεται πως διαχέει τέλεια το φως), του αριθμού των ανακλάσεων του φωτός (όπου το φως που διαχέεται σε μια κοιλότητα διάχυσης μέσω πολλαπλών ανακλάσεων, προσομοιώνεται), τα

αποτελέσματα, τα οποία εμφανίζονται ως καμπύλες ίσης έντασης του φωτός ή ως καμπύλες παράγοντα φυσικού φωτός. Αυτά τα προγράμματα καταφέρνουν απλά να προσομοιώνουν, και βοηθούν στη λήψη των καταλληλότερων σχεδιαστικών αποφάσεων.

Ο φυσικός φωτισμός μπορεί να αξιοποιηθεί σε χώρους της κατοικίας που οι ανάγκες για φωτισμό είναι περιορισμένες, και το άμεσο ηλιακό φως βελτιώνει ποιοτικά το χώρο. Αυτό μπορεί να εφαρμοσθεί σε διαδρόμους ή χώρους εισόδου. Αντίθετα το άμεσο ηλιακό φως δεν είναι αποτελεσματικό σε γραφεία και πολυσύχναστους χώρους του σπιτιού καθώς προκαλείται θάμβωση και μειωμένη άνεση. Το ηλιακό φως σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά έμμεσα, με το να διαχέεται ή να κατευθύνεται στην οροφή και τους τοίχους. Οι τρόποι που το ηλιακό φως μπορεί να εισέλθει στο χώρο χωρίς να προκαλεί θάμβωση, γίνεται με τη χρήση ανακλαστήρων κι άλλων σταθερών ή κινητών στοιχείων αυτά αποτελούνται από τους φωταγωγούς, τους φεγγίτες οροφής, τους φεγγίτες ανάκλασης, το αίθριο, τους εξωτερικούς ανακλαστήρες, τα πρισματικά στοιχεία, τους ειδικούς φωταγωγούς, τα ανακλαστικά στόρια, τις οριζόντιες γρίλιες, τα στόρια σκίασης, τις κεκλιμένες / ανακλαστικές επιφάνειες. Εκτός από αυτά τα στοιχεία εξίσου σημαντικός είναι ο προσανατολισμός της κατοικίας.



**Εικόνα 6.3.** Ανάκλαση φυσικού φωτός [www.enforce-eeen.eu](http://www.enforce-eeen.eu)

Ο σχεδιασμός των συστημάτων φυσικού φωτισμού, απαιτεί κατάλληλη οργάνωση και λήψη των κατάλληλων μέτρων ώστε να μην αλλοιωθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτά είναι:

1. Ο τρόπος που είναι οργανωμένοι οι εσωτερικοί χώροι, ώστε να εκπληρώνονται οι απαιτήσεις του κάθε χώρου σε φυσικό φωτισμό. Έτσι ιεραρχούνται οι χώροι με προτεραιότητα σε αυτούς που έχουν μεγαλύτερες ανάγκες σε φυσικό φωτισμό.

2. Ο τρόπος κατανομής και διαστασιολόγησης των ανοιγμάτων, ανάλογα με τον όγκο των εσωτερικών χώρων που θα φωτιστούν. Συνίσταται η δημιουργία όπου είναι απαραίτητο ανοιγμάτων οροφής αλλά και χρήση έμμεσων συστημάτων φωτισμού ώστε να φωτίζονται και τα πιο βαθιά μέρη του σπιτιού.
3. Η ανάλυση της τοποθεσίας, κατά την οποία επιλέγεται ως κύρια όψη αυτή με την καλύτερη θέα, επιλέγεται έτσι ο προσανατολισμός και οι όψεις του κτιρίου, επιπλέον εξακριβώνεται η διαθεσιμότητα του ηλιακού φωτός στο συγκεκριμένο σημείο.
4. Η επιλογή των κατάλληλων υλικών ανάλογα με τη λειτουργία την ποιότητα των εσωτερικών χώρων, αλλά και η κατάλληλη επιλογή χρωμάτων καθώς τα θερμά χρώματα φωτίζουν ένα χώρο που προσλαμβάνει περιορισμένη ποσότητα φυσικού φωτός δημιουργώντας ένα καλύτερο περιβάλλον.
5. Ο ακριβής σχεδιασμός των διατάξεων σκίασης, διότι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι περίοδοι με συννεφιά και η επιλογή λύσεων που να βοηθούν το φως να εισέλθει στο κτίριο και να βελτιώσει το εσωτερικό περιβάλλον.
6. Η επαλήθευση της απόδοσης, σε αυτή την περίπτωση πρέπει να αξιολογείται το πόσο καλά εισέρχεται το φως στο κτίριο κάτι που πραγματοποιείται με τρεις μεθόδους. Με την κατασκευή ενός προτύπου υπό κλίμακα έτσι αξιολογείται η διείσδυση του φωτός σε πραγματικές συνθήκες με τη βοήθεια του φωτόμετρου, με τη χρήση ενός λογισμικού προγράμματος αν και δύσκολα προσομοιώνουν μια μελέτη με ακρίβεια και με τη σύγκριση του σχεδίου με κάποιο υπάρχον κτίριο παρόμοιας διαμόρφωσης.
7. Η λεπτομερής ανάλυση της απόδοσης, κατά την οποία προσαρμόζουμε τη διάταξη κατά τέτοιο τρόπο που να βελτιώνει την απόδοση. Αυτό επιτυγχάνεται με την αλλαγή κάποιων κατασκευαστικών λεπτομερειών αλλά και με αλλαγή του μεγέθους των ανοιγμάτων. Θα πρέπει όμως να δοθεί προσοχή στη συντήρηση η οποία θα πρέπει να είναι εύκολη και οικονομική.
8. Η ανάπτυξη μιας σαφούς και ολοκληρωμένης στρατηγικής ηλεκτρικού φωτισμού που να λαμβάνει υπόψη τις ζώνες φυσικού φωτός και να μεριμνά το μέρος που θα τοποθετηθούν τα φωτιστικά αλλά και τον αριθμό των λαμπτήρων που θα συνδέουν τον κάθε διακόπτη. Τέλος μπορούν να αξιολογηθούν τα οφέλη του φωτισμού καθώς και ο αυτόματος έλεγχος συνολικού ηλεκτρικού φωτισμού σχετικά με το διαθέσιμο ηλιακό φως [28].

## 6.2. Κατηγορίες Συστημάτων

Στα συστήματα φυσικού φωτισμού όπως έγινε αναφορά παραπάνω συμπεριλαμβάνονται τα ανοίγματα οροφής, τα αίθρια, οι φωταγωγοί, τα ράφια φωτισμού – ανακλαστήρες και οι περσίδες.

### 6.2.1. Ανοίγματα οροφής

Τα ανοίγματα οροφής παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με τα κοινά ανοίγματα στην τοιχοποιία, γι' αυτό και συγκαταλέγονται σε ειδική κατηγορία συστημάτων φυσικού φωτισμού. Τα πλεονεκτήματα που διαθέτουν είναι ότι παρέχουν μεγάλη ποσότητα διάχυτου φωτός, μπορούν να διαθέτουν διαφανείς ή ημιδιαφανείς υαλοπίνακες και συντελούν στην ομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτός στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου, λόγω της θέσης τους. Λόγω της θέσης τους συστήνεται η ύπαρξη κάποιου συστήματος ηλιοπροστασίας, όπως περσίδες, πετάσματα και ανακλαστήρες ώστε να αποφεύγεται η θάμβωση που προκαλεί το άμεσο φως. Τα ανοίγματα οροφής ανάλογα με τον τύπο τους μπορεί να είναι είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά. Συνήθως προτιμώνται τα κατακόρυφα ή κεκλιμένα ανοίγματα οροφής από τα οριζόντια, συνδυάζοντας παράλληλα και διατάξεις σκιασμού λόγω της μεγάλης ηλιακής πρόσπτωσης που δέχονται τους θερινούς μήνες. Τέλος, η επιλογή κατασκευής των ανοιγμάτων οροφής βασίζεται σε κριτήρια που αφορούν την οικονομικότητά τους αλλά και την ενεργειακή τους απόδοση συνολικά [30].



*Εικόνα 6.4. Ανοίγματα οροφής [www.cospico.gr](http://www.cospico.gr)*

### 6.2.2. Αίθριο

Το αίθριο ως πηγή φυσικού φωτισμού. Το αίθριο εμφανίζεται σε διάφορες παραλλαγές, είτε ανοιχτό είτε καλυμμένο, συμβάλλει στη βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού, ιδίως σε κτίρια με μεγάλη επιφάνεια διότι παρέχουν διάχυτο φως από τον ουρανό αλλά και από τις συνεχείς

ανακλάσεις στο εσωτερικό τους, το οποίο κατανέμεται ομοιόμορφα δίχως να προκαλεί θάμβωση, αυξάνουν τη στάθμη φωτισμού των χώρων και στην ομοιογενή κατανομή του φωτισμού στην περίπτωση που υπάρχουν κατακόρυφα ανοίγματα που συμβάλλουν στο φωτισμό, συμβάλλουν επίσης στην είσοδο της ακτινοβολίας του ήλιου στις κεντρικές ζώνες του κτιρίου και επηρεάζουν τη στάθμη φωτισμού των χώρων ανάλογα τα οπτικά χαρακτηριστικά των επιφανειών δηλαδή ανάλογα την ανακλαστικότητα των τοίχων, του δαπέδου και τα οπτικά χαρακτηριστικά των υαλοπινάκων που περιβάλλουν το αίθριο ή βρίσκονται στην οροφή αλλά και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αίθριου. Για όλα τα παραπάνω, κρίνεται σημαντικός ο συνυπολογισμός των παραπάνω χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του αίθριου, στην οπτική άνεση των εσωτερικών χώρων συνδυάζοντας τον με την επίδρασή τους στη συνολική ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου [28].

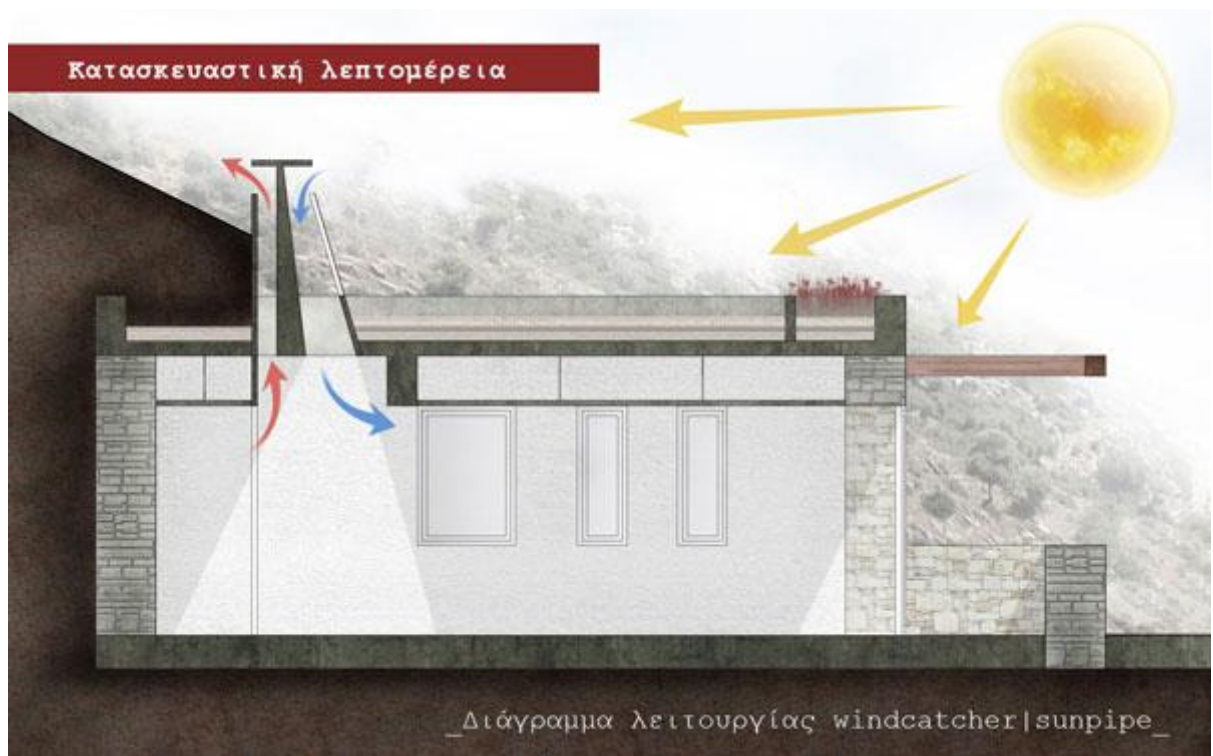


**Εικόνα 6.5.** Αίθριο με ράφια φωτισμού [bio klimatikos piti.blogspot.gr](http://bio klimatikos piti.blogspot.gr)

### 6.2.3. Φωταγωγοί

Οι φωταγωγοί εισάγουν το φυσικό φως σε χώρους όπου είναι δύσκολη η διείσδυση φυσικού φωτός με άλλο τρόπο. Υπάρχουν διάφορα είδη φωταγωγών με ποικιλία διαστάσεων. Οι φωταγωγοί είναι καλό να διαθέτουν ανακλαστικές επιφάνειες και τα ανοίγματά που βλέπουν σε αυτούς είναι χρήσιμο να διαθέτουν ανακλαστήρα ο οποίος θα διοχετεύει το φως στους χώρους διαβίωσης. Η χρήση ανακλαστήρα στο σημείο εισόδου του φωτός από τον φωταγωγό, συμβάλλει στη βελτίωση της αποδοτικότητας τους, διότι ο ανακλαστήρας έχει την ικανότητα να εκτρέπει τις ηλιακές ακτινοβολίες προς τα κάτω. Η αποδοτικότητα του φωταγωγού μπορεί να αυξηθεί και με την ενσωμάτωση ηλιοστάτη, καθώς διαθέτει καθρέπτη και λειτουργεί ακολουθώντας την πορεία του ήλιου καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας.

Μια άλλη λειτουργία των φωταγωγών συνδέεται με τη δυνατότητα αερισμού του χώρου φυσικά. Μια μορφή φωταγωγών, οι φωτοσωλήνες χρησιμοποιούνται για το φωτισμό ενός ή περισσότερων ορόφων, η μέγιστη απόδοσή τους εξασφαλίζεται σε περιορισμένο μήκος φωτοσωλήνα ανάλογα τον τύπο και τον κατασκευαστή [24,26].



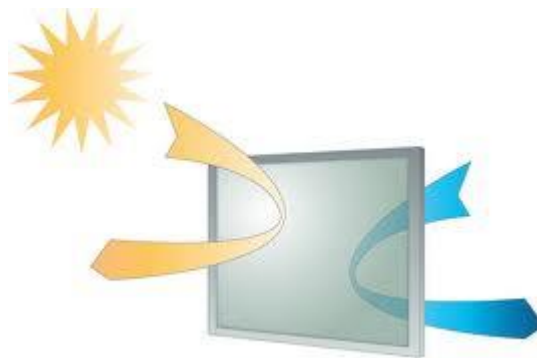
**Εικόνα 6.6.** Διείσδυση φυσικού φωτός και αέρα μέσω φωταγωγού [www.greekarchitects.gr](http://www.greekarchitects.gr)

#### 6.2.4. Ειδικό Υαλοπίνακες

Κατά την κατασκευή του κτιρίου συστήνεται η χρήση ειδικών υαλοπινάκων οι οποίοι μπορούν να συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση, ψύξη και φωτισμό αλλά και στη βελτίωση της οπτικής και θερμικής άνεσης των εσωτερικών χώρων της κατοικίας. Οι υαλοπίνακες διαθέτουν σταθερές, μεταβαλλόμενες και ρυθμιζόμενες ιδιότητες ανάλογα με τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Οι ειδικοί υαλοπίνακες χωρίζονται σε 9 κατηγορίες και διαφοροποιούνται από τους απλούς υαλοπίνακες ως προς τα φωτομετρικά και θερμικά τους χαρακτηριστικά. Οι κατηγορίες των ειδικών υαλοπινάκων είναι οι ανακλαστικοί υαλοπίνακες, οι έγχρωμοι, οι θερμομονωτικοί, οι ηλεκτροχρωμικοί, οι φωτοχρωμικοί, οι θερμοχρωμικοί, οι επίλεκτοι υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής, και οι υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων [27].

Οι ανακλαστικοί υαλοπίνακες λειτουργούν ανακλώντας σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών, ωστόσο μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο αλλά και στα γύρω σπίτια [31].



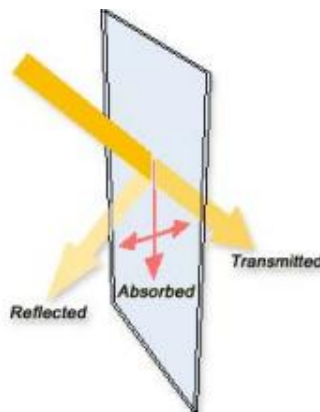
**Εικόνα 6.7.** Ανακλαστικός υαλοπίνακας [www.vasglass.gr](http://www.vasglass.gr)

Οι έγχρωμοι υαλοπίνακες παρουσιάζουν χαμηλή θερμοπερατότητα και μειωμένη φωτοδιαπερατότητα λόγω χημικής επεξεργασίας που έχουν υποστεί και χρησιμοποιούνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου.



**Εικόνα 6.8.** Έγχρωμοι υαλοπίνακες [www.legakisglass.com](http://www.legakisglass.com)

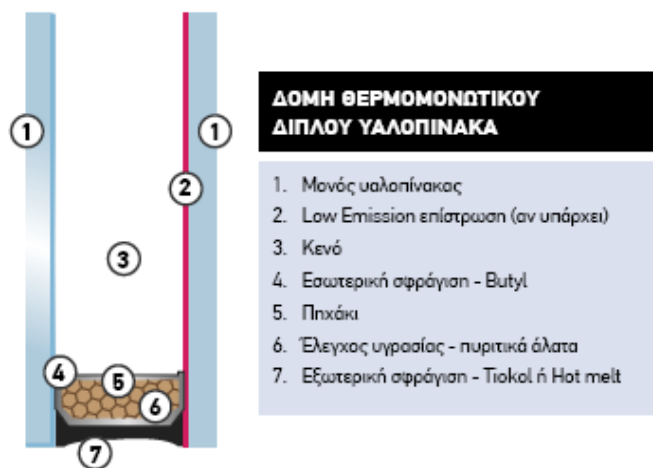
Οι απορροφητικοί υαλοπίνακες λειτουργούν απορροφώντας μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας περιορίζοντας τη θερμοπερατότητα χωρίς όμως να μειώνουν σε μεγάλο μέρος την φωτοδιαπερατότητα. Χρησιμοποιούνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου και δεν προκαλούν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου, σε αντίθεση με τους ανακλαστικούς υαλοπίνακες.



**Εικόνα 6.9.** Απορροφητικός υαλοπίνακας [www.sunandshadow.gr](http://www.sunandshadow.gr)

Οι θερμομονωτικοί υαλοπίνακες διαθέτουν αυξημένη θερμομονωτική ικανότητα όπως και οι διπλοί ή τριπλοί υαλοπίνακες, όμως οι θερμομονωτικοί περιέχουν στο διάκενό τους αντί για αέρα κάποιο άλλο υγρό όπως το αργό. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κτίρια που διαθέτουν μεγάλα ανοίγματα και απαιτείται υψηλή μόνωση του κελύφους.





**Εικόνα 6.10.** Θερμομονωτικός υαλοπίνακας [www.yalodomi.gr](http://www.yalodomi.gr)

Οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν τα οπτικά τους χαρακτηριστικά και τη διαπερατότητά τους αν διοχετευτεί σε αυτά ηλεκτρικό ρεύμα.

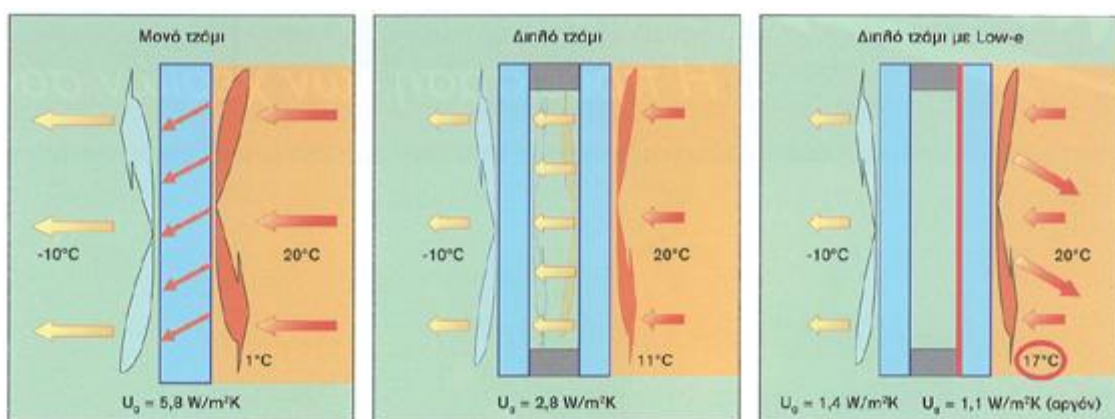
Οι φωτοχρωμικοί υαλοπίνακες, όπως και οι ηλεκτροχρωμικοί μεταβάλλουν τις ιδιότητές τους δηλαδή τα οπτικά τους χαρακτηριστικά ανάλογα με το ποσό προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Ενώ η φωτοδιαπερατότητά τους μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας.

Οι θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες μεταβάλλουν τις οπτικές τους ιδιότητες ανάλογα με την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος και όταν για παράδειγμα αυτή αυξάνεται μεταβάλλονται από διαφανείς σε γαλακτόχρωμους.

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ/ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΕ ΤΥΠΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΙΠΛΩΝ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΩΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ΣΕ 4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ			
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ	Εξοικονόμηση ενέργειας (kWh)	Εξοικονόμηση πετρελαίου (λίτρα)
ΦΛΩΡΙΝΑ	Διπλός 4-6-4	12.216	1.222
	Διπλός 4-12-4	14.381	1.438
	Διπλός-χαμηλής εκπομπής με αργό 4-12-4	16.421	1.642
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	Διπλός 4-6-4	8.551	855
	Διπλός 4-12-4	10.007	1.001
	Διπλός-χαμηλής εκπομπής με αργό 4-12-4	11.604	1.160
ΑΘΗΝΑ	Διπλός 4-6-4	5.192	519
	Διπλός 4-12-4	6.016	602
	Διπλός-χαμηλής εκπομπής με αργό	7.473	747
ΧΑΝΙΑ	Διπλός 4-6-4	4.191	419
	Διπλός 4-12-4	4.449	445
	Διπλός-χαμηλής εκπομπής με αργό 4-12-4	5.491	549

**Εικόνα 6.11.** Εξοικονόμηση ενέργειας και πετρελαίου σε σχέση με την περιοχή και τον τύπο του υαλοπίνακα [www.cres.gr](http://www.cres.gr)

Οι επίλεκτοι υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low-e) λειτουργούν εμποδίζοντας ένα μεγάλο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας να εισέρχεται προς το κτίριο ή να εκπέμπεται προς το εξωτερικό περιβάλλον ανάλογα τον τρόπο που αυτά τοποθετούνται. Χρησιμοποιούνται για τη μείωση των θερμικών απωλειών ή των κερδών των κτιρίων ανάλογα με τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου και το κλίμα της περιοχής στην οποία βρίσκεται.



**Εικόνα 6.12.** Σύγκριση θερμικών απωλειών μεταξύ μονού τζαμιού - διπλού τζαμιού - διπλού τζαμιού με Low-e

[www.ktizontastomellon.gr](http://www.ktizontastomellon.gr)

Οι υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων, μετατρέπονται από γαλακτόχρωμοι σε διαφανείς με την εφαρμογή τάσης.



**Εικόνα 6.13.** Υαλοπίνακας υγρών κρυστάλλων [www.varnakiotis.com](http://www.varnakiotis.com)

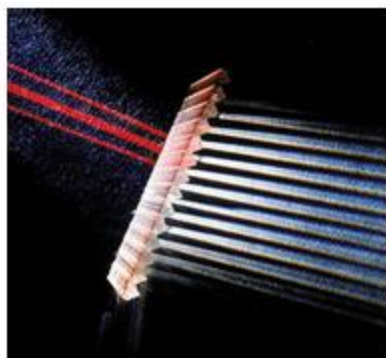
Για να επιλέξει ο μελετητής τον κατάλληλο υαλοπίνακα είναι απαραίτητη η μελέτη της χρήσης του κτιρίου, κατά πόσο ο υαλοπίνακας συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας σε ετήσια βάση και η συνολική οικονομικότητα του συστήματος, δηλαδή το κόστος κατασκευής του, τα οφέλη που θα προκύψουν αλλά και ο χρόνος που θα μεσολαβήσει για να γίνει η απόσβεση. Θα πρέπει επίσης να εξασφαλίζει ο υαλοπίνακας τα οπτικά του και τα θερμικά του χαρακτηριστικά, γι' αυτό και θα πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά με κριτήριο τη συμπεριφορά του στη θέρμανση και το δροσισμό του κτιρίου και σε συνδυασμό με το συνολικό σχεδιασμό των συστημάτων φωτισμού δηλαδή το σχεδιασμό των ανοιγμάτων ώστε να εξασφαλίζει τις απαιτήσεις του κτιρίου σε φυσικό φωτισμό των χώρων του κτιρίου στο μέγιστο δυνατό [32].

ΕΙΔΟΣ ΥΑΛΩΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ U-Value (K)	ΕΜΒΑΔΟΝ ΥΑΛΩΣΗΣ	ΔΙΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΚ Ρ.	ΑΠΩΛΕΙΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕ Σ ΑΠΩΛΕΙΣ / ΜΗΝΑ	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ / ΜΗΝΑ	ΜΗΝΙΑΙΟ ΟΦΕΛΟΣ
ΜΟΝΗ ΥΑΛΩΣΗ	5,7	30 m <sup>2</sup>	20	3.420 Watt	2.462 Kwh	233,73 €	0,00 €
ΔΙΠΛΗ ΥΑΛΩΣΗ ΜΕ 12mm ΔΙΑΚΕΝΟ	2,9	30 m <sup>2</sup>	20	1.740 Watt	1.253 Kwh	118,92 €	114,82 €
ΔΙΠΛΗ ΜΕ 12mm ΔΙΑΚΕΝΟ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ	1,1	30 m <sup>2</sup>	20	660 Watt	475 Kwh	45,11 €	188,63 €

**Εικόνα 6.14.** Είδος υάλωσης σε σχέση με ενεργειακές απώλειες – κόστος – όφελος / μήνα [www.klountzosglass.gr](http://www.klountzosglass.gr)

### 6.2.5. Πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά

Τα πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά είναι στοιχεία που διαθλούν την προσπίπτουσα ακτινοβολία και μπορούν να αποκλείσουν τελείως την είσοδο ή και να αλλάξουν την κατεύθυνση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με την κατασκευαστική τους δομή. Τα πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά είναι καλό να αποφεύγονται στα σημεία που είναι επιθυμητή η θέα προς τα έξω, διότι είναι αδιαφανή. Συνήθως τοποθετούνται στο κέλυφος του κτιρίου ως αυτόνομα στοιχεία ή μεταξύ δύο φύλλων υαλοπινάκων [33].



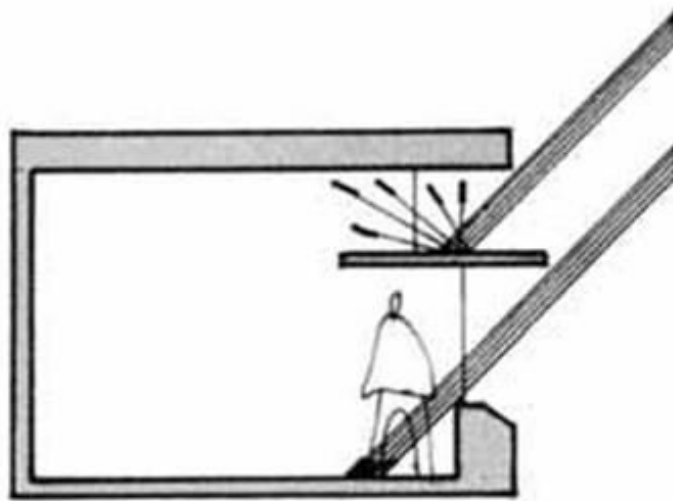
*Εικόνα 6.15.* Πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά [www.cres.gr](http://www.cres.gr)

### 6.2.6. Διαφανή μονωτικά υλικά

Είναι φωτοδιαπερατά υλικά υψηλής θερμομονωτικής ικανότητας, τα οποία αντικαθιστούν τμήματα της εξωτερικής τοιχοποιίας. Η διαφανής μόνωση εν γένει είναι διαχυτική και έχει πολύ καλές οπτικές ιδιότητες, συνδυάζοντας θερμομονωτικές ικανότητες μιας τοιχοποιίας (2-3 φορές υψηλότερη θερμομονωτική ικανότητα από τους διπλούς υαλοπίνακες). Η διαφανής μόνωση μπορεί να τοποθετηθεί σε τοίχους ή και οροφές. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες διαφανών μονωτικών υλικών, τα οποία τοποθετούνται μεταξύ δύο φύλλων υαλοπινάκων ή πλαστικών φύλλων. Η φωτοδιαπερατότητα των διαφανών υλικών κυμαίνεται μεταξύ του 45% και του 80% (με μια μείωση της τάξης του 8% για κάθε φύλλο υαλοπίνακα) [33].

### 6.2.7. Ράφια φωτισμού

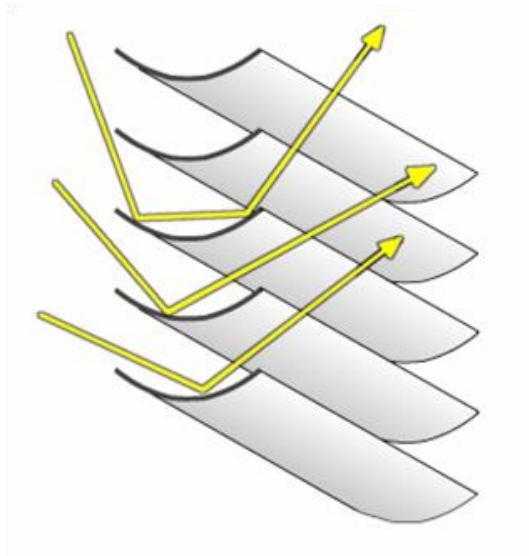
Τα ράφια φωτισμού είναι επίπεδα ή καμπύλα σταθερά στοιχεία, με ανακλαστική επιφάνεια, που στερεώνονται στα πλαίσια των ανοιγμάτων και κατευθύνουν την προσπίπτουσα ακτινοβολία προς τις εσωτερικές επιφάνειες του κτιρίου. Εξασφαλίζουν ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού, αυξάνοντας τη στάθμη του φωτισμού σε απομακρυσμένες από τα παράθυρα ζώνες, μειώνοντας παράλληλα τη στάθμη φωτισμού στη ζώνη των παραθύρων. Για την αποτελεσματική λειτουργία τους απαιτείται υψηλή ανακλαστικότητα της οροφής του χώρου. Η χρήση τους είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε εργασιακούς χώρους, όπου απαιτείται ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού [15].



*Εικόνα 6.16. Ράφια φωτισμού [bioklimatikospiti.blogspot.gr](http://bioklimatikospiti.blogspot.gr)*

### 6.2.8. Ανακλαστικές περσίδες

Είναι κινητά ανακλαστικά στοιχεία, μικρού μεγέθους, που τοποθετούνται στην εσωτερική ή την εξωτερική επιφάνεια του κουφώματος ή και μεταξύ διπλών κουφωμάτων. Ως σύστημα φυσικού φωτισμού λειτουργούν όπως και τα ράφια φωτισμού, εκτρέποντας της ηλιακές ακτίνες προς την επιθυμητή κατεύθυνση στο χώρο (κατά προτίμηση στην οροφή). Οι κινητές περσίδες είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές καθώς επιτρέπουν εύκολα τη ρύθμιση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Τόσο τα ράφια φωτισμού, όσο και οι περσίδες μπορούν και πρέπει να εξασφαλίζουν και την απαιτούμενη, για λόγους θερμικής προστασίας, σκίαση των χώρων, αλλά και τον απαιτούμενο χειμερινό ηλιασμό [33].



**Εικόνα 6.17.** Ανακλαστικές περσίδες [bioklimatikospiti.blogspot.gr](http://bioklimatikospiti.blogspot.gr)

### 6.3. Σκιασμός

Ο σκιασμός του κτιρίου και των ανοιγμάτων επιτυγχάνεται με τη χρήση φυλλοβόλων δέντρων και βλάστησης κατά τέτοιο τρόπο που να διακόπτεται ο ηλιασμός του κτιρίου τη θερινή περίοδο, διότι η βλάστηση μετριάζει την εξωτερική θερμοκρασία λόγω της ιδιότητας του φυλλώματος να απορροφά θερμότητα. Η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων καθώς και η επιλογή κατάλληλου συστήματος σκίασης σε μορφή, μέγεθος και θέση, εξαρτάται από τον προσανατολισμό της όψης. Η σκίαση των ανοιγμάτων είναι απαραίτητη στην εξωτερική πλευρά του κτιρίου για να αποφευχθεί η διείσδυση του ήλιου και η υπερθέρμανση του χώρου. Η τοποθέτηση περσίδων στο εσωτερικό των υαλοστασίων, ως μέσο προστασίας, προσφέρει μείωση της θάμβωσης από το έντονο ηλιακό φως, όμως δεν μπορεί να προστατέψει το κτίριο από την υπερθέρμανση, καθώς η διέλευση του ήλιου από τα τζάμια εγκλωβίζει το ηλιακό φως το οποίο το μετατρέπει σε θερμότητα. Για την επιλογή του καταλληλότερου συστήματος ηλιοπροστασίας των ανοιγμάτων, τα βασικά κριτήρια που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι ο προσανατολισμός της όψης, η αισθητική του κτιρίου και η μορφολογία των ανοιγμάτων, η χρήση του χώρου ανάλογα με το αν είναι κατοικία, εργασιακός χώρος κλπ., καθώς κι ο παράγων οικονομία της κατασκευής, ως αρχική επένδυση και ως κόστος λειτουργίας.



**Εικόνα 6.18.** Σκίαση κτιρίου με χρήση βλάστησης [www.triedrasi.gr](http://www.triedrasi.gr)

Όσον αφορά τον προσανατολισμό, οι μελέτες δείχνουν ότι για το νότιο προσανατολισμό προτιμώνται τα οριζόντια, σταθερά ή κινητά συστήματα σκίασης λόγω της υψηλής τροχιάς του ήλιου τη θερινή περίοδο. Το κρίσιμο σημείο είναι το πλάτος προεξοχής των περσίδων ώστε να διασφαλίζεται ο θερινός σκιασμός των ανοιγμάτων και η διέλευση του ήλιου στο χώρο το χειμώνα. Για τον ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό, προτιμάται η σκίαση των ανοιγμάτων με κατακόρυφες περσίδες καθώς ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά κοντά στον ορίζοντα. Η σταθερή σκίαση δεν είναι αποτελεσματική λύση καθώς εμποδίζεται ο ηλιασμός του χώρου το χειμώνα. Για τον νοτιοανατολικό ή το νοτιοδυτικό προσανατολισμό, είναι ιδανικός, ο συνδυασμός τόσο των οριζόντιων όσο και των κατακόρυφων περσίδων, η οποία ορίζεται από το ύψος και το αζιμούθιο του ηλίου για τους θερινούς μήνες [34].

Συμπεραίνοντας τα παραπάνω, τα σταθερά σκίαστρα ανεξαρτήτως προσανατολισμού, εμφανίζουν αρκετά προβλήματα ως προς την αποτελεσματικότητά τους, ενώ αντίθετα η κινητή εξωτερική ηλιοπροστασία έχει πλεονεκτήματα λόγω της ευελιξίας και της δυνατότητας ρύθμισής τους από τους ενοίκους ανάλογα με τις ανάγκες τους. Το είδος του συστήματος ηλιοπροστασίας, η μορφή και η λειτουργία του εξαρτάται από τον τρόπο χρήσης του κτιρίου και το χρόνο που περνάμε σε αυτό. Στην περίπτωση των κατοικιών χειριζόμαστε διαφορετικά την ηλιοπροστασία καθώς μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες με μια τέντα ενώ παράλληλα να διασφαλίζεται ο φυσικός φωτισμός, χωρίς επιβαρύνσεις σε θάμβωση ή ανακλάσεις φωτός στο επίπεδο εργασίας. Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος ηλιοπροστασίας βασίζεται σε αισθητικά κριτήρια, αλλά και σε ζητήματα συνθετικής

οργάνωσης όπως η σχέση του εσωτερικού με τον εξωτερικό χώρο, η διαφάνεια του κελύφους κλπ. και η διαφοροποιημένη μορφή της ηλιοπροστασίας συναρτήσει του προσανατολισμού και τα πλεονεκτήματα σχεδιαστικών χειρισμών, αποτελούν επιπρόσθετα στοιχεία της συνθετικής οργάνωσης των όψεων του κτιρίου. Όσον αφορά στον οικονομικό παράγοντα, αν και η εξωτερική ηλιοπροστασία είναι ακριβότερη από τη σταθερή και από τη χρήση εσωτερικών περσίδων, η αποδοτικότητά της είναι αρκετά υψηλή καθώς απαλλάσσει τα κτίρια σε μεγάλο ποσοστό από την υπερθέρμανση και τη μείωση της χρήσης κλιματιστικών τα οποία είναι ακριβά αλλά και βλαβερά για την υγεία και το περιβάλλον. Άρα η χρήση των εξωτερικών συστημάτων ηλιοπροστασίας έχει πολλά περισσότερα οικονομικά οφέλη παρά το αρχικό τους υψηλό κόστος.

Η μορφή που θα έχουν τα σκίαστρα που θα χρησιμοποιηθούν, βασίζεται στους ηλιακούς χάρτες και στους μετρητές σκιασμού. Η επιλογή του ηλιακού χάρτη αντιστοιχεί στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Ο μετρητής σκιασμού είναι ίδιος για όλα τα μήκη και πλάτη, διότι δείχνει τις κατακόρυφες γωνίες των οριζόντιων εμποδίων και σκιάστρων του ίδιου κτιρίου που αντιστοιχούν σε γωνίες ύψους από 10ο έως 80ο. Σημαντική είναι η επιλογή του κατάλληλου προσανατολισμού της όψης. Ο ακριβής προσανατολισμός της όψης του κτιρίου καθορίζεται από την κάθετη στη διεύθυνση της όψης και τη χάραξη του βορρά-νότου στο ίδιο σημείο. Αν η κάθετη όψη στην ευθεία ορίζει γωνία αριστερά του νότου τότε είναι στραμμένη προς την ανατολή, ενώ αν βρίσκεται δεξιά του, έχει δυτική όψη [35].

Στα οριζόντια σκίαστρα, χρησιμοποιείται η τομή ανοίγματος-υαλοστασίου κατά την οποία συνδέεται η απόληξη του σκιάστρου με το κατώφλι του παραθύρου, ορίζοντας την κατακόρυφη γωνία που σχηματίζεται ως προς την οριζόντια ευθεία, η οποία προσφέρει σκίαση σε όλο το παράθυρο. Αν προτιμάται η σκίαση στο 50% του ανοίγματος, τότε η απόληξη του σκιάστρου συνδέεται με το μέσο του παραθύρου. Έπειτα, τοποθετείται στο μετρητή σκιασμού ο ηλιακός χάρτης, χαράσσοντας τη γωνία που προσφέρει την σκίαση όπου η περιοχή πάνω από τη γωνία σκιάζεται, ενώ η περιοχή κάτω από τη γωνία δέχεται ήλιο. Αν το σκίαστρο που χρησιμοποιείται καλύπτει τις τροχιές του ήλιου τη θερινή περίοδο τότε η σκίαση που προσφέρει είναι επαρκής. Αν δεν επιθυμείται ένα ενιαίο σκίαστρο υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης μικρότερων περσίδων στις οποίες η κατακόρυφη γωνία είναι σταθερή. Η αποτελεσματικότητα των σκιάστρων βασίζεται στο ποσοστό παρεμποδισμού της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας να εισέλθει στο εσωτερικό της κατοικίας.

Για τα κατακόρυφα σκίαστρα, των ανατολικών και δυτικών όψεων, χρησιμοποιείται η κάτοψη του ανοίγματος και συνδέεται η απόληξη του σκιάστρου με τις αντίστοιχες παραστάδες του

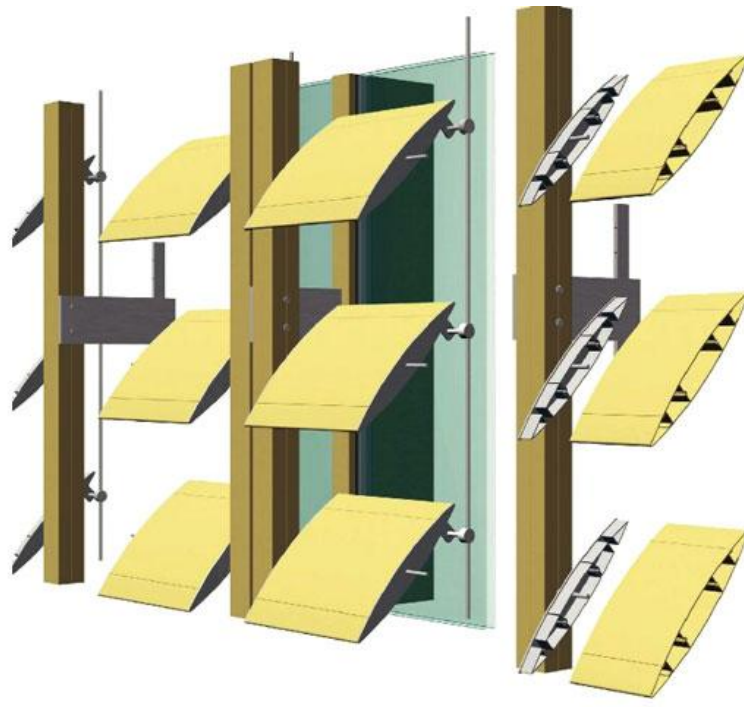


ανοίγματος με αποτέλεσμα να προκύπτουν γωνίες που προσφέρουν πλήρη κάλυψη του ανοίγματος. Για τη μισή κάλυψή του, οι απολήξεις συνδέονται με το μέσο του παραθύρου οπότε προκύπτουν γωνίες. Οι οριζόντιες αυτές γωνίες μεταφέρονται στο ηλιακό διάγραμμα, στην οριζόντια ευθεία των αζιμουθίων και χαράζονται οι κάθετες ως προς τις οριζόντιες ευθείες, όπου πέρα από τις κάθετες ευθείες δημιουργείται σκιά και το υπόλοιπο τμήμα εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία. Αυτός ο τρόπος σκίασης έχει ως αποτέλεσμα τη διακοπή των χαμηλών τροχιών του ήλιου κατά τη θερινή περίοδο στην ανατολική και τη δυτική όψη [24].

Όταν τα κατακόρυφα σκιάστρα δεν είναι κάθετα στο άνοιγμα, αλλά σε κεκλιμένη γωνία, ακολουθείται η ίδια πορεία για την εύρεση της μάσκας σκιασμού. Το πλεονέκτημα είναι ότι οι προεξοχές είναι μικρότερες από τις προεξοχές στο κάθετο επίπεδο του ανοίγματος. Γενικά κατά τον σχεδιασμό της ηλιοπροστασία στην ανατολή και τη δύση, αφού προσδιοριστεί ο προσανατολισμός του ανοίγματος, χαράσσεται η κατεύθυνση των ακτινών του ήλιου και έπειτα σχεδιάζονται οι προεξοχές κατά τέτοιο τρόπο ώστε η αρχή της κάθε προεξοχής να αποτελεί το τέλος της προηγούμενης, ορίζοντας ευθείες παράλληλες στην κατεύθυνση των ακτινών, παρέχοντας ηλιοπροστασία στο άνοιγμα.

Αν ο προσανατολισμός του ανοίγματος είναι νοτιοανατολικός ή νοτιοδυτικός, ακολουθείται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τα οριζόντια και τα κάθετα ανοίγματα για την επίτευξη πλήρους σκιασμού, αλλά θα πρέπει πρώτα να διευκρινιστεί ο προσανατολισμός του ανοίγματος σε σχέση με το νότο, η οποία δείχνει την κατεύθυνση των ακτινών του ήλιου και την κλίση των σκιάστρων.

Τέλος, στις ανατολικές, δυτικές και ενδιάμεσες όψεις προτείνεται η χρήση κινητών σκιάστρων, ώστε να επιτρέπεται η διέλευση του ήλιου στους εσωτερικούς χώρους το χειμώνα, και την πλήρη προστασία του χώρου από τα επιπλέον ηλιακά κέρδη και την προστασία του κτιρίου από την υπερθέρμανση.



**Εικόνα 6.19.** Κινητά σκίαστρα [www.triedrasi.gr](http://www.triedrasi.gr)

Το χρώμα και η υφή των εξωτερικών επιφανειών καθορίζουν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται τόσο από τους τοίχους όσο και από την οροφή, καθώς και την ποσότητα θερμότητας που αποβάλλεται τη νύχτα στην ατμόσφαιρα ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας και τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Οι χώροι που είναι βαμμένοι με σκούρα χρώματα, παρουσιάζουν αυξημένη επιφανειακή θερμοκρασία σε σχέση με τη μέγιστη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, ενώ η αντίστοιχη αύξηση που υφίσταται σε ένα ασβεστωμένο χώρο φτάνει τον  $1^{\circ}\text{C}$ . Αυτό αποδεικνύει πως είναι προτιμότερο να βάφονται οι επιφάνειες με ανοιχτά χρώματα ώστε να μην υπάρχει επιβάρυνση των χώρων της κατοικίας με αυξημένες θερμοκρασίες λόγω της εισερχόμενης θερμότητας μέσω αγωγής ή ακτινοβολίας από την οροφή. Στα θερμά κλίματα προτείνεται παράλληλα με το βάψιμο των επιφανειών με ανοιχτά χρώματα, η τοποθέτηση θερμομόνωσης ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανση [36].

## Κεφάλαιο 7. Θερμομόνωση

### 7.1. Θερμοχωρητικότητα δομικών στοιχείων

Η θερμική χωρητικότητα είναι ένα μέτρο που δείχνει το επίπεδο ενέργειας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού. Αποτελεί το προϊόν της πυκνότητας πολλαπλασιασμένο με τη θερμότητα και τον όγκο του κατασκευασμένου στρώματος. Αυτό υποδεικνύει την θερμότητα που αποθηκεύεται στην κτιριακή δομή. Στον πίνακα που παρατίθεται καταγράφονται οι τυπικές αξίες μιας λίστας δομικών υλικών, συμπεριλαμβανομένου και των εσωτερικών φινιρισμάτων. Γενικά ισχύει ότι όσο υψηλότερη είναι η πυκνότητα του υλικού τόσο υψηλότερη είναι και η θερμοχωρητικότητά του. Γι' αυτό το λόγο, τα κτίρια που έχουν κατασκευαστεί με υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας αναφέρονται ως βαριές κατασκευές ενώ τα κτίρια που έχουν κατασκευαστεί με υλικά χαμηλής θερμοχωρητικότητας χαρακτηρίζονται ως ελαφριάς κατασκευής. Τυπικά ένα κτίριο που διαθέτει ξύλινο σκελετό έχει χαμηλή θερμοχωρητικότητα ενώ ένα κτίριο που διαθέτει σκελετό οπλισμένου σκυροδέματος έχει υψηλή θερμοχωρητικότητα. Παρακάτω δίνεται τυπικός πίνακας θερμοχωρητικότητας υλικών.

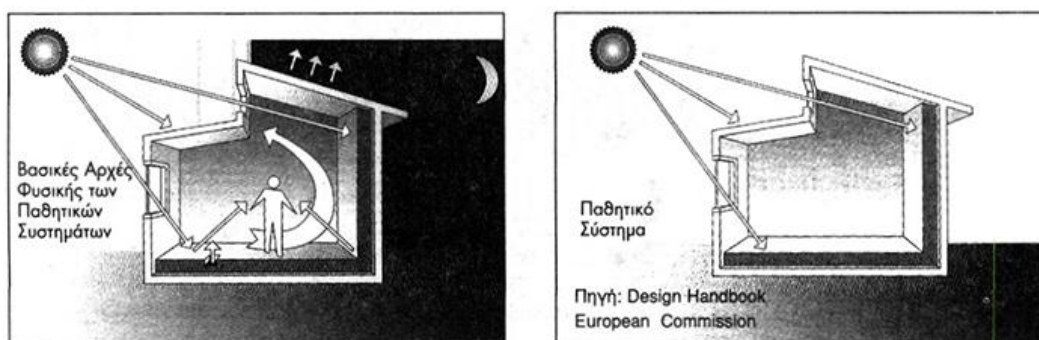
Υλικό	Ημερήσια θερμοχωρητικότητα KJ/°C m <sup>2</sup>				
	Πάχος υλικού				
	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm
Σκυροδέμα	120	200	240	245	245
Φυσικός λίθος	100	175	185	185	185
Τούβλο	80	140	150	150	150
Ξύλο	30	35	35	35	35

Εικόνα 7.1. Ημερήσια θερμοχωρητικότητα σε σχέση με το υλικό και το πάχος του [www.sellandbuild.com](http://www.sellandbuild.com)

Η κύρια επίδραση της αποθηκευμένης θερμότητας στην κτιριακή κατασκευή είναι να μετριάσει τις διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας. Οι βασικές πηγές των διακυμάνσεων είναι οι καθημερινές εναλλαγές στην εξωτερική θερμοκρασία, οι αποκλίσεις στα εσωτερικά θερμικά κέρδη και οι αποκλίσεις στην απορριφθείσα ηλιακή ακτινοβολία. Οι βασικές διαφορές μεταξύ μιας βαριάς και μιας ελαφριάς κατασκευής συναντώνται στα επίπεδα θέρμανσης και ψύξης αλλά και στις αντίστοιχες μέγιστες και ελάχιστες τιμές στις εσωτερικές θερμοκρασίες. Μια ελαφριά κατασκευή, με μικρή θερμική μάζα, θα ζεσταθεί γρηγορότερα σε σχέση με μια πιο βαριά κατασκευή, η οποία

διαθέτει υψηλότερη θερμική μάζα. Επίσης μια ελαφριά κατασκευή θα ψυχθεί πιο γρήγορα από μια βαριά κατασκευή. Εκτός αυτού, σε μια κατοικία με μέτρια ηλιακά κέρδη, μια ελαφριά κατασκευή μπορεί να εμφανίζει ένα σχετικό πλεονέκτημα σε σχέση με μια βαριά κατασκευή λόγω της ιδιότητάς της να θερμαίνει σε μικρό χρονικό διάστημα το χώρο. Αντίθετα, στα κτίρια με σημαντικά ηλιακά κέρδη, προτιμάται η δημιουργία βαριάς κατασκευής λόγω της χαμηλότερης ανάγκης που προκύπτει για θέρμανση και τον έλεγχο προς αποφυγή της υπερθέρμανσης [42].

Σε κάθε κτίριο, η εσωτερική επένδυση των κτιριακών του στοιχείων συμπεριλαμβανομένου των φινιρισμάτων και των εσωτερικών χωρισμάτων, προσδιορίζουν τη θερμοχωρητικότητά του. Γενικά μόνο τα πρώτα εκατοστά του υλικού εμπλέκονται στην αποθήκευση θερμότητας. Τα δάπεδα συνήθως αποτελούν τους κύριους παραλήπτες της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ειδικά το καλοκαίρι όπου οι γωνίες του ήλιου έχουν μεγαλύτερη κλίση. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι τα έπιπλα, τα χαλιά κι άλλα ελαφριά καλύμματα θα εμποδίσουν την αποθήκευση της θερμότητας [43].

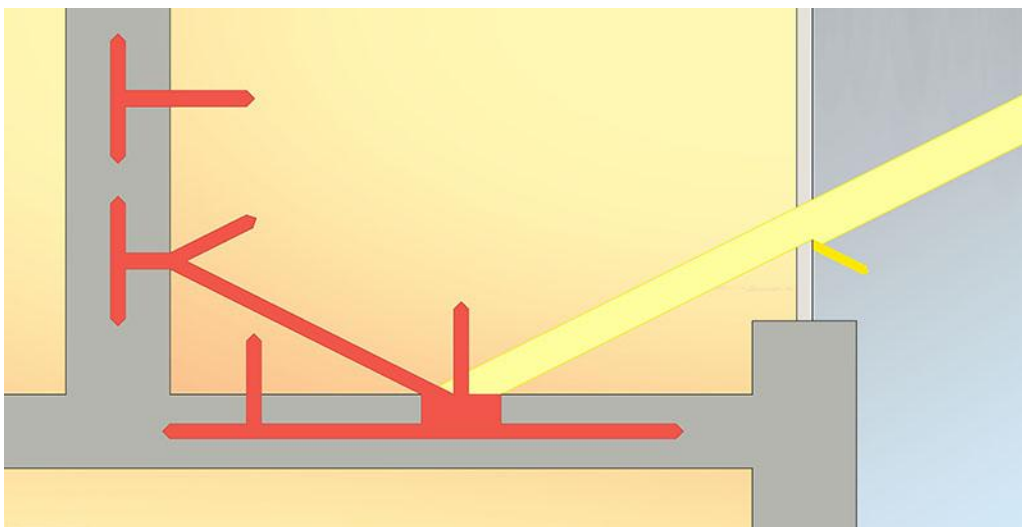


Εικόνα 7.2. Παραλαβή της ηλιακής ακτινοβολίας από τα δάπεδα [ebooks.edu.gr](http://ebooks.edu.gr)

Παρακάτω ακολουθούν γενικές προτάσεις για την κατασκευή με οπλισμένο σκυρόδεμα, κατά την οποία για τα δωμάτια με σημαντικά ηλιακά κέρδη, θα πρέπει να αποφεύγεται η κάλυψη των εσωτερικών χωρισμάτων από σκυρόδεμα αλλά και των τσιμεντένιων δαπέδων με ελαφρά φινιρίσματα. Ενώ για τα δωμάτια που δεν έχουν αρκετά ηλιακά κέρδη ή εσωτερικά θερμικά κέρδη να προτιμούνται τα ελαφρά φινιρίσματα ειδικά αν ο προγραμματισμός θέρμανσης που θα χρησιμοποιηθεί δεν θα είναι συνεχής. Τέλος στις ξύλινες κατασκευές κατοικιών είναι σημαντικό να ενσωματώνονται κάποια εσωτερικά στοιχεία με υψηλή θερμοχωρητικότητα όπως ένας τσιμεντένιος τοίχος ώστε να γίνεται καλή χρήση των ηλιακών κερδών. Είναι πολύ σημαντική η επιλογή υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας, διότι αυτά συμβάλλουν στην αποθήκευση της θερμικής ενέργειας που συλλέγεται δια μέσου των παθητικών ηλιακών συστημάτων. Επιπλέον είναι χρήσιμα στα βιοκλιματικά κτίρια αλλά και σε χώρους συνεχούς χρήσης όπως και σε περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες κατά το

καλοκαίρι. Με τη θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων επιτυγχάνεται μετάδοση της αποθηκευμένης θερμότητας με χρονική καθυστέρηση κατά τέτοιο τρόπο που να συμπίπτει με τις βραδινές ώρες όπου οι ανάγκες σε θέρμανση των εσωτερικών χώρων είναι μεγαλύτερες.

Τα δομικά στοιχεία με υψηλή θερμοχωρητικότητα συνήθως συνδυάζονται με ειδικά σχεδιασμένες αποθήκες θερμότητας οι οποίες είναι συνήθως τα δομικά στοιχεία του κελύφους όπως τα δάπεδα και οι τοιχοποιίες, ή ειδικά διαμορφωμένοι χώροι με υλικά που έχουν την ικανότητα να συλλέγουν και να αποθηκεύουν μεγάλα ποσά θερμότητας. Τα υλικά αυτά είναι είτε λίθοι είτε δοχεία νερού καθώς και πολλά άλλα, και αυτά αποδίδουν τη θερμότητα στο χώρο με φυσικό τρόπο ή εξαναγκασμένα με τη χρήση κάποιων ανεμιστήρων όπου χρειάζεται. Η ύπαρξη, το μέγεθος και το είδος της θερμικής αποθήκης εξαρτάται από τα αναμενόμενα θερμικά οφέλη από τα παθητικά ηλιακά συστήματα, από τη χρήση του χώρου και του κτιρίου αλλά και από τα καιρικά φαινόμενα που επικρατούν κατά το θέρος, και σχετίζεται με τις θερμοκρασίες και την ακτινοβολία [44].



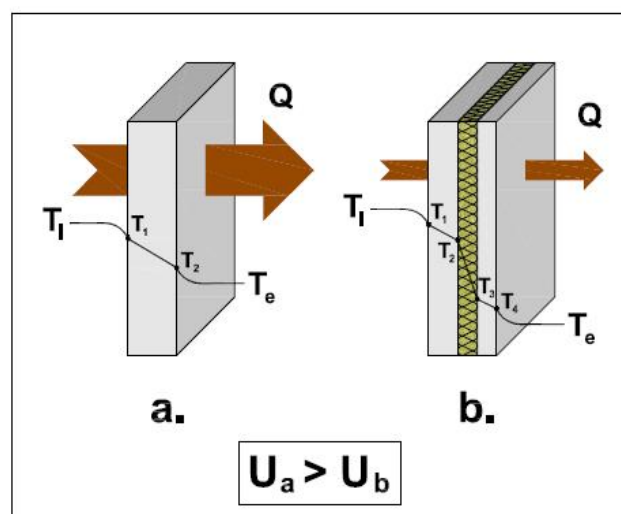
*Εικόνα 7.3. Παγίδευση θερμότητας σε δομικά στοιχεία [www.anelixi.org](http://www.anelixi.org)*

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η χρησιμοποίηση υλικών μεγάλης θερμοχωρητικότητας συμβάλλει στη λειτουργία του κτιρίου ως αποθήκη θερμότητας. Η θερμική αδράνεια της κατασκευής είναι σημαντική ειδικά κατά τη θερινή περίοδο διότι το κτίριο μπορεί να υποθηκεύσει δροσιά στα δομικά στοιχεία του κτιρίου κατά τη διάρκεια της νύχτας αποφεύγοντας έτσι την υπερθέρμανση. Έτσι με τη θερμική αδράνεια επιβραδύνεται η μεταφορά της θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου μέχρι η εξωτερική θερμοκρασία να μειωθεί και το κτίριο να αποβάλλει το πρόσθετο θερμικό φορτίο που

αποθηκεύτηκε στη μάζα του μέσω των διαδικασιών φυσικού αερισμού και ακτινοβολίας της θερμότητας στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Η πιο επιβαρημένη θερμικά περιοχή του κτιρίου είναι η επικάλυψή του καθώς δέχεται όλη τη μέρα την ακτινοβολία του ήλιου. Ένας τρόπος επίλυσης αυτού του προβλήματος είναι οι θολωτές επικαλύψεις σε περιοχές ζεστών και ξηρών καλοκαιριών, διότι έχουν την ικανότητα να διανέμουν την ηλιακή ακτινοβολία σε μεγαλύτερη επιφάνεια σε σχέση με την οριζόντια και κατά τη διάρκεια της νύχτας αυτή η μορφή αποβάλλει μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας μέσω ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, επιταχύνοντας τη διαδικασία φυσικής ψύξης. Όσον αφορά στο κλίμα της Ελλάδας, η παρουσία θερμικής μάζας συμβάλλει στη διατήρηση της θερμικής άνεσης, λόγω της απορρόφησης μεγάλης ποσότητας θερμότητας χωρίς να επιβαρύνει τους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων. Οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις είναι ήπιες με μεγάλη χρονική υστέρηση συμβάλλει στην αποφυγή της χρήσης κλιματιστικών.

Ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να διαθέτει το κτίριο, είναι η ικανότητά του να παγιδεύει τη θερμότητα του κτιρίου που συλλέγεται από τον ήλιο, στο εσωτερικό του κτιρίου και να μην διασκορπίζεται προς τα έξω. Το ποσό θερμότητας που διασπείρεται στο εξωτερικό περιβάλλον καθορίζεται από τις θερμικές απώλειες του κτιρίου το χειμώνα. Για το καλοκαίρι, οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι ψηλότερες από τις εσωτερικές, το κτίριο απορροφά θερμότητα, η οποία εισέρχεται στο χώρο με κίνδυνο υπερθέρμανσης. Αυτό οφείλεται στην εναλλαγή των εποχών, η οποία αντιμετωπίζεται με την τοποθέτηση μόνωσης στην εξωτερική πλευρά του κτιρίου. Με αυτό τον τρόπο περιορίζονται οι θερμικές απώλειες και παγιδεύεται μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας.



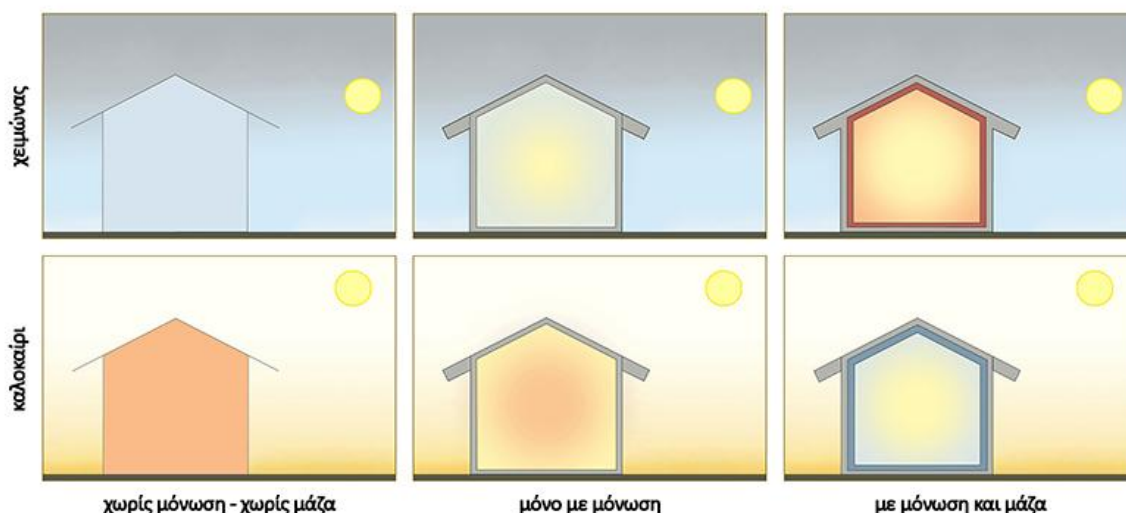
Εικόνα 7.4. Παγίδευση θερμότητας σε τοίχους με θερμομόνωση και χωρίς [www.rockwool.gr](http://www.rockwool.gr)

Η θερμομόνωση προστατεύει το κτιριακό κέλυφος μειώνοντας το ενδεχόμενο υπερθέρμανσης, επιπλέον, προσφέρει συνθήκες θερμικής άνεσης. Όλα τα κτίρια έχουν θερμικές απώλειες, οι οποίες προκύπτουν μέσω νυχτερινής ακτινοβολίας της θερμότητας από το κέλυφος στην ατμόσφαιρα. Με μεταφορά της θερμότητας μέσω της κίνησης του αέρα ή μέσω των αρμών των κουφωμάτων και από τα ανοιχτά παράθυρα, αλλά και με αγωγή της θερμότητας από το κέλυφος στο εξωτερικό περιβάλλον. Οι θερμικές απώλειες εξαρτώνται από το λόγο της συνολικής εξωτερικής επιφάνειας προς τον όγκο του κτιρίου, από την προστασία των εκτεθειμένων πλευρών του κτιρίου στους ψυχρούς ανέμους με τη χρήση βλάστησης ή με χειρισμούς στο κτιριακό κέλυφος και τέλος από τη μείωση των εκτεθειμένων πλευρών του κτιρίου προς το βορρά, καλύπτοντας τμήμα ή ολόκληρη τη βορινή πλευρά με χώμα αν η κλίση του εδάφους το επιτρέπει [45].

Τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών είναι η κατάλληλη θερμομόνωση των συμπαγών στοιχείων του κελύφους, μειώνοντας έτσι το συντελεστή θερμοπερατότητας και η τοποθέτηση διπλών τζαμιών σε ανοίγματα που βρίσκονται στο βορρά, στη δύση και στην ανατολή. Τέλος η ύπαρξη κινητής θερμομόνωσης στα ανοίγματα, όπως πατζούρια ή άλλα είδη εξώφυλλων τα οποία μπορεί να διαθέτουν θερμομονωμένες εσωτερικά περσίδες. Προτιμάται η θερμομόνωση του κελύφους να γίνεται εξωτερικά και να εξασφαλίζεται η παγίδευση της αποθηκευμένης ηλιακής θερμότητας. Οι θερμικές απώλειες που οφείλονται στη μεταφορά ζεστού αέρα από το κτίριο προς το εξωτερικό, μέσω των αρμών των κουφωμάτων, αποτελεί σημαντική ποσότητα θερμότητας που χάνεται. Η μεταφορά αυτή προκαλείται λόγω της διαφορετικής πίεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα, λόγω διαφοράς θερμότητας αλλά και λόγω της πίεσης του ανέμου προς τα ανοίγματα. Η ανανέωση όμως του αέρα είναι ταυτόχρονα σημαντική όμως καθώς απομακρύνονται οι τοξικές ουσίες, οι οσμές, παρέχεται οξυγόνο για την αναπνοή του ανθρώπου κλπ. Η εναλλαγή του αέρα πρέπει να ελέγχεται ώστε οι θερμικές απώλειες να είναι μειωμένες και να εξασφαλίζεται η θερμική άνεση. Οι μειωμένες θερμικές απώλειες εξασφαλίζονται με την τοποθέτηση βλάστησης για την προστασία από τους ψυχρούς ανέμους, με την μείωση του μεγέθους των ανοιγμάτων που βρίσκονται στο βορρά και με την καλή στεγάνωση των αρμών των κουφωμάτων [46].

Είναι γνωστό ότι η ηλιακή θερμότητα αποθηκεύεται στη θερμική μάζα της κατοικίας. Η θερμομόνωση όταν είναι εξωτερική προστατεύει τη θερμική μάζα και τόσο ο βαθμός θερμομόνωσης όσο και η ποσότητα θερμικής μάζας εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Σε ζεστά και ξηρά κλίματα, η θερμική μάζα είναι εξαιρετικά σημαντική καθώς απορροφά τις έντονες εξωτερικές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις ανάμεσα σε μέρα και νύχτα. Ενώ σε ψυχρά κλίματα η θερμομόνωση είναι αυτή που παίζει σημαντικότερο ρόλο και πρέπει να είναι μεγαλύτερη από ότι στα

ζεστά κλίματα, διότι η θερμοκρασία σχεδιασμού αποκλίνει περισσότερο σε σχέση με τις εξωτερικές θερμοκρασίες. Για το κλίμα της Ελλάδας, τόσο η θερμομόνωση, όσο και η θερμική μάζα, αποτελούν ισοδύναμους παράγοντες αποτελεσματικής λειτουργίας του κτιρίου. Η θερμική προστασία είναι σημαντική για τη βόρεια όψη του κτιρίου και μεγάλη θερμική μάζα απαιτείται στη δυτική πλευρά, η οποία επιβαρύνεται με μεγάλα ποσά θερμότητας τη θερινή περίοδο.

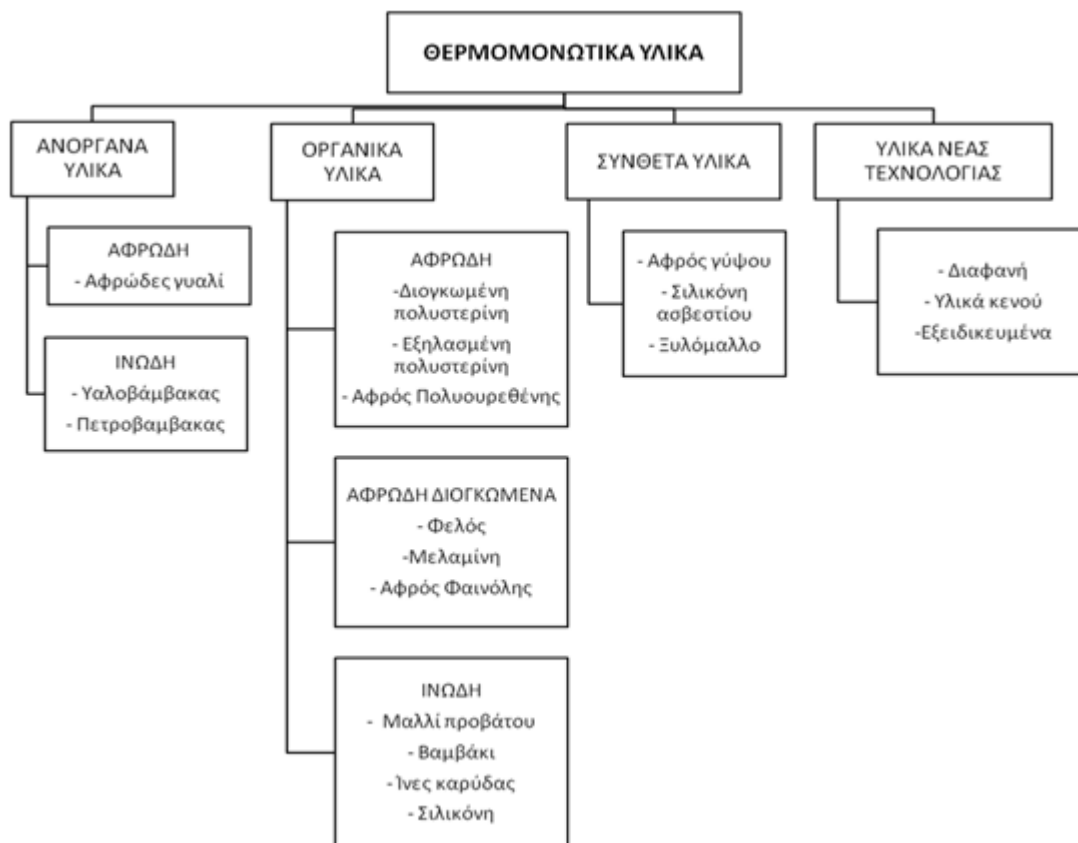


Εικόνα 7.5. Θερμική προστασία κτιρίου [www.anelixi.org](http://www.anelixi.org)

## 7.2. Θερμομόνωση

Ένα από τα βασικά στοιχεία που πρέπει να έχει ένα παθητικό ηλιακό σπίτι για να λειτουργεί σωστά, είναι η κατάλληλη θερμομόνωση. Η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας για τους τοίχους πρέπει να είναι μικρότερη από  $0,30\text{W/m}^2$  ενώ για την οροφή πρέπει να είναι μικρότερη από  $0,15\text{ W/m}^2$  και για τα παράθυρα όχι μεγαλύτερη από  $3,5\text{ W/m}^2$ . Η θερμοχωρητικότητα της τοιχοποιίας πρέπει να είναι περίπου ίση με  $0,80\text{ W/m}^2$ . Τα θερμομονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στα παθητικά ηλιακά σπίτια είναι παρόμοια με αυτά των συμβατικών κατοικιών αλλά πιο πυκνά.





Εικόνα 7.6. Θερμομονωτικά υλικά [www.ktizontastomellon.gr](http://www.ktizontastomellon.gr)

Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή του κτιρίου, η εργασία που θα χρειαστεί αλλά και η λεπτομέρεια και η προσεκτικότητα, εμπεριέχουν μια μακροπρόθεσμη επίδραση στη φυσική λειτουργία του κτιρίου καθώς και στην υγεία των χρηστών, στην ασφάλειά τους αλλά και στους λογαριασμούς που πληρώνουν. Το πρότυπο θερμομόνωσης, έχει μια σημαντική επίδραση στη θερμική επίδοση, το σχεδιασμό και τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης αλλά και στις ανάγκες για καύσιμα και στην άνεση των χρηστών. Η επιλογή των υλικών, θα έχει επιδράσεις στην υγεία των ενοίκων αλλά και στην ποιότητα του αέρα. Η ποιότητα στη λεπτομέρεια και στην εργασία, αποτελεί βασικό όργανο που συμβάλει στην αποτελεσματικότητα της θερμομόνωσης και στην ελαχιστοποίηση των θερμογέφυρων και των ρίσκων της συγκέντρωσης. Η θερμοχωρητική ικανότητα της κτιριακής κατασκευής έχει μια αντοχή τη θερμική άνεση και τις ανάγκες σε καύσιμα.

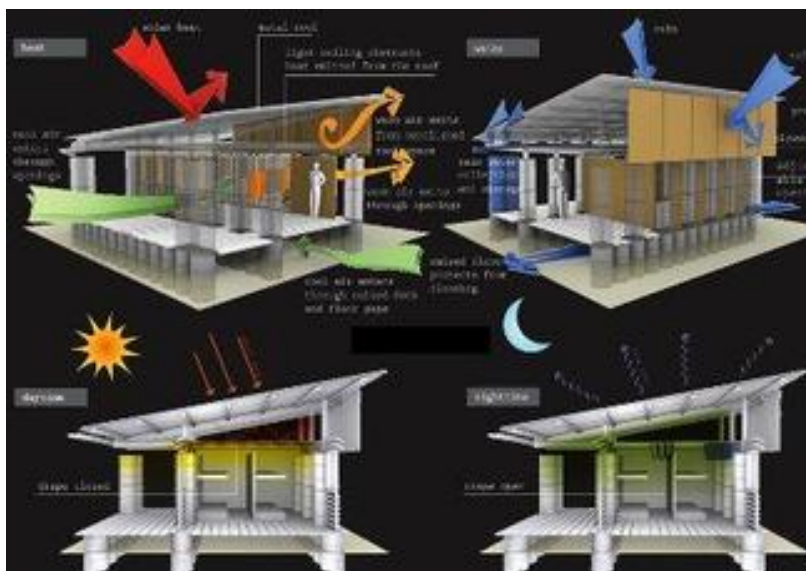
Η εφαρμογή θερμομόνωσης στα εξωτερικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό κάθε ενεργειακά χαμηλής στρατηγικής. Συχνές αναθεωρήσεις στους κτιριακούς κανονισμούς σε σχέση με τις ελάχιστες απαιτήσεις για θερμομόνωση υπογραμμίζουν τη σημασία και τα οφέλη που προκύπτουν από την επιτυχή εφαρμογή της σε αρκετά αρχιτεκτονικά σχέδια. Η σημασία

του σχεδιασμού των παραθύρων σε σχέση με τη θερμομόνωση είναι πολύ σημαντική και αυτά τα δύο στοιχεία συνδέονται άμεσα. Γενικά ένα μεγάλο μέρος του κτιριακού κελύφους καλύπτεται από παράθυρα και γυάλινες επιφάνειες. Πλέον τα μονά τζάμια αντικαθίστανται με διπλά. Ειδικά για τα παθητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούνται μεγάλες γυάλινες επιφάνειες που βελτιώνουν και αυξάνουν τα ηλιακά κέρδη. Αυτό είναι σύνηθες στα ψυχρά και ήπια κλίματα και ισχύει για όλη τη διάρκεια του χρόνου όχι όμως και για τα θερμά κλίματα. Όμως, οι γυάλινες επιφάνειες προκαλούν προβλήματα, δεν υπάρχει θερμική άνεση ενώ υπάρχει ανάγκη σε σκιασμό η οποία επιδρά στην εισροή του φυσικού φωτισμού. Οι λύσεις σε αυτά τα προβλήματα είναι η χρήση προηγμένης τεχνολογίας τζαμιών ή με ειδικό φυσικό ή τεχνητό σκιασμό, ανάλογα με τις ανάγκες του κτιρίου.

Τα τζάμια προηγμένης τεχνολογίας, αποτελούνται από γυαλί ή πλαστικό τα οποία είναι επαλειμμένα με μια ευρεία ποικιλία ειδικά επιλεγμένων προϊόντων. Η επάλειψη γίνεται με μείγματα που βρίσκονται σε μορφή ατμών που ψεκάζονται στο ζεστό γυαλί ή μπορεί να γίνει με κενή επάλειψη με λεπτά στρώματα πάνω στη γυάλινη επιφάνεια. Η μετατροπή του γυαλιού, μπορεί να δημιουργήσει ένα υλικό με τις καλύτερες επιθυμητές ιδιότητες. Η ποιότητα του γυαλιού και η αντίδρασή του ανάλογα τη θέση που βρίσκεται, εξετάζονται σε εγκαταστάσεις δοκιμών σύμφωνα με τις εθνικές και τις διεθνείς προδιαγραφές. Στην αγορά υπάρχει μεγάλη ποικιλία σε διπλά τζάμια με χαμηλές εκπομπές, επίσης υπάρχει ποικιλία σε διπλά-τριπλά τζάμια με polycarbonate, με ικανότητα διάχυσης φωτός αλλά και θερμομονωτικά τζάμια, ήπια θερμομονωτικά τζάμια, “ντυμένα” τζάμια κλπ. Επιπλέον υπάρχει μεγάλος αριθμός κανονικών και ειδικών παραθύρων, τα οποία χρησιμοποιούν ειδικά τζάμια για τη χρήση τους σε βιοκλιματικές κατοικίες. Αυτά τα ειδικά τζάμια καλούνται και οπτικά σκίαστρα, διότι μεταβάλλουν την ανακλαστικότητά τους ως αντίδραση στην προσπίπτουσα θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία, το φωτισμό και το ηλεκτρισμό. Επίσης τα αρχιτεκτονικά οφέλη από την χρήση τους είναι τεράστια: ηλιακή θέρμανση και φωτισμός χωρίς πρόκληση υπερθέρμανσης ή θάμβωσης-σύμφωνα με τον τρόπο σχεδιασμού της παθητικής ηλιακής κατοικίας, τα θερμοχωρητικά υλικά αλλάζουν το χρώμα τους ανάλογα με το βαθμό θερμότητας που δέχονται. Τα ρευστά θερμοχρωμικά υλικά χρησιμοποιούν τζελ ή ρευστές ουσίες όπου το κύριο συστατικό τους αντιδρά άμεσα στο φυσικό φωτισμό όπως τα περισσότερα βιολογικά πολυμερή. Τα ηλεκτροχρωμικά υλικά αλλάζουν χρώμα αντιδρώντας στο ηλεκτρικό πεδίο που δέχονται. Πολλά οργανικά και ανόργανα ρευστά ή στερεά χρησιμοποιούνται ως μέσο, στριμωγμένα ανάμεσα σε ανοδικά και καθοδικά στρώματα [27,47].

Όσον αφορά στη νυχτερινή θερμομόνωση, είναι απαραίτητη στα παράθυρα ώστε να διατηρείται η ενέργεια στο εσωτερικό της κατοικίας. Η μόνωση των παραθύρων αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τα παθητικά ηλιακά σπίτια. Αρκετά από τα υλικά που χρησιμοποιούνται, δεν μειώνουν

απλά το ποσοστό θερμότητας που χάνεται από το τζάμι. Τα πλεονεκτήματα που υπάρχουν είναι η μείωση του θορύβου, ο έλεγχος του εισερχόμενου φυσικού φωτισμού, η προστασία από τις καιρικές συνθήκες αλλά και η ιδιωτικότητα / απομόνωση. Στα νεόδμητα κτίρια, τα θερμομονωμένα σκίαστρα ή πατζούρια αντικαθιστούν τα συμβατικά σκίαστρα ή κουρτίνες, τα οποία δεν είναι μονωμένα, εφόσον ο πρωταρχικός στόχος της κινητής νυχτερινής θερμομόνωσης είναι η μείωση της θερμότητας που μεταφέρεται. Οι κύριοι παράγοντες υπολογισμού, όταν επιλέγουμε τη νυχτερινή θερμομόνωση των υαλοστασίων είναι: πόσο καλά θερμομονώνει και πως φαίνεται αισθητικά, πόσο εύχρηστο είναι και αν αποθηκεύεται εύκολα, πόσος είναι ο χρόνος ζωής του και τι συντήρηση απαιτεί, καθώς και ποια είναι τα πιθανά προβλήματα που θα προκύψουν [43].



Εικόνα 7.7. Νυχτερινή θερμομόνωση [www.apelapasyrou.weebly.com](http://www.apelapasyrou.weebly.com)

Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για τη νυχτερινή θερμομόνωση, των υαλοστασίων, εξαρτώνται από το μέρος που βρίσκονται τα παράθυρα. Τα εξωτερικά σκίαστρα και τα πατζούρια, προστατεύουν από τις καιρικές συνθήκες, τις μεγάλες γυάλινες επιφάνειες. Δεν επεμβαίνουν αισθητικά ή φυσικά στο εσωτερικό του κτιρίου αλλά επιδρούν στην εξωτερική εμφάνιση του κτιρίου καθώς εκτίθενται στις καιρικές συνθήκες κι έτσι πρέπει να έχουν τραχιά / γερή κατασκευή. Τα περισσότερα εξωτερικά σκίαστρα μπορούμε να τα χειριστούμε από το εσωτερικό της κατοικίας. Αυτό αποτελεί πλεονέκτημα καθώς δεν χρειάζεται ο χρήστης να βγει έξω από την οικία του για να ανοίξει ή να κλείσει τα πατζούρια. Τα εξωτερικά κάθετα σκίαστρα με ρολά, κατασκευάζονται από ξύλο, αλουμίνιο, PVC κ.α. Κάθε ρόλο κατασκευάζεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κάθε ανοίγματος [48].

Οι μονώσεις μεταξύ των τζαμιών δεν απαιτούν χώρο γύρω από το τζάμι στο εσωτερικό του ή στο εξωτερικό του, για την αποθήκευση της θερμότητας που αποθηκεύεται όταν τα σκίαστρα δεν χρησιμοποιούνται. Τα σκίαστρα επηρεάζουν ελάχιστα την εμφάνιση του κτιρίου αισθητικά, όταν αυτά είναι ανοιχτά. Οι μονάδες παραθύρων, οι οποίες διαθέτουν διπλά τζάμια, με μικροσκοπικά βενετικά στόρια μεταξύ των γυάλινων επιφανειών είναι διαθέσιμα στην αγορά. Επιπλέον, υπάρχουν μονάδες που μεταξύ των γυάλινων επιφανειών υπάρχουν μικροί κόκκοι πολυστερίνης ως μονωτικό υλικό.

Τα εσωτερικά σκίαστρα και πατζούρια, αποτελούν τα συνηθέστερα μονωτικά των παραθύρων. Η αγορά διαθέτει μεγάλη συλλογή από αυτά ώστε να ταιριάζουν με τον εσωτερικό χώρο. Τα εσωτερικά γυάλινα πάνελ καλής ποιότητας, δεν χρειάζονται συντήρηση και διαρκούν μια ζωή. Αυτά τα πάνελ είναι διαθέσιμα σε γυαλί, σε άκαμπτα μονά και διπλά τζάμια αλλά και σε μη άκαμπτες λεπτές μεμβράνες. Ένα πρόβλημα των εσωτερικών μονωτικών υλικών είναι η πιθανότητα διαφυγής της συγκεντρωμένης υγρασίας μέσω ή γύρω από το μονωτικό υλικό. Τα ιδανικά νυχτερινά μονωτικά υλικά πρέπει να έχουν χαμηλό κόστος και η τιμή τους να συμπεριλαμβάνει όλες τις απαραίτητες ενδείξεις και πληροφορίες για την πλήρη εγκατάσταση του συστήματος, καθώς και απλές οδηγίες ώστε καθένας να μπορεί να τα τοποθετήσει μόνος του. Τα υλικά πρέπει να έχουν ένα εσωτερικό “νεφελώδες εμπόδιο” και καλή περιμετρική στεγανότητα, να έχουν μεγάλο προσδόκιμο ζωής, να μην είναι εύφλεκτα ούτε τοξικά. Το συνολικό σχέδιο πρέπει να επιτρέπει τον εύκολο χειρισμό, την διασφάλιση ότι το σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί να μπορεί εύκολα να ανοιχθεί σε περίπτωση ανάγκης [30].

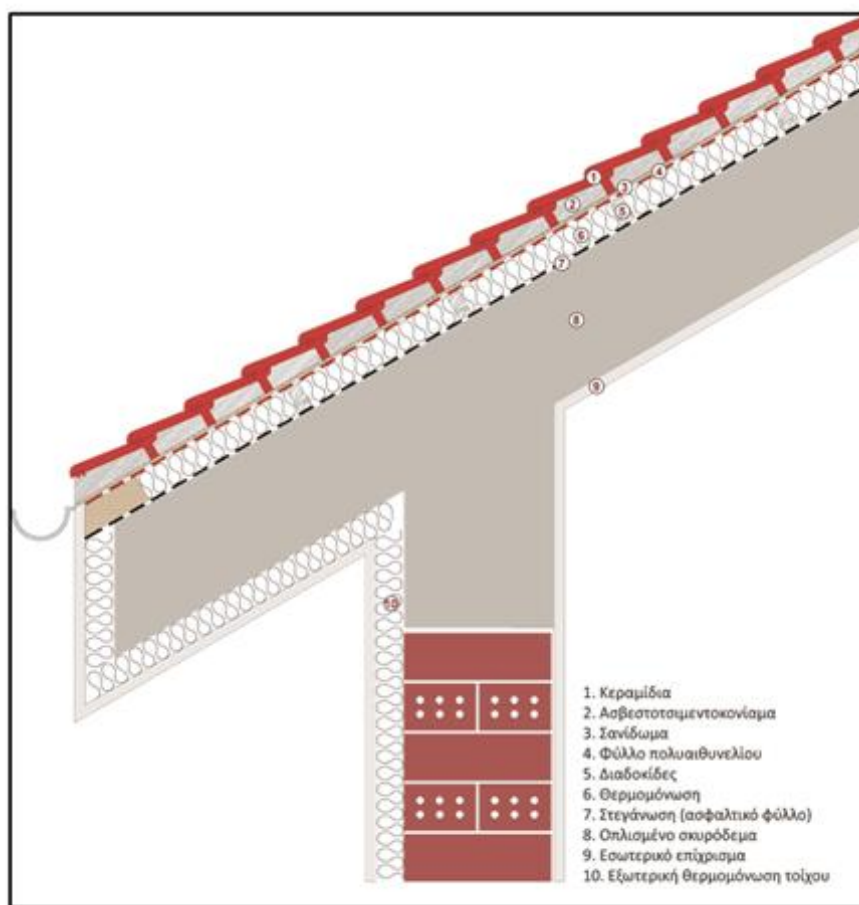
Γενικά το πεδίο δράσης που αφορά στη θερμομόνωση, αυξάνεται ως λειτουργία των παρακείμενων:

1. Της επιθυμίας μεγιστοποίησης της αυτονομίας από τις συμβατικές πηγές καυσίμων.
2. Των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, λαμβάνοντας υπόψη την επιπλέον μόνωση όταν οι εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν είναι σοβαρές και οι απαιτήσεις του εσωτερικού σχεδιασμού είναι αυξημένες.
3. Του εκτεθειμένου κτιριακού κελύφους, διότι τα σπίτια που είναι ενωμένα με μεσοτοιχία είναι πιο μονωμένα και προστατευμένα από τις κατοικίες που δεν εφάπτονται με άλλες.
4. Των εμποδίων της τοποθεσίας καθώς και άλλες ανάγκες για ηλιακή πρόσβαση, επιλέγοντας μικρότερα παράθυρα ή περισσότερη θερμομόνωση για αδιαφανή στοιχεία.

Αν στις παραπάνω περιπτώσεις, υιοθετηθούν επίπεδα θερμομόνωσης υψηλότερα από τις ελάχιστες ενδείξεις των κανονισμών, μπορεί να αποφέρουν σημαντικά ενεργειακά οφέλη με σχετικά μικρό επιπλέον κόστος, στο συνολικό κεφάλαιο. Η επιλογή ενός συγκεκριμένου μονωτικού υλικού και η πυκνότητά του, δεν αποτελούν από μόνα τους επαρκή στοιχεία για να διαβεβαιώσουν την καλή λειτουργία του συστήματος ή την αποφυγή τεχνικών ρίσκων. Στην πράξη, η λειτουργικότητα του συστήματος μπορεί να εξασφαλιστεί με προσοχή στη λεπτομέρεια και στην εργασία. Γενικά συστήνεται, ο έλεγχος της ανάγκης και της συνέχειας των νεφελωδών φραγμών, η εξασφάλιση επαρκούς εξαερισμού στις αέριες κοιλότητες και στις στέγες προς αποφυγή της συμπύκνωσης της υγρασίας, της θερμότητας κλπ., η φροντίδα στα ανώφλια, στις κολώνες, στα περβάζια και στις ενώσεις των τοίχων με το πάτωμα και την στέγη ώστε να μειωθούν οι θερμικές γέφυρες και την εξασφάλιση της συνέχειας και της ακεραιότητας των μονωτικών υλικών τόσο ανάμεσα όσο και μέσα στα στοιχεία του κτιριακού κελύφους.



Εικόνα 7.8. Διαδικασία μόνωσης κεραμοσκεπής [www.sprayfoam.gr](http://www.sprayfoam.gr)

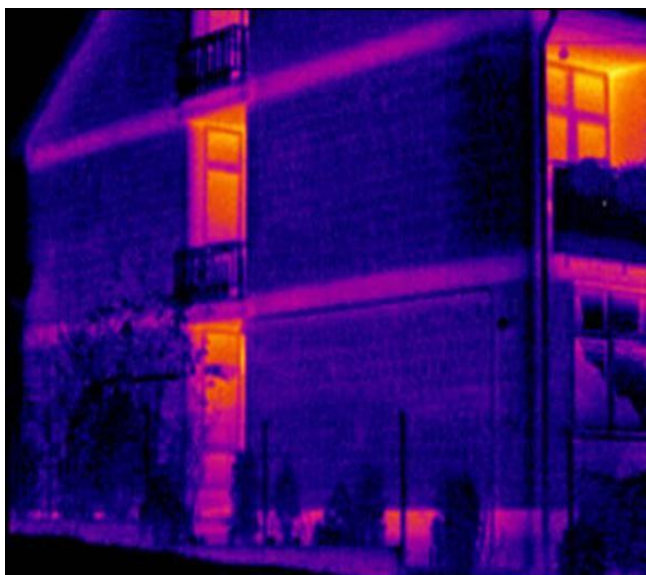


Εικόνα 7.9 . Μόνωση κεραμοσκεπής [www.cres.gr](http://www.cres.gr)

Η επιλογή των μονωτικών υλικών πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή, θα πρέπει να σέβονται την υγεία των ενοίκων και να είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Θα πρέπει οπωσδήποτε να αποφεύγονται υλικά που παράχθηκαν με τη χρήση χλωροφθορανθράκων ή υδροχλωροφθορανθράκων. Τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από τεχνικά ρίσκα είναι η συγκέντρωση υγρασίας σε μη θερμαινόμενους χώρους και σε κοιλότητες ή κενούς χώρους, λόγω της εξάτμισης του νερού από τους θερμαινόμενους χώρους. Αυτό μπορεί να προβλεφθεί με τον εξαερισμό, με τη μόνωση μεταξύ θερμαινόμενων και μη χώρων όταν αφορά μη θερμαινόμενους χώρους, ενώ για τις κενές κοιλότητες προβλέπεται με τον εξαερισμό τους προς τα έξω, με την απόσπαση από την πηγή και με την πρόβλεψη ή τον έλεγχο του εξατμιστικού φραγμού.

Οι θερμογέφυρες αποτελούν ένα ακόμη πρόβλημα και σχηματίζονται γύρω από τις πόρτες και τα παράθυρα αλλά και στις ενώσεις μεταξύ των τοίχων, του πατώματος και της οροφής. Το αίτιο που προκαλεί αυτό το φαινόμενο είναι κενά στην μόνωση ή όταν γίνεται η μόνωση με πυκνά υλικά. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με την διατήρηση της συνέχειας της μόνωσης και την αποφυγή χρήσης πυκνών

υλικών στις κοιλότητες. Για τις πόρτες και τα παράθυρα αυτή η κατάσταση αποφεύγεται με την προσθήκη μόνωσης γύρω από αυτά αλλά και με την τοποθέτηση πλαισίου στο βάθος του ανοίγματος. Η φωτιά είναι ένα ακόμη πρόβλημα που προκαλείται από την υπερθέρμανση των καλωδίων που περνούν μέσα από τη θερμομόνωση και αποφεύγεται με την χρήση καλωδίων μεγαλύτερης θερμοχωρητικότητας, την αποφυγή εύφλεκτων θερμομονωτικών υλικών καθώς και με την τοποθέτηση των καλωδίων πάνω από τη μόνωση. Τέλος, η ψύξη των δεξαμενών αποτελεί ένα ακόμη πρόβλημα των μονώσεων που προκαλείται λόγω του κρύου αέρα και της χαμηλής ροής θερμότητας από τις σωληνώσεις της θερμομόνωσης της σοφίτας. Αυτό παρατηρείται στις σοφίτες και σε όλους τους μη θερμαινόμενους χώρους. Ο τρόπος αποφυγής αυτού του φαινομένου είναι η θερμομόνωση των δεξαμενών νερού αλλά και των σωληνώσεων [48].

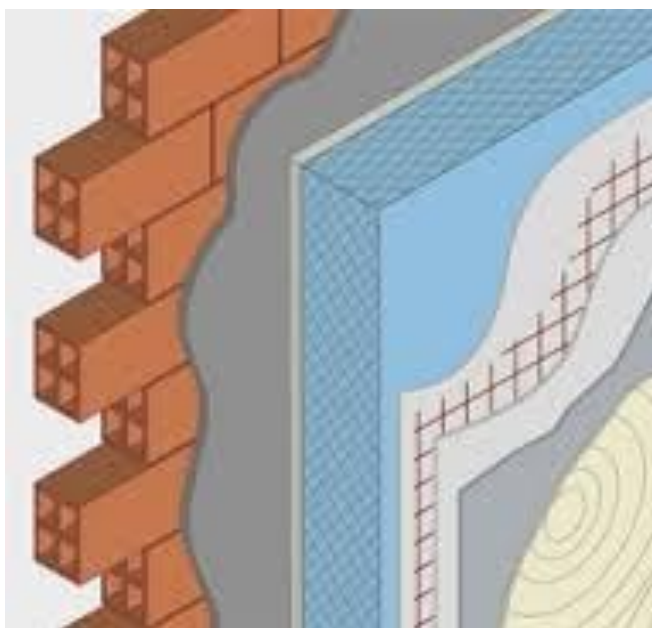


*Εικόνα 7.10. Θερμογέφυρες [www.thermomaster.gr](http://www.thermomaster.gr)*

Εκτός όμως από τη θερμομόνωση των παραθύρων, η θερμομόνωση των τοίχων είναι εξίσου σημαντική. Σε ένα χώρο που θερμαίνεται έχει την τάση να ακτινοβολεί προς τον ψυχρότερο χώρο που τον περιβάλλει θερμότητα, η οποία διαφεύγει από τις ατέλειες στην κατασκευή του κτιρίου και οι οποίες θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με την κατάλληλη μόνωση ανάλογα την περίπτωση. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να μην εμποδίζεται ο επαρκής αερισμός της κατοικίας και να μπορεί να ανανεώνεται συστηματικά και ανεμπόδιστα προς όλους τους χώρους της κατοικίας. Η σωστή θερμομόνωση, σε συνδυασμό με ένα ικανοποιητικό σύστημα κλιματισμού, εξασφαλίζουν την άνετη διαμονή των κατοίκων μέσα στην κατοικία. Το χειμώνα, θα εξασφαλίζεται η προστασία των εσωτερικών χώρων από το κρύο και το καλοκαίρι από την υπερβολική ζέση. Επιπλέον, η σωστή θερμομόνωση εξασφαλίζει οικονομία στην αρχική δαπάνη της εγκατάστασης αλλά και στις δαπάνες

λειτουργίας της θέρμανσης, μειώνοντας τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις μεταξύ των εξωτερικών και των εσωτερικών χώρων. Συμβάλλει ακόμα στην εξοικονόμηση χρημάτων από τα έξοδα συντήρησης, αυξάνοντας το προσδόκιμο ζωής της κατοικίας και προστατεύοντάς την από τις φθορές και τις βλάβες. Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με τη θερμομόνωση των κατοικιών και κατά πόσο είναι σωστά εφαρμοσμένες σε αυτό, αν αυξηθεί το αρχικό κόστος κατασκευής του κτιρίου για επιπλέον θερμομόνωση κατά 2% με 5% τότε η εξοικονόμηση ενέργειας που θα προκύψει θα μειώνει το κόστος ενέργειας για θέρμανση κατά 50% [43].

Εσωτερικές και εξωτερικές επιδράσεις πλευρικού τοιχώματος. Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι θερμομόνωσης η εσωτερική, η εξωτερική, η θερμομόνωση με χρήση ειδικών τούβλων αλλά και η θερμομόνωση του πυρήνα μεταξύ δύο τοίχων. Τα πλεονεκτήματα από την εσωτερική θερμομόνωση είναι το γεγονός ότι είναι οικονομικότερη μέθοδος σε σχέση με την εξωτερική θερμομόνωση, η κατασκευή της γίνεται σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα, είναι απλή η κατασκευή, ο χώρος θερμαίνεται σύντομα, δε χρειάζεται ιδιαίτερη προστασία της μόνωσης από τις εξωτερικές επιδράσεις και η κατασκευή γίνεται ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν.



*Εικόνα 7.11. Εσωτερική θερμομόνωση building.dow.com*

Όμως αυτή η μέθοδος εμφανίζει και κάποια μειονεκτήματα, αυτά είναι ο περιορισμός του εσωτερικού χώρου, διότι ο χώρος παρά το γεγονός ότι θερμαίνεται γρήγορα, ψύχεται αντίστοιχα γρήγορα, και μένει ανεκμετάλλευτη η θερμοχωρητικότητα του εξωτερικού τοίχου. Επίσης, αυτή η μέθοδος δεν λύνει το πρόβλημα των θερμογέφυρων, τα δομικά στοιχεία κινδυνεύουν από τις συστολές



και τις διαστολές που προκαλούν οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις με άμεση επίπτωση, την πρόκληση ρηγματώσεων και την εισροή βρόχινου νερού. Τέλος, η εσωτερική μόνωση δημιουργεί άλλο ένα πρόβλημα σχετικά με την τακτοποίηση των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.

Όσον αφορά στην εξωτερική θερμομόνωση, το μονωτικό τοποθετείται στο εξωτερικό μέρος του τοίχου. Τα πλεονεκτήματα αυτού του τρόπου μόνωσης είναι το γεγονός ότι ο χώρος έχει την ικανότητα διατήρησης της θέρμανσης αφότου διακοπεί η λειτουργία της θέρμανσης κι αυτό οφείλεται στη θερμοχωρητικότητα των τοίχων. Οι νότιοι χώροι των κτιρίων διατηρούν τη θερμότητα του ηλιακού κέρδους που αποθηκεύεται στους μεγάλου βάρους εσωτερικούς τοίχους. Επίσης, δεν μειώνεται ο ωφέλιμος κατοικήσιμος χώρος, οι εξωτερικές επιφάνειες των τοίχων προστατεύονται από τις συστολές και τις διαστολές, εξασφαλίζεται η κάλυψη των θερμογέφυρων στα δοκάρια, στις κολόνες και στις πλάκες σκυροδέματος. Τέλος, δεν εμποδίζεται η ομαλή λειτουργία των εσωτερικών χώρων κατά τη διάρκεια κατασκευής της εσωτερικής θερμομόνωσης. Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι το γεγονός ότι είναι ακριβή σε σχέση με την θερμομόνωση της εσωτερικής πλευράς του τοίχου, η εφαρμογή της εξωτερικής θερμομόνωσης δεν είναι εύκολη στην περίπτωση που οι τοίχοι διαθέτουν πολλές αρχιτεκτονικές προεξοχές αλλά κι όταν οι εξωτερικές όψεις των κτιρίων εμφανίζουν έντονη μορφολογία. Επιπλέον, απαιτείται ειδική προστασία των υλικών και των στρώσεων από τις καιρικές συνθήκες.



*Εικόνα 7.12. Εξωτερική θερμομόνωση [www.buildnet.gr](http://www.buildnet.gr)*

Στη θερμομόνωση με τη χρήση ειδικών τούβλων, ο τοίχος χτίζεται με ειδικά θερμομονωτικά τούβλα που με το σχήμα, τις διαστάσεις, τον τρόπο κατασκευής τους κλπ. θα πρέπει να εξασφαλίζουν τιμές για τον συντελεστή θερμοπερατότητας στα πλαίσια που επιβάλλει ο κανονισμός θερμομόνωσης. Αν χρειαστεί να αυξηθεί αυτός ο συντελεστής, προστίθεται μονωτικό υλικό που μπορεί να είναι ενσωματωμένο στο θερμομονωτικό τούβλο. Παρά το γεγονός ότι ο συγκεκριμένος τρόπος θερμομόνωσης παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, αυτό θα γίνει εφόσον εξασφαλιστεί η σωστή κατασκευή των επιχρισμάτων με την κατάλληλη στενότητα, ώστε στη μάζα των θερμομονωτικών τούβλων, να μην εισέρχεται υγρασία.

Στη θερμομόνωση του πυρήνα μεταξύ δύο τοίχων, το μονωτικό υλικό τοποθετείται ανάμεσα σε δύο δρομικούς τοίχους, έτσι επιτυγχάνεται θερμομόνωση αλλά είναι άγνωστο κατά πόσο υπάρχει προστασία από τη στατική αντοχή του συστήματος στον αντισεισμικό κανονισμό. Αυτή η τεχνική μπορεί να βελτιωθεί ακόμη κι αν σχηματισθούν θερμογέφυρες από την κατασκευή των σενάζ (λωρίδα οπλισμένου σκυροδέματος που τοποθετείται στο μέσο περίπου της τοιχοποιίας, για ενίσχυση).

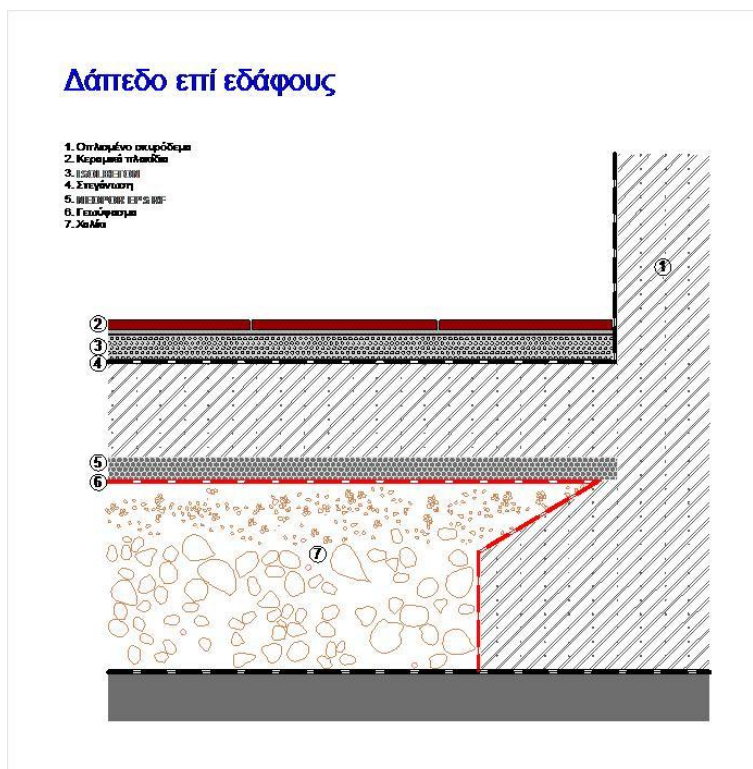
Οι ιδιότητες των μονωτικών υλικών είναι ο συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών, η μηχανική τους αντοχή, η σταθερότητα στις διαστάσεις, η αντίσταση στη φωτιά και το ειδικό βάρος [26].

Όσον αφορά στο συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών, τα θερμομονωτικά υλικά πρέπει να μένουν στεγνά, κάτι που επιτυγχάνεται ανάλογα με το βαθμό αντίστασης του κάθε υλικού στην διάχυση των υδρατμών, ο οποίος καθορίζεται από το συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών  $\mu$ . Αυτός ο συντελεστής μας δίνει πληροφορίες σχετικά με την αντίσταση στη διάχυση ενός στρώματος του υλικού σε σχέση με το στρώμα αέρα ίσου πάχους. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής τόσο το καλύτερο, διότι όσο μικρότερος είναι τόσο πιο ευαίσθητο είναι το υλικό στην υγρασία. Τέλος ο συντελεστής αυτός είναι ένα σχετικό και αδιάστατο μέγεθος.

Υλικό	Ινώδη ανόργανα			Αφρώδη ανόργανα
	Πετροβάμβακας	Υαλοβάμβακας	Ξυλόμαλλο	Αφρώδες γυαλί
Θερμική αγωγιμότητα (W/mK)	0,032 – 0,045	0,033 – 0,040	0,070 – 0,090	0,035 – 0,040
Πυραντοχή	A1	A1	B1	A1
Αντοχή σε συμπίεση	Μέχρι 250	Μέχρι 200	Μέχρι 500	Μέχρι 700
Υδατοαπορρόφηση	Μέχρι 3 kg/m <sup>3</sup>	Μέχρι 5 kg/m <sup>3</sup>	-	Μέχρι 1%
Θερμοκρασίες εφαρμογής	-20 έως 1000 C	-20 έως 350 C	- 50 έως 300 C	800 C
Αντίσταση στη διάχυση υδρατμών	1 - 3	1 - 3	2 - 5	700

Εικόνα 7.13. Ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών [www.ktizontastomellon.gr](http://www.ktizontastomellon.gr)

Ένα σύστημα θερμομόνωσης που θα κατασκευαστεί, χρειάζεται επαρκή μηχανική αντοχή. Τα υλικά που διαθέτουν μεγάλη μηχανική αντοχή, χρησιμοποιούνται ως αυτοφερόμενα, ενώ αυτά με μικρότερη μηχανική αντοχή μπορούν να μπουν σε φέρον πλέγμα κι αυτά με ακόμα μικρότερη χρησιμοποιούνται ως υλικά πλήρωσης. Η αντοχή όπως και η συμπίεση είναι πολύ σημαντικές στη θερμομόνωση των δαπέδων. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι αναγκαία η γνώση των ενδιάμεσων παραμορφώσεων μέχρι τη θραύση από μερικές φορτίσεις που προκαλούν καταπονήσεις σε φέροντα στοιχεία ή επενδύσεις. Επίσης κάποιες φορές χρειάζονται πληροφορίες για την αντοχή των υλικών σε κάμψη ή εφελκυσμό. Αυτή η γνώση είναι απαραίτητη στις εσωτερικές θερμομονώσεις ορόφων που διαθέτουν μεγάλα ανοίγματα, αλλά και σε αυτοφερόμενες κατασκευές που καταπονούνται από τις καιρικές συνθήκες [49].



Εικόνα 7.14. Θερμομόνωση δαπέδου [www.rizakos.gr](http://www.rizakos.gr)

Η σταθερότητα των διαστάσεων των θερμομονωτικών πλακών που κατασκευάζονται με θερμικές διεργασίες έχουν την ικανότητα διαφοροποίησής τους στη φάση της ψύξης που όμως έχει ως αποτέλεσμα την επιδείνωση της κατάστασής τους λόγω της γήρανσης. Αυτό αποφεύγεται με τεχνική έναντι στη γήρανση κατά την παραγωγική διαδικασία για να σταθεροποιηθούν οι διαστάσεις. Στην περίπτωση που υπάρχουν μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις υπάρχει γραμμική συρρίκνωση σε όλα τα στερεά μονωτικά υλικά. Κάποια μονωτικά υλικά διαθέτουν υψηλό συντελεστή διαστολής που θα πρέπει ο κατασκευαστής να το λάβει υπόψη κατά την τοποθέτηση. Είναι εξίσου σημαντικό να γίνεται έλεγχος στις ανοχές των διαστάσεων αλλά και στην συμπεριφορά τους.

Στις μέρες μας προτιμάται να χρησιμοποιούνται θερμομονωτικά υλικά τα οποία δεν είναι εύφλεκτα, παρά το αυξημένο κόστος τους. Η συμπεριφορά τους στη φωτιά έχει άμεσες οικονομικές επιπτώσεις. Την καλύτερη συμπεριφορά στη φωτιά, έχουν τα ινώδη υλικά, ο περλίτης και το αφρώδες γυαλί. Το ειδικό βάρος των θερμομονωτικών υλικών, αποτελεί βασική τους ιδιότητα διότι ακόμη και το ελαφρύτερο υλικό μπορεί να έχει χειρότερες θερμομονωτικές ιδιότητες από κάποιο βαρύτερο καθώς αυτό έχει πυκνότερες κυψέλες.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη μόνωση των παθητικών ηλιακών κατοικιών πρέπει να είναι οικολογικά. Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα υλικό για να καλείται οικολογικό είναι να είναι ανακυκλώσιμο, να μην καταναλώνει μεγάλα ποσά ενέργειας κατά την παράγωγή του, να είναι φιλικό προς το περιβάλλον και να μην περιέχει τοξικούς / καρκινογόνους ρύπους, επικίνδυνους για την υγεία των ανθρώπων.

Τα βασικά θερμομονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται κατά τη μόνωση των κατοικιών είναι η εξηλασμένη πολυστερίνη, η πολυουρεθάνη, ο υαλοβάμβακας, ο πετροβάμβακας, ο περλίτης, το Heraklith και ο διογκωμένος φελλός.

Η εξηλασμένη πολυστερίνη προέρχεται από υδρογονάνθρακες, μια μη ανανεώσιμη πηγής ενέργειας, όπου καταναλώνεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας κατά την παραγωγή της, η οποία κυμαίνεται από 450-850 kWh/m<sup>3</sup>, μολύνει το περιβάλλον καθώς εκλύονται τοξικά πτητικά αέρια στο περιβάλλον όπως χλωροφθοράνθρακες, πεντάνιο κ.α., δεν είναι ανακυκλώσιμο το υλικό και έχει επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου καθώς παράγεται στυρένιο. Τέλος, δημιουργεί ισχυρά ηλεκτροστατικά πεδία και το κτίριο δεν έχει καμία δυνατότητα διαπνοής.

Η πολυουρεθάνη, δεν παράγεται από υλικά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κατά την παραγωγή της καταναλώνονται 1000-1200 kWh/m<sup>3</sup>, δεν ανακυκλώνεται, το κτίριο δεν έχει δυνατότητα διαπνοής, εκλύει κατά τη χρήση της υδροχλωροφθοράνθρακες, ίσο-κυανάτες που απελευθερώνουν στο περιβάλλον αμίνες άκρως επικίνδυνες για τον άνθρωπο, σε περίπτωση πυρκαγιάς παράγεται κυάνιο το οποίο είναι ιδιαίτερος τοξικό.

Ο υαλοβάμβακας και ο πετροβάμβακας, αν και είναι μη ανανεώσιμα, προέρχονται από υλικά που υπάρχουν σε αφθονία στη φύση. Κατά την παραγωγή τους καταναλώνουν 150-250 kWh/m<sup>3</sup>, η κύρια μόλυνση που προκαλούν είναι κατά την παραγωγή, η έκλυση διοξειδίου του άνθρακα. Όσον αφορά στην υγεία του ανθρώπου αποτελεί ένα από τα καρκινογόνα υλικά και είναι καλό να αποφεύγεται η χρήση του.

Ο περλίτης, είναι προϊόν ηφαιστειακής προέλευσης, αποτελείται από μη ανανεώσιμες πηγές που όμως βρίσκεται σε αφθονία στη φύση, μπορεί να ανακυκλωθεί κατά ένα μέρος και δεν εκλύει τοξικά αέρια τόσο κατά την παραγωγή του όσο και σε περίπτωση πυρκαγιάς. Είναι ένα καλό θερμομονωτικό υλικό και κατά την παραγωγή του καταναλώνει περίπου 230 kWh/m<sup>3</sup> ενέργεια.

Το Heraklith, αποτελεί ένα αποδεκτό οικολογικά προϊόν, είναι ανανεώσιμο όσον αφορά στο ξυλόμαλλο και λιγότερο όσον αφορά στον μαγνησίτη, κατά την παραγωγή του απαιτεί λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τα άλλα μονωτικά υλικά. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του είναι το γεγονός ότι μπορεί να ανακυκλωθεί εύκολα, δεν είναι εύφλεκτο, δεν εκλύει τοξικές ουσίες και δεν προκαλεί προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου. Όμως παρουσιάζει μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα λόγω του τσιμέντου και είναι αναγκαία η σωστή γείωση του οπλισμένου σκυροδέματος. Παρά το γεγονός ότι στην Ευρώπη υπάρχουν τρία είδη τέτοιων υλικών όπως το Heraklith, το Ecolith και το Fibralth, στην Ελλάδα υπάρχει μόνο το Heraklith.

Τέλος, ο διογκωμένος φελλός, αποτελείται από ανανεώσιμες πηγές, είναι πλήρως ανακυκλώσιμο υλικό, η ενέργεια που καταναλώνει κατά την παραγωγή του είναι πολύ χαμηλή 80- 90 kWh/m<sup>3</sup>, είναι απόλυτα φιλικό και υγιεινό, εφόσον οι κατασκευάστριες εταιρίες δεν χρησιμοποιούν συνθετικές κόλλες. Το κύριο μειονέκτημά του είναι το κόστος του το οποίο είναι αρκετά υψηλό καθώς στην Ελλάδα δεν υπάρχουν φυτείες τέτοιων φυτών κι έτσι η Ευρώπη προμηθεύεται αυτό το υλικό από την Πορτογαλία, η οποία είναι η κύρια παραγωγός Quercus- βελανιδιών.

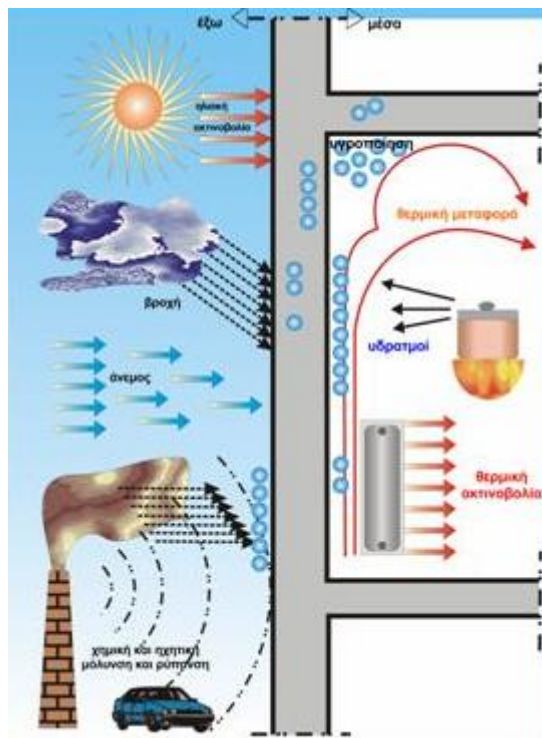
Στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες στην αγορά υπάρχουν αρκετά οικολογικά μονωτικά υλικά τα οποία δεν βρίσκονται ακόμα στη χώρα μας, ούτε παράγονται παρά το γεγονός ότι στην Ελλάδα υπάρχει το λινάρι, το βαμβάκι και ο άργιλος. Αυτά είναι το λιναρόμαλλο, το ρολό από ίνες κοκκοφοίνικα, η τζίβα σε φύλλα και λωρίδες, ο διογκωμένος άργιλος και το μονωτικό υλικό από τα υπολείμματα του βαμβακιού. Αντίθετα στη χώρα μας συνεχίζεται η χρήση υλικών πλούσιων σε αμίαντο και φορμαλδεΐδη κατά την κατασκευή κτιρίων, παρά το γεγονός ότι έχει απαγορευθεί η χρήση τους.

Όσον αφορά στη λειτουργία του κτιρίου ως συλλέκτης και αποθήκη ψύξης, λόγω της 46 αντίστροφης κατάστασης που ισχύει στις θερμοκρασίες το καλοκαίρι, σε αντίθεση με το χειμώνα, οι θερμοκρασίες διατηρούνται σε υψηλότερα επίπεδα στο εξωτερικό περιβάλλον κι έτσι το κτίριο απορροφά μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργώντας συνθήκες υπερθέρμανσης στο εσωτερικό της κατοικίας. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να ληφθούν μέτρα για την αποφυγή των επιβαρύνσεων του κτιρίου και τη λειτουργία του ως φυσικού συλλέκτη δροσισμού με την προστασία του κτιρίου από τον ήλιο με τη σκίαση των ανοιγμάτων, αποκλείοντας την ανεπιθύμητη ηλιακή ενέργεια στο εσωτερικό του κτιρίου, με την εξασφάλιση ικανής ποσότητας φυσικού δροσισμού, κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας, στο εσωτερικό της κατοικίας, ώστε να απομακρύνεται το επιπλέον θερμικό φορτίο, που απορροφάται από τα υλικά κατασκευής τη μέρα. Με την εξασφάλιση θερμικής αδράνειας στην κατασκευή και με τη χρήση υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας. Επίσης, με την βαφή των εξωτερικών επιφανειών με ανοιχτά χρώματα, ώστε να μειώνεται η απορροφούμενη θερμότητα και τέλος με την φυσική ψύξη μέσω της εξάτμισης όταν το κλίμα είναι ζεστό και ξηρό.

### **7.3. Θερμική προστασία των εξωτερικών δομικών στοιχείων του κελύφους**

Ένα από τα πιο σημαντικά μέτρα περιορισμού των θερμικών απωλειών το χειμώνα και τη διατήρηση των ηλιακών κερδών για αρκετό χρονικό διάστημα στο εσωτερικό της κατοικίας, είναι η ισχυροποίηση της θερμικής προστασίας των δομικών στοιχείων του κελύφους. Το πάχος της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων και του δώματος επιδρά θετικά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Με τα πρώτα 5 cm μόνωσης έχει παρατηρηθεί ότι η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται είναι πολλαπλάσια σε σχέση με τα επόμενα 5cm. Αυτό που ισχύει ως σκέψη στην αρχιτεκτονική είναι ότι όσο πιο ελεύθερη είναι η αρχιτεκτονική μορφή του κτιρίου σε σχέση με τη σύνθεση των όγκων του, τόσο ισχυρότερες θα πρέπει να είναι οι μονώσεις του περιβλήματός του ώστε να μπορέσουν να μειωθούν οι θερμικές

απώλειες και να δημιουργηθούν συνθήκες άνεσης στους εσωτερικούς χώρους με περιορισμένες καταναλώσεις.



Εικόνα 7.15. Επιδράσεις πάνω σε ένα πλευρικό τοίχωμα [www.cres.gr](http://www.cres.gr)



Εικόνα 7.16. Θερμική προστασία κελύφους [www.cres.gr](http://www.cres.gr)

Η απώλεια θερμότητας από το εσωτερικό του κτιρίου μπορεί να μειωθεί δημιουργώντας ένα κτίριο συμπαγούς μορφής. Ισχύει ότι όσο μικρότερη είναι η επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων ανά θερμαινόμενο όγκο τόσο λιγότερη ενέργεια απαιτείται για τη λειτουργία του κτιρίου. Ένα κτίριο μικρού όγκου χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για τη θέρμανση του καθαρού αέρα που παρέχεται παρά το γεγονός ότι παρέχεται ιδανική ποσότητα αέρα, ώστε να επικρατούν συνθήκες άνεσης και να αποφεύγονται τα προβλήματα υγείας.

Τα ανοίγματα, είναι καλό για την αποφυγή υπερθέρμανσης το καλοκαίρι, να περιορίζονται στις ανατολικές και δυτικές όψεις, ενώ για να περιορίζονται οι θερμικές απώλειες το χειμώνα να περιορίζονται στις βορινές όψεις. Στα ανοίγματα που υπάρχουν σε αυτές τις όψεις προτιμάται να έχουν τέτοιες διαστάσεις που να καλύπτουν τις ανάγκες των δωματίων σε αερισμό και φυσικό φωτισμό, γι' αυτό και δεν είναι ιδιαίτερος μεγάλα. Τα βορινά ανοίγματα, επειδή δέχονται έμμεσα διάχυτο φως, βοηθούν σε μια καλή ποιότητα φωτισμού γι' αυτό και συνιστώνται σε χώρους που χρησιμοποιούνται κυρίως τις θερινές περιόδους. Αυξάνοντας τις διαστάσεις τους σε μεγάλο βαθμό, έχουμε ως αποτέλεσμα την αύξηση του θερμικού φορτίου, για χώρους που χρησιμοποιούνται το χειμώνα [50].

Η καταλληλότερη όψη για την ύπαρξη ανοιγμάτων είναι η νότια. Σε αυτή συνίσταται η κάλυψη του 60% της επιφάνειάς της με ανοίγματα, ώστε να θερμαίνονται οι χώροι φυσικά μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις συστήνεται η τοποθέτηση θερμομονωτικών υαλοπινάκων προηγμένης τεχνολογίας ή υαλοπινάκων με χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας, για την αποφυγή θερμικών απωλειών. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας και ο συντελεστής μετάδοσης της θερμικής ηλιακής ενέργειας αποτελούν τα βασικά κριτήρια επιλογής του κατάλληλου από πλευράς ποιότητας ανοίγματος. Είναι πολύ σημαντικό ο συντελεστής θερμοπερατότητας να είναι ο μικρότερος δυνατός, ενώ αντίθετα ο συντελεστής διείσδυσης της συνολικής θερμικής ενέργειας ο μεγαλύτερος δυνατός, ώστε το άνοιγμα να είναι αποτελεσματικότερο για νότιο προσανατολισμό κυρίως. Όσον αφορά στα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα προτιμώνται οι μικρές τιμές και στους δύο συντελεστές. Επιπλέον θα πρέπει να γίνει η καταλληλότερη επιλογή σχετικά με τον υαλοπίνακα που θα τοποθετηθεί στον κάθε προσανατολισμό και τις απαιτήσεις των χώρων διότι σε αντίθετη περίπτωση θα προκληθούν αρνητικά αποτελέσματα όπως αύξηση των θερμικών απωλειών, μείωση του φυσικού φωτισμού, της οπτικής άνεσης κ.α. Κάθε όψη της κατοικίας πρέπει να σχεδιάζεται κατά τέτοιο τρόπο, που να αξιοποιούνται τα οφέλη της, ώστε να διατηρούνται οι συνθήκες άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου [44].

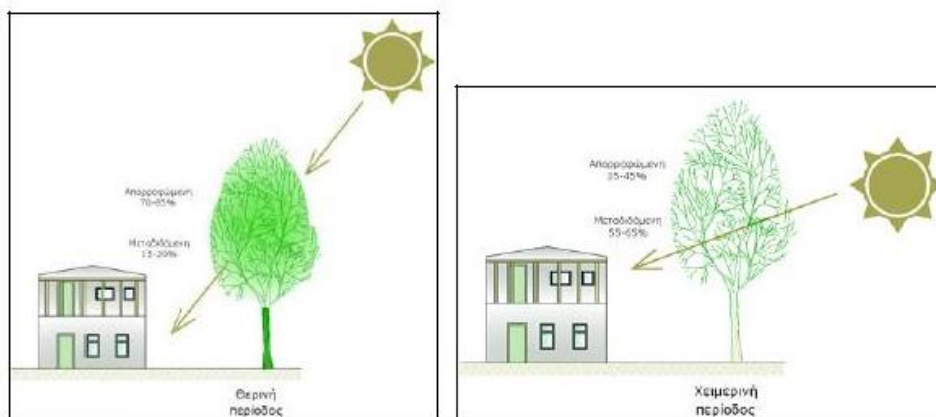


## Κεφάλαιο 8. Χρήση Βλάστησης

### 8.1. Βιοκλιματικός σχεδιασμός με χρήση βλάστησης

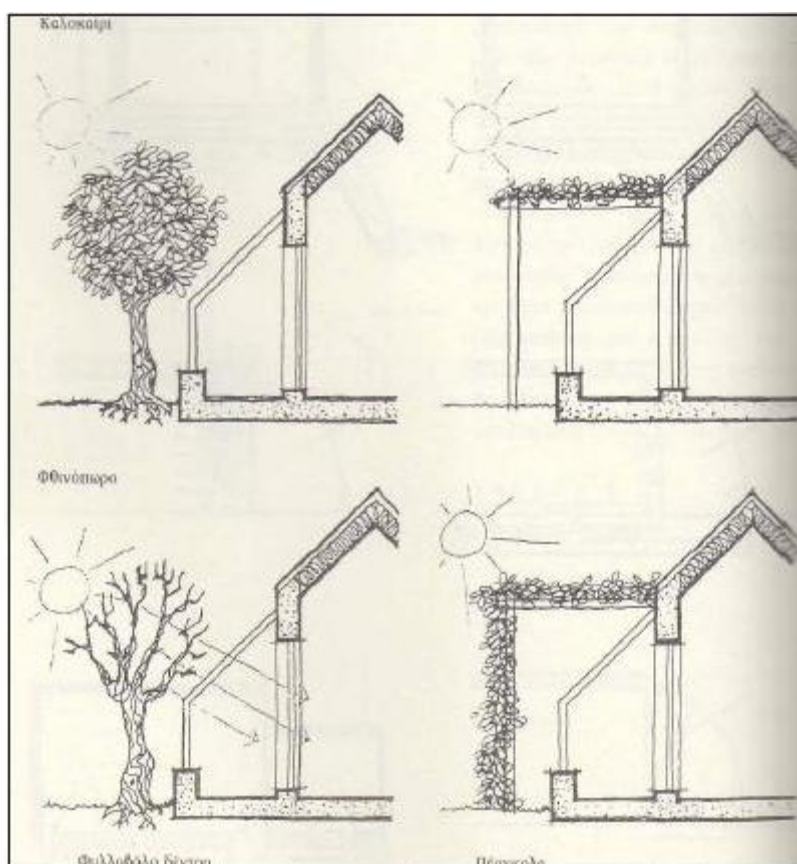
Τα φυσικά χαρακτηριστικά αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του αστικού περιβάλλοντος κι έχουν μεγάλη αξία. Συμβάλλουν στην οπτική άνεση, καθώς σε αποσπούν από το δομημένο περιβάλλον και δημιουργούν ευχάριστα συναισθήματα στους ανθρώπους παρέχοντας ένα ψυχολογικό δεσμό με τη φύση και την ύπαιθρο. Επιπλέον, η ύπαρξη βλάστησης βελτιώνει την ποιότητα ζωής των κατοίκων, βελτιώνουν την ψυχική και φυσική τους κατάσταση, συμβάλλουν στην επίτευξη της ακουστικής άνεσης καθώς μειώνουν το θόρυβο, φιλτράρουν τη σκόνη και δροσίζουν το καλοκαίρι με τη διαπνοή τους τον αέρα της ατμόσφαιρας.

Η χρήση βλάστησης συμβάλλει στις κλιματικές συνθήκες κατά μήκος των οδών και των ανοιχτών χώρων. Οι στόχοι της φύτευσης δέντρων και φυτών είναι για να αποφευχθεί και να μειωθεί το φαινόμενο της υπερθέρμανσης με την εξασφάλιση φυσικής ροής ψυχρού αέρα ή τη δημιουργία κήπων που περιλαμβάνουν και στοιχεία νερού τα οποία βοηθούν στην ψύξη με εξάτμιση. Επίσης η βλάστηση συμβάλλει στη δημιουργία σκίασης τις περιόδους ψύξης και θέρμανσης, η τοποθέτηση των φυτών είναι σημαντικό να γίνεται ανάλογα με το ύψος ανάπτυξης, το σχήμα της κορυφής καθώς και τις καιρικές διαφοροποιήσεις στην πυκνότητα του φυλλώματος και των κλαδιών, διότι η χειμερινή ηλιοπερατότητα κυμαίνεται μεταξύ 20% και 85% στα φυλλοβόλα δέντρα και πάνω από 20% σε όλα τα υπόλοιπα [37].



*Εικόνα 8.1. Σκίαση νότιας όψης κτιρίου από φυλλοβόλο δέντρο τη θερινή περίοδο, χωρίς να παρεμποδίζεται σημαντικά ο ηλιασμός του τη χειμερινή περίοδο [19]*

Κατά τη φυτοτεχνική διαμόρφωση ενός χώρου αλλά και κατά την επιλογή των φυτών θα πρέπει να ακολουθηθούν κάποιοι κανόνες, σύμφωνα με τους οποίους, τα φυτά που θα επιλεγθούν να συνθέτουν λειτουργικούς χώρους πρασίνου, οι οποίοι θα βελτιώνουν το μικροκλίμα, θα αντιμετωπίζουν τα προβλήματα που προκαλούνται από την ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία υπό σκιά, την κίνηση της υγρασίας του αέρα αλλά και την ένταση του ανέμου. Τα φυτά που θα επιλεγθούν είναι σημαντικό να ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες, δηλαδή αν αναφερόμαστε σε φυλλοβόλα, αειθαλή, θάμνους, χαμηλά ή ψηλά δέντρα, διότι με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ποικιλία χρωμάτων και σχημάτων που προκαλεί δυνατό αισθητικό αποτέλεσμα.



**Εικόνα 8.2.** Αλλαγή μικροκλίματος λόγω κατάλληλης φύτευσης [19]

Τα είδη βλάστησης που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να εξασφαλίζουν παρατεταμένη ανθοφορία και άρωμα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, κάτι που επιτυγχάνεται με την επιλογή φυτών που ανθίζουν σε διαφορετικές εποχές, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται διαφορετική αισθητική και δυναμική καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Επίσης τα είδη που θα επιλεγθούν είναι προτιμότερο να βρίσκονται σε αφθονία στην αγορά ώστε να είναι διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες και μεγέθη, καλό είναι να μην έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε συντήρηση, φροντίδα, άρδευση, να υπάρχει δυνατότητα

διαχείρισής τους με οικολογικούς τρόπους και να μην χρειάζονται χημικά λιπάσματα και φυτοφάρμακα. Τα είδη που θα χρησιμοποιηθούν είναι σημαντικό, να μπορούν να αναπτυχθούν στα δεδομένα εδαφοκλιματικά, κλιματολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά του τόπου και να συνιστούν φυτικές προεκτάσεις του τόπου ή φυτά που μπορούν να φυτευτούν σε ανοιχτούς χώρους. Ένας άλλος στόχος είναι να γίνει σωστά η φύτευση ώστε να επιτευχθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα η ανάπλαση του χώρου. Τέλος οι φυτεύσεις να γίνουν κατά τέτοιο τρόπο που να καλύπτουν τις αρχές της αρχιτεκτονικής του τοπίου και να διαμορφώνουν το χώρο σύμφωνα με τη λειτουργία και τη χρήση για την οποία έχουν προκαθορισθεί [37].

Λατινική ονομασία δέντρου	Σχήμα	Ύψος περίοδος ωρίμανσης (m)	Διάμετρος κώμης (m)	Ανάπτυξη	Χειμερινός σκιασμός (%)	Θερινός σκιασμός (%)	Φθινοπωρινή φυλλορροή	Εαρινή ανάπτυξη φυλλώματος
Acer platanoides	Στρογγυλό	15	12	Μέτρια	37	69	Μέση	Πρόωρη
Quercus palustris	Πυραμιδοειδές	23	12	Μέτρια	53	55	Όψιμη	Όψιμη
Robinia pseudoacacia	Επίμηκες	21	9	Μέτρια/γρήγορη	60	62	Πρόωρη	Όψιμη
Tilia cordata	Στρογγυλεμένη πυραμίδα	21	12	Μέτρια/αργή	43	83	Πρόωρη	Όψιμη

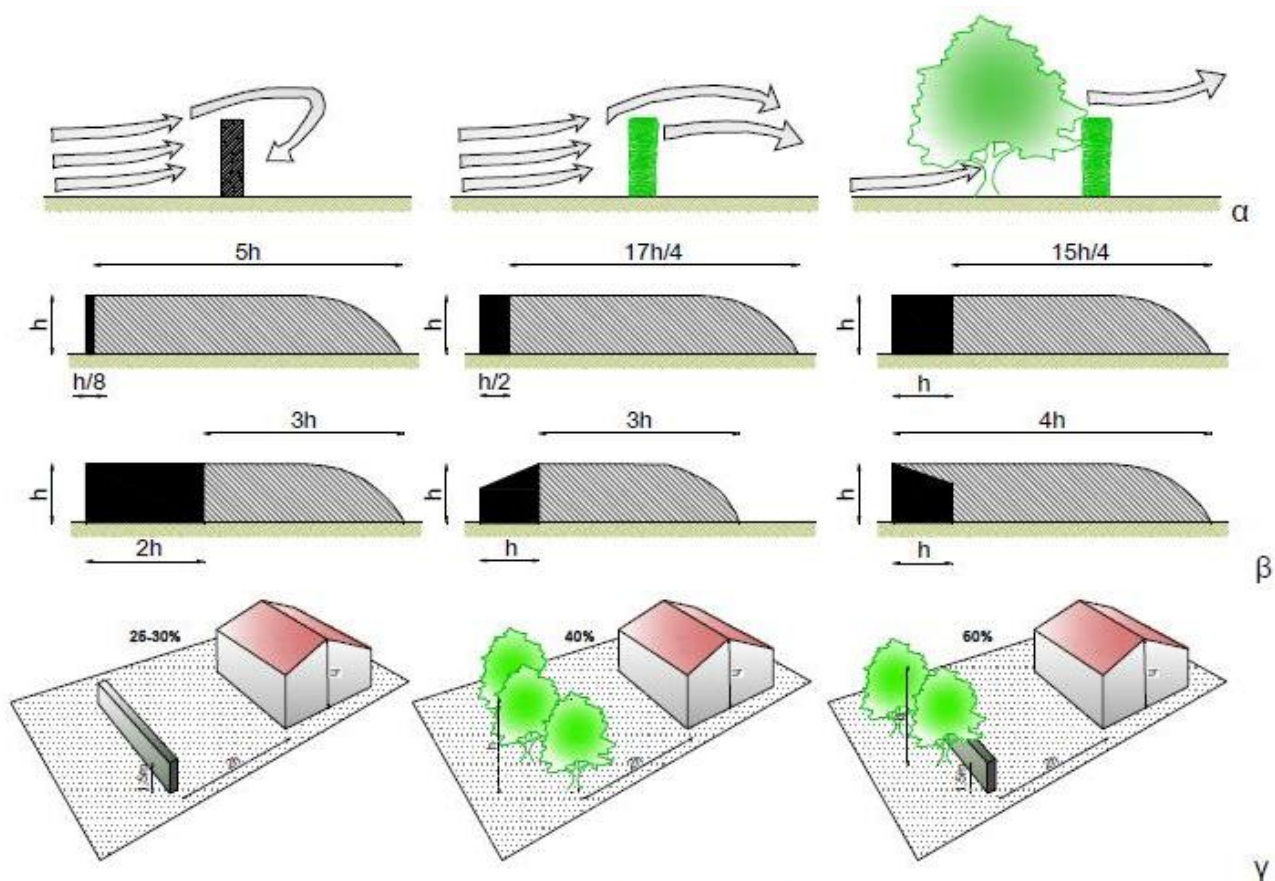
*Εικόνα 8.3* Ποσοστό σκιασμού δέντρων του ελληνικού χώρου ανάλογα με το σχήμα και τα χαρακτηριστικά της κόμης  
Προσαρμογή από [51]

Οι χώροι γύρω από το κτίριο που περιβάλλονται με πράσινο, αποτελούν έμβιο στοιχείο, εξέλιξιμο που υπόκειται στους νόμους της ζωής και του χρόνου, γι' αυτό και κατά την διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι παράγοντες, όπως η προσεκτική και λεπτομερής ανάλυση του φυσικού ανάγλυφου αλλά και του ανάγλυφου που δημιουργείται από το κτίριο και τα γειτονικά σε αυτό κτίρια. Η προσεκτική μελέτη των μικροκλιματικών συνθηκών μιας περιοχής, όσον αφορά τους ανέμους, τις βροχοπτώσεις, την ηλιοφάνεια, το χιόνι, την υγρασία κλπ. Η έρευνα των υπεδάφιων συνθηκών έδρασης της βλάστησης αλλά και των υπογείων οριζόντων, η επιλογή ειδών βλάστησης που θα διαθέτουν τέτοιο μέγεθος και πυκνότητα, τα οποία θα έχουν προκύψει από σωστό σχεδιασμό που θα περιλαμβάνουν τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος και τις υπηρεσίες που θα προσφέρουν και τέλος τη δημιουργία άριστων εδαφικών συνθηκών που θα ευνοούν την ανάπτυξη της βλάστησης [38].

Οι οικολογικές λειτουργίες που θα προκληθούν από το σωστό σχεδιασμό του υπαίθριου χώρου με τη χρήση των κατάλληλων δέντρων και φυτών είναι οι μικροκλιματικές συνθήκες με αισθητή διαφοροποίηση μετεωρολογικών δεδομένων όπως της θερμοκρασίας και του ανέμου, την ικανοποιητική διακράτηση σωματιδίων του ατμοσφαιρικού αέρα ανάλογα με τον όγκο του, μειώνοντας έτσι τους επικίνδυνους εσωτερικούς και εξωτερικούς ρύπους, το γεγονός ότι κατακρατά το βρόχινο νερό επιτυγχάνοντας καλύτερη απορροή και αποφυγή της διάβρωσης του εδάφους. Επίσης συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της δυνατότητας ελέγχου της θερμοκρασίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, προσφέρουν ηλιοπροστασία το καλοκαίρι, ανεμοπροστασία το χειμώνα, απορροφούν το θόρυβο επιτυγχάνοντας στην ακουστική άνεση [39].

Ο κύριος μηχανισμός της συνεισφοράς τους είναι η εξατμισο-διαπνοή, η απώλεια νερού από το περιβάλλον υπό μορφή υδρατμών. Η λανθάνουσα θερμότητα της εξατμισο-διαπνοής είναι πολύ μεγάλη και αντλείται από τον ατμοσφαιρικό αέρα μειώνοντας έτσι τη θερμοκρασία, σε τοπικό επίπεδο. Για παράδειγμα, ένα δέντρο μεσαίου μεγέθους το καλοκαίρι, εξατμίζει 1.460 λίτρα νερού και επιτυγχάνει δροσισμό της τάξης πέντε κλιματιστικών συσκευών, μια μικρή συστοιχία δέντρων μειώνει τη σκόνη και τα αιωρούμενα σωματίδια μέχρι και 7.000 σωματίδια ανά λίτρο νερού και μειώνει το θόρυβο κατά 50%.

Όσον αφορά στη συμβολή της βλάστησης και του εδαφικού ανάγλυφου στην προστασία της κατοικίας το χειμώνα, η προστατευμένη από τους ανέμους επιφάνεια βασίζεται στο ύψος της ανεμοπροστασίας, διότι όσο ψηλότερος είναι ένας ανεμοφράκτης δέντρων τόσο μεγαλύτερη είναι και η προστατευμένη επιφάνεια. Το μήκος της προστατευόμενης ζώνης επηρεάζεται από την πυκνότητα του ανεμοφράκτη, διότι οι πυκνοί ανεμοφράκτες με υψηλή βλάστηση μπορούν να μειώσουν την ταχύτητα του ανέμου σε μεγάλο βαθμό αλλά προσωρινά δηλαδή σε μικρή απόσταση ακριβώς πίσω από τον ανεμοφράκτη, έπειτα ο άνεμος ανακτά την αρχική του ταχύτητα. Τέλος το μέγιστο μήκος ανεμοπροστασίας αναπτύσσεται μόνο εφόσον το μήκος του ανεμοφράκτη είναι έντεκα ή δώδεκα φορές το ύψος του [41].



**Εικόνα 8.4.** Εκτροπή ψυχρού ανέμου με την χρήση ανεμοφράκτη, δέντρων ή θάμνων:

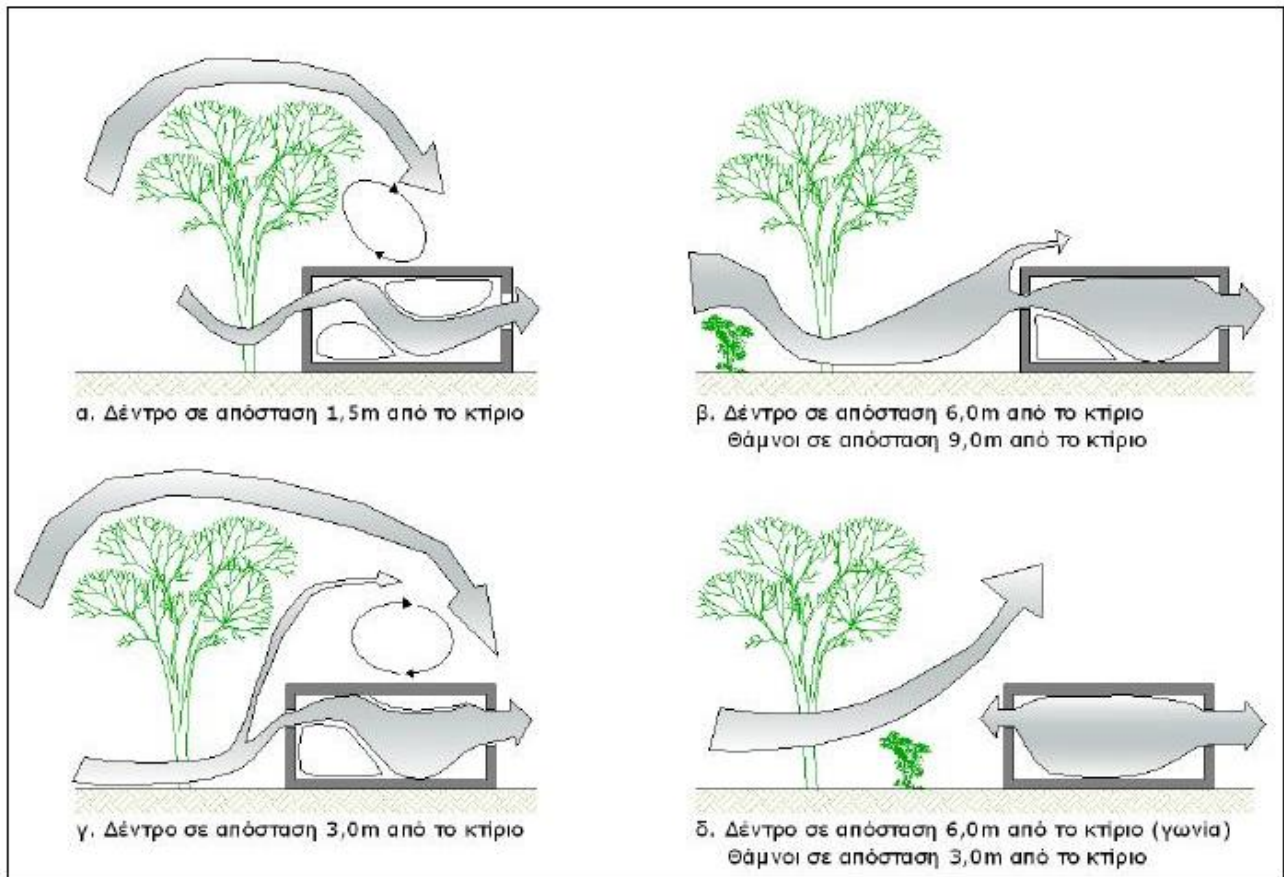
(α) Οι συμπαγείς φράκτες προκαλούν στροβιλισμούς, ενώ οι διάτρητοι - συνδυασμός θάμνων και δέντρων – αυξάνουν τη ζώνη ηρεμίας.

(β) Ζώνη επίδρασης ανεμοφράκτη, ανάλογα με τη μορφή και το πάχος του.

(γ) Ικανότητα μείωσης της διείσδυσης του ανέμου από ανεμοφράκτες διαφόρων τύπων.

[19]

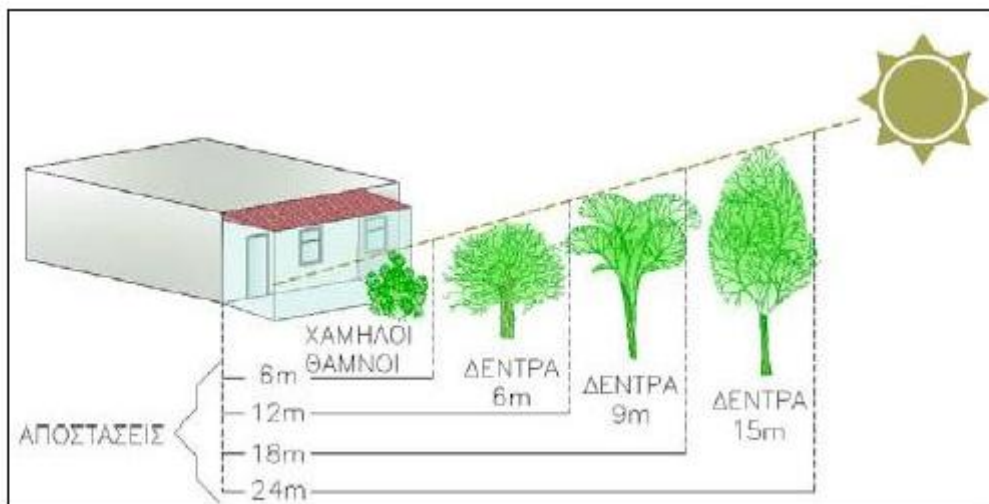
Η συμβολή της βλάστησης στην προστασία της κατοικίας το καλοκαίρι, πρέπει να συμβάλλει στον επαρκή αερισμό και στην επαρκή ηλιοπροστασία. Η επαρκής σκίαση επιτυγχάνεται με τη φύτευση δέντρων στη δυτική όψη του κτιρίου αλλά και με την κατασκευή πέργκολας. Είναι σημαντικό να γίνει προσεκτικός υπολογισμός της απόστασης που πρέπει να υπάρχει μεταξύ δέντρου και κτιρίου, ώστε να επιτρέπουν τον καλό αερισμό. Τέλος τα κοντά και πλατιά δέντρα προσφέρουν καλή ηλιοπροστασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.



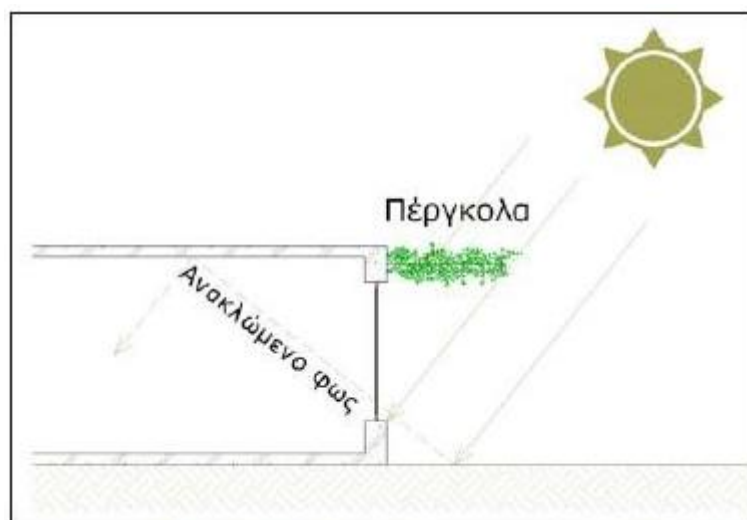
*Εικόνα 8.5. Η θέση των δέντρων ή / και θάμνων καθορίζει την κατεύθυνση του δροσερού ανέμου [19]*

Η βλάστηση μπορεί επίσης να προστατεύσει τη στέγη και την τοιχοποιία από την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με το συνδυασμό των παρακάτω τεχνικών: την τοποθέτηση βλάστησης σε πέργκολα στο δώμα ή σε πέργκολα προσκείμενη σε μία από τις πλευρές του κτιρίου, με τη χρήση της βλάστησης κατά τέτοιο τρόπο που να δημιουργεί ένα κλειστό προστατευμένο χώρο που βρίσκεται σε άμεση επαφή με το κτίριο, ή να έρχεται σε επαφή με τη στέγαση του κτιρίου και το φυτεμένο δώμα, την τοποθέτηση του πρασίνου κατά τέτοιο τρόπο που να έρχεται σε επαφή με το κτιριακό κέλυφος σε κατακόρυφο τοίχο αλλά και με την κατασκευή πετασμάτων πρασίνου σε κοντινή απόσταση με το κτίριο. Τη θερινή περίοδο, η πυκνή κάλυψη από αναρριχώμενα φυτά εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στην επιφάνεια του τοίχου ή του δώματος με αποτέλεσμα να μειώνεται η εξωτερική θερμοκρασία του κελύφους άρα και η ποσότητα θερμότητας που εισέρχεται στο εσωτερικό του. Το πρόβλημα αυτής της τεχνικής είναι ότι υπάρχει περίπτωση να παγιδευτεί κάποιο ποσό θερμού αέρα κοντά στην επιφάνεια του κτιρίου, το οποίο είναι ανανεώσιμο. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με ένα δυνατό ρεύμα αέρα που θα ανακινήσει το φύλλωμα και το δροσιστικό αποτέλεσμα από την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια των φύλλων θα

οδηγήσει στη μείωση της υπερθέρμανσης που προκαλεί ο παγιδευμένος αέρας. Το χειμώνα, όταν συμβαίνει αυτό το φαινόμενο, λειτουργεί σα μόνωση περιορίζοντας τις θερμικές απώλειες από το κτίριο. Παρατηρούμε πως η θερμοπερατότητα του τοίχου μειώνεται αν καλυφθεί με βλάστηση.



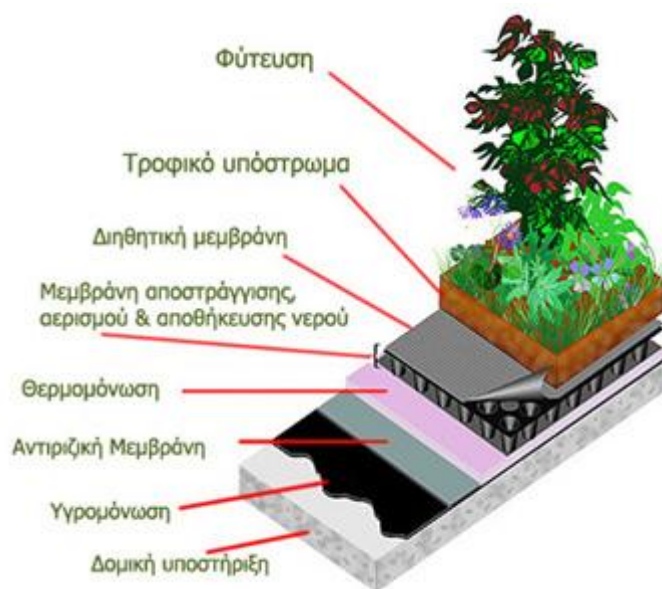
*Εικόνα 8.6. Προτεινόμενα ύψη φύτευσης, αναλόγως με την απόσταση, για νότιο προσανατολισμό [19]*



*Εικόνα 8.7. Οριζόντιο σκίαστρο με πέργκολα με φυτά [19]*

Όσον αφορά το φυτεμένο δώμα, το οποίο αποτελεί ένα πολύπλοκο θερμικό σύστημα με σημαντικές θερμομονωτικές ιδιότητες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, και το καλοκαίρι λειτουργεί σα φράγμα για την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο δώμα καθώς από την προσπίπτουσα ακτινοβολία αντανακλάται ένα ποσοστό της τάξης του 20% με 30% ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από το

φύλλωμα. Ένα περιποιημένο καλά αρδευόμενο γρασίδι έχει την ικανότητα να καταναλώνει το καλοκαίρι το 80% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ το χώμα ως θερμοχωρητική μάζα καθυστερεί την ροή της θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου κατά 9 ώρες ανά 30 εκατοστά [29].



Εικόνα 8.8. Φυτεμένο δώμα [www.energontexniki.gr](http://www.energontexniki.gr)

Κατά το χειμώνα, το πέτασμα αειθαλούς πρασίνου, προκαλεί τη δημιουργία μιας περιοχής στατικού αέρα μεταξύ αυτού και του τοίχου, η οποία λειτουργεί σα το ενδιάμεσο κενό στο πάχος ενός τοίχου. Η διαφορά στη θερμοκρασία μεταξύ του εσωτερικού και της ζώνης στατικού αέρα είναι μικρή και σχετικά σταθερή κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την παραμονή της θερμότητας στο κτίριο [37].

Τα φυλλοβόλα αναρριχώμενα σε κατασκευές πλησίον του κτιρίου προφυλάσσουν την κατοικία από την άμεση και ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, όταν επιδίωξη είναι ο περιορισμός των ηλιακών κερδών. Όσον αφορά στα ξηρά κλίματα, η υψηλή υγρασία του αέρα που υπάρχει στα φυτά αυξάνει τα ποσά θερμότητας που χρειάζονται για να αυξηθεί η θερμοκρασία. Σε περίπτωση που υπάρχει ελεύθερη ροή αέρα υπάρχει ελάχιστη με μηδαμινή διαφορά στις θερμοκρασίες που υπάρχουν στον ήλιο και στη σκιά. Βέβαια το καλοκαίρι όπου η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή, στους χώρους που είναι περικυκλωμένοι από βλάστηση η θερμοκρασία θα είναι χαμηλότερη. Τη νύχτα, αυτός ο θόλος φυλλώματος εμποδίζει τις απώλειες θερμότητας με ακτινοβολία προς την ατμόσφαιρα, μειώνοντας τις θερμικές απώλειες από νυχτερινή ακτινοβολία. Αυτό συμβαίνει διότι καθώς ανεβαίνει ο θερμός αέρας προς τα πάνω παγιδεύεται στο φύλλωμα και παραμένει κοντά στο έδαφος, μειώνοντας έτσι τις



διακυμάνσεις στη θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας και της ημέρας. Αυτή η ιδιότητα του φυλλώματος εξαρτάται από την πυκνότητά του, δηλαδή όσο πιο πυκνό είναι το φύλλωμα τόσο περισσότερο θερμό αέρα συγκρατεί κοντά στο έδαφος [24].

Μια άλλη συμβολή των φυτών είναι η ιδιότητά τους να απορροφούν τους εκπεμπόμενους ρύπους που υπάρχουν στο εσωτερικό των κατοικιών, καθαρίζοντας έτσι την ατμόσφαιρα από τα επικίνδυνα αέρια. Βέβαια υπάρχουν κι άλλοι τρόποι για να επιτευχθεί αυτό όπως με τον καλό αερισμό ή την εγκατάσταση συστημάτων που φιλτράρουν τον αέρα. Η πρώτη περίπτωση μπορεί να προκαλέσει μεγάλες θερμικές απώλειες ενώ η δεύτερη υψηλό κόστος. Η χρησιμοποίηση φυτών αποτελεί εύκολη και οικονομική λύση και η δυνατότητα των φυτών να απορροφούν τοξικούς ρύπους όπως το βενζόλιο και τη φορμαλδεΐδη μπορεί να μειώσει έως και 90% τη συγκέντρωσή του. Σε έρευνες που εκπονήθηκαν από τη NASA, σε ερμητικά κλειστούς θαλάμους 1-2m<sup>3</sup> στη διάρκεια 24 ωρών απέδειξαν την ευεργετική σημασία των φυτών στον καθαρισμό του εσωτερικού αέρα από τοξικές ουσίες. Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούνται τα ποσοστά απορρόφησης του κάθε ρύπου από διάφορα φυτά. Γενικά η χλωροφύλλη έχει την ικανότητα να απορροφά την ακτινοβολία, τη μόλυνση και τις βλαπτικές οσμές.

### **8.1.1. Φύτευση στις στέγες των κτιρίων**

Η φύτευση στις στέγες των κτιρίων είναι μια σημαντική τεχνική που εμφανίζει αρκετά οφέλη, καθώς οι στέγες αποτελούν μεγάλους ακάλυπτους χώρους στις πόλεις και η φύτευσή τους θα άλλαζε την όψη της πόλης, το μικροκλίμα της περιοχής, θα πρόσφερε θερμομόνωση και θα δημιουργούσε χώρους αναψυχής. Αυτή η τεχνική είναι πολύ δημοφιλής στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες και η τεχνολογία έχει δημιουργήσει νέες τεχνικές εφαρμογής της φύτευσης στις στέγες αλλά και σε ταράτσες.

Οι φυτεμένες στέγες χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες στις προσβάσιμες και στις μη προσβάσιμες. Οι προσβάσιμες οροφές είναι στην ουσία υπαίθριοι και ημιυπαίθριοι χώροι, είναι επίσης επίπεδοι χώροι που χρησιμοποιούνται για αναψυχή και ξεκούραση. Σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται φυτά, διάδρομοι μεταξύ αυτών, καθίσματα, χώροι παιχνιδιού, πέργκολες, σιντριβάνια και τέντες για σκίαση. Εφόσον είναι χώροι χρησιμοποιήσιμοι είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων ασφαλείας όπως η τοποθέτηση κάγκελων, φωτισμού κλπ. Αυτού του είδους οι ταρατσόκηποι αναβαθμίζουν το κτίριο αισθητικά και προσφέρουν στους χρήστες πλεονέκτημα [37].



*Εικόνα 8.9. Πράσινες στέγες [www.econews.gr](http://www.econews.gr)*

Στις μη προσβάσιμες, η βλάστηση αποτελεί ένα υλικό επικάλυψης. Δεν είναι βατές και δεν έχουν απαιτήσεις, εγκαθίστανται σε επίπεδες ή κεκλιμένες στέγες, έχουν μειωμένο κόστος συντήρησης και σε αυτές μπορεί να αναπτυχθεί γρασίδι, αγριολούλουδα κ.α. ανάλογα με το κλίμα και τις βροχοπτώσεις, σε στρώμα εδάφους 8 εκατοστών. Στις επίπεδες στέγες η βλάστηση μπορεί να είναι σα χαλί ή ως ειδικές κατασκευές όπως ζαρντινιέρες. Στην περίπτωση της κεκλιμένης στέγης χρειάζεται προσοχή στον τρόπο στήριξης των υλικών και των φυτών. Το πράσινο είναι ορατό αλλά όχι χρηστικό, έτσι δεν χρειάζονται στοιχεία ασφαλείας. Το βάρος των κατασκευών και η φέρουσα ικανότητα του κτιρίου είναι σημαντικές στο σχεδιασμό τους, διότι το στρώμα του χώματος, το βάρος των δέντρων και των φυτών, το πρόσθετο βάρος των ανθρώπων κλπ. επιβαρύνουν τη στατική αντοχή του κτιρίου. Τέλος, το κόστος συντήρησης και εγκατάστασης αυξάνεται αναλόγως.

Τα οφέλη που προκύπτουν από τη φύτευση της στέγης, ανεξάρτητα από το αν είναι προσβάσιμη ή όχι η οροφή, λόγω του παραγόμενου οξυγόνου είναι τεράστια. Η εφαρμογή του συστήματος σε ταράτσες και στέγες παρουσιάζει τεράστια οφέλη, καθώς συντελεί στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος, αναβαθμίζει τα κτίρια αισθητικά δημιουργεί ένα ζωντανό περιβάλλον μέσα στις τσιμεντούπολεις και ωφελεί τις αστικές κοινωνίες. Επίσης δημιουργεί ευχάριστη ατμόσφαιρα και

δίνει δυνατότητα αναβάθμισης ενός απλού χώρου αναψυχής, μειώνει το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας μιας και τα φυτά απορροφούν την επιπλέον παραγόμενη θερμότητα, συμβάλλει στην ορθολογική χρήση του νερού και στην ισόρροπη αστική διαβίωση, καθώς αποτελεί βιότοπο για πουλιά, πεταλούδες και ενδημικά πουλιά. Προσφέρει ηχομόνωση, υγραμόνωση και θερμομόνωση, καθώς σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει αποδεικνύουν ότι οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια για κλιματισμό όπως και η ανάγκη χρησιμοποίησης καλοριφέρ μειώνονται έως και 30% όταν υπάρχει βλάστηση στη στέγη [40].

Επιπλέον, προστατεύει τις επιφάνειες πάνω στις οποίες εφαρμόζεται από τη φθορά του χρόνου αλλά και από εξωτερικούς παράγοντες, φιλτράρει τη σκόνη και τα αιωρούμενα σωματίδια δρώντας ενάντια στην πρόκληση ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τέλος, το κόστος εγκατάστασης αυτής της τεχνικής είναι πολύ μικρό σε σχέση με τα οφέλη που προσφέρει, δηλαδή την εξοικονόμηση ενέργειας, την αισθητική αναβάθμιση, το μειωμένο κόστος συντήρησης, την αναβάθμιση της αξίας των κτιρίων κ.α.

Κατά την εφαρμογή αυτού του συστήματος, θα πρέπει να υπάρχει επαρκής υγραμόνωση της οροφής και η εγκατάσταση ενός κατάλληλου συστήματος άρδευσης, αποχέτευσης και συντήρησης ώστε να λειτουργεί σωστά το σύστημα και να μην δημιουργούνται προβλήματα. Επιπλέον είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη τα επιπλέον φορτία στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου καθώς υπάρχουν διάφορες προσμίξεις από ανόργανα και οργανικά υλικά που κάνουν το υπόστρωμα να ζυγίζει λιγότερο. Επίσης υπάρχουν ελαφρά υλικά που υποκαθιστούν το χώμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς να επηρεάζουν την ομαλή ανάπτυξη των φυτών.

Σε μια στέγη ή σε μια ταράτσα μπορεί να είναι φυτεμένα όλων των ειδών τα φυτά από λουλούδια μέχρι δέντρα, και εξαρτάται από το κλίμα της περιοχής αλλά και από το επιπλέον φορτίο που μπορεί να αντέξει η οροφή. Η φύτευση γίνεται σε ζαρντινιέρες ή πάνω σε ένα διαμορφωμένο υπόστρωμα. Όλες οι οροφές, οι ταράτσες, τα αίθρια και τα μπαλκόνια μπορούν να καλυφθούν με βλάστηση και να προκληθούν τα οφέλη που προαναφέρθηκαν στο πυκνοδομημένο και υποβαθμισμένο αισθητικά αλλά και από κάθε άποψη αστικό περιβάλλον.

Η εγκατάσταση βλάστησης στη στέγη πρέπει να γίνει με προσεκτικό σχεδιασμό αλλά και η εφαρμογή της πρέπει να γίνει προσεκτικά, ώστε να αποφευχθούν κάποια κατασκευαστικά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν. Οι βασικές προϋποθέσεις για το σχεδιασμό του ταρασόκηπου πρέπει να καταστήσουν κατανοητό, ότι η κάθε επιφάνεια στην οποία φυτεύεται

βλάστηση συνδέεται ποικιλοτρόπως με το κτίριο και ασκεί επιδράσεις σε αυτό, επίσης δεν υπάρχει σύνδεση με το έδαφος.

Οι βασικές παράμετροι κατασκευής μιας πράσινης στέγης είναι:

1. Η κατασκευαστική επικάλυψη του δώματος με φράγμα υδρατμών, αν απαιτείται, θερμομόνωση, στεγάνωση, και να είναι ικανή να δεχτεί την κατασκευή κήπου πάνω από αυτή.

2. Η φέρουσα κατασκευή να μπορεί να δεχθεί τα πρόσθετα φορτία του κήπου, η επιλογή των φυτών πρέπει να είναι τέτοια που να μπορούν να αναπτυχθούν στις ειδικές συνθήκες που επικρατούν στις στέγες, και να προστατεύονται από τους ανέμους.

3. Η πρόβλεψη για την άρδευση και την απορροή του επιπλέον νερού καθώς και των όμβριων, ο διαχωρισμός της επικάλυψης της στέγης από την κατασκευή του κήπου για την προστασία της από τις χημικές και μηχανικές επιδράσεις του κήπου αλλά και από τη διείσδυση των ριζών των φυτών σε αυτή και τέλος, η πληρότητα στην κατασκευή του κήπου, που θα αποτελείται από όλες τις απαραίτητες στρώσεις [37].

Η επίτευξη αυτών των παραμέτρων θα συμβάλλει στην επιτυχή κατασκευή και λειτουργία της πράσινης στέγης.

Η δομή της φυτεμένης ταράτσας αποτελείται από αρκετά στρώματα όπως τη στρώση αποστράγγισης, τη στρώση φύτευσης, την βλάστηση, τη μεμβράνη που είναι ανθεκτική στη διάβρωση, το διαχωριστικό φίλτρο, τη θερμομόνωση, την αδιάβροχη μεμβράνη αλλά και την πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα [37].

Η στρώση αποστράγγισης, αποτελείται από διογκωμένη άργιλο, χαλίκια, ελαφρόπετρα, κόκκους περλίτη με στόχο τη συγκράτηση του νερού που χρειάζεται για να αναπτυχθούν τα φυτά και να απομακρύνει την επιπλέον ποσότητα καθώς και να έχει προβλεφθεί το επιπλέον νερό από τις βροχοπτώσεις μιας και το χειμώνα ο ταρατσόκηπος είναι σε θέση να συγκρατεί το 50%-60% του νερού της βροχόπτωσης ενώ το καλοκαίρι το 70%-100% [225].

Η στρώση φύτευσης, αποτελείται από μια στρώση χώματος ή μείγματος χώματος με άλλα πρόσμεικτα, πλούσια σε θρεπτικά συστατικά. Το διαχωριστικό φίλτρο, εμποδίζει το χώμα να περάσει στην αποστραγγιστική στρώση και να δυσχεράνει τη λειτουργία της. Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται είναι μεμβράνες από υαλώδεις ίνες ή ίνες πολυπροπυλενίου. Μεταξύ του κήπου και του δομικού

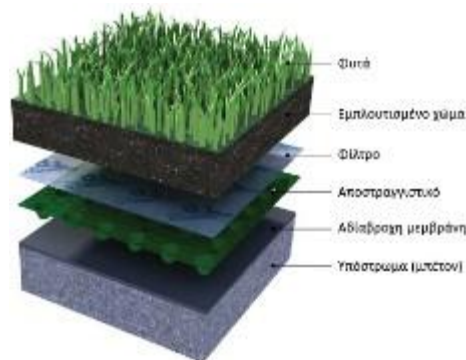
τμήματος αλλά και πάνω από τη στεγανωτική στρώση τοποθετείται ειδική ασφαλική μεμβράνη για να προστατεύει το δομικό τμήμα από τις ρίζες με οπλισμό υαλοπλήματος. Η βλάστηση ποικίλει ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τα φορτία που φέρει η ταράτσα, η μεμβράνη, η οποία είναι αδιάβροχη και ανθεκτική στη διάβρωση, λόγω των ριζών και η αδιάβροχη αντολισθητική μεμβράνη η οποία προσφέρει μόνωση και συγκρατεί τα υπερκείμενα στρώματα.

### 8.1.2 Συστήματα φύτευσης ταρατσών

Υπάρχουν δύο συστήματα φύτευσης ταρατσών, το απλό και το εντατικό. Το απλό, χαρακτηρίζεται από χαμηλά φορτία, μικρό κόστος κατασκευής και μικρές ανάγκες συντήρησης. Το εδαφικό στρώμα, αποτελείται από μίγμα άμμου, χαλικιού, τύρφης, οργανικής ύλης, και χώματος, ποικίλλει σε βάθος 5 με 15 εκατοστά, με φορτίο 25 με 170 κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο. Λόγω του ρηχού στρώματος και του μικροκλίματος πολλών ταρατσών, τα φυτά πρέπει να είναι χαμηλά και ανθεκτικά, ξερικά ή ενδημικά της περιοχής. Μετά τον πρώτο χρόνο κατασκευής του ταρατσόκηπου, η συντήρηση του περιορίζεται σε δύο με τρεις επισκέψεις το έτος για σπορά και έλεγχο. Δεν χρειάζεται πολύ ειδίκευση ή εμπειρία για να συντηρηθεί αυτός ο τύπος φύτευσης [40].

Τα πλεονεκτήματα του απλού συστήματος είναι τα μικρά φορτία, η μικρή ανάγκη συντήρησης, η μικρή ανάγκη κάποιου ειδικού για τη φροντίδα και το σχεδιασμό του. Επίσης, είναι σχετικά οικονομική μέθοδος, τα φυτά αναπτύσσονται εύκολα και γρήγορα, είναι κατάλληλο για μεγάλες επιφάνειες και στέγες με κλίση από 0ο με 30ο, δεν χρειάζεται άρδευση ούτε αποχετευτικό σύστημα τις περισσότερες φορές και δημιουργεί φυσική όψη. Τα μειονεκτήματα είναι ο περιορισμός στην επιλογή φυτών και το γεγονός ότι δεν είναι τόσο ελκυστικό το αισθητικό αποτέλεσμα.

Το εντατικό, χαρακτηρίζεται από υψηλότερα φορτία, μεγαλύτερο κόστος κατασκευής και μεγαλύτερες ανάγκες συντήρησης. Το εδαφικό στρώμα βασίζεται κυρίως στο χώμα, το βάθος του κυμαίνεται μεταξύ 20 και 60 εκατοστών, με φορτίο 200 με 600 κιλών ανά τετραγωνικό μέτρο. Λόγω του αυξημένου πάχους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα είδη φυτών, συμπεριλαμβάνοντας, θάμνους και δέντρα που επιτρέπουν την ανάπτυξη ενός συνθετότερου οικοσυστήματος. Οι απαιτήσεις για συντήρηση είναι πιο αυξημένες και συχνές σε σύγκριση με το απλό σύστημα φύτευσης και είναι αναγκαία η συμβολή ειδικού για το σχεδιασμό και την εγκατάσταση αυτού του συστήματος.



*Εικόνα 8.10. Ταρατσόκηπος [www.libekat.com](http://www.libekat.com)*

Τα πλεονεκτήματα του εντατικού συστήματος είναι η ποικιλία των φυτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, λόγω του πάχους του εδαφικού στρώματος και η βιοποικιλότητα που παρατηρείται στο κτίριο, επίσης μονώνει καλύτερα το κτίριο από ότι το απλό σύστημα, δημιουργεί την εικόνα ενός πραγματικού κήπου κάνοντάς το ελκυστικό αισθητικά στους επισκέπτες και τους περίοικους και διαφοροποιεί τη μέχρι πρότινος χρήση της ταράτσας. Τα μειονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι τα μεγάλα φορτία, το υψηλό κόστος και η ανάγκη ειδικού στη συντήρηση, το σχεδιασμό και τη φροντίδα του.

Βασικά στις περισσότερες κατασκευές ταρατσόκηπων γίνεται συνδυασμός των δύο αυτών συστημάτων και εξαρτάται από την τοποθεσία, τον προϋπολογισμό, τα διαθέσιμα υλικά, τη στατική ικανότητα του κτιρίου, αλλά και τις ανάγκες που θέλουμε να καλύψουμε από τη χρήση της στέγης ή της ταράτσας. Για παράδειγμα μπορεί να τοποθετηθεί χλοοτάπητας σε στρώμα πάχους 8 με 10 εκατοστών και να φυτέψουμε λουλούδια ή θάμνους πάνω από τα φέροντα στοιχεία του κτιρίου, τις κολώνες, τα δοκάρια κλπ.

### **8.1.3. Φύτευση στις προσόψεις των κτιρίων**

Τα τελευταία χρόνια γίνεται και στη χώρα μας μια προσπάθεια να φυτευτούν δώματα, ταράτσες, βεράντες και να γίνουν μικροί κήποι στις πολυκατοικίες και τα σπίτια. Ταυτόχρονα, όμως, υπάρχουν νέες εξελίξεις στις τεχνικές και το σχεδιασμό των χώρων πρασίνου διεθνώς. Μια επαναστατική πρόταση, από τον γάλλο Patrick Blanc μόλις πριν λίγα χρόνια, που έχει βρει υποστηρικτές παγκοσμίως είναι η κάθετη φύτευση ή αλλιώς οι πράσινοι τοίχοι.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να καλυφθούν οι τοίχοι με φυτά, όπως:

1. Ο πιο απλός τρόπος είναι να επενδυθούν οι τοίχοι με αναρριχώμενα. Προϋπόθεση γι' αυτό είναι να υπάρχει χώμα, είτε στο έδαφος είτε σε δοχεία, όπου φυτεύονται αναρριχητικά φυτά, που έχουν τη δυνατότητα να στηρίζονται μόνα τους (όπως ο κισσός ή ο παρθενόκισσος) ή υποβοηθούμενα από στηρίγματα και πλέγματα. Στους σκιερούς τοίχους, όπου μπορεί να παρουσιαστεί πρόβλημα υγρασίας, προτιμώνται φυλλοβόλα φυτά, που το χειμώνα αφήνουν τον τοίχο γυμνό και εκτεθειμένο στην ακτινοβολία.



*Εικόνα 8.11. Φύτευση με αμπέλια [biokipos.blogspot.gr](http://biokipos.blogspot.gr)*

2. Άλλος τρόπος είναι να διαμορφωθούν υποδοχές στον τοίχο, ώστε να δημιουργηθεί η κατάλληλη υποδομή για τη φύτευση. Η πρακτική αυτή εφαρμόζεται συνήθως σε τοίχους στήριξης. Σε αυτή την περίπτωση, δημιουργούνται ανοίγματα (ζαρντινιέρες) σε διάφορα σημεία του τοίχου, εγκαθίσταται σύστημα αυτόματου ποτίσματος και, στη συνέχεια, τοποθετείται το χώμα και τα φυτά.

3. Αν πρέπει να καλυφθούν κολόνες ή άλλα κάθετα στοιχεία, μπορεί να εγκατασταθεί ειδική διάταξη, μέσα στην οποία τοποθετούνται ειδικές γλάστρες. Στις γλάστρες αυτές τοποθετείται χώμα συγκεκριμένης σύστασης, για να είναι ελαφρύ, ενώ το πότισμα γίνεται συνήθως αυτόματα. Θα πρέπει, σε αυτή την περίπτωση, να είναι κανείς αρκετά προσεκτικός στον τρόπο της στήριξης και στην αντοχή της κατασκευής που θα τοποθετηθεί. Τα τελευταία χρόνια, με αυτή τη μέθοδο έχουν διακοσμηθεί κολόνες φωτισμού σε αρκετούς δήμους της Αττικής.

4. Η νέα μέθοδος “κάθετου κήπου” απαιτεί την προσαρμογή πάνω στον τοίχο ειδικής υποδομής, η οποία αποτελείται από δοχεία που έχουν υποστεί ιδιαίτερη επεξεργασία, κατάλληλο υπόστρωμα τύπου τσόχας, αλλά όχι χώμα, αυτόματο σύστημα ποτίσματος και, βέβαια, φυτά. Το αποτέλεσμα είναι τόσο πρακτικό όσο και διακοσμητικό. Το ειδικό υπόστρωμα, χρησιμοποιείται μόνο

για τη στήριξη των ριζών, ενώ τα φυτά καλλιεργούνται “υδροπονικά”, δηλαδή παίρνουν όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία μέσα από το νερό, χωρίς να χρειάζονται χώμα, που θα επιβάρυνε την κατασκευή με υπερβολικό βάρος. Οι φυτικές συνθέσεις των “κάθετων κήπων” είναι εμπνευσμένες από την αυτοφυή βλάστηση σε βράχια και κορμούς δέντρων, σε μέρη με αρκετή υγρασία. Είναι ουσιαστικά μια απλή μίμηση της σοφίας της φύσης. Χρησιμοποιώντας είδη με διαφορετική υφή, σχήματα και χρώματα φύλλων, μπορεί να επιτευχθεί ένα καλαίσθητο, πέρα από οικολογικά ωφέλιμο, αποτέλεσμα.



*Εικόνα 8.12. Κάθετος κήπος [www.otherside.gr](http://www.otherside.gr)*

Τα συστήματα αυτά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στο εσωτερικό των κτιρίων, αρκεί να εξασφαλίζεται εκτός των άλλων και το απαιτούμενο φως. Άλλωστε, το σύστημα ποτίσματος είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να μη δημιουργεί προβλήματα υγρασίας, αλλά και διαρροές στο πάτωμα. Είναι μια διαφορετική πρόταση για επένδυση του τοίχου, αντί της ταπετσαρίας ή των έργων τέχνης. Είναι ένας εναλλακτικός τρόπος να γίνει ένα σπίτι πιο φιλικό στο περιβάλλον, αλλά και σε ενοίκους του., ενώ παράλληλα βοηθείται το περιβάλλον, αφού δίνεται περισσότερος χώρος στα φυτά μέσα στην πόλη [37].



Το κόστος ενός τέτοιου τοίχου είναι γύρω στα 450 ευρώ ανά 3,3 τ.μ. και χρειάζονται περίπου 30 φυτά ανά τ.μ. Το συνολικό βάρος ενός τέτοιου κήπου είναι λιγότερο από 30 κιλά ανά τ.μ. Η συντήρηση περιορίζεται στο κλάδεμα των φυτών το πολύ 2 φορές ετησίως. Όπως είναι κατανοητό το κόστος μιας τέτοιας φύτευσης είναι πολύ μικρό σε σχέση με τα οφέλη της. Ειδικά για τις πόλεις, τα βασικότερα οφέλη είναι:

1. Βελτιώνεται η ποιότητα του αέρα και άρα το μικρό- το μέσο- και το μακρό- κλίμα
2. Μειώνεται η ατμοσφαιρική ρύπανση, επειδή τα φυτά συγκρατούν τα αιωρούμενα σωματίδια και τη σκόνη.
3. Μειώνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.
4. Μειώνεται η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτιρίου.
5. Απορροφάται ποσότητα βροχής, οπότε και γίνεται καλύτερη διαχείριση των όμβριων υδάτων και μειώνονται οι πλημμύρες.
6. Τα φυλλώματα απορροφούν τους ήχους, περιορίζοντας τις επιπτώσεις της ηχορύπανσης.
7. Προστατεύεται το ίδιο το κτίριο από τη φθορά του χρόνου.
8. Τα κτίρια γίνονται πιο όμορφα.
9. Βελτιώνει την ψυχολογική διάθεση των ανθρώπων που το προσπερνούν.
10. Αυξάνει την ψυχολογική ώθηση των ανθρώπων που χρησιμοποιούν το κτίριο, αναφερόμενοι κυρίως σε εταιρικά κτίρια και στους εργαζομένους τους.

Η επιλογή των φυτών στον “κάθετο κήπο” είναι προσαρμοσμένη στις κλιματικές ανάγκες κάθε περιοχής, ενώ το πότισμα γίνεται από την κορυφή του τοίχου. Το σύστημα υποστήριξης των φυτών στον “κάθετο κήπο” είναι αρκετά ελαφρύ και μπορεί να προσαρμοστεί οπουδήποτε, χωρίς να υπάρχει περιορισμός στην επιφάνεια κάλυψης. Βέβαια, η όλη εγκατάσταση πρέπει να γίνει από εξειδικευμένο προσωπικό, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα και η καλή λειτουργία, αλλά και η ασφάλεια της κατασκευής [40].

Προτεινόμενα φυτά για τα ελληνικά δεδομένα:

- Αναρριχώμενα με γρήγορη ανάπτυξη:

Αγιόκλημα, Βουκαμβίλια, Γλυσίνα, Κισσός, Κληματαριά, Παρθενόκισσος, Πολύγωνο, Ρυγχόσπερμο

- Κατάλληλα για κάθετη φύτευση σε ηλιόλουστα σημεία:

Αμπέλια, Άλυσσος, Αφάνα, Βερβένα, Βερβερίδα, Βερονίκη νάνα, Γεράνι Γιουνίπερος, Γρεβιλλέα ταμπορίτα, Δεντρολίβανο έρπον, Θυμάρι, Κίστος, Κυδωνίαστρο, Κουφέα, Λαντάνα νάνα, Λεβάντα, Λεβαντίνη, Μπούζι, Σπυραία έρπουσα, Τεύκριο έρπον, Υπέρικο έρπον, Φασκόμηλο

- Κατάλληλα για κάθετη φύτευση σε σκιερά σημεία:

Αγιόκλημα, Βερβερίδα, Βερονίκη νάνα, Βίγκα, Κυδωνίαστρο, Κισσός, Ρυγχόσπερμο, Σκίμμια, Φτέρη (διάφορα είδη)

- Κατάλληλα για κάθετη φύτευση σε θέσεις με άνεμο και κρύο:

Αγγελική νάνα, Βερβερίδα, Βίγκα, Γιουνίπερος, Δεντρολίβανο έρπον, Έρικα (ρείκι), Κισσός, Κυδωνίαστρο, Λεβάντα, Λεβαντίνη, Σπυραία έρπουσα, Τεύκριο έρπον, Υπέρικο έρπον.

## Κεφάλαιο 9

### 9.1. Περιγραφή κτισμάτων

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρία προκατασκευασμένα κτίσματα ίδιων διαστάσεων (4,3x3,3μ) και χαρακτηριστικών, που τοποθετήθηκαν στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Οι εισοδοί και των τριών σπιτιών βρίσκονται στη βορινή πλευρά ενώ και τα τρία διαθέτουν από δύο παράθυρα, ένα στην ανατολική και ένα στη δυτική πλευρά τους, διαστάσεων 1,20x1,00μ. Το κάθε κτίσμα αποτελείται από έναν ενιαίο χώρο και διαφοροποιούνται μεταξύ τους στη νότια πλευρά τους.

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του βιοκλιματικού σχεδιασμού ως προς τον προσανατολισμό των κτιρίων, τα τρία κτίσματα έχουν τοποθετηθεί έτσι ώστε στη νότια πλευρά τους να ενσωματώνονται τα εξής :

- Στο **πρώτο κτίσμα** είναι προσαρτημένος ηλιακός χώρος, τύπου θερμοκηπίου, διαστάσεων 2,95x1,45μ. ενώ η οροφή είναι οριζόντια, σε ύψος 3,00μ.(Εικόνα 9.1.)



*Εικόνα 9.1. Θερμοκήπιο*

- Στο **δεύτερο κτίσμα** έχει ενσωματωθεί τοίχος θερμικής αποθήκευσης, τύπου Trombe, μαύρου χρώματος, με διάκενα. Η οροφή του κτίσματος αυτού είναι επίσης οριζόντια, ύψους 3,00μ.(Εικόνα 9.2.)



*Εικόνα 9.2 Τοίχος Trombe*

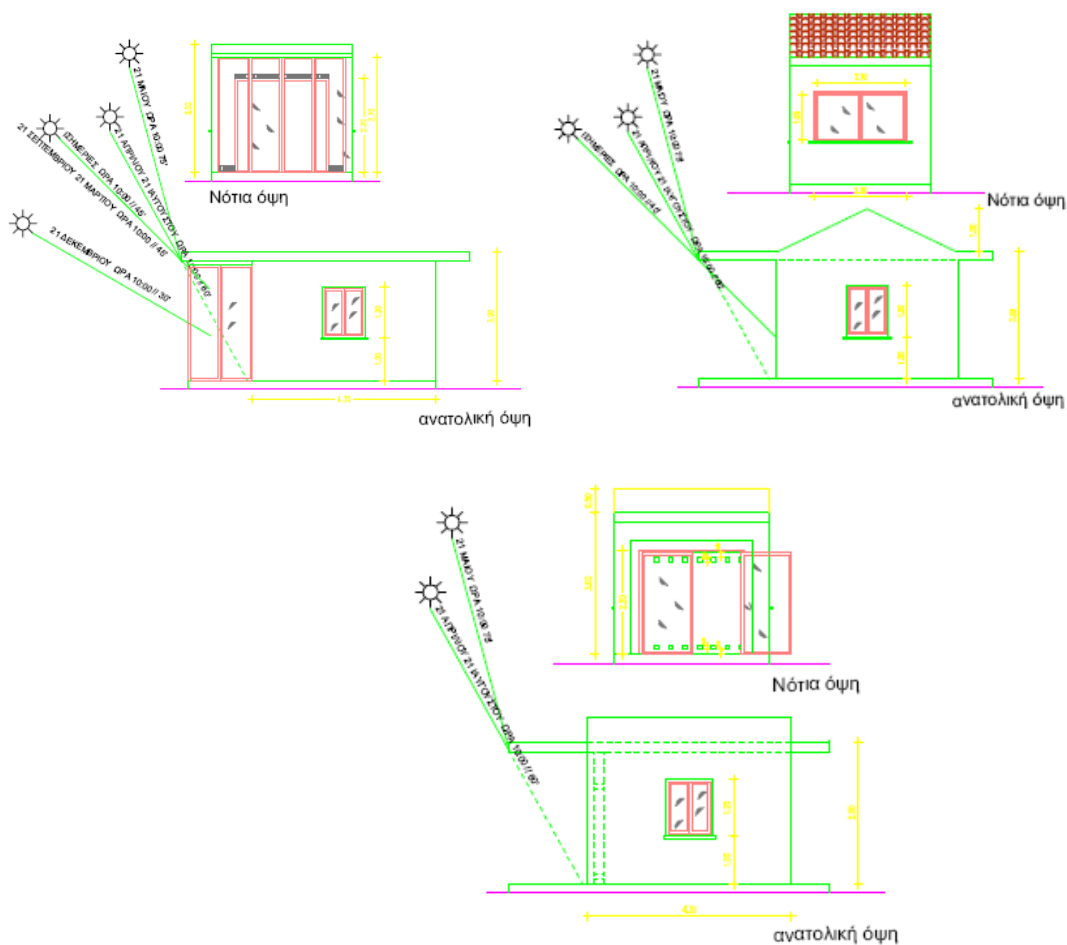
- Στο **τρίτο κτίσμα** έχει τοποθετηθεί απλό παράθυρο διαστάσεων 2,10x1,05μ. ενώ η στέγη του είναι κεκλιμένη, συνολικού ύψους 4,00μ.(Εικόνα 9.3.)



*Εικόνα 9.3 Νότιο παράθυρο*

Τα προκατασκευασμένα κτίσματα έχουν κατασκευαστεί σε εργοστάσιο, έχουν μεταφερθεί ολοκληρωμένα και έχουν τοποθετηθεί στην εν λόγω περιοχή. Συγκεκριμένα, οι τοίχοι και η οροφή αποτελούνται από διπλό τοιχίο οπλισμένου σκυροδέματος, 5εκ. το καθένα, με 3εκ. μόνωσης στη μέση, αφρώδους πολουρεθάνης. Η πλάκα του δαπέδου αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα, 15εκ., χωρίς μόνωση. Τα πανέλα των τοίχων και της οροφής έχουν ενωθεί μεταξύ τους με χυτό σκυρόδεμα, 7εκ. Στο κτίριο που διαθέτει το παράθυρο, έχει τοποθετηθεί κεραμοσκεπή, πάνω σε ενιαία πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος, 10εκ.

Ως προς τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή, τα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος έχουν συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=2,5$  και συντελεστή θερμοπερατότητας  $U=0,64$ . Η πλάκα του δαπέδου έχει συντελεστή θερμοπερατότητας  $U=2,5$ , το σύστημα οροφής του κτίσματος με το παράθυρο- δηλαδή ενιαία πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος και κεραμοσκεπή- έχει συντελεστή  $U=3,65$  ενώ οι οροφές των άλλων δύο κτισμάτων που διαθέτουν μόνο πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος έχουν συντελεστή  $U=3,9$ . Τα παράθυρα στα κτίρια, καθώς και το θερμοκήπιο, αποτελούνται από διπλό τζάμι 6χιλ. το καθένα και τα κουφώματα αυτών είναι από αλουμίνιο με θερμοδιακοπή, με διάκενο αέρα 6χιλ. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας αυτών είναι  $U=3,6$ .



*Εικόνα 9.4. Νότιες και ανατολικές όψεις*

Και στα τρία κτίρια τοποθετήθηκαν ένας αισθητήρας στο νότιο τοίχο, ένας στον βόρειο, ένας στο πάτωμα και ένας στην οροφή. Στο κτίριο με το θερμοκήπιο θεωρήθηκε αναγκαία η τοποθέτηση κάποιων επιπλέον αισθητήρων λόγω της ιδιαιτερότητας της κατασκευής και της λειτουργίας του. Έτσι προστέθηκε ένας ακόμα αισθητήρας μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου, ένας στο πρέκι της τζαμαρίας

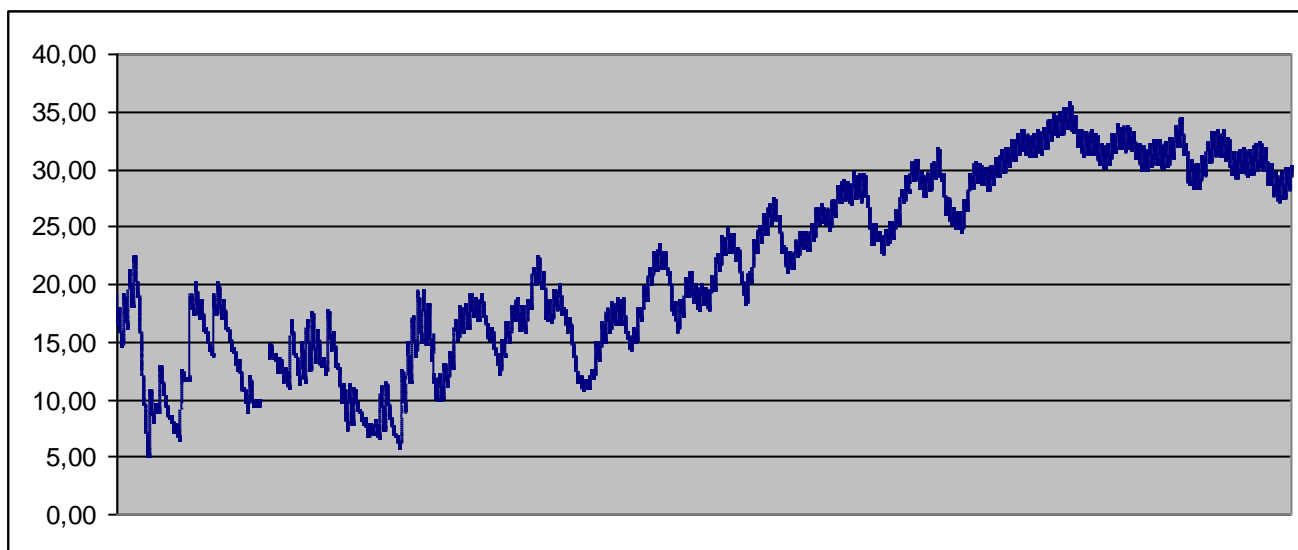
που χωρίζει το κυρίως σπίτι από το χώρο του θερμοκηπίου και επίσης καθότι δεν υπάρχει νότιος τοίχος τοποθετήθηκε ένας αισθητήρας στο νότιο μέρος του εσωτερικού δωματίου, μέσα δηλαδή από το θερμοκήπιο.

Τα δεδομένα που προέκυψαν για την θερμοκρασία και υγρασία στο εσωτερικό των σπιτιών επεξεργάστηκαν και διαγραμματοποιήθηκαν έτσι ώστε να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους αλλά και με τα αντίστοιχα μεγέθη του περιβάλλοντος εξωτερικού χώρου τα οποία πήραμε από τον μετεωρολογικό σταθμό του ΕΜΠ που βρίσκεται στην πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, πολύ κοντά στα κτίρια του πειράματος. Εκτός από τη θερμοκρασία και την υγρασία θεωρήθηκε σημαντικό να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς και τα μεγέθη της ηλιοφάνειας και της βροχόπτωσης.

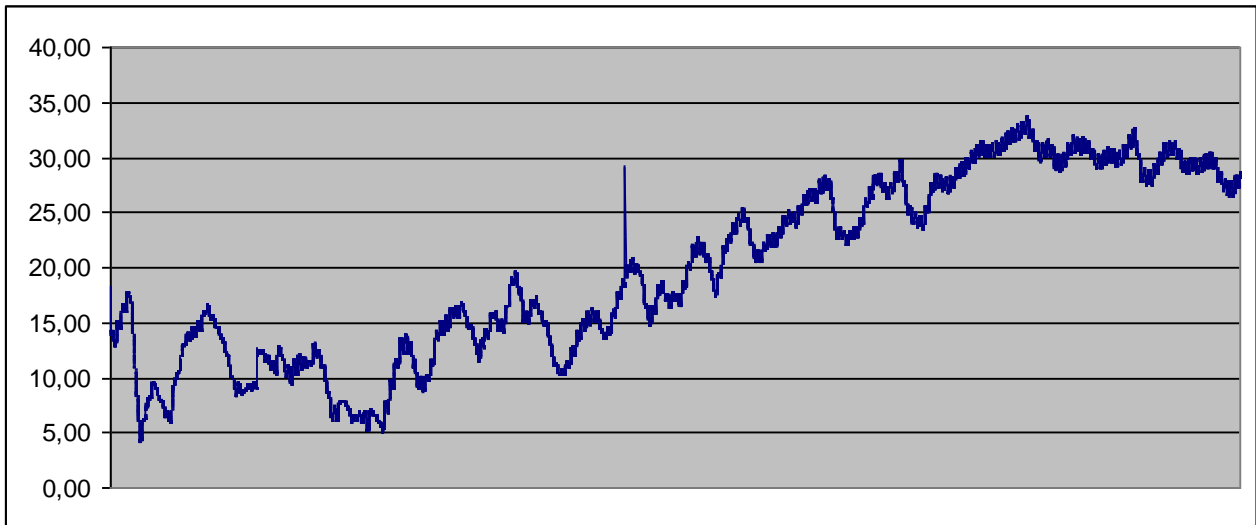
## 9.2. Περίοδος μετρήσεων

Η περίοδος των μετρήσεων, οι οποίες ληφθήκαν υπ' όψιν, καλύπτουν σχεδόν ένα έτος. Ξεκινούν από τις 6/12/2010 έως 11/2/2011 και συνεχίζονται από τις 21/3/2010 έως τις 11/10/2011. Κατά την διάρκεια αυτή, οι μετρητές στα κτίρια, κατέγραφαν την εσωτερική θερμοκρασία και υγρασία ανά δέκα λεπτά.

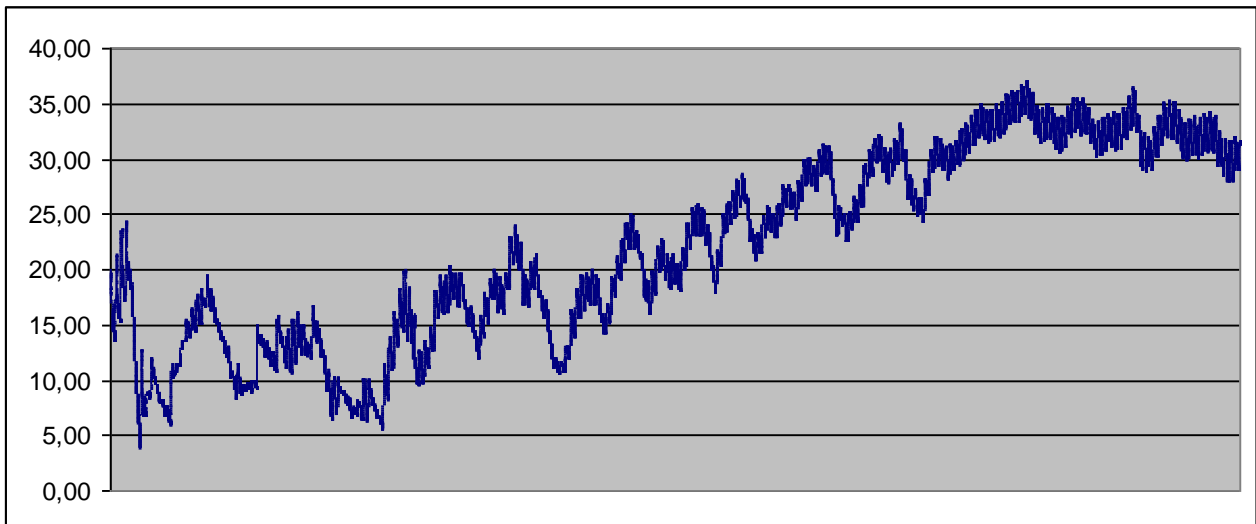
Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων ανά κτίριο φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα. (Εικ. 9.5.- 9.8.)



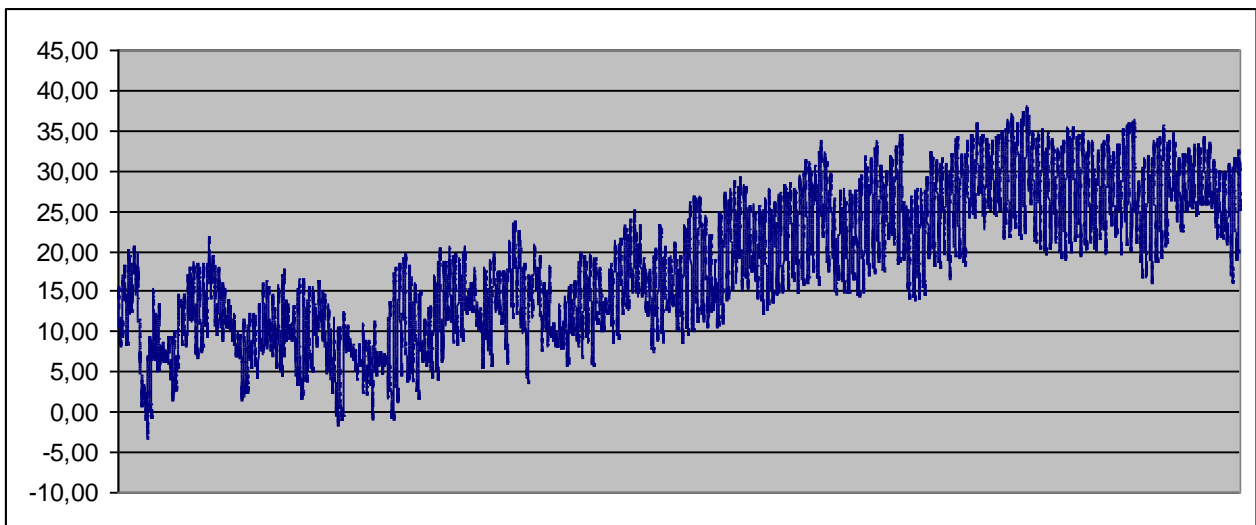
Εικόνα9.5. Ετήσιες θερμοκρασίες - Τοίχος Trombe



*Εικόνα 9.6. Ετήσιες θερμοκρασίες - Νότιο παράθυρο*



*Εικόνα 9.7. Ετήσιες θερμοκρασίες - Θερμοκήπιο*

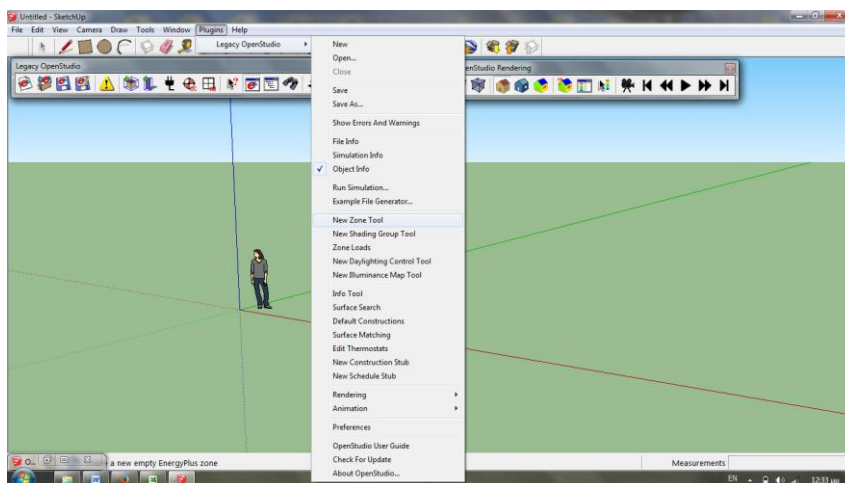


*Εικόνα 9.8. Ετήσιες θερμοκρασίες - Εξωτερικές*

Στη συνέχεια προχωρήσαμε στη μοντελοποίηση των τριών κτιρίων στο Google SketchUp και με τη χρήση του EnergyPlus, επιχειρήσαμε σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από την προσομοίωση στο EnergyPlus.

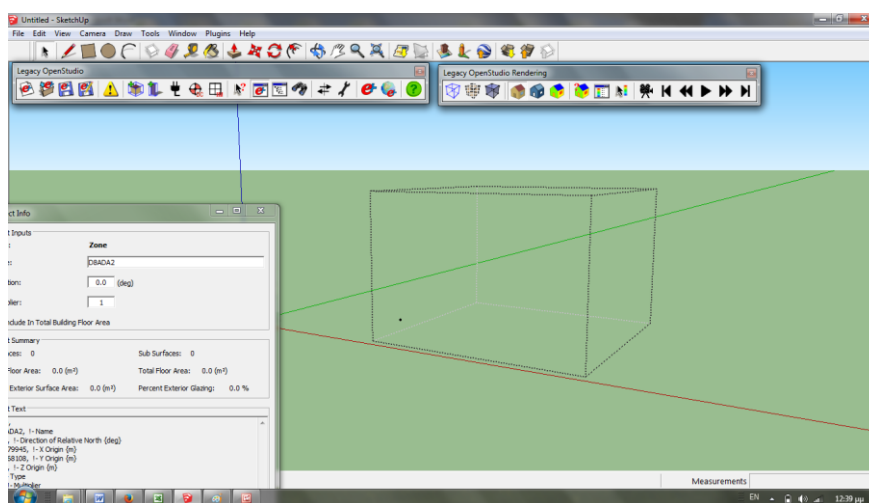
### 9.3. Μοντελοποίηση στο SketchUp

Ξεκινήσαμε από το κτίριο με το νότιο παράθυρο και την κεραμοσκεπή. Το πρώτο βήμα είναι να δημιουργήσουμε μια νέα ζώνη. Επιλέγουμε **Plugins**, ανοίγουμε το μενού **Legacy Open Studio** και επιλέγουμε **New Zone tool**.



Εικόνα 9.3.1. Εισαγωγή νέας θερμικής ζώνης

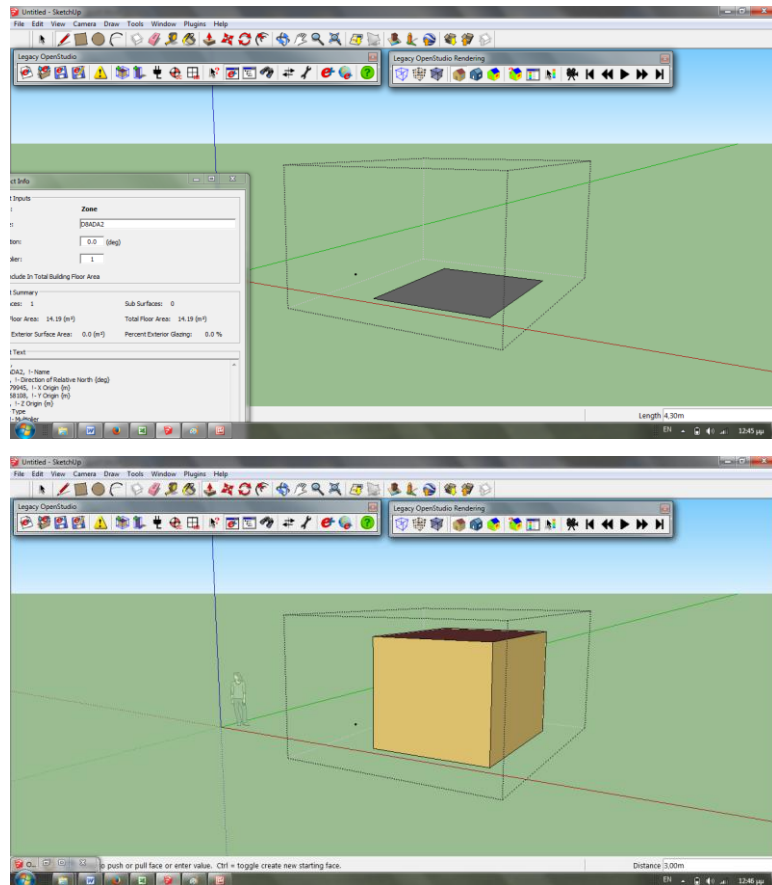
Προχωράμε στην τοποθέτηση της νέας ζώνης στην επιφάνεια εργασίας του SketchUp.



Εικόνα 9.3.2. Εισαγωγή νέας θερμικής ζώνης

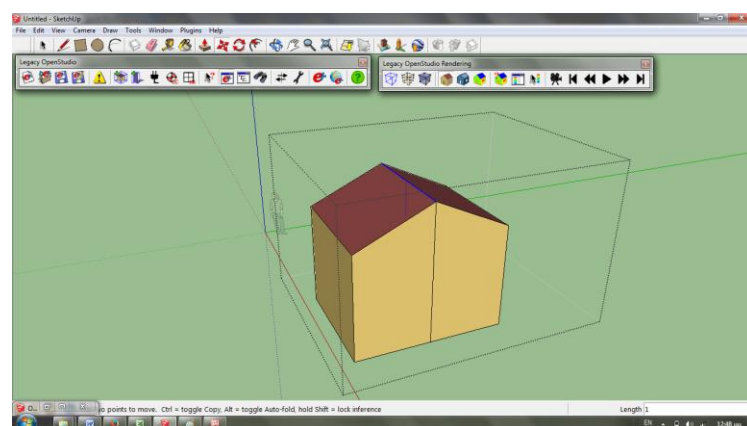


Τώρα μπορούμε να προχωρήσουμε στη σχεδίαση του κτιρίου. Ξεκινάμε χρησιμοποιώντας τα στοιχεία της κάτοψης και προχωράμε στη 3D μοντελοποίηση με το εργαλείο **Push/Pull**.



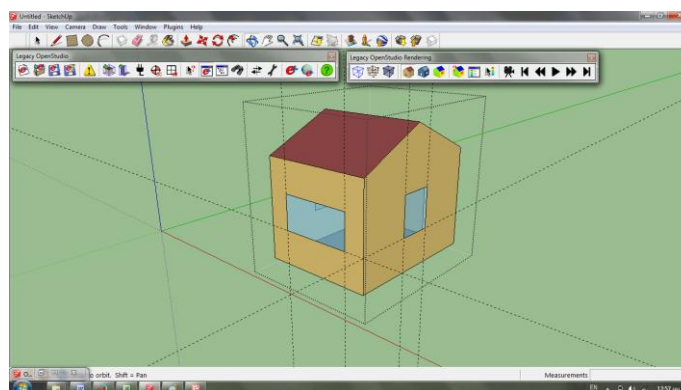
*Εικόνα 9.3.2. Push/Pull*

Στη συνέχεια με τη χρήση του εργαλείου **Move** και με τη δημιουργία μίας βοηθητικής γραμμής (οδηγού), σχεδιάζουμε την κεκλιμένη στέγη του κτιρίου.

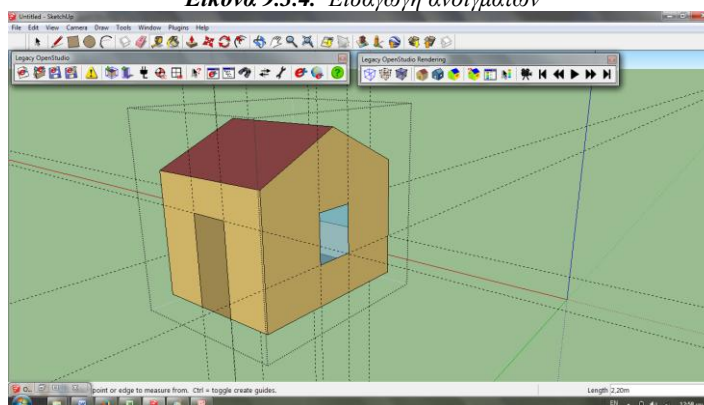


*Εικόνα 9.3.3. Κεκλιμένη στέγη*

Προχωράμε στη σχεδίαση των ανοιγμάτων του κτιρίου. Η χρήση του εργαλείου **Tape Measure Tool** μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε όσες γραμμές οδηγούς χρειαζόμαστε, ώστε να τοποθετήσουμε τα ανοίγματα με τις σωστές διαστάσεις και τις σωστές αποστάσεις. Στη συνέχεια οι γραμμές οδηγοί αφαιρούνται με τη χρήση του εργαλείου **Eraser**. Αυτό γίνεται έτσι ώστε να κρατήσουμε το μοντέλο καθαρό και να αποφύγουμε σύγχυση από την ύπαρξη πολλών βοηθητικών γραμμών.

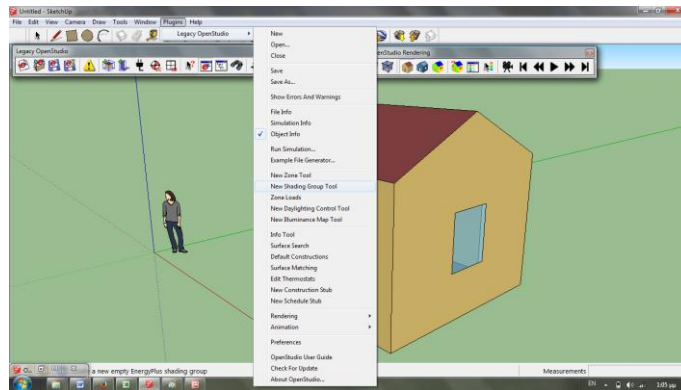


*Εικόνα 9.3.4. Εισαγωγή ανοιγμάτων*

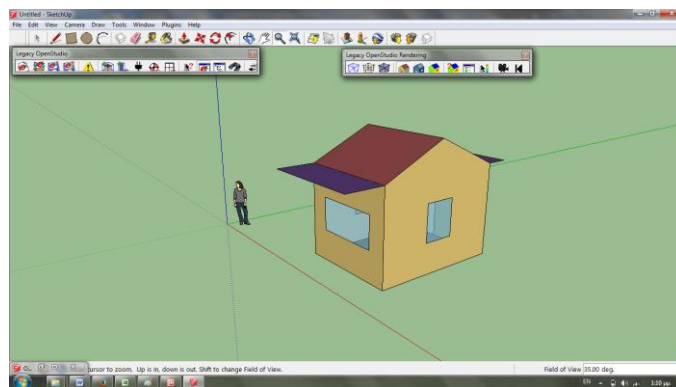


*Εικόνα 9.3.5. Tape Measure Tool*

Στη συνέχεια επιλέγουμε **Plugins**, **Legacy Open Studio** και **New Shading Group Tool** και το τοποθετούμε έτσι ώστε να σχεδιάσουμε τη σκίαση του κτιρίου. Η σχεδίαση γίνεται με το εργαλείο **Line** και ξεχωρίζει λόγω της μωβ απόχρωσης.



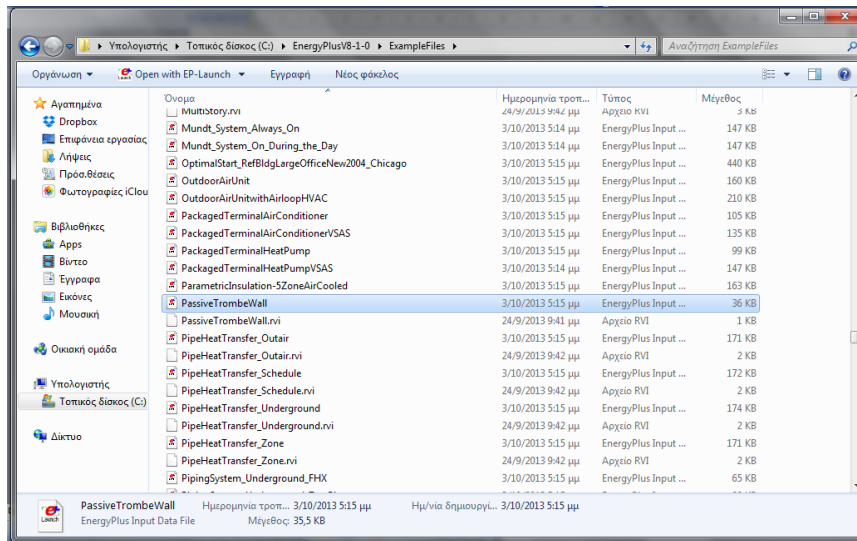
*Εικόνα 9.3.6. New Shading Group Tool*



*Εικόνα 9.3.7. Εισαγωγή Σκιάστρων*

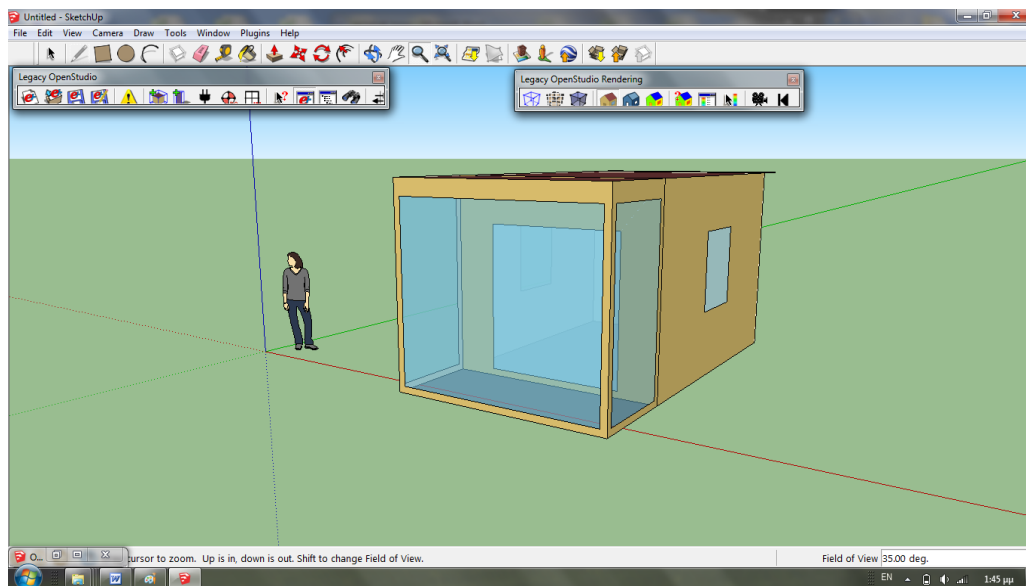
Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά την αποθήκευση του αρχείου, εφόσον θέλουμε αργότερα να το επεξεργαστούμε με το EnergyPlus. Αρχικά αποθηκεύουμε το αρχείο ως έχει και στη συνέχεια πρέπει να το ανοίξουμε ξανά και να το αποθηκεύσουμε με το ίδιο όνομα και την κατάληξη **.idf**.

Με παρόμοιο τρόπο προχωρήσαμε στη μοντελοποίηση των δύο άλλων κτιρίων. Για το σωστό τρόπο προσομοίωσης των παθητικών ηλιακών συστημάτων συμβουλευτήκαμε το πολύ αναλυτικό εγχειρίδιο του EnergyPlus, στο οποίο βρίσκονται παραδείγματα για την προσομοίωση πολλών διάφορων σεναρίων (EnergyPlusV8-1-0\ExampleFiles).

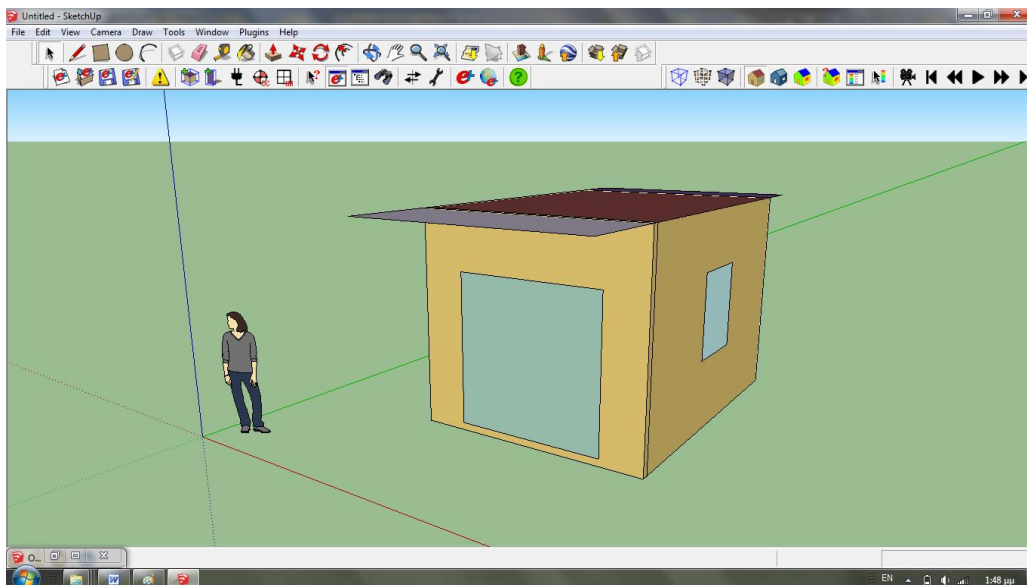


Εικόνα 9.3.8. Example Files

Επίσης πολλές χρήσιμες πληροφορίες αντλήσαμε από το φόρουμ του EnergyPlus στο διαδίκτυο. [[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_support.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_support.cfm)]. Παρακάτω παρουσιάζονται τα δύο κτίρια, στην τελική τους μορφή στο SketchUp.



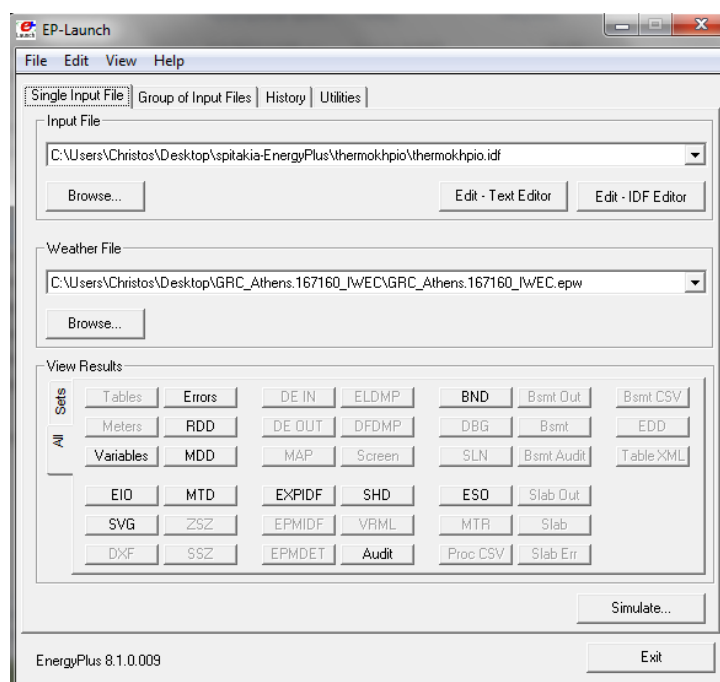
Εικόνα 9.3.9. Θερμοκήπιο



Εικόνα 9.3.10. Τοίχος Trombe

## 9.4. Μοντελοποίηση στο EnergyPlus

Με τα τρία μοντέλα των κτιρίων έτοιμα στο Google SketchUp, μπορούμε πλέον να προχωρήσουμε στο EnergyPlus.



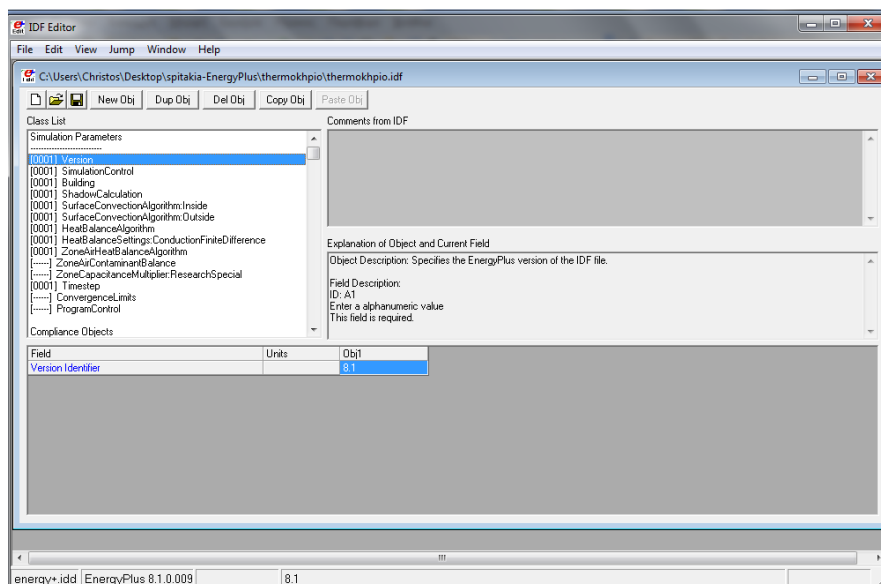
Εικόνα 9.4.1. EP-Launch

Ανοίγουμε το αρχείο μας με διπλό κλικ στο **EP-Launch**. Ενδεικτικά επιλέξαμε να δείξουμε τη πορεία μοντελοποίησης χρησιμοποιώντας το κτίριο με το θερμοκήπιο. Το πρώτο δεδομένο που πρέπει

να εισάγουμε στο EP-Launch είναι το Weather File, το οποίο θα επιτρέψει στο πρόγραμμα να προσδιορίσει την τοποθεσία του κτιρίου και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Το EnergyPlus διαθέτει μια αρκετά πλήρη βιβλιοθήκη Weather File, με πάνω από 2000 σημεία ανά τον κόσμο, τα οποία καλύπτουν τις ανάγκες του χρήστη ανά την υφήλιο.

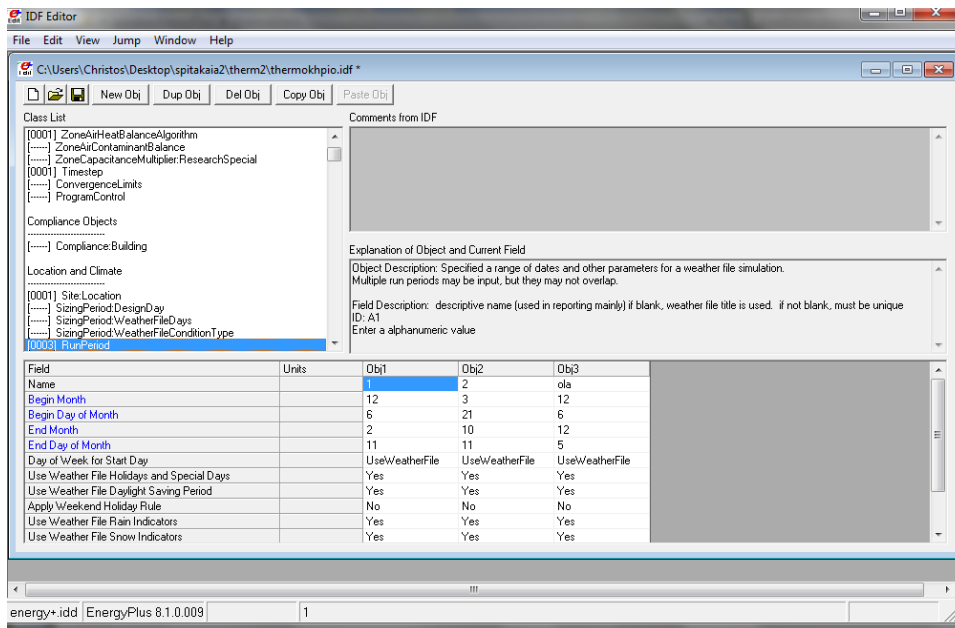
Για τον ελλαδικό χώρο υπάρχουν προς το παρόν τρία Weather Files, με πλησιέστερο στην τοποθεσία των τριών κτιρίων το αρχείο GRC\_Athens.167160\_IWEC, το οποίο και χρησιμοποιήσαμε.

Επιλεγούμε Edit - IDF Editor και βρισκόμαστε πλέον στον πίνακα επιλογών του EnergyPlus. Από εδώ θα δώσουμε όλα τα απαραίτητα στοιχεία - χαρακτηριστικά του κτιρίου και θα προχωρήσουμε στην επιλογή αποτελεσμάτων.



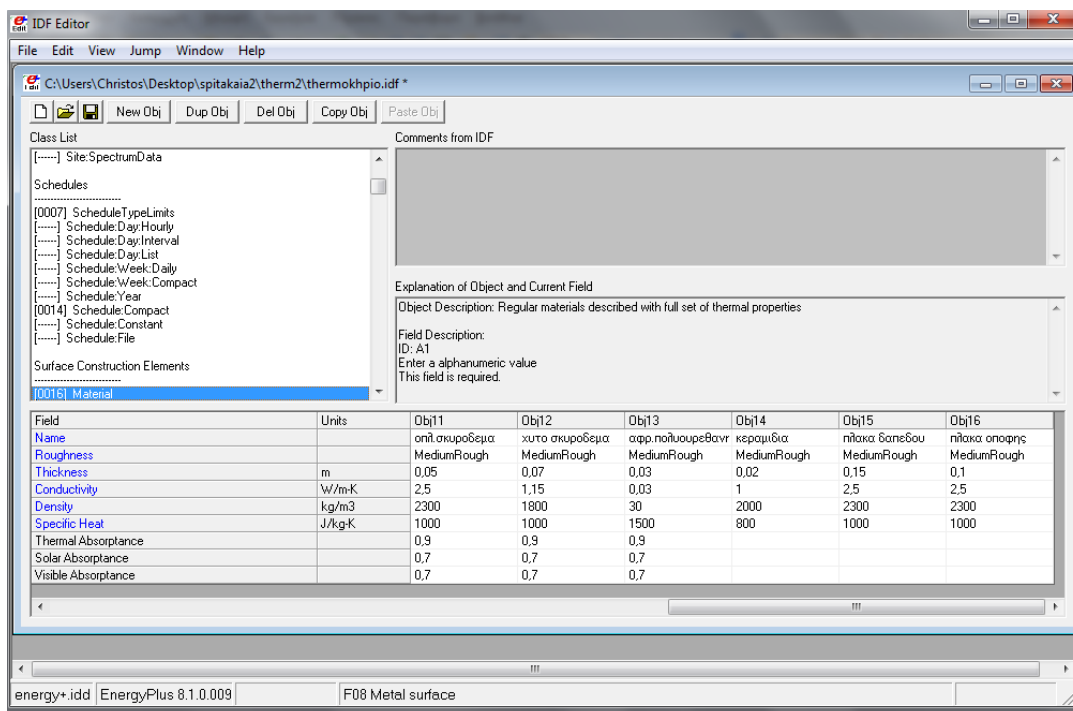
Εικόνα 9.4.2. Edit - IDF Editor

Ακολουθεί παρουσίαση των βασικότερων ρυθμίσεων του μοντέλου στο EnergyPlus και περιγραφή των αποτελεσμάτων. Αρχικά ορίσαμε το **Timestep** σε 6 per hour, έτσι ώστε να συμβαδίζει με τα αποτελέσματα των μετρήσεων των αισθητήρων.



Εικόνα 9.4.3. Run Period

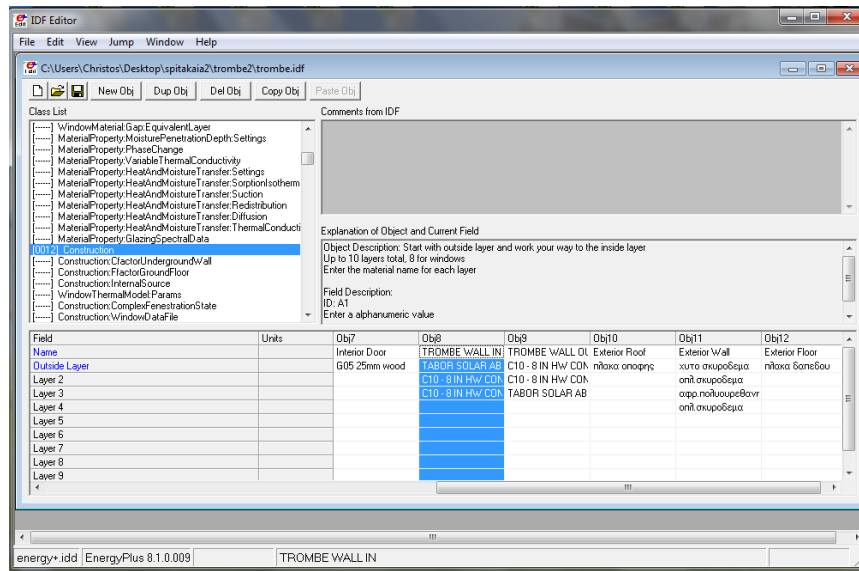
Ορίστηκαν τρία χρονικά σενάρια παρουσίασης αποτελεσμάτων. Αυτό έγινε στην επιλογή RunPeriod. Το πρώτο και δεύτερο σενάριο αφορούν την περίοδο κατά την οποία έχουμε δεδομένα από τους αισθητήρες, ενώ το τρίτο καλύπτει τη διάρκεια ενός έτους.



Εικόνα 9.4.4. Material

Στην επιλογή Material, εισάγουμε τα υλικά κατασκευής όλων των επιφανειών του κτηρίου και τις ιδιότητές τους. Απαιτείται η εισαγωγή τραχύτητας (Roughness), πάχους (Thickness), αγωγιμότητας

(Conductivity), πυκνότητας (Density), και ειδικής θερμότητας (Specific Heat). Για τα υλικά τα οποία δεν είχαμε εξ αρχής δεδομένα, προχωρήσαμε στην επιλογή τους από τους πίνακες του T.O.T.E.E 20701-2/2010. Αντίστοιχα δεδομένα δίνονται και στις ιδιότητες των παραθύρων, κουφωμάτων, κενών αέρος μεταξύ υαλοπινάκων κλπ. Στη συνέχεια τα δεδομένα τοποθετήθηκαν στην επιλογή construction δίνοντας έτσι στο πρόγραμμα, τη σύσταση και τα υλικά όλων των επιφανειών του κτιρίου.

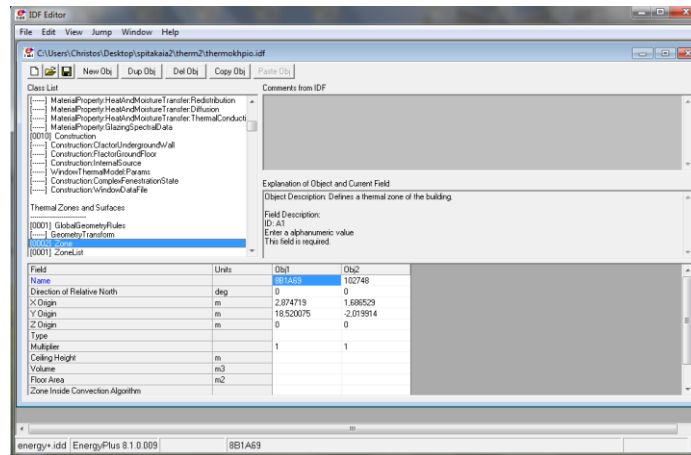


Εικόνα 9.4.5. Construction

Στην επιλογή **Zones** εμφανίζονται οι ζώνες στις οποίες έχουμε χωρίσει το κτίριο στο SketchUp. Το κτίριο με το θερμοκήπιο έχει χωριστεί σε δύο θερμικές ζώνες, θεωρώντας το χώρο του θερμοκηπίου ως ξεχωριστή ζώνη, για μεγαλύτερη λεπτομέρεια αποτελεσμάτων. Με την επιλογή **ZoneList** μπορούμε να ομαδοποιήσουμε ή να ξεχωρίσουμε ομάδες θερμικών ζωνών (π.χ. υπόγεια, υπνοδωμάτια κ.λ.π), και να ορίσουμε διαφορετικά schedules ανά ομάδα.

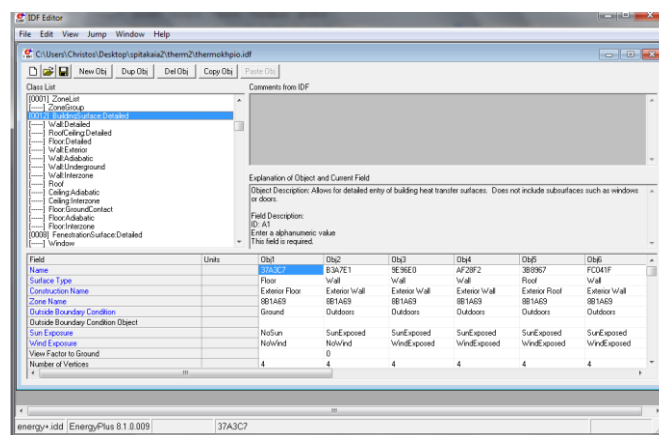
Διευκρινίζεται εδώ πως καθώς η περίοδος μετρήσεων ήταν συνεχής, με τις ίδιες συνθήκες χρήσης των κτιρίων κατά όλη τη διάρκεια του πειράματος ( σβηστά φώτα, κλειστά παράθυρα και πόρτες, απουσία ενοίκων ή επισκεπτών ), δεν έχουμε εισάγει στοιχεία σε αυτές τις επιλογές και ούτε δημιουργήσαμε πολλαπλά schedules χρήσης του κτιρίου.





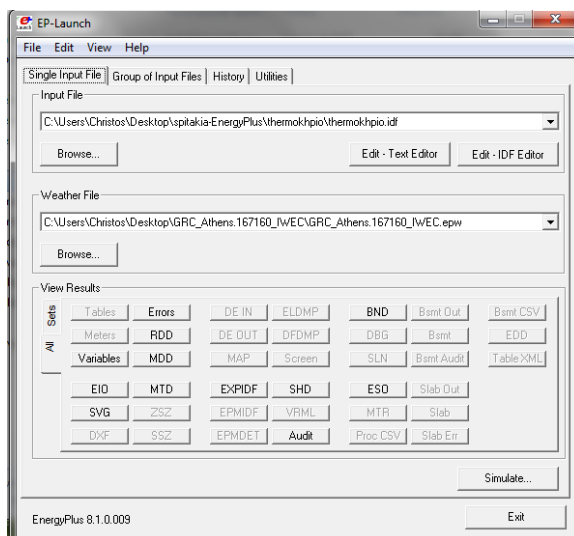
Εικόνα 9.4.6. Θερμικές Ζώνες

Στην επιλογή **BuildingSurface:Detailed** μπορούμε να τροποποιήσουμε τις γενικές ιδιότητες όλων των επιφανειών του κτιρίου, τις οποίες δεν αναγνώρισε όπως ήταν επιθυμητό το Open studio και το Sketchup.



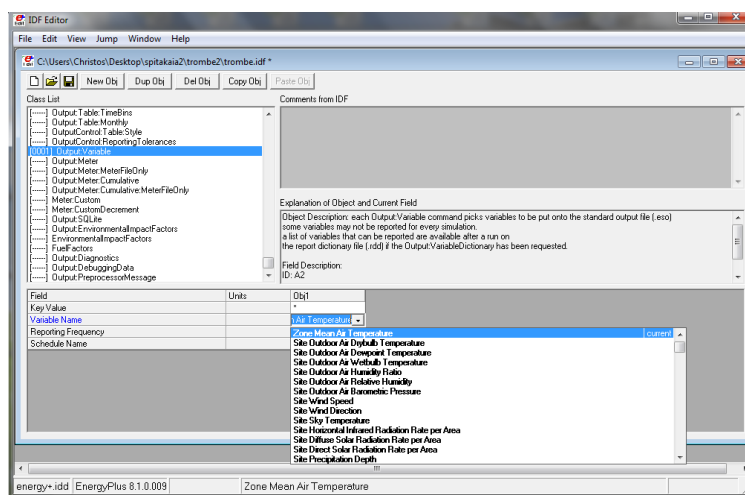
Εικόνα 9.4.7. Building Surface: Detailed

Τελειώνοντας με τις ρυθμίσεις στο IDF - Editor, αποθηκεύουμε και προχωράμε στην πρώτη προσομοίωση του μοντέλου. Επιλέγουμε Simulate και το πρόγραμμα αφού επεξεργαστεί τα δεδομένα μας δίνει την κατάσταση της ανάλυσης.



Εικόνα 9.4.8. Simulate - Προβολή σφαλμάτων

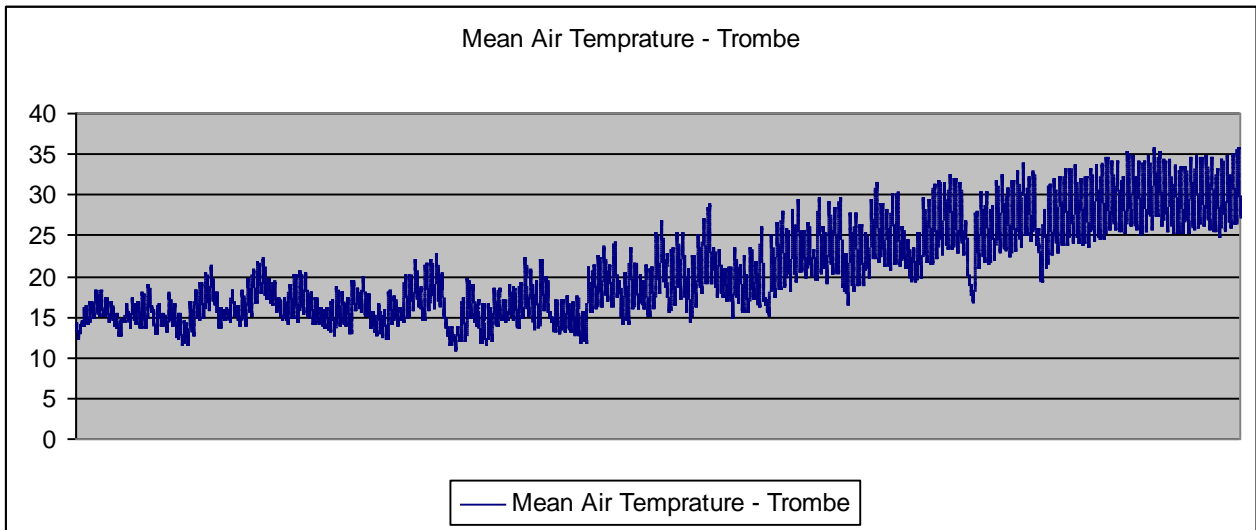
Σε περίπτωση που υπήρχαν λάθη ή ανακρίβειες στα δεδομένα, το πρόγραμμα θα τα εντόπιζε και θα μας τα επισήμανε ως severe ή fatal errors. Μετά το πέρας της πρώτης προσομοίωσης μπορούμε να προχωρήσουμε στην εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων.



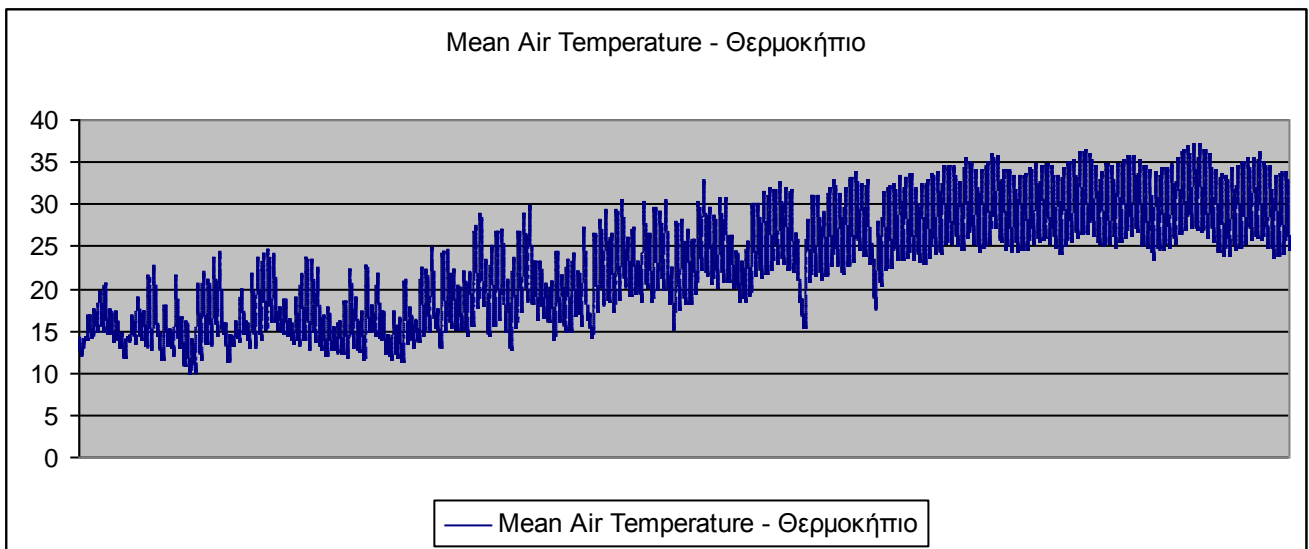
Εικόνα 9.4.9. Output Variable

Επιστρέφουμε στο IDF - Editor και επιλέγουμε το μενού **Output: Variable**. Εδώ πλέον εμφανίζεται λίστα με πληθώρα επιλογών αποτελεσμάτων. Στη θέση Variable Name επιλέξαμε **Zone**

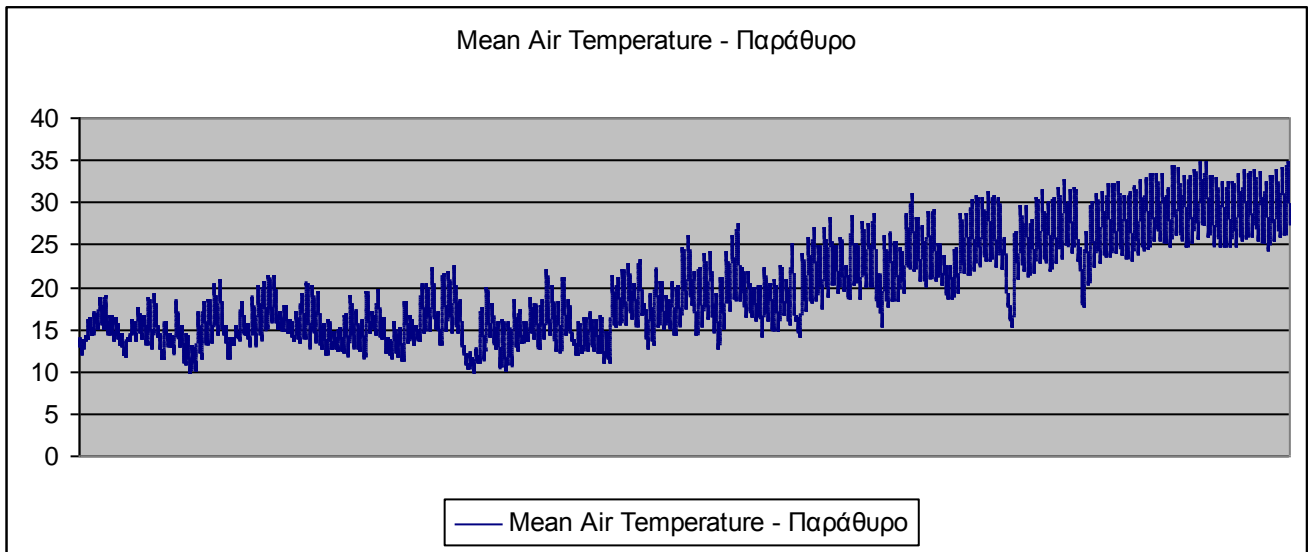
**Mean Air Temperature** και στη θέση Reporting Frequency θέσαμε την επιλογή Timestep. Τα αποτελέσματα σε μορφή διαγράμματος και για τα τρία κτίρια είναι τα ακόλουθα ( Εικ. 9.4.10.-9.4.12.)



*Εικόνα 9.4.10. Ετήσιες θερμοκρασίες - Τοίχος Trombe*

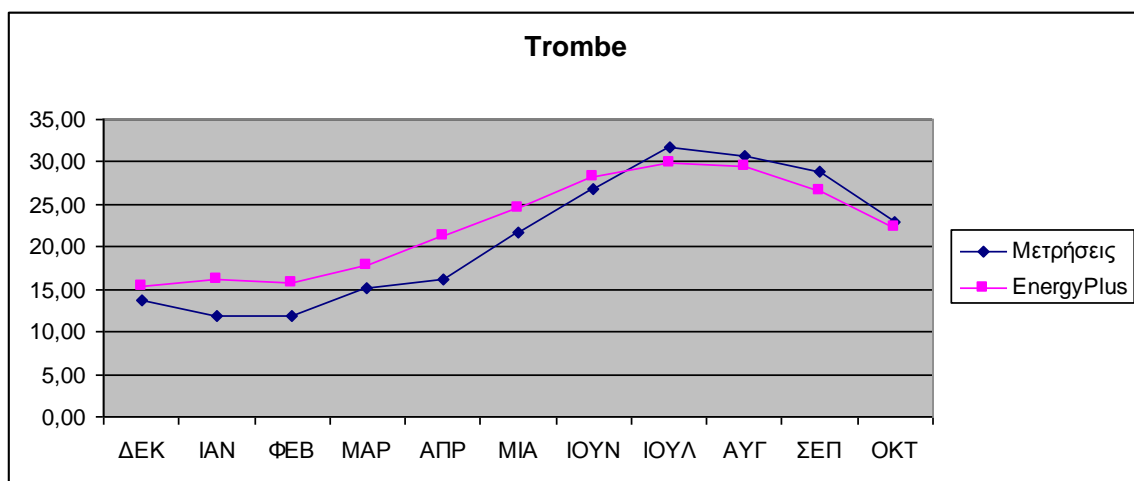


*Εικόνα 9.4.11. Ετήσιες θερμοκρασίες - Θερμοκήπιο*

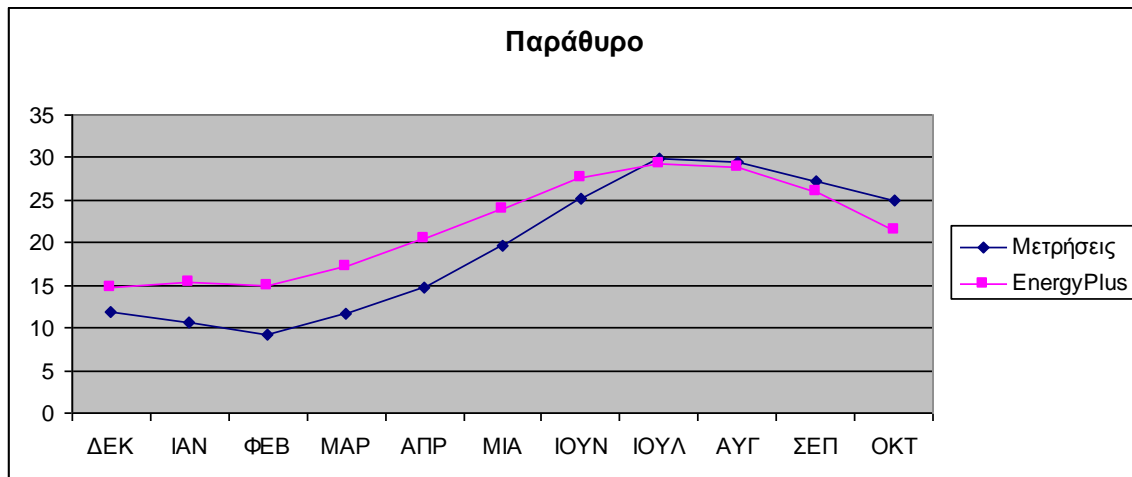


Εικόνα 9.4.12. Ετήσιες θερμοκρασίες - Νότιο παράθυρο

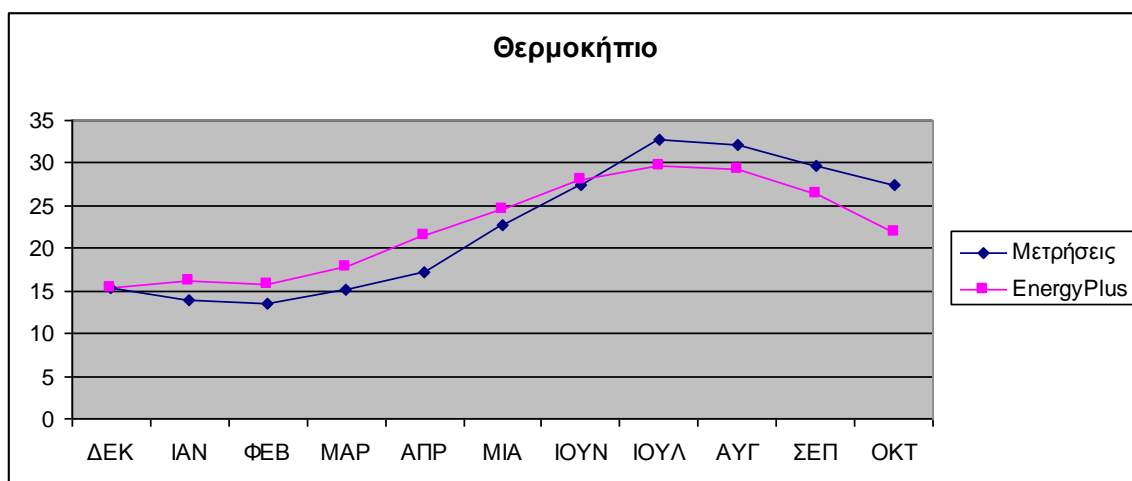
Τα αποτελέσματα συγκριθήκαν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των μετρήσεων των αισθητήρων, έτσι ώστε να ελεγχθεί η συμβατότητά τους. Τα συγκριτικά αποτελέσματα, σε επίπεδο μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών, επιλέγοντας ως χρόνο άντλησης δεδομένων από το EnergyPlus τον αντίστοιχο χρόνο συλλογής δεδομένων του πειράματος, φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:



Εικόνα 9.4.13. Σύγκριση Μετρήσεων-EnergyPlus - Τοίχος Trombe



Εικόνα 9.4.14. Σύγκριση Μετρήσεων-EnergyPlus - Νότιο παράθυρο



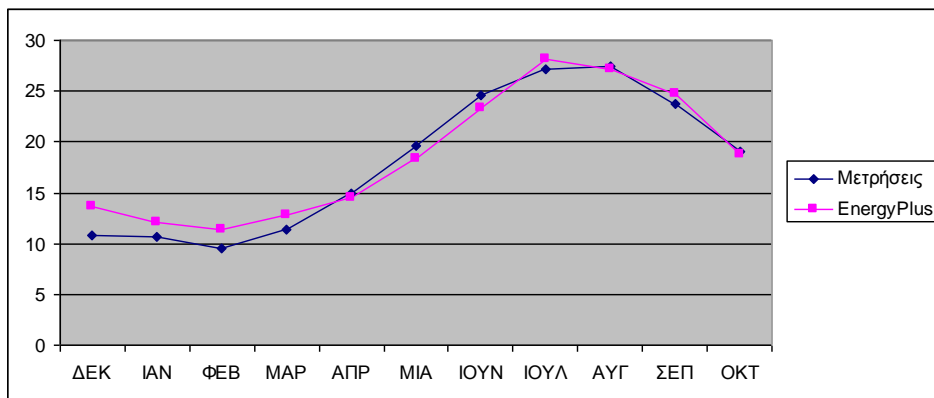
Εικόνα 9.4.15. Σύγκριση Μετρήσεων-EnergyPlus - Θερμοκήπιο

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων οδήγησε στα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Η διακύμανση των θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του έτους φαίνεται να ταυτίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό, καθώς ακολουθούν την ίδια πορεία αυξομείωσης στους αντιστοίχους μήνες.

2. Μεγαλύτερη απόκλιση, της τάξεως του 3-4 βαθμών Κελσίου, παρατηρείται κατά τους χειμερινούς μήνες. Όπως φαίνεται όμως στο διάγραμμα Εικ. 9.4.16. , αν προχωρήσουμε σε σύγκριση των εξωτερικών θερμοκρασιών που καταγράφηκαν από τους μετρητές του μετεωρολογικού σταθμού του ΕΜΠ, ο οποίος βρίσκεται πολύ κοντά στην τοποθεσία των κτιρίων και των αντίστοιχων εξωτερικών θερμοκρασιών που θεωρεί το weather file, τότε γίνεται σαφές πως υπάρχει παρόμοια απόκλιση.

3. Μεγαλύτερη σύγκλιση παρατηρείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Στο διάστημα αυτό παρατηρείται επίσης σύγκλιση και στις εξωτερικές θερμοκρασίες μεταξύ του weather file και του μετεωρολογικού σταθμού του ΕΜΠ.



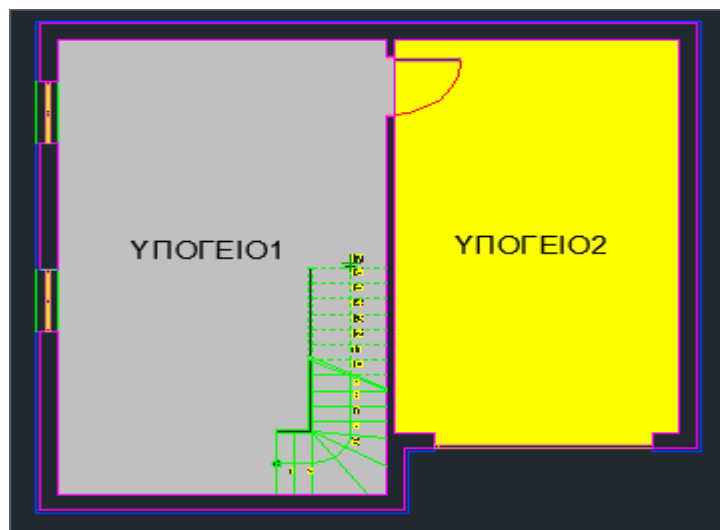
Εικόνα 9.4.16. Σύγκριση Μετρήσεων-EnergyPlus - Εξωτερικές Θερμοκρασίες

## 9.5. Περιγραφή κτιρίου

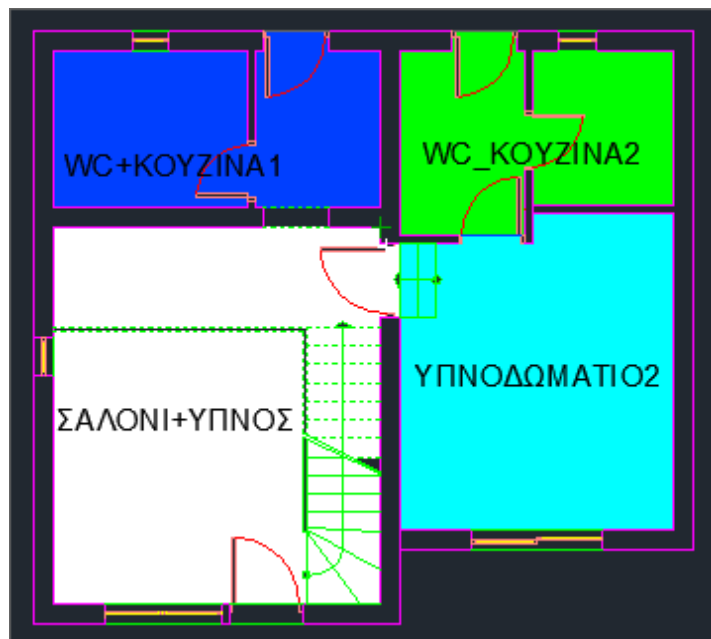
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η περιγραφή του μοντελοποιημένου κτιρίου. Το κτίριο αυτό αποτελεί την βάση πάνω στην οποία θα εφαρμοστούν κάποιες συγκεκριμένες δομικές-αλλαγές, με στόχο να εξοικονομηθεί ενέργεια κυρίως από το σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που διαθέτει το κτίριο.

Ο χώρος ο οποίος μοντελοποιήθηκε είναι ένα διώροφο κτίριο εξοχικής κατοικίας το οποίο βρίσκεται στο Δήμο Σαρωνίδος. Η συνολική του κατοικήσιμη επιφάνεια είναι περίπου 180m<sup>2</sup> από τα οποία τα 47m<sup>2</sup> είναι μπαλκόνι. Το ισόγειο αποτελείται από το καθιστικό, δύο κουζίνες, δύο μπάνια και ένα υπνοδωμάτιο. Ο όροφος συνδέεται με το ισόγειο, με κλίμακα από το καθιστικό του ισογείου. Στον όροφο υπάρχει μπαλκόνι όπου τοποθετείται πέργκολα για την εύκολη σκίαση της βεράντας. Τέλος στο υπόγειο βρίσκεται μια αποθήκη και μια θέση στάθμευσης.

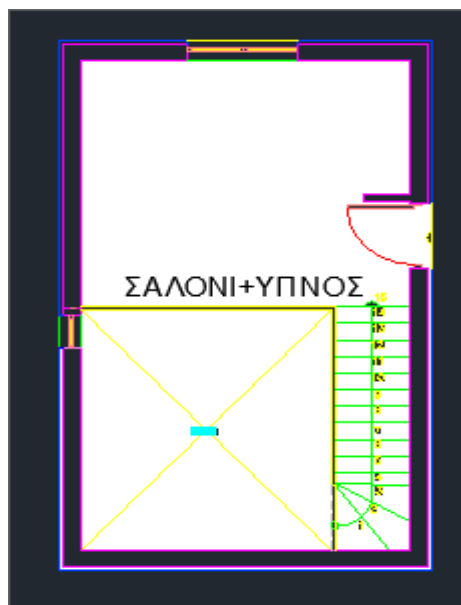
Οι τοιχοποιίες του κτιρίου αποτελούνται τα εξής δομικά υλικά (από έξω προς τα μέσα): επίχρισμα, θερμομόνωση fibraneco εξωτερικού τοίχου, τούβλα, ασβεστοκονίαμα εξωτερικού τοίχου, τούβλα και επίχρισμα.



*Εικόνα 9.5.1. Κάτοψη Υπογείου.*



*Εικόνα 9.5.2. Κάτοψη Ισογείου.*



Εικόνα 9.5.3. Κάτοψη ορόφου

### 9.5.1. Προσομοίωση Κατοικίας

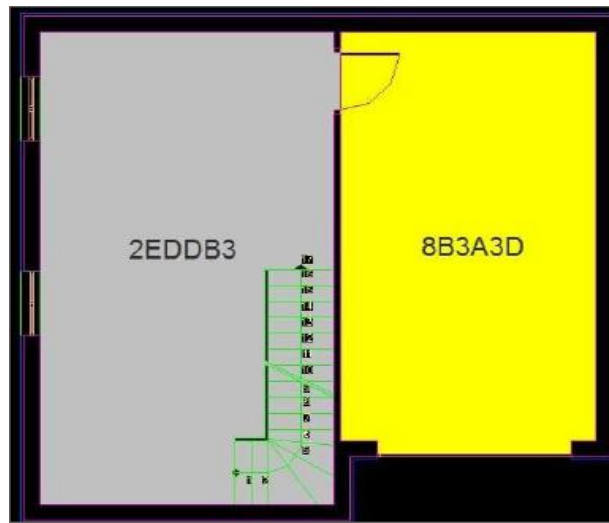
Το κτίριο περιλαμβάνει διάφορους χώρους με ποικίλες χρήσεις. Για να είναι η προσομοίωση όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική στην πραγματικότητα, το κτίριο χωρίστηκε σε διάφορες θερμικές ζώνες. Για κάθε θερμική ζώνη εξαγάγαμε συμπεράσματα π.χ. για την θερμοκρασία του αέρα, κατανάλωση ενέργειας κ.α. όπως θα δούμε παρακάτω.

Ο σχεδιασμός της γεωμετρίας του κτιρίου έγινε με την βοήθεια των προγραμμάτων Google Sketch up και Open Studio. Εφόσον δώσουμε στο πρόγραμμα μας την γεωμετρία του κτιρίου μας τότε ανοίγουμε το πρόγραμμα EnergyPlus ώστε να δώσουμε τα υλικά, φυσικό-τεχνητό αερισμό, ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, χρήστες κ.α.

### 9.5.2. Χωρισμός σε θερμικές ζώνες

Αρχικά πρέπει να χωρίσουμε το κτίριο μας σε θερμικές ζώνες ώστε να τις μελετήσουμε και να εξαγάγουμε αποτελέσματα για αυτές. Με τον όρο θερμικές ζώνες ορίζεται ο όγκος του αέρα που έχει παραπλήσιες τιμές θερμοκρασίας. Έτσι χωρίσαμε το κτίριο σε 6 θερμικές ζώνες για την όσο το δυνατόν καλύτερη ανάλυση. Παρακάτω παρατίθενται οι θερμικές ζώνες του κτιρίου:

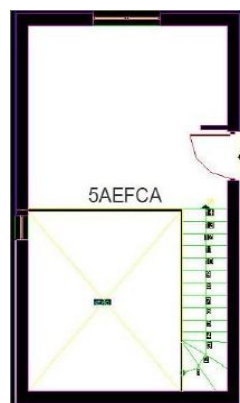




*Εικόνα 9.5.4. Θερμικές ζώνες υπογείου*



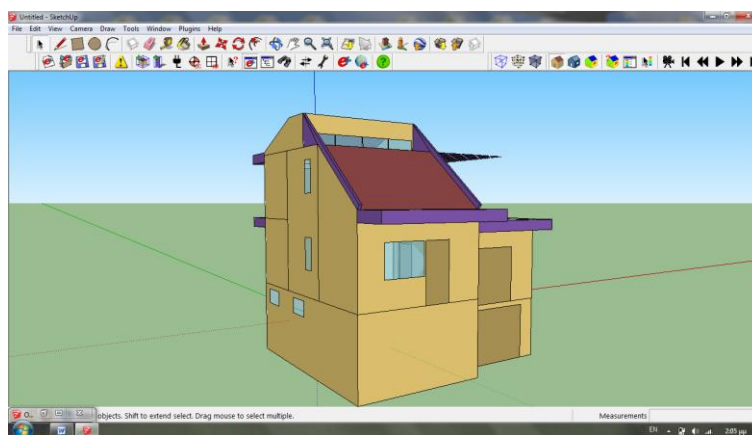
*Εικόνα 9.5.5. Θερμικές ζώνες 1ου ορόφου.*



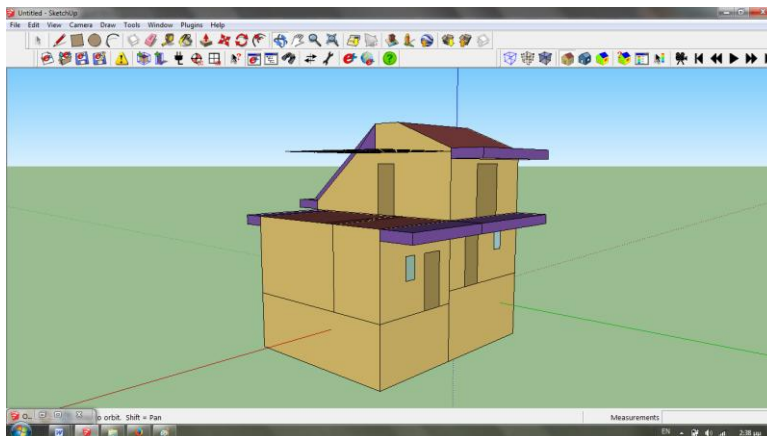
*Εικόνα 9.5.6. Θερμικές ζώνες ορόφου*

### 9.5.3. Μοντελοποίηση στο Google SketchUp

Με τη χρήση του Google SketchUp προσομοιάσαμε το κτίριο σε 3D μορφή χρησιμοποιώντας παράλληλα το Open Studio Plugin, έτσι ώστε να μπορέσουμε να προχωρήσουμε στην επεξεργασία του κτιρίου στο EnergyPlus. Η διαδικασία σχεδίασης ενός τέτοιου κτιρίου, είναι σχετικά πιο περίπλοκη σε σχέση με τα πιο απλά κτίρια του πειράματος στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, παρόλα αυτά το Google SketchUp είναι ένα πολύ φιλικό στο χρήστη πρόγραμμα και η μοντελοποίηση ακόμη και πολυπλοκότερων κτισμάτων, γίνεται σχετικά εύκολα. Το κτίριο σχεδιάστηκε έτσι ώστε οι παραπάνω θερμικές ζώνες να είναι ανεξάρτητες, έτσι ώστε τα αποτελέσματα της ανάλυσης να είναι αναλυτικότερα και ακριβέστερα. Πρακτικά όμως, ο διαχωρισμός μιας τόσο μικρής κατοικίας σε τόσες θερμικές ζώνες ίσως να θεωρείται περιττό, καθώς υπάρχει μεγάλη ομοιογένεια μεταξύ κάποιων ζωνών, θεωρήσαμε όμως χρήσιμο να προχωρήσουμε σε όσο το δυνατόν αναλυτικότερη επεξεργασία της συμπεριφοράς του κτιρίου και των αποτελεσμάτων. Η τελική μορφή του κτιρίου στο Google SketchUp φαίνεται στις εικόνες 9.5.7. και 9.5.8.



*Εικόνα 9.5.7. Νοτιοδυτική όψη*

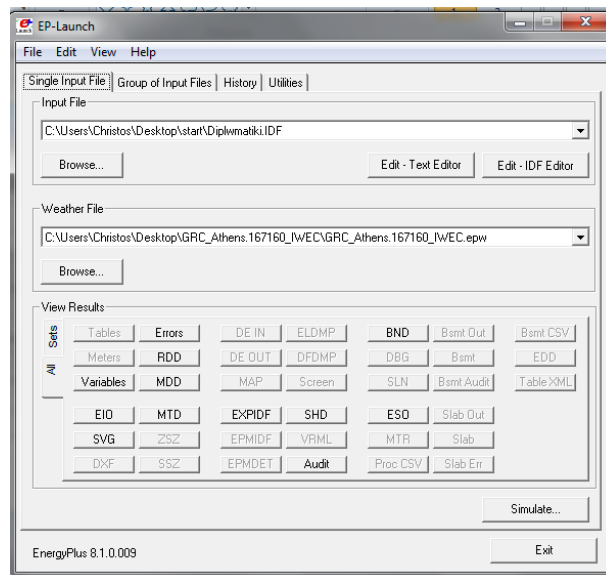


*Εικόνα 9.5.8. Βορειοανατολική όψη*

#### 9.5.4. Επεξεργασία στο EnergyPlus

Το κτίριο στη συνέχεια επεξεργάστηκε με το EnergyPlus. Η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα του κτιρίου, οι διαφορετικές συνθήκες χρήσης ( ένοικοι, φωτισμός, ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, αερισμός...) καθιστούν το κτίριο απαιτητικότερο σε σχέση με τα σχετικά απλότερα προκατασκευασμένα κτίρια στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, παρόλα αυτά η προσομοίωσή του επιτεύχθηκε σε αρκετά αναλυτικό βαθμό.

Το Weather File που επιλέχθηκε είναι το ίδιο με τα κτίρια στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου ( GRC\_Athens.167160\_IWEC ). Το αρχείο περιγράφει τις κλιματολογικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών και κρίθηκε επαρκές για την περιγραφή του κλίματος της Σαρωνίδας.



Εικόνα 9.5.9. Weather File

Προχωρήσαμε στον καθορισμό των υλικών κατασκευής ( materials) και στη σύνθεση των επιφανειών. Αναλυτικά οι επιλογές μας αυτές φαίνονται στις εικόνες 9.5.10. και 9.5.11. Οι απαραίτητες τιμές των ιδιοτήτων των υλικών ( materials ) λήφθηκαν από τους πίνακες του T.O.T.E.E 20701-2/2010.

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
afropolyurethanis	aerogel	EchlasmenhPolyster	ασφαλτοχαρτο	ασβε/κονιαμα δωμ	σκυροδεμα οηλισμ.	κισηροδεμα
MediumSmooth	MediumSmooth	MediumSmooth	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumRough
0,05	0,01	0,06	0,01	0,02	0,2	0,05
0,028	0,009	0,03	0,19	0,87	2,5	0,2
30	100	30	1100	1900	2400	500
1470	700	1210	1000	1000	1000	1000
0,9	0,9	0,9				
0,7	0,7	0,7				
0,7	0,7	0,7				
Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14
fibran eco rf δωμα	κεραμιδια	επιχρισμα	fibran eco εξ. τοιχο	ασβε/κονιαμα εξ. τοιχος (τουβλα)		κεραμικα ηλακιδια
MediumSmooth	MediumRough	MediumRough	MediumSmooth	MediumRough	MediumSmooth	MediumRough
0,07	0,02	0,02	0,05	0,01	0,12	0,05
0,03	0,7	0,872	0,03	1	0,523	1,84
32	2000	1900	30	1900	1200	2000
1210	800	1100	1210	1100	1000	840
Obj15	Obj16	Obj17	Obj18	Obj19	Obj20	Obj21
ταμμεντοκονιαμα	σκυροδεμα οηλισμ.	fibran eco δαπεδου	ασβεστο/νιαμα δο	F08 Metal surface	I01 25mm insulation	I02 50mm insulation
MediumRough	MediumRough	MediumSmooth	MediumRough	Smooth	MediumRough	MediumRough
0,02	0,15	0,07	0,015	0,0008	0,0254	0,0508
0,87	2,5	0,03	0,87	45,28	0,03	0,03
1800	2400	38	1800	7824	43	43
1000	1000	1210	1000	500	1210	1210
Obj22	Obj23	Obj24	Obj25	Obj26	Obj27	Obj28
G01a 19mm gypsur	M11 100mm lightwe	F16 Acoustic tile	M01 100mm brick	M15 200mm heavy	M05 200mm concre	G05 25mm wood
MediumSmooth	MediumRough	MediumSmooth	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumSmooth
0,019	0,1016	0,0191	0,1016	0,2032	0,2032	0,0254
0,16	0,53	0,06	0,89	1,95	1,11	0,15
800	1280	368	1920	2240	800	608
1090	840	590	790	900	920	1630

Εικόνα 9.5.10. Material

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
eswt. toixos	orofi1	orofi2	ekswt. toixos	dapedo	parathiroDbl Clr 3mm	Exterior Floor	Interior Floor
επιχρισμα	ασβε/κονιαμα δωμ	κεραμιδια	επιχρισμα	κεραμικα ηπλακδια	Clear 3mm	I02 50mm insulation	F16 Acoustic tile
τοιχος (τουβλα)	σκυροδεμα οπλισμ.	ασφαλτοχαρτο	τοιχος (τουβλα)	τσιμεντοκονιαμα	AIR 6MM	M15 200mm heavyv	F05 Ceiling air spac
επιχρισμα	κισηροδεμα	fibran eco rf δωμα	ασβε/κονιαμα εξ.	κισηροδεμα	Clear 3mm		M11 100mm lightwe
	fibran eco rf δωμα	σκυροδεμα οπλισμ.	τοιχος (τουβλα)	σκυροδεμα οπλισμ.			
	ασβε/κονιαμα δωμ		επιχρισμα	fibran eco δαπεδου			
				ασβεστο/νιαμα δω			
Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14	Obj15	Obj16
Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Interior Ceiling	Exterior Window	Interior Window	Exterior Door	Interior Door
M01 100mm brick	G01a 19mm gypsur	M11 100mm lightwe	M11 100mm lightwe	Clear 3mm	Clear 3mm	F08 Metal surface	G05 25mm wood
M15 200mm heavyv	F04 Wall air space r	F05 Ceiling air spac	F05 Ceiling air spac	Air 13mm		I01 25mm insulation	
I02 50mm insulation	G01a 19mm gypsur	F16 Acoustic tile	F16 Acoustic tile	Clear 3mm			
F04 Wall air space r							
G01a 19mm gypsur							

Εικόνα 9.5.11. Construction

Στη συνέχεια ορίστηκαν σενάρια χρήσης του κτιρίου, παράμετροι που αφορούν την ύπαρξη ή όχι ενοίκων, της χρήσης του φωτισμού, της χρήσης ηλεκτρικού εξοπλισμού και της εναλλαγής ή διείσδυσης αέρα από τα ανοίγματα ή τα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Με τα δεδομένα αυτά οριστήκαν κατάλληλα προγράμματα Schedules χρήσης του κτιρίου.

Field	Units	Obj1
Name		people schedule 1
Zone or ZoneList Name		allzoneslist
Number of People Schedule Name		Office Occupancy S
Number of People Calculation Method		People
Number of People		0,8
People per Zone Floor Area	person/m2	
Zone Floor Area per Person	m2/person	
Fraction Radiant		0,25
Sensible Heat Fraction		autocalculate
Activity Level Schedule Name		Office Activity Sche
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s-W	0,0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List Name		

Εικόνα 9.5.12. Schedules- People

Field	Units	Obj1
Name		lights1
Zone or ZoneList Name		allzoneslist
Schedule Name		Office Lights Sched
Design Level Calculation Method		Watts/Area
Lighting Level	W	
Watts per Zone Floor Area	W/m2	3,6
Watts per Person	W/person	
Return Air Fraction		0
Fraction Radiant		0,42
Fraction Visible		0,18
Fraction Replaceable		1
End-Use Subcategory		General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co		

*Εικόνα 9.5.13. Schedules- Lights*

Field	Units	Obj1
Name		equipment1
Zone or ZoneList Name		allzoneslist
Schedule Name		Office Equipment Sc
Design Level Calculation Method		Watts/Area
Design Level	W	
Watts per Zone Floor Area	W/m2	5,6
Watts per Person	W/person	
Fraction Latent		0
Fraction Radiant		0,36
Fraction Lost		0
End-Use Subcategory		General

*Εικόνα 9.5.14. Schedule - Equipment*

Field	Units	Obj1
Name		infiltration1
Zone or ZoneList Name		allzoneslist
Schedule Name		infiltration1Always 0
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s	
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2	
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2	
Air Changes per Hour	1/hr	1
Constant Term Coefficient		1
Temperature Term Coefficient		0
Velocity Term Coefficient		0
Velocity Squared Term Coefficient		0

*Εικόνα 9.5.15. Infiltration*

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
NightVentAnte	infiltration1Always 0	Office Lights Sched	Office Equipment S	Office Occupancy E	Infiltration Schedule	Infiltration Half On S	Infiltration Quarter 0
Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction
Through: 5/30	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
For: Weekdays	For: AllDays	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays Sun	For: Weekdays Sun	For: Weekdays Sun
Until: 06:00	Until: 24:00	Until: 05:00	Until: 08:00	Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 06:00
0	1	0,05	0,4	.8	1	1	1
Until: 08:00		Until: 07:00	Until: 12:00	Until: 07:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00
0		0,1	0,9	.8	0	0,5	0,25
Until: 17:00		Until: 08:00	Until: 13:00	Until: 08:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
1		0,3	0,8	.8	1	1	1
Until: 21:00		Until: 17:00	Until: 17:00	Until: 12:00	For: Saturday Winte	For: Saturday Winte	For: Saturday Winte
.3		0,9	0,9	.8	Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 06:00
Until: 24:00		Until: 18:00	Until: 18:00	Until: 13:00	1	1	1

Εικόνα 9.5.16. Schedules

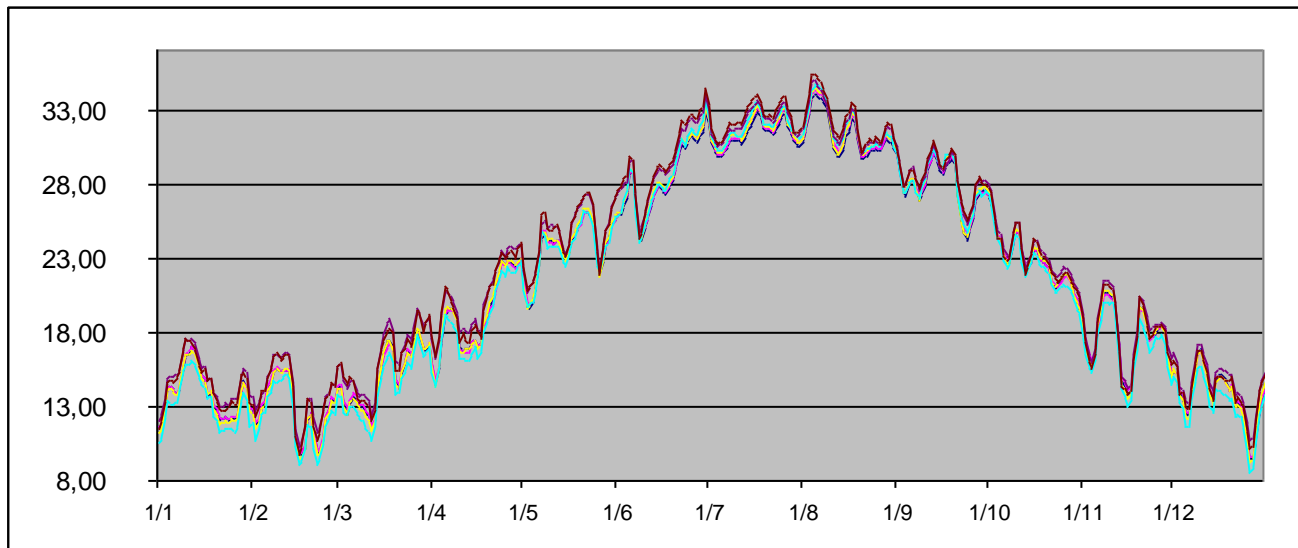
Έχοντας τελειώσει με τον καθορισμό των ιδιοτήτων προχωράμε στην πρώτη προσομοίωση του κτιρίου ( Simulate ) από το EnergyPlus. Επιλέγοντας ξανά Edit - IDF Editor μπορούμε πλέον να επιλέξουμε κατηγορίες αποτελεσμάτων.

Επιλέξαμε ως περίοδο προσομοίωσης του κτηρίου τη διάρκεια ενός έτους. Η εξαγωγή αποτελεσμάτων αρχίζει την 1η Ιανουαρίου και τελειώνει την 31η Δεκεμβρίου όπως φαίνεται στην εικόνα 9.5.17.

Field	Units	Obj1
Name		
Begin Month		1
Begin Day of Month		1
End Month		12
End Day of Month		31
Day of Week for Start Day		UseWeatherFile
Use Weather File Holidays and Special Days		Yes
Use Weather File Daylight Saving Period		Yes
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		Yes
Number of Times Runperiod to be Repeated		1
Increment Day of Week on repeat		
Start Year		

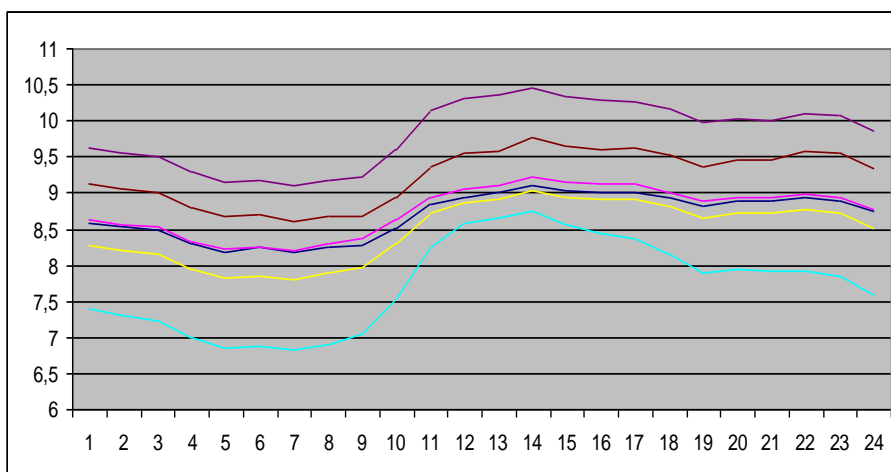
Εικόνα 9.5.17. Σύγκριση Μετρήσεων-EnergyPlus - Τοίχος Trombe

Τα αποτελέσματα των μέσων θερμοκρασιών ανά ζώνη επεξεργάστηκαν και παρουσιάζονται σε μορφή διαγράμματος στην εικόνα 9.5.18.



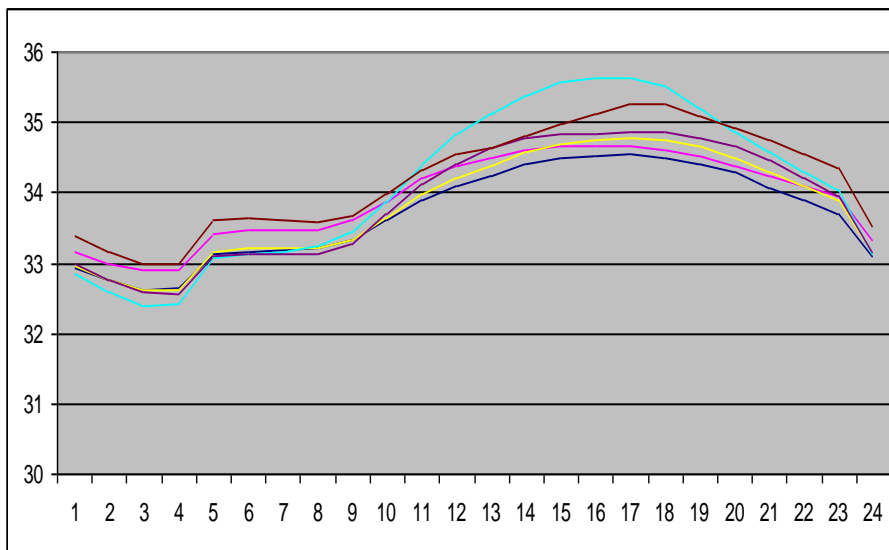
*Εικόνα 9.5.18. Ημερήσιες θερμοκρασίες ανά θερμική ζώνη κατά τη διάρκεια του έτους*

Στα διαγράμματα 9.5.19. και 9.5.20. φαίνονται οι θερμοκρασίες ανά ζώνη την πιο κρύα μέρα του χρόνου ( 26 Δεκεμβρίου ) και την πιο ζεστή μέρα του χρόνου ( 6 Αυγούστου ).



*Εικόνα 9.5.19. Ωριαίες θερμοκρασίες ανά θερμική ζώνη κατά τη διάρκεια της πιο κρύας μέρας*





Εικόνα 9.5.20. Ωριαίες θερμοκρασίες ανά θερμική ζώνη κατά τη διάρκεια της πιο ζεστής μέρας

## 9.6. Παθητικά ηλιακά συστήματα στο EnergyPlus

Στη συνέχεια επιχειρήθηκε βελτίωση της απόδοσης του κτιρίου, με την προσθήκη παθητικών ηλιακών συστημάτων. Επιλέξαμε να πειραματιστούμε με ένα σύστημα άμεσου κέρδους και ένα σύστημα έμμεσου κέρδους. Στην πρώτη περίπτωση επιλέξαμε την αλλαγή των υαλοπινάκων του κτηρίου, με νέας τεχνολογίας υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής ( Low -e ). Στη δεύτερη περίπτωση επιχειρήθηκε φύτευση βλάστησης σε δύο επιφάνειες του κτηρίου ( στην κεκλιμένη νότια στέγη και στο επίπεδο τμήμα του δώματος. Τα αποτελέσματα συγκριθήκαν μεταξύ τους, αλλά και με αυτά της αρχικής κατάστασης του κτιρίου.

### 9.6.1. Low - e υαλοπίνακες

Στο IDF Editor του EnergyPlus και συγκεκριμένα στη λίστα Material προβήκαμε στις εξής ρυθμίσεις. Αρχικά στην επιλογή WindowMaterial:Glazing δημιουργήσαμε νέο αντικείμενο με τα χαρακτηριστικά των υαλοπινάκων Low-e.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		LoE CLEAR 3MM R	Clear 3mm
Optical Data Type		SpectralAverage	SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name			
Thickness	m	0,003	0,003
Solar Transmittance at Normal Incidence		0,63	0,837
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,22	0,075
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,19	0,075
Visible Transmittance at Normal Incidence		0,85	0,898
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,079	0,081
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,056	0,081
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0	0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,1	0,84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84	0,84
Conductivity	W/m-K	0,9	0,9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittanc			

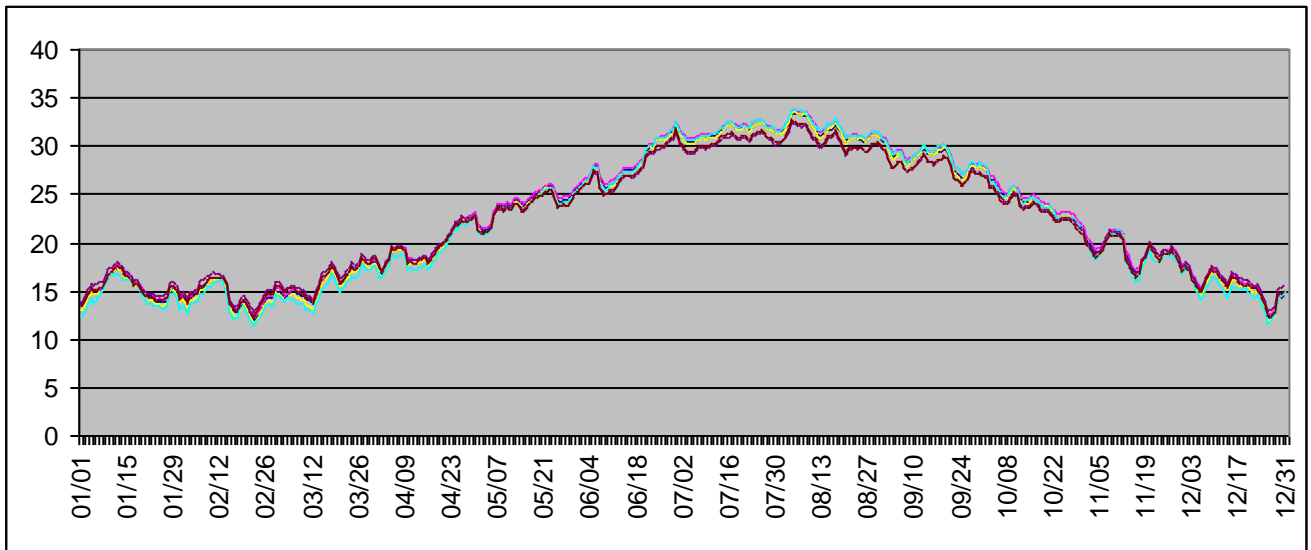
*Εικόνα 9.6.1. Υαλοπίνακες Low-e*

Στην επιλογή WindowMaterial:Gas δημιουργήσαμε νέο αντικείμενο με τις ιδιότητες του αργού, ως ενδιάμεσου αερίου. Τα εκάστοτε δεδομένα αντλήθηκαν από τη βιβλιοθήκη του EnergyPlus, στο φάκελο Datasets.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		ARGON 13MM	AIR 6MM	Air 13mm
Gas Type		Argon	Air	Air
Thickness	m	0,0127	0,0063	0,0127
Conductivity Coefficient A	W/m-K			
Conductivity Coefficient B	W/m-K2			
Conductivity Coefficient C	W/m-K3			
Viscosity Coefficient A	kg/m-s			
Viscosity Coefficient B	kg/m-s-K			
Viscosity Coefficient C	kg/m-s-K2			
Specific Heat Coefficient A	J/kg-K			
Specific Heat Coefficient B	J/kg-K2			
Specific Heat Coefficient C	J/kg-K3			
Molecular Weight	g/mol			
Specific Heat Ratio				

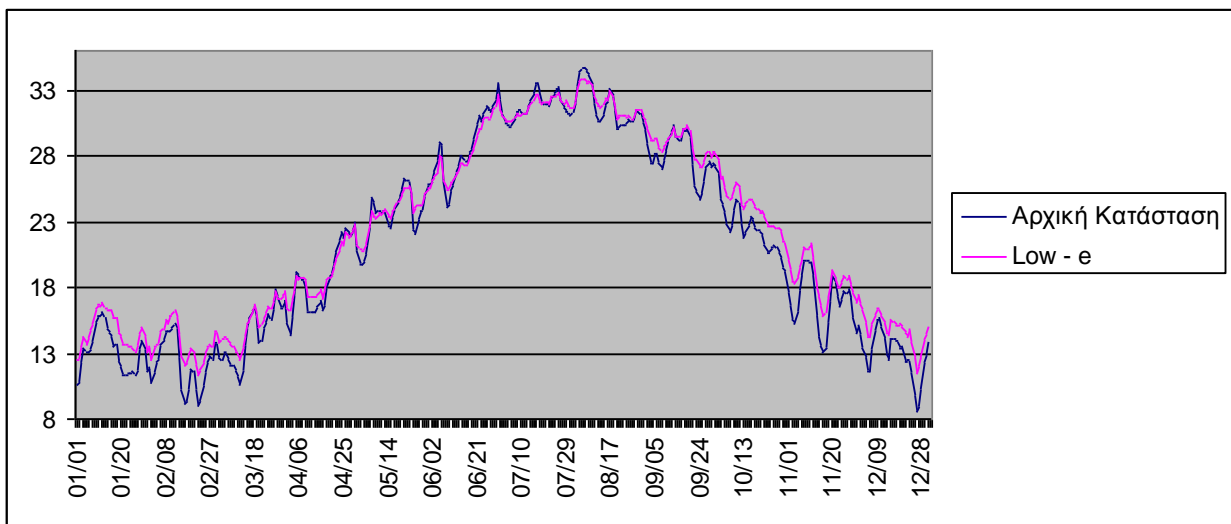
*Εικόνα 9.6.2. Window Material Gas*

Τα παρακάτω αποτελέσματα απεικονίζουν την θερμοκρασιακή μεταβολή σε κάθε ζώνη του κτιρίου, μετά την αντικατάσταση των υαλοπινάκων, με διπλούς Low - e υαλοπίνακες Εικ. 9.6.3.

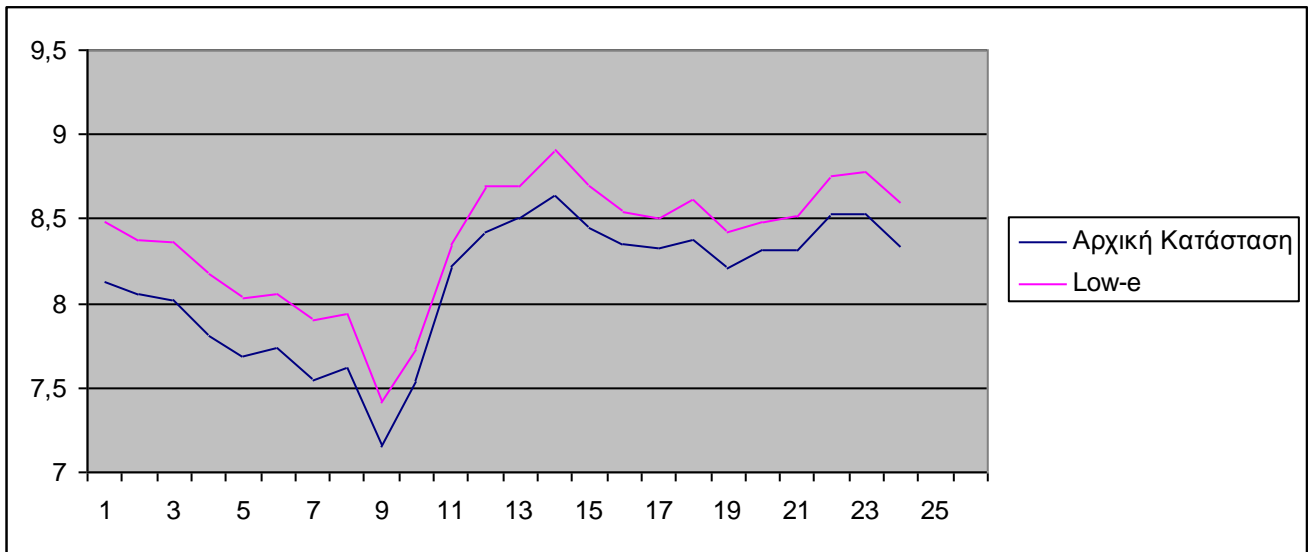


Εικόνα 9.6.3. Ημερήσιες θερμοκρασίες ανά θερμική ζώνη κατά τη διάρκεια του έτους

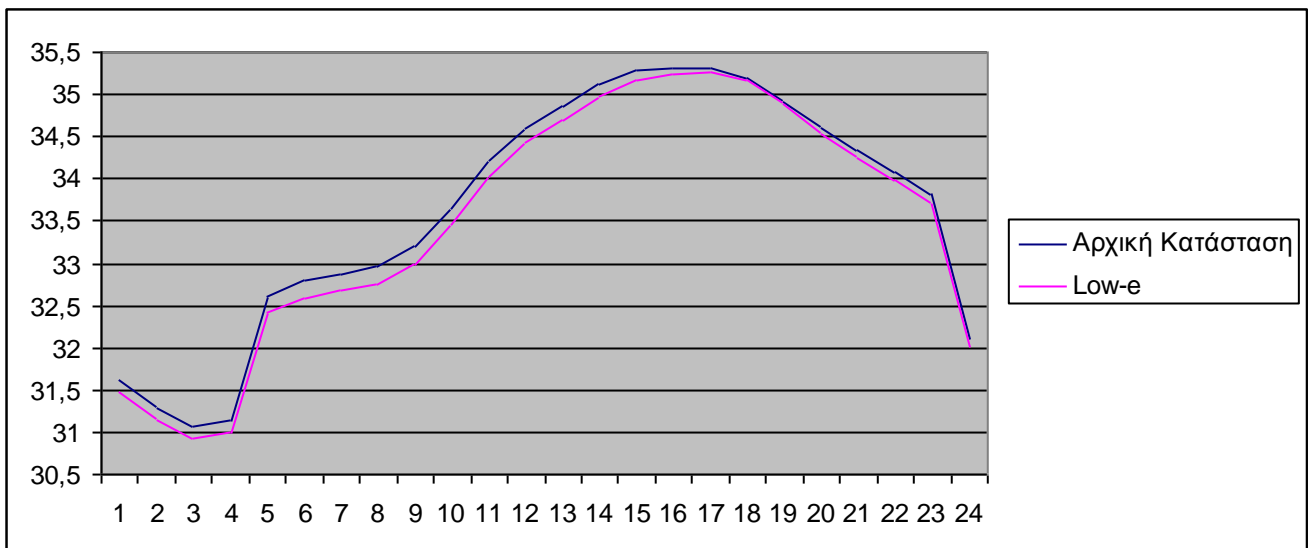
Συγκριτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στη ζώνη 5AEFCA (η οποία αντιστοιχεί στο σαλόνι) κατά τη διάρκεια του έτους, καθώς και κατά την πιο ζεστή και πιο κρύα μέρα του έτους, πριν και μετά την τοποθέτηση των υαλοπινάκων Low-e.



Εικόνα 9.6.4. Ημερήσιες θερμοκρασίες στη ζώνη 5AEFCA



Εικόνα 9.6.5. Ωριαίες θερμοκρασίες την πιο κρύα μέρα

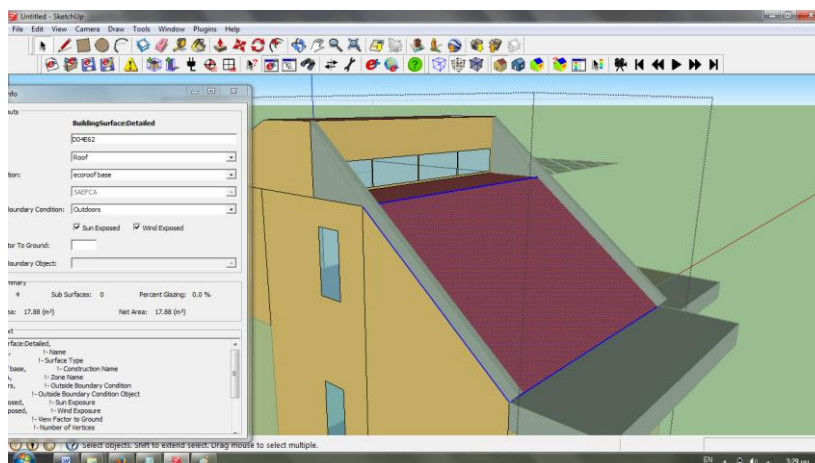


10.6.6. Ωριαίες θερμοκρασίες την πιο ζεστή μέρα

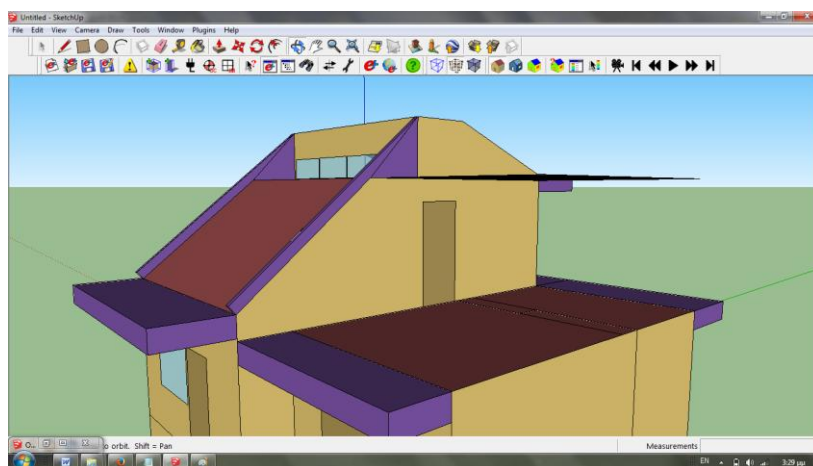
### 9.6.2. Πράσινη στέγη ( ecoroof )

Η προσομοίωση της πράσινης στέγης ήταν το επόμενο βήμα μας. Τα πολλαπλά πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού, ο οικολογικός χαρακτήρας του, η αισθητική βελτίωση που προσδίδει στο κτίριο και η δομή του κτιρίου η οποία ευνοεί την προσαρμογή της, είναι κάποιοι από τους λόγους που επιλέξαμε το σύστημα αυτό.

Επιλέξαμε δύο επιφάνειες τις οποίες θα προσομοιάσουμε ως πράσινες στέγες. Η μία είναι το κεκλιμένο τμήμα της στέγης και η δεύτερη το δώμα του ανατολικού τμήματος του κτιρίου. Οι επιφάνειες επισημαίνονται στις εικόνες 9.6.7 και 9.6.8.

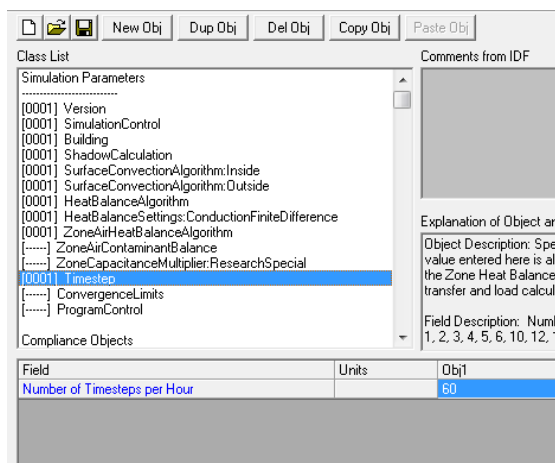


*Εικόνα 9.6.7. Κεκλιμένη πράσινη στέγη*



*Εικόνα 9.6.8. Φυτεμένο δόμα*

Στο IDF - Editor θέσαμε τις ιδιότητες και τις προϋποθέσεις για την προσομοίωση της πράσινης στέγης. Το πρόγραμμα απαιτούσε την αύξηση του χρονικού βήματος ( timestep ) σε μεγαλύτερη τιμή ώστε να μπορέσει να δώσει τα αποτελέσματα. Στην επιλογή **Material: RoofVegetation** ορίσαμε τρία διαφορετικά σενάρια τα οποία διαφέρουν στο βαθμό της εντατικότητας της βλάστησης, των διαστάσεων των φυτών και του απαιτούμενου πάχους της στρώσης φύτευσης. Τα δεδομένα λήφθηκαν από το φάκελο Example Files του μενού του EnergyPlus. Επίσης ορίστηκαν παράμετροι όπως οι συνθήκες υδροδότησης της στέγης είτε από βρόχινα νερά, είτε από σύστημα ποτίσματος. Τα δεδομένα δόθηκαν με τη μορφή schedule στις επιλογές Site:Precipitation και Roof Irrigation. δεδομένα από τον προγραμματισμό της πράσινης στέγης φαίνονται στις εικόνες 9.6.9. 9.6.10. και 9.6.11.



Εικόνα 9.6.9. Timestep

Τέλος δημιουργήσαμε στην επιλογή construction τη ακριβή σύνθεση στην κατασκευή της πράσινης στέγης και μέσω του Google SketchUp θέσαμε τις επιφάνειες στις οποίες θα την τοποθετήσουμε.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		IRRIGATIONSCHD	Precipitation
Schedule Type Limits Name		Any Number	Any Number
Field 1	varies	Through: 3/31	Through: 1/1
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 07:00	Until: 4:00
Field 4	varies	0	0
Field 5	varies	Until: 09:00	Until: 17:00
Field 6	varies	0,00181	0,00118269
Field 7	varies	Until: 24:00	Until: 18:00
Field 8	varies	0	0

Εικόνα 9.6.10. Irrigation - Precipitation

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		ThickSoil	BaseEco	LowLAI
Height of Plants	m	0,5	0,5	0,5
Leaf Area Index	dimensionless	5	5	0,5
Leaf Reflectivity	dimensionless	0,2	0,2	0,2
Leaf Emissivity		0,95	0,95	0,95
Minimum Stomatal Resistance	s/m	180	180	180
Soil Layer Name		EcoRoofSoil	EcoRoofSoil	EcoRoofSoil
Roughness		MediumSmooth	MediumSmooth	MediumSmooth
Thickness	m	0,36	0,18	0,18
Conductivity of Dry Soil	W/m-K	0,4	0,4	0,4
Density of Dry Soil	kg/m3	641	641	641
Specific Heat of Dry Soil	J/kg-K	1100	1100	1100
Thermal Absorptance		0,95	0,95	0,95
Solar Absorptance		0,8	0,8	0,8
Visible Absorptance		0,7	0,7	0,7
Saturation Volumetric Moisture Content of the Soil Layer		0,4	0,4	0,4
Residual Volumetric Moisture Content of the Soil Layer		0,01	0,01	0,01
Initial Volumetric Moisture Content of the Soil Layer		0,2	0,2	0,2

Εικόνα 9.6.11. Roof Vegetaion

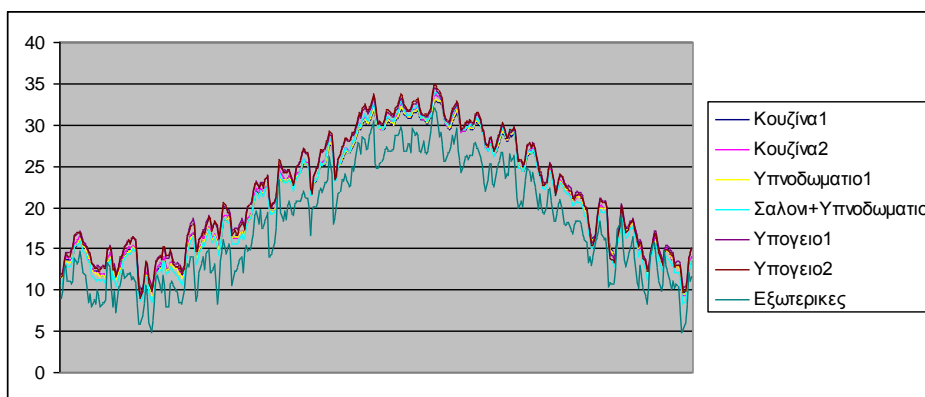
Αρχικά είχαμε επιλέξει τη δημιουργία δύο διαφορετικών τύπων πράσινης στέγης ( μία εντατικού τύπου η οποία θα κάλυπτε το επίπεδο δώμα και μία χαμηλής βλάστησης η οποία θα

προσαρμοζόταν στην κεκλιμένη οροφή ). Δυστυχώς το EnergyPlus αδυνατεί να επεξεργαστεί ταυτόχρονα δύο διαφορετικούς τύπους πράσινης στέγης. Στα αποτελέσματα μας προέκυπτε σοβαρό σφάλμα ( severe error ) με το πρόγραμμα να μας ζητεί να επιλέξουμε έναν από τους δύο τύπους. Προτιμήσαμε να θέσουμε και στις δύο επιφάνειες τον απλό τύπο πράσινης στέγης με χαμηλή βλάστηση. Σε αντίθετη περίπτωση, αν επιλέγαμε δηλαδή να προχωρήσουμε σε εντατικής μορφής φύτευση στην κεκλιμένη οροφή πιθανώς θα δημιουργούσαμε πρόβλημα στατικής επάρκειας του κτιρίου. Επίσης μια εντατικής μορφής φυτεμένη στέγη έχει επιπλέον απαιτήσεις συντήρησης τόσο των φυτών όσο και του εδάφους και η γεωμετρία της κατασκευής δεν ευνοούσε για μια τέτοια επιλογή.

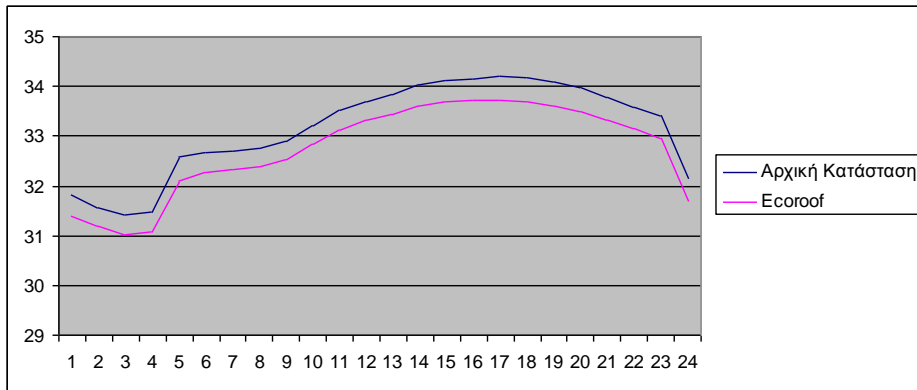
Field	Units	Obj1	Obj2
Name		ecorooft base	ecorooft thicksoil
Outside Layer		BaseEco	ThickSoil
Layer 2		ASHRAE 90.1-2004	ASHRAE 90.1-2004
Layer 3		ASHRAE 90.1-2004	ASHRAE 90.1-2004
Layer 4		fibran eco rf δωμα	fibran eco rf δωμα
Layer 5		σκυροδεμα οπλισμ.	σκυροδεμα οπλισμ.
Layer 6			
Layer 7			
Layer 8			
Layer 9			
Layer 10			

Εικόνα 9.6.12. Construction ecorooft

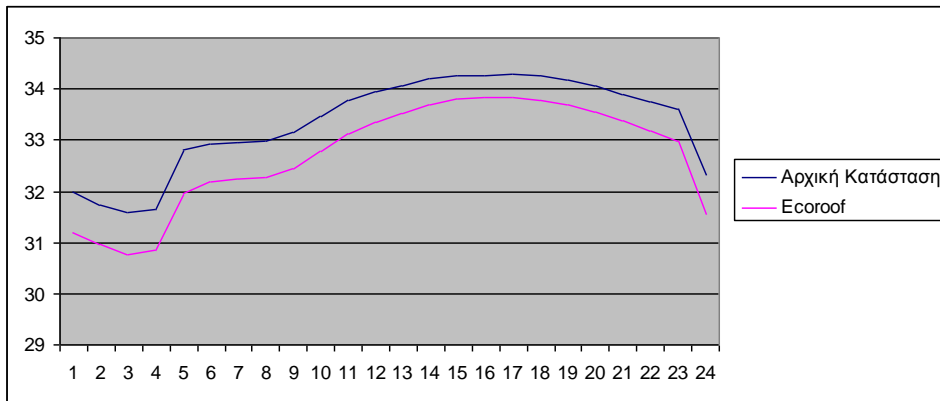
Στα παρακάτω διαγράμματα 9.6.13. 9.6.14. και 9.6.15. φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη διάρκεια ενός έτους, καθώς και τα συγκριτικά αποτελέσματα της αρχικής κατάστασης με αυτήν της πράσινης στέγης, στις τρεις θερμικές ζώνες οι οποίες έρχονται σε άμεση επαφή με την πράσινη στέγη και στις οποίες εντοπίζονται οι σημαντικότερες διαφορές κατά την πιο ζεστή και πιο κρύα μέρα του έτους.



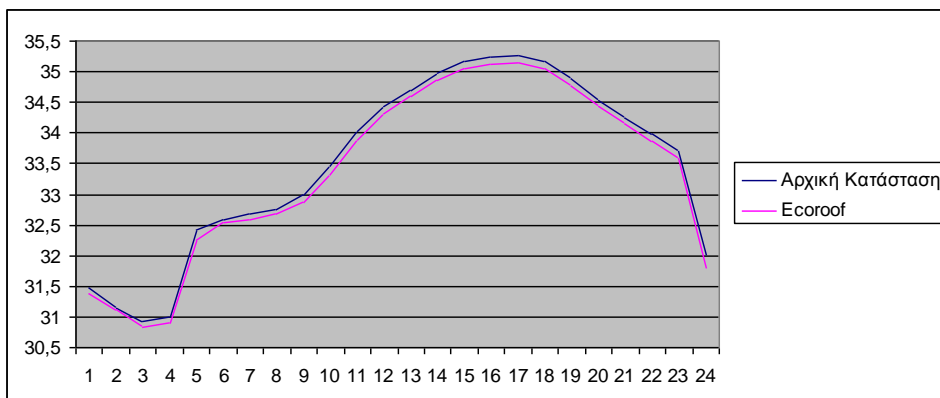
Εικόνα 9.6.13. Ημερήσιες θερμοκρασίες ανά ζώνη κατά τη διάρκεια του έτους



*Εικόνα 9.6.14. Σύγκριση ημερησίων θερμοκρασιών στη ζώνη Κουζίνα1 την πιο ζεστή ημέρα*

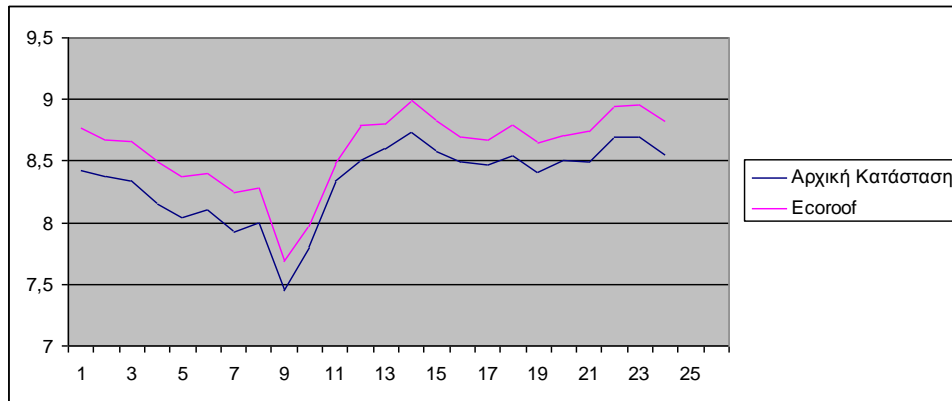


*Εικόνα 9.6.15. Σύγκριση ημερησίων θερμοκρασιών στη ζώνη Υπνοδομάτιο1 την πιο ζεστή μέρα*

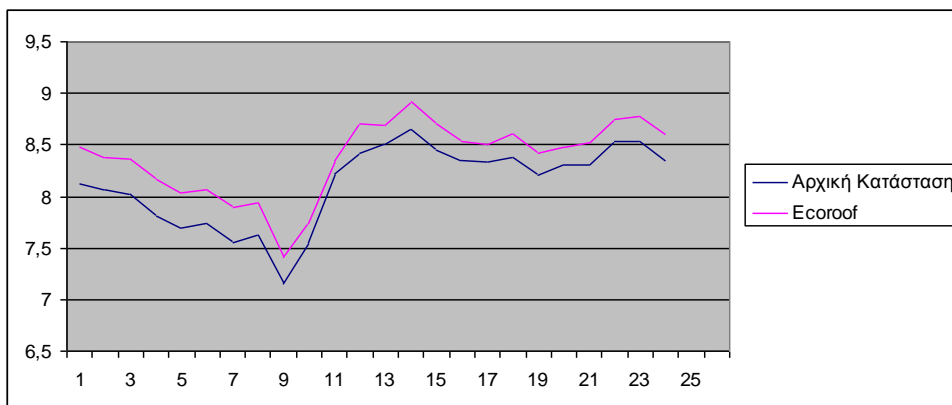


*Εικόνα 9.6.16 Σύγκριση ημερησίων θερμοκρασιών στη ζώνη Σαλόνι+ Υπνοδομάτιο την πιο ζεστή μέρα*

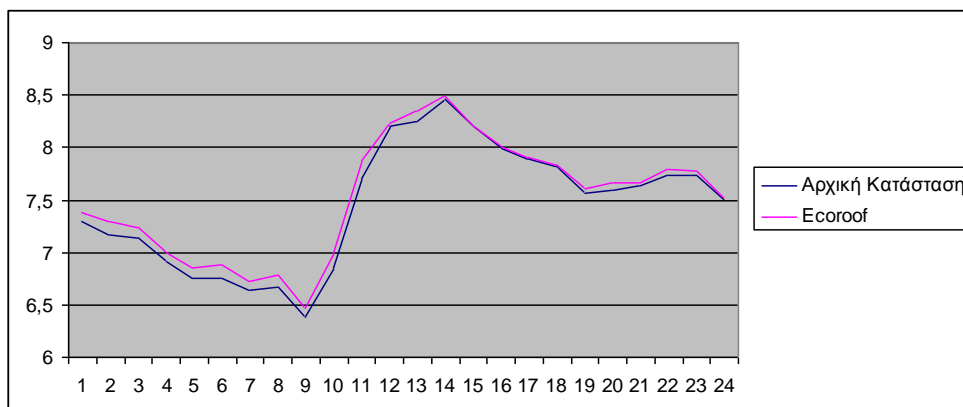




*Εικόνα 9.6.17 Σύγκριση ημερησίων θερμοκρασιών στη ζώνη Κουζίνα1 την πιο κρύα ημέρα*



*Εικόνα 9.6.18 Σύγκριση ημερησίων θερμοκρασιών στη ζώνη Υπνοδωμάτιο1 την πιο κρύα μέρα*



*Εικόνα 9.6.19 Σύγκριση ημερησίων θερμοκρασιών στη ζώνη Σαλόني+ Υπνοδωμάτιο την πιο κρύα μέρα*

Τα αποτελέσματα είναι αρκετά ενθαρρυντικά, καθώς παρατηρήθηκαν διαφορές θερμοκρασιών έως και ενός βαθμού κελσίου προς τη ζώνη άνεσης, μετά την εφαρμογή του συστήματος.

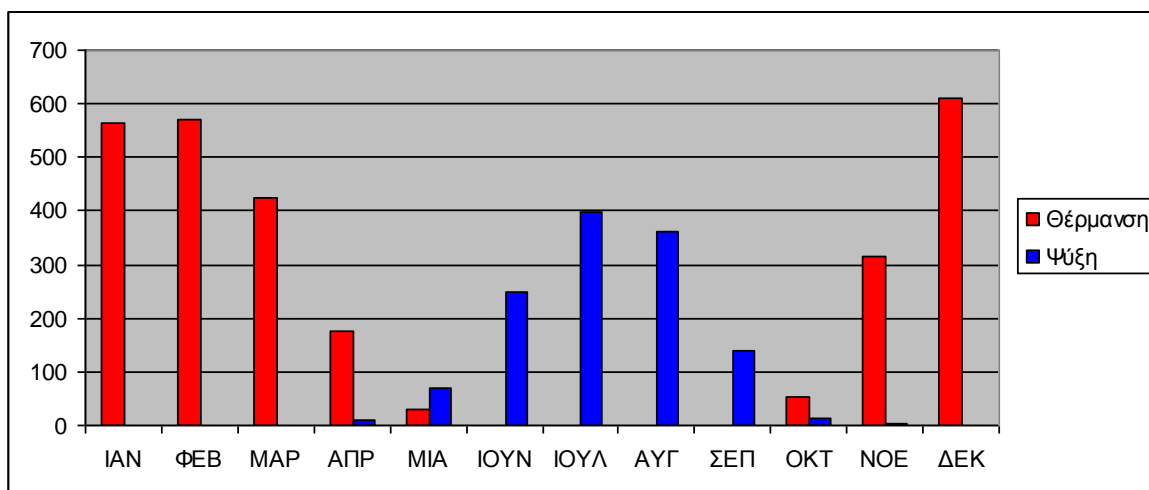
Παρατηρήθηκε πως το σύστημα και προσφέρει ελαφρώς αυξημένες εσωτερικές θερμοκρασίες κατά τους χειμερινούς μήνες, αλλά και χαμηλότερες κατά τους καλοκαιρινούς.

## 9.7. Κατανάλωση Ενέργειας

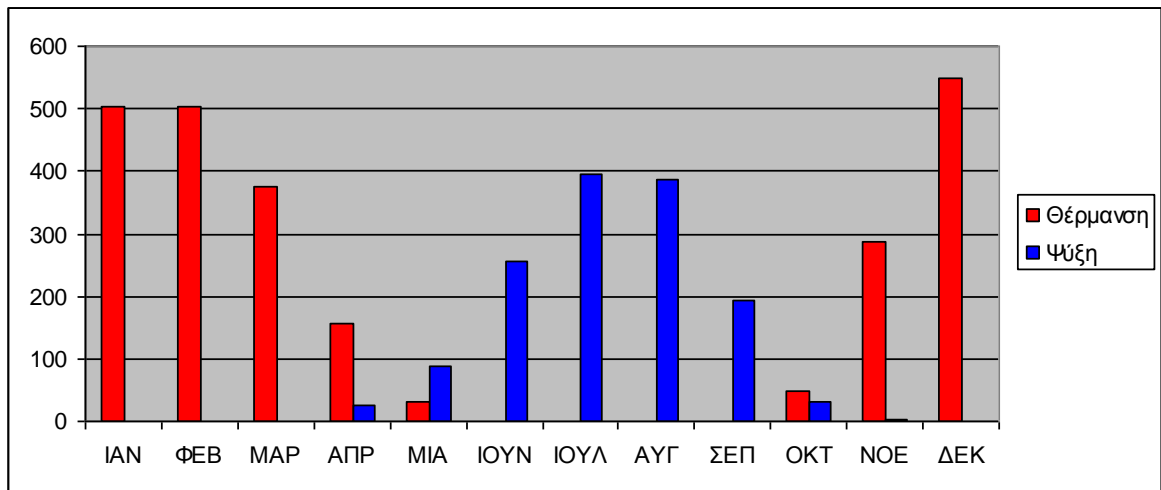
Με τα αποτελέσματα από τους θερμοκρασιακούς ελέγχους να κρίνονται ενθαρρυντικά, προχωρήσαμε σε ένα διαφορετικού, ίσως σημαντικότερου τύπου έλεγχο, τον έλεγχο κατανάλωσης. Η επεξεργασία έγινε τόσο στα τρία κτίρια της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, με σκοπό τη μεταξύ τους σύγκριση, όσο και στα τρία σενάρια που εξετάσαμε για την κατοικία στο Δήμο Σαρωνίδας.

### 9.7.1. Κτίρια Πολυτεχνειούπολης

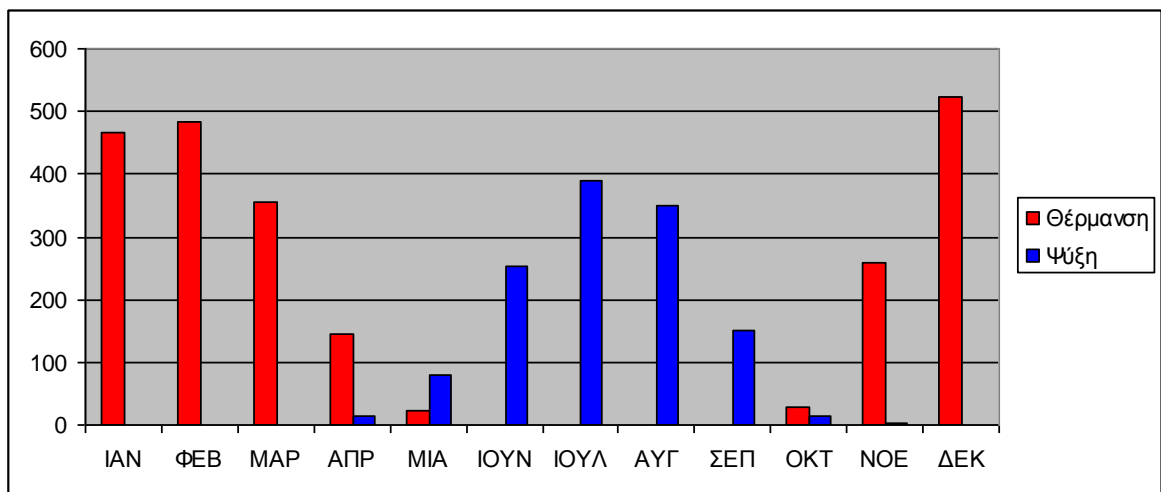
Αρχικά ελέγχθηκαν τα τρία κτίρια στην Πολυτεχνειούπολη. Το σενάριο σε αυτή την περίπτωση είναι υποθετικό, καθώς τα τρία κτίρια δεν διαθέτουν οποιοδήποτε μηχανολογικό εξοπλισμό που θα τους πρόσφερε ψύξη ή θέρμανση. Παρόλα αυτά δημιουργήσαμε στο EnergyPlus ένα υποθετικό σενάριο, έτσι ώστε να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε τα παθητικά ηλιακά συστήματα ως προς την αποτελεσματικότητά τους και την απόδοσή τους. Ορίστηκε η ζώνη θερμικής άνεσης μεταξύ των 20 και 25 βαθμών κελσίου. Τα αποτελέσματα ανά κτίριο φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 9.7.1. Κατανάλωση ενέργειας- Νότιο παράθυρο

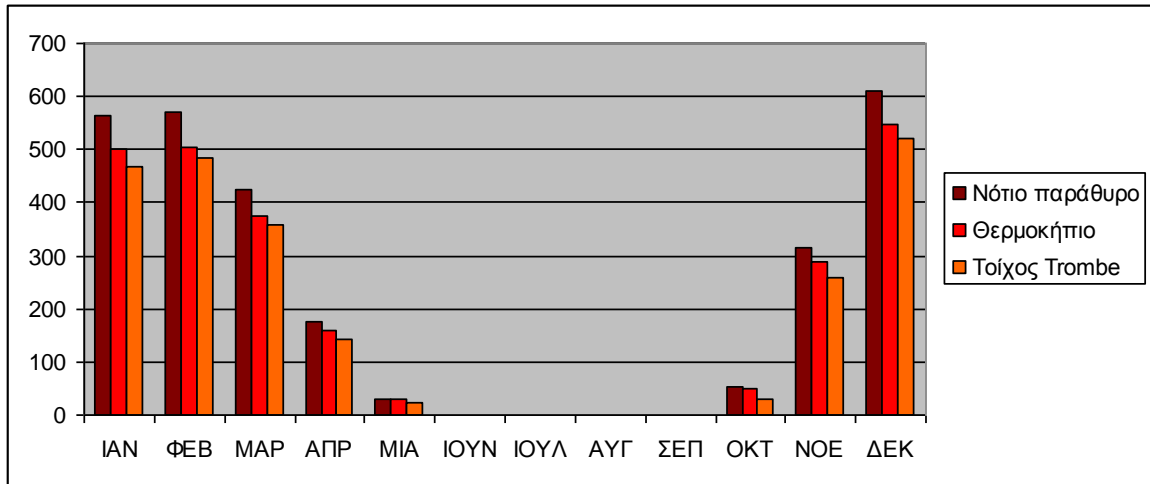


Εικόνα 9.7.2. Κατανάλωση ενέργειας- Θερμοκήπιο

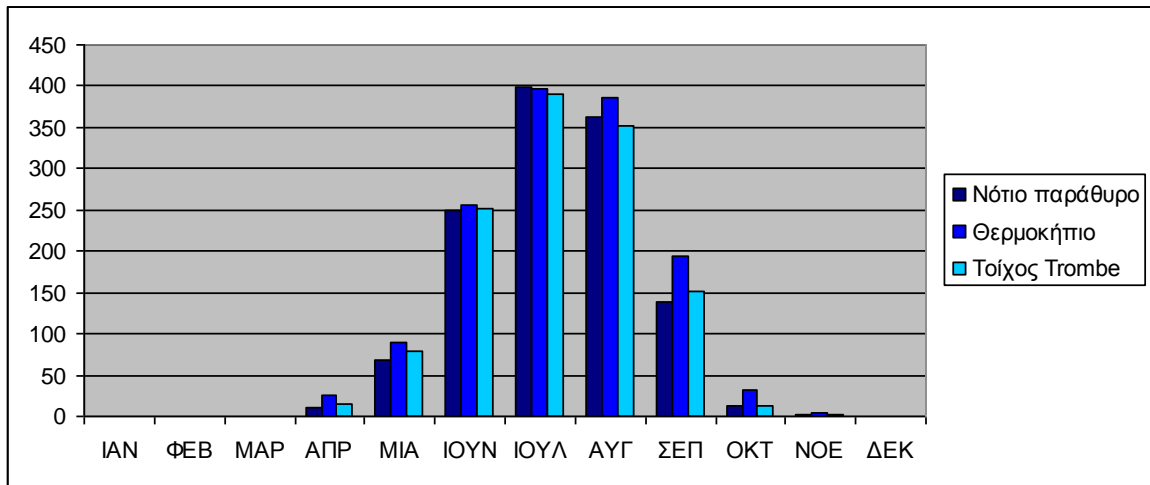


Εικόνα 9.7.3. Κατανάλωση ενέργειας - Τοίχος Trombe

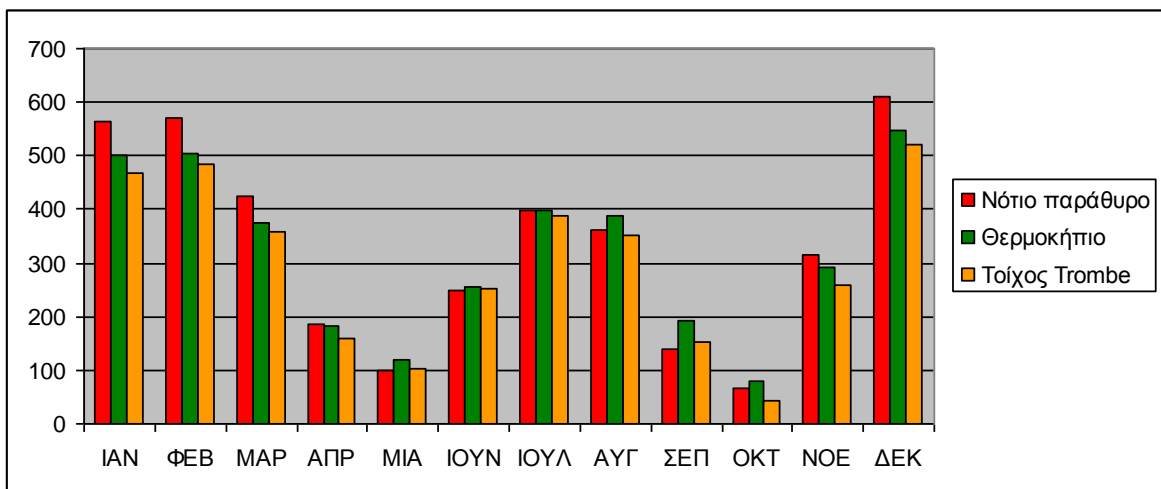
Συγκριτικά τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα. Τα αποτελέσματα έχουν διαχωριστεί σε ψύξη - θέρμανση για μεγαλύτερη ευκρίνεια. Τέλος στο διάγραμμα 9.7.6. φαίνεται η συνολική κατανάλωση στα τρία κτίρια.



Εικόνα 9.7.4. Κατανάλωση ενέργειας- Θέρμανση



Εικόνα 9.7.5. Κατανάλωση ενέργειας- Ψύξη



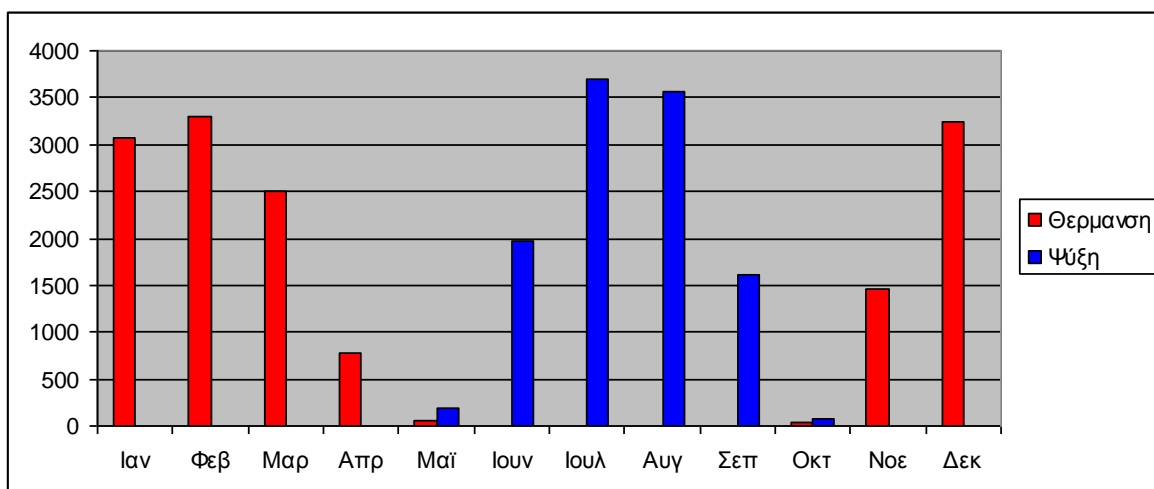
Εικόνα 9.7.6. Κατανάλωση ενέργειας- Ψύξη και Θέρμανση

Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα, το κτίριο με το νότιο παράθυρο καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από τα άλλα δύο κτίρια, στα οποία έχουν τοποθετηθεί τα παθητικά ηλιακά συστήματα. Μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται στην απαιτούμενη για θέρμανση ενέργεια, υπάρχει όμως κέρδος και στο επίπεδο ψύξης.

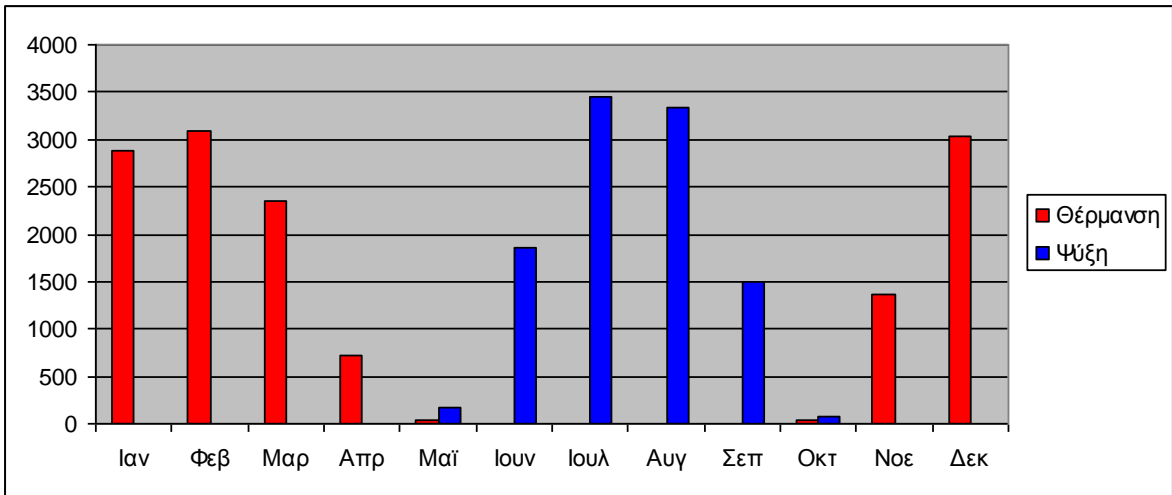
Πρέπει να σημειωθεί πως τα κτίρια εξετάστηκαν στην υπάρχουσα τους κατάσταση, παρόμοια με αυτή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Θεωρήθηκε πως τα κτίρια παραμένουν κλειστά, δεν υπάρχει χρήση από κατοίκους ή επισκέπτες και τα παθητικά ηλιακά συστήματα λειτουργούν στην ίδια κατάσταση κατά τη διάρκεια του χρόνου. Τα αποτελέσματα, κυρίως σε επίπεδο ψύξης, εκτιμάται πως θα ήταν ευνοϊκότερα σε περίπτωση που ο ηλιακός χώρος και ο τοίχος trombe είχαν σκιαστεί κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ή αν είχε προβλεφθεί πρόγραμμα αερισμού και δροσισμού των κτιρίων.

### 9.7.2. Κατοικία στο Δήμο Σαρωνίδας

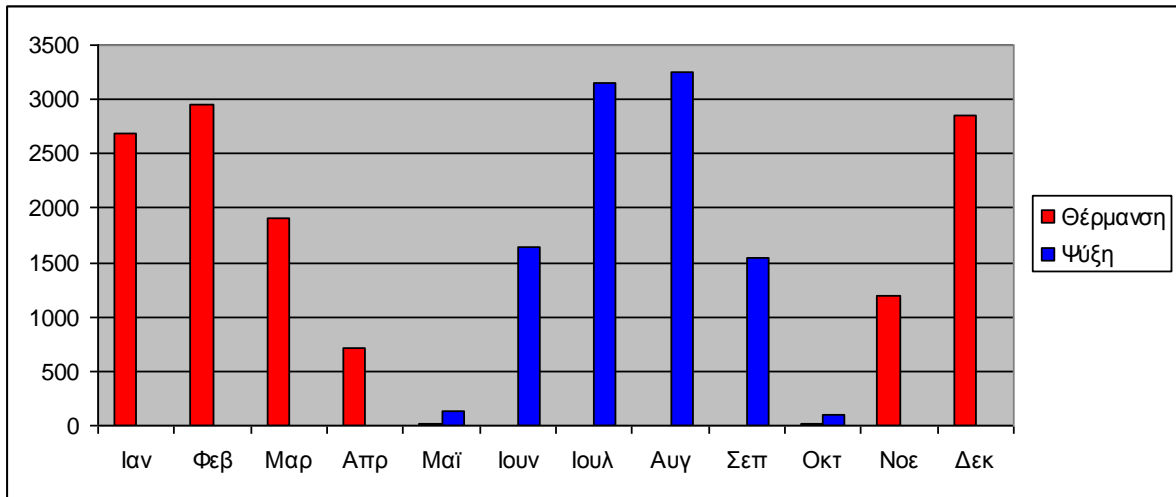
Τέλος προχωρήσαμε στην ενεργειακή κατανάλωση στην κατοικία στο Δήμο Σαρωνίδας. Ελέγχθηκαν και τα τρία σενάρια, δηλαδή πρώτον η αρχική κατάσταση του κτιρίου, δεύτερον το σενάριο με την αντικατάσταση των υαλοπινάκων με διπλούς Low-e υαλοπίνακες και τρίτον η τοποθέτηση της πράσινης στέγης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα διαγράμματα 9.7.7. 9.7.8. και 9.7.9.



Εικόνα 9.7.7. Μηνιαία κατανάλωση - Αρχική Κατάσταση

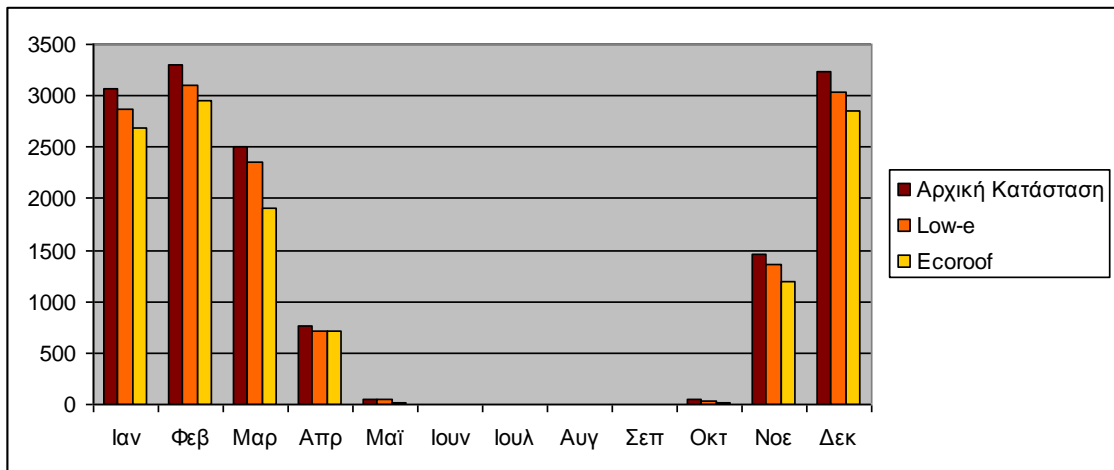


Εικόνα 9.7.8. Μηνιαία κατανάλωση - Low-e υαλοπίνακες

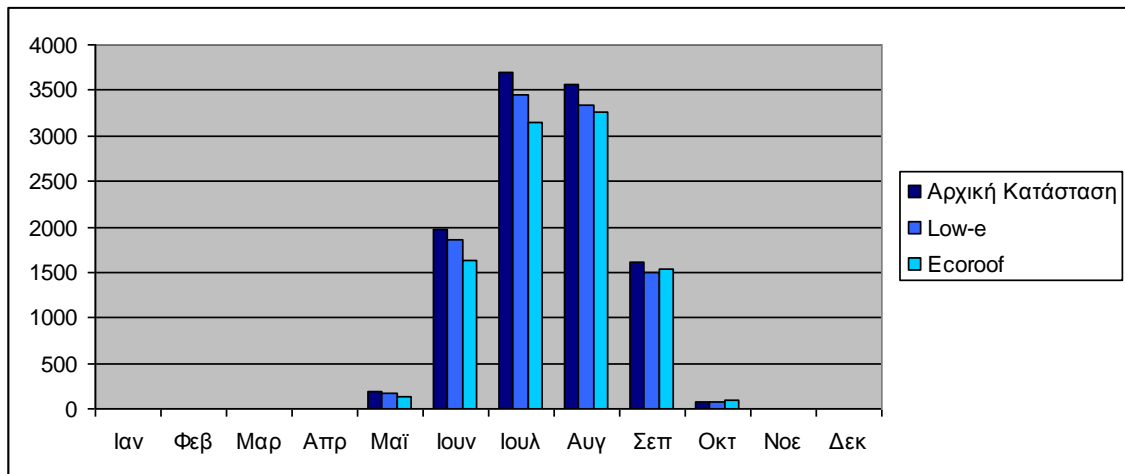


Εικόνα 9.7.9. Μηνιαία κατανάλωση - Πράσινη Στέγη

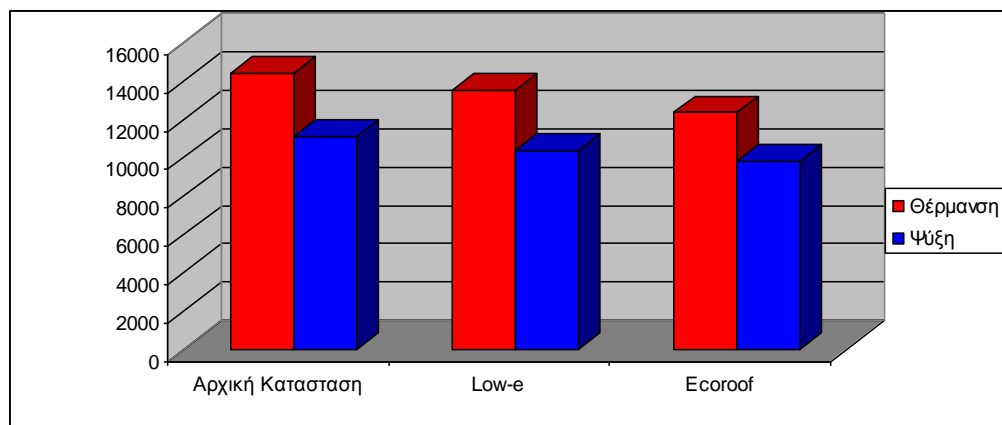
Είναι εμφανές πως τα παθητικά ηλιακά συστήματα λειτούργησαν προς όφελος της εξοικονόμησης ενέργειας και στις δύο περιπτώσεις. Τα συγκριτικά αποτελέσματα ψύξης - θέρμανσης και οι συνολικές καταναλώσεις φαίνονται στα διαγράμματα 9.7.10, 9.7.11, και 9.7.12.



Εικόνα 9.7.10. Κατανάλωση ενέργειας - Θέρμανση



Εικόνα 9.7.11. Κατανάλωση ενέργειας - Ψύξη



Εικόνα 9.7.12. Κατανάλωση ενέργειας - Συνολικά

## **9.8. Συμπεράσματα - Προτάσεις**

### **9.8.1. Το λογισμικό EnergyPlus**

Κατά τη διάρκεια της εργασίας αυτής το πρόγραμμα EnergyPlus δοκιμάστηκε σε πολλαπλές και διαφορετικές συγκριτικά καταστάσεις. Ταυτόχρονα απαραίτητως χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Google SketchUp και OpenStudio. Τα προγράμματα αποδείχθηκαν αρκετά πλήρη και εύχρηστα σε διάφορες περιπτώσεις.

Το πρόγραμμα Google SketchUp ήταν το εργαλείο μας για τη μοντελοποίηση των δομικών στοιχείων της κάθε κατασκευής. Το περιβάλλον εργασίας είναι αρκετά απλό και κατανοητό, ενώ επιτρέπει την εύκολη σχεδίαση χωρίς να απαιτεί τη γνώση προγράμματος CAD. Το OpenStudio λειτουργεί ως απαραίτητο plugin ώστε τα δεδομένα από το SketchUp να είναι επεξεργάσιμα από άλλα προγράμματα ενεργειακής ανάλυσης όπως το EnergyPlus.

Τέλος, το EnergyPlus, αν και δεν αποτελεί το πιο εύχρηστο ή κατανοητό πρόγραμμα, αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο με πολλές δυνατότητες ανάλυσης. Οι επιλογές μοντελοποίησης είναι αναλυτικότερες, επιτρέποντας ακόμη και το λεπτομερέστερο έλεγχο κάθε κατασκευής, ακόμη και σε ηλεκτρομηχανολογικό επίπεδο. Η πολυπλοκότητα και η δυσχρηστία του προγράμματος αναιρούνται σε μεγάλο βαθμό από ένα πλήρες πακέτο από παραδείγματα και προκατασκευασμένα σενάρια, και ένα αναλυτικότερο εγχειρίδιο λειτουργίας τα οποία λαμβάνονται με την εγκατάσταση του προγράμματος. Επίσης το πολύ ενεργό διαδικτυακό φόρουμ του EnergyPlus είναι ικανό να λύσει οποιεσδήποτε απορίες ή προβλήματα του χρήστη.

### **9.8.2. Σύγκριση μετρήσεων - EnergyPlus**

Η σύγκριση των μετρήσεων που προήλθαν από τους αισθητήρες των τριών κτιρίων στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη μοντελοποίηση αυτών στο EnergyPlus κρίνεται ικανοποιητικά επαρκής. Οι θερμοκρασιακές διαφορές δεν ξεπέρασαν μια μέγιστη τιμή των 4 βαθμών Κελσίου, ειδικά σε περιπτώσεις όπου οι εξωτερικές θερμοκρασίες συμβάδιζαν.

Μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρήθηκε κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες οι θερμοκρασίες σχεδόν ταυτίζονται. Η διαφορά αυτή ( των χειμερινών μηνών )



μπορεί να εξηγηθεί βέβαια, αν συγκριθούν οι αντίστοιχες εξωτερικές οι οποίες καταγράφηκαν από το Μετεωρολογικό Σταθμό του ΕΜΠ και οι αντίστοιχες εξωτερικές θερμοκρασίες που θεωρεί το weather file το οποίο χρησιμοποιήθηκε. Παρατηρείται, συγκρίνοντας τα δεδομένα αυτά, πως οι εξωτερικές θερμοκρασίες τείνουν να συγκλίνουν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ φαίνεται να έχουν καταγραφεί χαμηλότερες θερμοκρασίες από το Μετεωρολογικό Σταθμό κατά το χειμώνα. Επίσης οι συγκεκριμένοι αισθητήρες με τους οποίους έγιναν οι μετρήσεις, δεν αποτελούν τα πλέον ακριβή όργανα μέτρησης και οι καταγραφές τους ενδέχεται να έχουν κάποια απόκλιση από τα πραγματικά μεγέθη. Τέλος το weather file του EnergyPlus παρόλο που είναι ρυθμισμένο για τις κλιματικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, πιθανώς να μην λειτούργησε όπως πρέπει στην ακριβή θέση των τριών κτισμάτων.

Παρά τις αποκλίσεις αυτές, μπορούμε με αρκετή ασφάλεια να θεωρήσουμε, πως το πρόγραμμα απέδωσε τα τρία κτίρια σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό, καθώς σε καμία περίπτωση δεν παρατηρήθηκε κάποια ανεξήγητη ασυμβατότητα ή διαφορά στα αποτελέσματα τα οποία κατέληξε.

### **9.8.3. Κατοικία στο Δήμο Σαρωνίδας**

Η προσομοίωση του κτιρίου, όπως και τα αποτελέσματα σε επίπεδο θερμοκρασιακών μεταβολών κρίνονται ικανοποιητικά. Χρησιμοποιήθηκαν παρόμοιες μέθοδοι μοντελοποίησης σε σχέση με αυτές των κτιρίων στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου ( σχεδίαση στο SketchUp, μοντελοποίηση στο EnergyPlus, ίδιο weather file ), οπότε μπορούμε αρχικά να υποθέσουμε πως τα αποτελέσματα είναι αρκετά κοντά στην πραγματικότητα. Ήδη από το εύρος και τη διακύμανση των αποτελεσμάτων φαίνεται πως κινούνται σε φυσιολογικά και αναμενόμενα επίπεδα.

Η χρήση των παθητικών ηλιακών συστημάτων απέδωσε χρήσιμες πληροφορίες και συμπεράσματα και στα δύο σενάρια που δοκιμάστηκαν. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρήθηκε μικρή αύξηση των θερμοκρασιών σε όλες τις θερμικές ζώνες κατά τους χειμερινούς μήνες και σημαντικότερη μείωση των θερμοκρασιών κατά τους καλοκαιρινούς. Αυτό μεταφράζεται σε συνθήκες πιο κοντά στη θερμική άνεση για τους ενοίκους κατά τη διάρκεια του χρόνου. Επιλέχθηκε ένα παθητικό ηλιακό σύστημα άμεσου κέρδους και ένα παθητικό ηλιακό σύστημα έμμεσου κέρδους. Και τα δύο συστήματα είναι πολύ φιλικά προς το περιβάλλον, βελτιώνουν την αισθητική του κτιρίου και αποδείχθηκαν αποτελεσματικά τόσο σε επίπεδο θερμικής άνεσης όσο και σε επίπεδο ενεργειακής απόδοσης.

#### 9.8.4. Ενεργειακή Ανάλυση

Εξ' ίσου χρήσιμα συμπεράσματα λάβαμε από τη μελέτη των ενεργειακών απαιτήσεων μετά την τοποθέτηση παθητικών ηλιακών συστημάτων. Τα αποτελέσματα είναι ορατά από τη σύγκριση των τριών κτιρίων στην Πολυτεχνειούπολη. Τα κτίρια είναι σχεδόν πανομοιότυπα σε διαστάσεις, προσανατολισμό, τοποθεσία και υλικά κατασκευής και διαφέρουν μόνο ως προς τη νότια όψη τους. Το κτίριο με το Νότιο παράθυρο χρησιμοποιήθηκε ως κτίριο "οδηγός", έτσι ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματά του με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των άλλων δύο κτιρίων. Τα κέρδη που προκύπτουν από τη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι ορατά από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Το κτίριο με το Νότιο παράθυρο καταναλώνει ετησίως για θέρμανση 2742 KWh, ενώ το κτίριο με το θερμοκήπιο καταναλώνει 2454 KWh και το κτίριο με τον τοίχο Trombe 2284 KWh. Για ψύξη το κτίριο με το Νότιο παράθυρο καταναλώνει 1241,39 KWh, όταν το κτίριο με το θερμοκήπιο καταναλώνει 1381 KWh και το κτίριο με τον τοίχο Trombe 1254 KWh. Εδώ τα αποτελέσματα δείχνουν τα δύο κτίρια να απαιτούν περισσότερη ενέργεια, αυτό όμως εξηγείτε απόλυτα αν σκεφτούμε πως τα κτίρια παραμένουν κλειστά, χωρίς σκίαση, αερισμό ή δροσισμό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Τα κέρδη σε επίπεδο θέρμανσης είναι βέβαια ορατά. Συνολικά το κτίριο με το θερμοκήπιο είναι κατά 11% οικονομικότερο στη θέρμανση από αυτό με το Νότιο παράθυρο, ενώ αυτό με τον τοίχο Trombe είναι κατά 16,8% οικονομικότερο στη θέρμανση. Συνολικά το κτίριο με το θερμοκήπιο είναι κατά 5% οικονομικότερο ενώ αυτό με τον τοίχο Trombe είναι κατά 12% οικονομικότερο.

Η κατοικία στο Δήμο Σαρωνίδας στην αρχική του κατάσταση καταναλώνει 25538 KWh ετησίως, εκ των οποίων 14453 kWh για θέρμανση και 11106 kWh για ψύξη. Μετά την αντικατάσταση με low-e υαλοπίνακες οι απαιτήσεις για θέρμανση πέφτουν στις 1316 kWh, για ψύξη στις 10388 kWh και συνολικά στις 23905 kWh ετησίως. Το κόστος αντικατάστασης υπολογίζεται στα 3964 € με κόστος ανά τετραγωνικό μέτρο, μεταξύ των 280-300 €. Η ετήσια εξοικονόμηση μετά την τοποθέτηση των υαλοπινάκων υπολογίζεται στα 146 €. ανά έτος. Με την τοποθέτηση της πράσινης στέγης το κτίριο καταναλώνει 12343 kWh για θέρμανση και 9812 kWh για ψύξη. Συνολικά 22156 kWh, δηλαδή 3384 kWh λιγότερες από την αρχική κατάσταση. Με κόστος τοποθέτησης στα 800-900 € ανά τετραγωνικό μέτρο, η συνολική επένδυση για φύτευση 45,52 m<sup>2</sup> υπολογίζεται στις 38692 €. Η εξοικονόμηση ανά έτος εκτιμάται στα 304 € ετησίως.

Αξιολογώντας λοιπόν, τα δυο σενάρια καταλήγουμε στα εξής: οι low-e υαλοπίνακες παρουσιάζονται ως το οικονομικότερο σενάριο βάση κόστους-κέρδους, η αντικατάσταση τους είναι

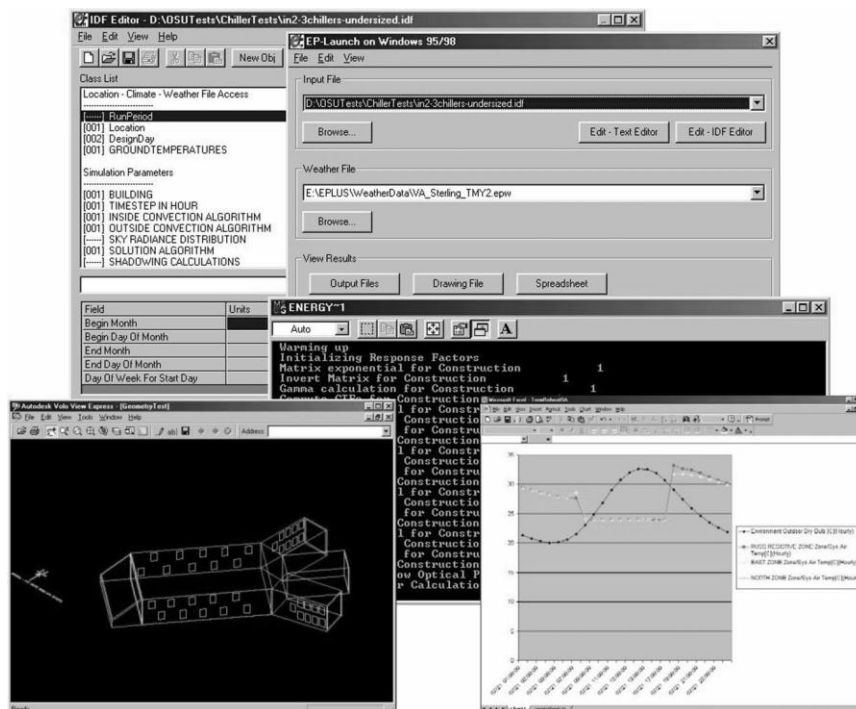
άμεση χωρίς να γίνεται καμία παρέμβαση στα δομικά στοιχεία του κτιρίου, ενώ το κόστος συντήρησης τους είναι το ελάχιστο δυνατό. Από την άλλη, η πράσινη στέγη παρά τη σημαντική συμβολή της τόσο σε θέρμανση και ψύξη, όσο και σε ενεργειακή κατανάλωση, δε μπορεί να αγνοηθεί το μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης της. Σε άλλα μη κοστολογημένα πλεονεκτήματά της συγκαταλέγονται η απορρόφηση των εκπεμπόμενων ρύπων, το φιλτράρισμα της σκόνης και η βελτίωση της ποιότητας ζωής.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

### 1. Τι είναι το EnergyPlus και από πού προήλθε;

Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης το οποίο αναλύει ενεργειακά τον κτιριακό χώρο. Εξαρτώμενο από τον χρήστη του στην αναλυτική και φυσική περιγραφή του κτιρίου, του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που αυτό διαθέτει καθώς και των κλιματολογικών συνθηκών που περιβάλλουν το ίδιο το κτίριο, το EnergyPlus θα υπολογίσει την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου καθώς επίσης τα θερμικά και ψυκτικά φορτία τα οποία απαιτούνται ώστε να καλυφθούν οι θερμικές και ψυκτικές του απαιτήσεις. Επιπλέον, θα υπολογίσει και άλλες παραμέτρους οι οποίες είναι απαραίτητες για να επιβεβαιώσουν ότι η προσομοίωση ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, δηλαδή το πως ένα αληθινό κτίριο θα συμπεριφερόταν υπό πραγματικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα τα οποία παράγει αποτελούν για τον χρήστη του λογισμικού αυτού μία αξιολογή συμβουλή, όσον αφορά τις αποφάσεις που θα πάρει, ώστε να βελτιώσει ενεργειακά έναν κτιριακό χώρο αποτρέποντας την άσκοπη σπατάλη ενέργειας γι' αυτόν.



*Εικόνα 1* Εικόνες από λειτουργίες και αποτελέσματα του EnergyPlus

<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/documentation.html>

Το EnergyPlus έχει τις "ρίζες" του στα λογισμικά BLAST (Building Loads and System Thermodynamics) και DOE-2 (Department Of Energy-2), που κατασκευάστηκαν και απελευθερώθηκαν στην αγορά από τα τέλη της δεκαετίας του '70 με αρχές της δεκαετίας του '80 ως εργαλεία ενεργειακής ανάλυσης. Το κοινό στο οποίο απευθύνονται είναι κυρίως ενεργειακοί μηχανικοί και αρχιτέκτονες οι οποίοι επιθυμούν να προσαρμόσουν κατάλληλα, συστήματα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού (HVAC systems-Heating Ventilation and Air Condition Systems), να εκτιμήσουν το κόστος κύκλου ζωής ενός κτιρίου, να βελτιστοποιήσουν την ενεργειακή απόδοση αυτού, κ.λπ. Γενικά είναι πολλά τα χαρακτηριστικά τα οποία το EnergyPlus έχει κληρονομήσει από τα προγράμματα BLAST και DOE-2.

Παρακάτω ακολουθεί μία λίστα με τα χαρακτηριστικά της πρώτης έκδοσης του Energy Plus. Η λίστα αυτή σκοπεύει να δώσει στον αναγνώστη μια ιδέα για την ακρίβεια και την εφαρμοσιμότητα του Energy Plus σε διάφορες καταστάσεις προσομοίωσης.

1. Η ολοκληρωμένη προσομοίωση. Δηλαδή τα τρία κύρια μέρη της προσομοίωσης, το κτίριο, το σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού και οι μηχανολογικές του εγκαταστάσεις, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους αποδίδοντας έτσι ένα πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα. Η προσομοίωση μπορεί να επαναληφθεί, εάν κριθεί απαραίτητο, από το πρόγραμμα.

2. Τα χρονικά βήματα (timesteps), καθορισμένα από τον χρήστη, σχετικά με την αλληλεπίδραση των θερμικών ζωνών του κτιρίου με το περιβάλλον, και τα μεταβαλλόμενα από το EnergyPlus χρονικά βήματα τα οποία καθορίζουν την αλληλεπίδραση των θερμικών ζωνών με τα συστήματα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού (η τελευταία διαδικασία πραγματοποιείται αυτόματα από το λογισμικό ώστε να επιτευχθεί μια σταθερότητα στους υπολογισμούς).

3. Η μορφή ASCII σε αρχεία κλιματολογικών, εισαγωγής και εξαγωγής δεδομένων τα οποία περιέχουν περιβαλλοντικούς παράγοντες σε ωριαία και υποωριαία χρονική κλίμακα, καθώς και σε αναφορές οι οποίες είτε είναι βασικές είτε έχουν οριστεί από τον χρήστη.

4. Ο υπολογισμός των θερμικών φορτίων από ακτινοβολία ή και μεταφορά θερμότητας, που επικρατούν στις διάφορες θερμικές ζώνες του κτιρίου μεταξύ Μοντελοποίηση με το λογισμικό EnergyPlus των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου χρησιμοποιώντας μια τεχνική επίλυσης βασισμένη στην θερμική ισορροπία.

6. Οι συναρτήσεις θερμικής αγωγιμότητας για τον υπολογισμό αυτής στα διάφορα μέρη του κτιρίου (δηλαδή σε τοίχους, τζάμια, ορόφους, πατώματα κ.α.).

7. Το βελτιωμένο μοντέλο διάδοσης θερμότητας μέσω εδάφους, βασισμένο σε απλές αναλυτικές τεχνικές και τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους.

8. Το συνδυασμένο μοντέλο διάδοσης θερμότητας και μάζας για τον υπολογισμό της απορρόφησης-αποβολής υγρασίας από κάθε στρώμα επιφάνειας του κτιρίου, μέσω των συναρτήσεων θερμικής αγωγιμότητας ή του μοντέλου EMPD (Effective Moisture Penetration Depth Model). Το μοντέλο EMPD αποτελεί μία συσσωρευμένη προσέγγιση (lumped approach) για την προσομοίωση της απορρόφησης-αποβολής υγρασίας από κάθε επιφάνεια σώματος (έπιπλα, τοιχοποιίες κ.λπ.). Το μοντέλο αυτό υποθέτει ότι κάθε σώμα περιβάλλεται από ένα λεπτό στρώμα το οποίο αντιπροσωπεύει τη συνολική υγρασία που περιέχει το σώμα, συμπεριφέρεται δυναμικά και ανταλλάσσει υγρασία με τον αέρα.

9. Μοντέλα θερμικής άνεσης βασισμένα στη θερμοκρασία, την υγρασία, την ανθρώπινη δραστηριότητα μέσα στο κτίριο κ.λπ.

10. Το μοντέλο ανισοτροπικής εκπομπής για τον υπολογισμό της διάχυσης της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει πάνω στις επιφάνειες του κτιρίου.

11. Οι υπολογισμοί που αφορούν τα ανοίγματα που υπάρχουν στις επιφάνειες του κτιρίου (όπως παράθυρα και φεγγίτες), για το μέγεθος, τον τύπο υαλοπίνακα που αυτές διαθέτουν και για τυχόν επιφάνειες σκίασης (είτε τεχνητές, είτε φυσικές) με τις οποίες τα ανοίγματα συνοδεύονται.

12. Οι έλεγχοι του ηλεκτρικού φωτισμού στο κτίριο, βασισμένοι στον υπολογισμό της ημερήσιας ηλιακής φωτεινότητας και τους παράγοντες που την επηρεάζουν (π.χ. καιρικές συνθήκες, σκιάσεις από γειτονικά κτίρια, γωνία ύψους του ήλιου κ.λπ.). Επίσης, το πως επιδρά η μείωση του ηλεκτρικού φωτισμού στα ψυκτικά και θερμικά φορτία του κτιρίου.

13. Ο σχηματισμός διάταξης των συστημάτων θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού (συμβατικά και ακτινωτά), τα οποία δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να μοντελοποιήσει τυπικές διατάξεις τέτοιων συστημάτων ή να μοντελοποιήσει ελαφρώς διαφορετικές διατάξεις χωρίς να χρειαστεί να ανασυνθέτει τον κώδικα του προγράμματος.

14. Οι υπολογισμοί που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση οι οποίοι προβλέπουν τις εκπομπές αέριων ρύπων (δηλαδή CO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HCs, σωματιδιακής ύλης κ.λπ.) λόγω της μετατροπής της ενέργειας από μία μορφή σε μία άλλη για να μπορέσει να καταναλωθεί από το κτίριο ή το σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που το κτίριο διαθέτει.

15. Η δυνατότητα συνεργασίας με άλλα λογισμικά προσομοίωσης, όπως τα WINDOW5, DELight, και SPARK, για περισσότερη ανάλυση των διαφόρων στοιχείων που το κτίριο διαθέτει.

Κανένα πρόγραμμα δεν είναι ικανό να χειρίζεται την προσομοίωση οποιασδήποτε κατάστασης. Ωστόσο, είναι η πρόθεση του EnergyPlus να χειρίζεται όσο το δυνατόν περισσότερες επιλογές, είτε άμεσα είτε έμμεσα μέσω συνεργασίας άλλων προγραμμάτων, για τον υπολογισμό των φορτίων ή και της ενεργειακής κατανάλωσης, τόσο για μία μέρα όσο και για μια μακροπρόθεσμη χρονική περίοδο. Αν και οι πρόσφατες εκδόσεις του EnergyPlus αναφέρονται στα παραπάνω χαρακτηριστικά τα οποία είναι κυρίως συνδεδεμένα με τις θερμικές έννοιες του κτιρίου, στο μέλλον οι επόμενες εκδόσεις του EnergyPlus θα περιέχουν επιπρόσθετα χαρακτηριστικά για το κτίριο, όπως συστήματα ηλεκτρισμού, συστήματα νερού κ.λπ.

Αν και είναι σημαντικό να κατανοηθεί τι είναι το EnergyPlus, είναι επίσης σημαντικό να κατανοηθεί και τι δεν είναι αυτό.

1. Το EnergyPlus δεν αποτελεί περιβάλλον διεπαφής χρήστη (user interface). Αντιθέτως αποτελεί μια μηχανή προσομοίωσης γύρω από την οποία ένα τέτοιο περιβάλλον θα συνεργασθεί μαζί της για να υπάρχει η επικοινωνία χρήστη- μηχανής. Αν και τα δεδομένα που δέχεται και παράγει βρίσκονται σε μορφή ASCII, η οποία όμως είναι αποκρυπτογραφημένη και επομένως κατανοητή από τον χρήστη, είναι καλύτερα η διαχείριση αυτών να γίνεται μέσα από ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη (GUI-Graphical User Interface). Επομένως, αυτή η προσέγγιση μέσω ενός GUI δίνει την δυνατότητα στον επαγγελματία χρήστη να εκμεταλλευτή τους πόρους του προγράμματος και να τους συνθέτει όπως θέλει αυτός προσαρμόζοντας έτσι το πρόγραμμα στα "μέτρα του" και γενικότερα στις απαιτήσεις του.

2. Το EnergyPlus δεν είναι εργαλείο ανάλυσης του κόστους κύκλου ζωής. Παράγει όμως αποτελέσματα τα οποία μπορούν να διοχετευτούν σε προγράμματα όπου ασχολούνται με την ανάλυση κόστους κύκλου ζωής και αποκρίνονται πιο γρήγορα στις αλλαγές του ρυθμού και τις μεθοδολογίας τις οποίες θέτει μια υπηρεσία ενός κράτους, μια ομοσπονδία κ.λπ.



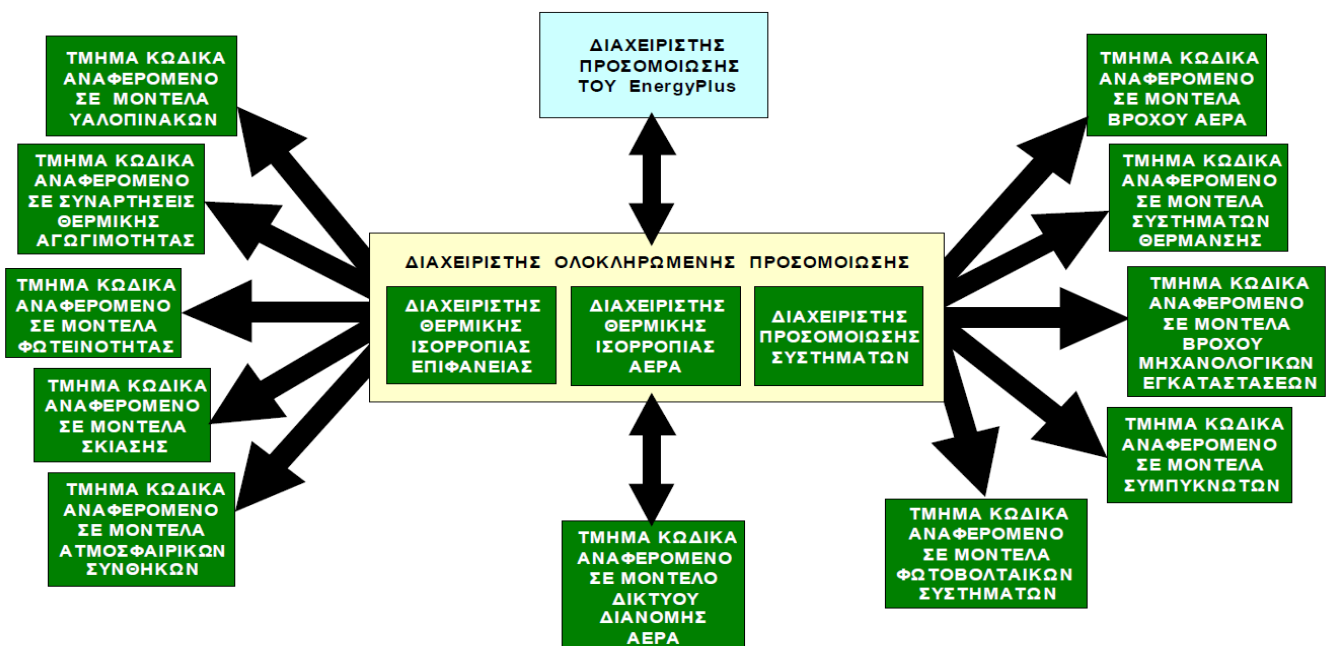
3. Και τέλος, το EnergyPlus δεν αντικαθιστά τον αρχιτέκτονα ή τον μηχανικό. Δεν ελέγχει εάν τα δεδομένα, κατά της διάρκειας εισαγωγής αυτών, πληρούν κάποιες προϋποθέσεις ή βρίσκονται ανάμεσα σε κάποια όρια, και γενικότερα δεν ελέγχει τον ορθό τρόπο εισαγωγής αυτών. Αν και μερικά προγράμματα υποδεικνύουν στον χρήστη πώς θα εισάγει τα δεδομένα ή για τυχόν λάθη που κάνει κατά τη διάρκεια εισαγωγής αυτών, το EnergyPlus είναι της φιλοσοφίας "ότι δώσεις θα πάρεις". Οι αρχιτέκτονες και οι μηχανικοί θα αποτελούν αξιόλογους συντελεστές σε κάθε διαδικασία μοντελοποίησης.

## **2. Τα προτερήματα του EnergyPlus**

Η ύπαρξη του EnergyPlus συνδέεται με μερικά από τα ολοένα αυξανόμενα εμφανή ελαττώματα των λογισμικών BLAST και DOE-2. Παρόλο που και τα δύο αυτά προγράμματα θεωρούνται ισχυρά εργαλεία τα οποία και συνεχίζουν να βρίσκουν εφαρμογή, άρχισαν να εμφανίζουν σημάδια "γήρανσης" από μέρους τους. Τα δύο προγράμματα BLAST και DOE-2 έχουν γραφτεί σε παλιά έκδοση της γλώσσας προγραμματισμού υψηλού επιπέδου FORTRAN (FORMula TRANslation) και επομένως τα χαρακτηριστικά αυτής της γλώσσας θεωρούνται πλέον ξεπερασμένα από τους νέους μεταγλωττιστές. Επίσης, περιέχουν σημαντική ποσότητα από κώδικα "σπαγγέτι" ενώ και η δομή του κώδικα τους θεωρείται ξεπερασμένη καθιστώντας τον δύσκολο στο να διατηρηθεί, να ενισχυθεί και να εξελιχθεί. Επιπλέον, ούτε το BLAST ούτε το DOE-2 είναι ικανά να προσομοιάσουν την αλληλεπίδραση μεταξύ συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού και των θερμικών ζωνών του κτιρίου. Τέλος, η εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα των συστημάτων θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού έχει καταστήσει τις ομάδες υποστήριξης και ανάπτυξης αυτών των προγραμμάτων ανίκανες να τα κρατήσουν βιώσιμα και εν ενεργεία. Αυτή βασικά είναι και η κυρίως αιτία της ύπαρξης του EnergyPlus. Δηλαδή δεν υπάρχουν αρκετοί ερευνητές οι οποίοι να έχουν την εμπειρία με τον σύνθετο κώδικα των προγραμμάτων έτσι ώστε να τα διατηρήσουν στους ρυθμούς της νέας τεχνολογίας. Και εκτός αυτού θα ήταν τρομερά δαπανηρή και χάσιμο χρόνου η διαδικασία της εκμάθησης του πολύπλοκου αυτού κώδικα από ένα ή περισσότερα φυσικά πρόσωπα ώστε να μπορέσουν να κάνουν τις μετατροπές που απαιτούν και τα δύο προγράμματα. Τα προτερήματα που δόθηκαν στο EnergyPlus ώστε να λύσουν τα προβλήματα που εμφάνισαν οι προκάτοχοί του, ήταν τα εξής: η δομή, η τμηματικότητα, οι εγκατεστημένοι σύνδεσμοι, η ολοκληρωμένη προσομοίωση και ο ανοιχτός πηγαίος κώδικας. Αμέσως παρακάτω ακολουθεί μία αναφορά σε αυτά τα προτερήματα.

## 2.1. Η δομή του EnergyPlus

Ο κώδικας "σπαγγέτι" των BLAST και DOE-2 οδήγησε σε μεγάλη σύγχυση της κατανόησης του τρόπου με τον οποίο τα δεδομένα διοχετεύονται μέσα στο κάθε πρόγραμμα, όταν δηλαδή τα δεδομένα είναι διαμορφωμένα ή όταν πρέπει να διαμορφωθούν και τι συμβαίνει σε αυτές τις περιπτώσεις. Έτσι λοιπόν ένας από τους στόχους για την ανάπτυξη του EnergyPlus ήταν να εξαλειφθούν οι αλληλοσυνδέσεις μεταξύ διαφόρων τμημάτων του προγράμματος καθώς επίσης να εξαληφθεί και η ανάγκη κατανόησης ολόκληρου του κώδικα του μόνο και μόνο για την προσθήκη επιπλέον στοιχείων σ' ένα μέρος του προγράμματος. Αυτός ο στόχος επιτεύχθηκε μέσω της δομής του EnergyPlus η οποία ενεργεί ως διαχειριστής (Εικ. 9.2.), αποτελούμενη από πολλά τμήματα κώδικα (modules). Αντί, λοιπόν, το κάθε τμήμα κώδικα χαμηλού επιπέδου προσομοίωσης να διεισδύει στο υψηλότερο επίπεδο της προσομοίωσης, το κάθε τμήμα ασκεί έλεγχο στον εαυτό του όταν κληθούν κάποια στοιχεία από αυτό. Αυτή η δομή μοιάζει σαν ένα οργανόγραμμα όπου η διαχείριση των στελεχών γίνεται ιεραρχικά ξεκινώντας από ψηλά από τον γενικό εκτελεστικό διευθυντή.



Εικόνα 2. Σχηματική απεικόνιση της δομής του EnergyPlus.

[[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_documentation.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm)]

Στο EnergyPlus η υπορουτίνα ManageSimulation αναλαμβάνει αυτόν τον ρόλο του γενικού εκτελεστικού διευθυντή. Αυτή ελέγχει τέσσερις από τους πέντε βρόχους της προσομοίωσης οι οποίοι

είναι: το περιβάλλον, η ημέρα, η ώρα και τα χρονικά υποωριαία βήματα που έχει θέσει ο χρήστης (ο πέμπτος παράγοντας είναι τα χρονικά υποωριαία βήματα του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού τα οποία θέτει ο HVAC διαχειριστής). Επιπροσθέτως, η συγκεκριμένη υπορουτίνα θέτει "σημάδια" τα οποία χρησιμοποιούνται από άλλες υπορουτίνες και τα υπόλοιπα επιμέρους τμήματα κώδικα, ώστε να προσδιορίσουν την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η προσομοίωση και ούτως ώστε κάθε μέρος του προγράμματος να γνωρίζει εάν πρέπει να "διαβάσει" τα δεδομένα, να προσομοιώσει, να αναφέρει τα αποτελέσματα κ.λπ. Η φιλοσοφία της διαχείρισης κάνει την συνεργασία μεταξύ των επιμέρους τμημάτων κώδικα του προγράμματος πιο απλή και κατανοητή.

Τυπικά η κλήση κάθε επιμέρους τμήματος κώδικα γίνεται μέσω της υπορουτίνας του διαχειριστή τους. Έτσι, δεν υπάρχει πια η ανησυχία των απρόσμενων και κρυμμένων διασυνδέσεων μεταξύ υπορουτίνων σε διάφορα σημεία του προγράμματος.

## **2.2. Η τμηματικότητα (Modularity).**

Ένα από τα χαρακτηριστικά προσόντα της βελτιωμένης δομής του EnergyPlus έναντι των προκατόχων του, είναι πως ο κώδικας του είναι αντικειμενοστρεφής (αντικειμενοστρεφής προγραμματισμός) και τμηματικός. Αυτό το προσόν παρέχει την δυνατότητα προσθήκης επιπλέον χαρακτηριστικών στο EnergyPlus καθώς και συνδέσμων (links) στα διάφορα τμήματα του προγράμματος.

Η γλώσσα προγραμματισμού που επιλέχθηκε για την κατασκευή του EnergyPlus ήταν η FORTRAN 90/95 και αυτό επειδή:

Είναι μία γλώσσα με καλούς μεταγλωττιστές, ενώ υποστηρίζει την τμηματικότητα.

Έχει τη δυνατότητα να συνδυαστεί με τη γλώσσα προγραμματισμού C.

Παρέχει μια δομή η οποία πρωταρχικά βασίζεται στο αντικείμενο το οποίο αυτή περιγράφει.

Επιτρέπει μεγάλες, σε έκταση, ονομασίες μεταβλητών (μέχρι και 32 χαρακτήρες)

Και τέλος, παρέχει συμβατότητα με τον κώδικα των BLAST και DOE-2 + η οποία βοηθά στην περαιτέρω ανάπτυξη του EnergyPlus.

"Το κλειδί" στον τμηματικό προγραμματισμό είναι ότι κάθε προγραμματιστής μπορεί να κατασκευάσει το δικό του τμήμα-κώδικα παράλληλα με έναν άλλο χωρίς να χρειάζεται να παρεμβαίνει ο ένας στο τμήμα-κώδικα του άλλου. Επιπλέον, δεν χρειάζεται να έχουν μεγάλη γνώση της δομής του προγράμματος. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι κρίσιμο για την ευρεία χρήση και ανάπτυξη των μοντέλων των προγραμμάτων γενικά. Το EnergyPlus θα έχει επιτυχία μόνο εάν ο αριθμός των κατασκευαστών μοντέλων αυξηθεί, ούτως ώστε οικονομικοί και ερευνητικοί παράγοντες να τους οδηγήσουν στην προσθήκη επιπλέον μοντέλων σε αυτό.

Επομένως η τμηματικότητα και η βελτιωμένη δομή του EnergyPlus λύνει το πρόβλημα της ανεπάρκειας ειδικών για να συνεχίσουν με τους ρυθμούς της τεχνολογίας. Δεν υπάρχει χάσιμο χρόνου ούτε χρειάζεται καμία δαπάνη για να μάθει κάποιος όλο τον κώδικα του EnergyPlus ώστε να μπορέσει να κάνει επιπλέον προσθήκες σε αυτόν, αν χρειαστεί.

### **2.3. Οι εγκατεστημένοι σύνδεσμοι (Links).**

Η τμηματικότητα του EnergyPlus παρέχει την δυνατότητα προσθήκης επιπλέον τμημάτων κώδικα. Με άλλα λόγια παρέχει συνδέσμους (links). Υπάρχουν πολλά σημεία μέσα στο HVAC τμήμα κώδικα όπου μπορούν να εγκατασταθούν σύνδεσμοι, όπως και στον κώδικα που αναφέρεται στην ισορροπία θερμότητας και μάζας. Μάλιστα ο κώδικας της θερμικής ισορροπίας παρέχει συνδέσμους οι οποίοι απευθύνονται σε τμήματα τα οποία μπορεί να είναι μη αντικειμενοστρεφή ή και πολύπλοκα ακόμη. Και εδώ ως κύριο μέλημα εμφανίζεται η αύξηση του αριθμού των κατασκευαστών μοντέλων οι οποίοι θα μπορούν να συνεισφέρουν στην ολοκλήρωση του EnergyPlus προσφέροντας το ελάχιστο δυνατό.



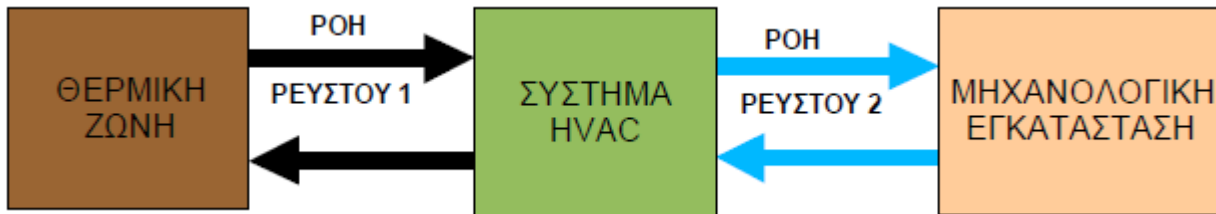
Εικόνα 3. Η γενική ιδέα του EnergyPlus. [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_documentation.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm)

#### 2.4. Η ολοκληρωμένη προσομοίωση.

Ένα από τα δυνατά σημεία του EnergyPlus είναι η ολοκληρωμένη προσομοίωση την οποία διαθέτει, βασισμένη στο πρόγραμμα IBLAST (Integrated Building Loads Analysis and System Thermodynamics). Δηλαδή τα κύρια μέρη της προσομοίωσης, κτίριο, σύστημα, και μηχανολογική εγκατάσταση, αλληλεπιδρούν ταυτόχρονα μεταξύ τους σε κάθε υποωριαίο χρονικό βήμα (sub-hourly time step) το οποίο έχει θέσει ο χρήστης, σε συνδυασμό με κάθε υποωριαίο χρονικό βήμα το οποίο θέτει ο HVAC διαχειριστής.

Πιο συγκεκριμένα η θερμική κατάσταση στην οποία θα βρεθεί μία ελεγχόμενη θερμική ζώνη καθορίζει τα θερμικά ή και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται. Αυτή η πληροφορία διοχετεύεται με τη σειρά της στο σύστημα το οποίο θα ανταποκριθεί τόσο το ίδιο όσο και η μηχανολογική εγκατάσταση με την οποία συνοδεύεται αυτό (Σχήμα 7). Αυτή η ανταπόκριση με τη σειρά της θα εφαρμοστεί στην

θερμική ζώνη με συνέπεια την αλλαγή της κατάστασης αυτής στο επιθυμητό επίπεδο. Επομένως η όλη αυτή διαδικασία καταλήγει σε μια ενημέρωση της θερμικής ζώνης για την προκύπτουσα κατάσταση αυτής.



Εικόνα 4. Σχηματική απεικόνιση της ολοκληρωμένης προσομοίωσης.

[\[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_documentation.cfm\]](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm)

## 2.5. Ο "ανοιχτός" πηγαίος κώδικας.

Αυτό το χαρακτηριστικό το οποίο διαθέτουν επίσης τα προγράμματα BLAST και DOE-2, είναι σπουδαίο πλεονέκτημα για το EnergyPlus. Το πρόγραμμα δεν σκοπεύει να είναι ένα "μαύρο κουτί" το οποίο θα είναι ακατανόητο για τους χρήστες και τους προκύπτοντες προγραμματιστές του. Αυτή η πρόσβαση στον κώδικα βοηθά το EnergyPlus στο να γίνει πιο χρήσιμο και να διαθέτει μεγαλύτερη ακρίβεια στους τομείς με τους οποίους ασχολείται. Ενώ τέλος θα το διατηρήσει ενεργό στην εξέλιξη της τεχνολογίας.

Συνοψίζοντας θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το EnergyPlus στοχεύει στο να είναι απλό τόσο από τη μεριά του χρήστη όσο και από τη μεριά του προγραμματιστή. Οι κατασκευαστές του πραγματοποίησαν τρομερές προσπάθειες για να κρατήσουν τον κώδικα και τους αλγόριθμους του όσο το δυνατόν πιο ξεχωριστά και όσο το δυνατόν πιο τμηματικά.

Το ταίριασμα του κτιρίου με το σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού και τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις, παρέχει μια ξεκάθαρη ιδέα ως προς τον τρόπο ανταπόκρισης του κτιρίου όχι μόνο από την άποψη των περιβαλλοντικών παραγόντων αλλά και από την άποψη του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού το οποίο θα προσπαθήσει να καλύψει τις θερμικές ή και ψυκτικές απαιτήσεις του κτιρίου ανάλογα.

Θα πρέπει να τονιστεί, βέβαια, και το γεγονός της σωρείας των δοκιμασιών κάτω από τις οποίες τέθηκε το EnergyPlus για να επιβεβαιώσουν οι κατασκευαστές του την ορθότητα αυτού και να του προσάψουν μεγάλη εμπιστοσύνη.

### 3. Κατηγορίες δεδομένων – αποτελεσμάτων

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται και περιγράφονται συνοπτικά οι διάφορες κατηγορίες δεδομένων που μπορεί να δεχτεί το λογισμικό Energy Plus προς επεξεργασία. Κάθε κατηγορία διαθέτει μία λίστα από διαθέσιμα αντικείμενα. Ο χρήστης θα επιλέξει από τις διάφορες κατηγορίες τα κατάλληλα αντικείμενα και θα τα περιγράψει. Μέσω αυτής της περιγραφής ο χρήστης περιγράφει το κτίριο (διαστάσεις, δομή, ενεργειακά συστήματα κ.λπ.) που πρόκειται να μοντελοποιηθεί ενώ θα ασκήσει και έλεγχο και στην διαδικασία της μοντελοποίησης και στην παρουσία αποτελεσμάτων που επιθυμεί να δει μετά το πέρας αυτής. Επίσης, σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται και περιγράφονται συνοπτικά οι κατηγορίες στις οποίες ταξινομούνται τα αποτελέσματα τα οποία παράγονται μετά το τέλος μίας μοντελοποίησης.

#### 3.1. Κατηγορίες δεδομένων

Αναφορικά με τις κατηγορίες δεδομένων από τις οποίες ο χρήστης θα κάνει τις επιλογές του, αυτές είναι οι εξής:

**Simulation parameters:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα ορίσει διάφορες παραμέτρους (π.χ. αλγόριθμους, τραχύτητα του εδάφους, προσανατολισμός κτιρίου κ.λπ.) οι οποίες επηρεάζουν την διαδικασία της μοντελοποίησης.

**Location-Climate-Weather File Access:** Μέσω αυτής της κατηγορίας ο χρήστης θα ασκήσει έλεγχο στις περιβάλλουσες συνθήκες του κτιρίου - η κατηγορία αυτή συνδέεται με το αρχείο κλιματολογικών δεδομένων το οποίο και θα επισημανθεί παρακάτω.

**Surface construction Elements:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τα δομικά στοιχεία (π.χ. υαλοπίνακες, δομικά υλικά κ.λπ.) που συνθέτουν το κτίριο.

**Thermal Zone Description/Geometry:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τις διαστάσεις κάθε επιφάνειας του κτιρίου, την δομή αυτής, τον προσανατολισμό της και γενικότερα τις διαστάσεις όλου του κτιρίου.

**Advanced surface Concepts:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα ορίσει τις περιβάλλουσες συνθήκες κάθε επιφάνειας του κτιρίου.

**RoomAir Models:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα επιλέξει κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του αέρα σε κάποια ζώνη, στην περίπτωση που αυτή είναι ανομοιόμορφη (λόγω π.χ. ενδοδαπέδιας θέρμανσης κ.λπ.).

**Schedules:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα συντάξει χρονοδιαγράμματα για τα περισσότερα αντικείμενα που θα επιλέξει (όπως π.χ. το πώς θα μεταβάλλεται η ωριαία μεταβολή

θερμοκρασίας από έναν θερμοστάτη κατά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος, το πώς θα μεταβάλλεται η ενεργειακή κατανάλωση του ηλεκτροφωτισμού κ.λπ.).

**Internal Gains:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει διαφόρους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τα εσωτερικά θερμικά κέρδη ενός κτιρίου (π.χ. ηλεκτρικός εξοπλισμός, ανθρώπινη δραστηριότητα κ.λπ.).

**ExteriorEnergyUse Equipment:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει αντικείμενα τα οποία καταναλώνουν ενέργεια ενώ βρίσκονται έξω από το κτίριο και δεν επηρεάζουν θερμικά κάποια ζώνη (π.χ. εξωτερικός φωτισμός κ.λπ.).

**Daylighting:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ορίσει τον έλεγχο που θα ασκηθεί στα επίπεδα ηλεκτροφωτισμού κάποιας ζώνης αναλόγως τα επίπεδα της ηλιακής φωτεινότητας.

**AirFlow:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον φυσικό τρόπο αερισμού κάποιας ζώνης (π.χ. με ανοιχτά παράθυρα κ.λπ.).

**Design Object:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να αυτοματοποιήσει μερικούς υπολογισμούς για συγκεκριμένα δεδομένα που του λείπουν.

**Performance Curves:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα ορίσει πολυωνυμικές εξισώσεις η οποίες περιγράφουν το πώς μεταβάλλεται η απόδοση διαφόρων εξαρτημάτων, από τα οποία απαρτίζεται ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού (όπως π.χ. θερμοσυσσωρευτές), σε συνάρτηση με κάποιες μεταβλητές (π.χ. θερμοκρασία, ροή ρευστού κ.λπ.).

**Node-Branch Management:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τα κομβικά σημεία για την σύνθεση ενός συστήματος θέρμανσης- ψύξης και κλιματισμού καθώς και τις διακλαδώσεις αυτού.

**Plant-Condenser Loops:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει την μηχανολογική εγκατάσταση ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.

**Plant-Condenser Flow Control:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο διανέμονται τα ρευστά που περιέχει το κλειστό κύκλωμα ( ο βρόχος δηλαδή) της μηχανολογικής εγκατάστασης.

**Air Distribution:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει την διαδρομή του αέρα ο οποίος διανέμεται από ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού σε κάποια ζώνη και επιστρέφει πάλι πίσω στο σύστημα.

**Airflow Network System:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να περιγράψει τον μηχανικό τρόπο αερισμού κάποιας ζώνης (π.χ. με κάποιον ανεμιστήρα) σε συνδυασμό με ή χωρίς φυσικό τρόπο.



System Availability Managers: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα ασκήσει έλεγχο στην λειτουργία ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.

Set Point Managers: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα ασκήσει έλεγχο στην λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης ενός συστήματος θέρμανσης- ψύξης και κλιματισμού - αυτή η κατηγορία συνδέεται με την κατηγορία Controllers.

Controllers: Η κατηγορία αυτή συνδυάζεται με την κατηγορία Set Point Managers ώστε ο χρήστης να ασκήσει έλεγχο στην λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.

Zone Equipment: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα ορίσει το μέρος του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού το οποίο συνδέεται μέσω μιας συγκεκριμένης διαδρομής σε κάποια θερμική ζώνη καθώς και τα εξαρτήματα από τα οποία απαρτίζεται.

Zone Forced Air Units, Unitary Equipment, Air Distribution Equipment, Radiative/Convective Units: Από τις κατηγορίες αυτές ο χρήστης θα περιγράψει το μέρος του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που όρισε στην κατηγορία Zone Equipment.

Refrigeration: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει το σύστημα ψύξης που μπορεί να διαθέτει το κτίριο.

Zone Controls and Thermostats: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον θερμοστατικό ή και υγροστατικό έλεγχο που θα ασκηθεί σε κάποια συγκεκριμένη ζώνη.

Air Path: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει την διαδρομή που διανύει ο αέρας όταν διανέμεται μέσω του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού σε κάθε θερμική ζώνη και επιστρέφει πάλι πίσω στο σύστημα.

None-Zone Equipment: Την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να την χρησιμοποιήσει ώστε να διαπιστώσει τις αποδόσεις που παρουσιάζουν διάφορες μηχανολογικές διατάξεις.

Solar Collectors: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να περιγράψει τον τύπο του ηλιακού θερμοσίφωνα που διαθέτει το κτίριο.

Plant Equipment, Condenser Equipment: Από τις κατηγορίες αυτές ο χρήστης θα περιγράψει τα εξαρτήματα που συνθέτουν μία μηχανολογική εγκατάσταση (π.χ. πύργους ψύξης, συμπυκνωτές κ.λπ.)

Water Heaters: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει κάποιον τύπο δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού.

Pumps: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον τύπο αντλίας που διαθέτει μία μηχανολογική εγκατάσταση.

Coils: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τους θερμοσυσσωρευτές που μπορεί να διαθέτει ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.

Fans: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον ανεμιστήρα που διαθέτει ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.

Evaporative Coolers: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει ένα σύστημα ψύξης που μπορεί να διαθέτει το κτίριο – διαφορετικό από αυτό της κατηγορίας Refrigeration.

Humidifiers: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον υγραντήρα που μπορεί να διαθέτει ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.

Desiccant Dehumidifiers: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον αφυγραντήρα που μπορεί να διαθέτει ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.

Heat Recovery: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον εναλλάκτη θερμότητας που μπορεί να διαθέτει ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.

Demand Limiting Controls: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να θέσει έναν έλεγχο στις ενεργειακές απαιτήσεις που έχει το κτίριο για κάποια συγκεκριμένη περίοδο - όπως π.χ. σε περιόδους αιχμής.

Electric Load Center Generators-Specifications: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει συστήματα τα οποία παράγουν ενέργεια (όπως π.χ. φωτοβολταϊκά συστήματα κ.λπ.).

Fluid Properties: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τις ιδιότητες που μπορεί να έχει κάποιο υγρό το οποίο χρησιμοποιείται από κάποια μηχανολογική εγκατάσταση ή και από κάποιο σύστημα ψύξης (π.χ. κάποιο αντιψυκτικό υγρό κ.λπ.).

Compact HVAC: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να βοηθηθεί στο λάβει μια πλήρης σύνθεση ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού, μετά το πέρας της μοντελοποίησης, εισάγοντας ελάχιστα δεδομένα.

Economics: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να περιγράψει διάφορα οικονομικά στοιχεία τα οποία αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου (όπως π.χ. το κόστος μίας κιλοβατώρας, το πάγιο που θέτει μία επιχείρηση ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ.).

Report: Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα επιλέξει το είδος των αποτελεσμάτων που επιθυμεί να δει μετά το τέλος της μοντελοποίησης και την χρονική συχνότητα την οποία θα εμφανίζονται (π.χ. σε ωριαία βάση, σε μηνιαία βάση κ.λπ.). Η διαθέσιμες επιλογές που του εμφανίζονται εξαρτώνται από τον είδος των αντικειμένων τα οποία έχει πρωτίστως περιγράψει.

Εφόσον ο χρήστης τελειώσει με την εισαγωγή των δεδομένων και τα έχει αποθηκεύσει ως αρχείο, θα πρέπει να περιγράψει και το περιβάλλον το οποίο περικλείει το κτίριο. Αυτή η περιγραφή θα γίνει με την επιλογή ενός ξεχωριστού αρχείου (κατάλληλου τύπου), το οποίο περιέχει κλιματολογικά δεδομένα της γεωγραφικής θέσης για την οποία θα μοντελοποιηθεί το κτίριο. Εφόσον

ο χρήστης τελειώσει και με αυτή την επιλογή, το κτίριο είναι σε θέση να μοντελοποιηθεί από το Energy Plus μέσω της επεξεργασίας των δύο αυτών αρχείων.

### 3.2. Κατηγορίες αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα τα οποία παράγονται μετά το τέλος της μοντελοποίησης αναφέρονται στις επιλογές αποτελεσμάτων που έκανε ο χρήστης κατά την εισαγωγή των δεδομένων (κατηγορία Report), αναφέρονται σε δεδομένα που επεξεργάστηκε το λογισμικό καθώς και σε συγκεκριμένα αντικείμενα τα οποία περιέγραψε ο χρήστης. Για την καλύτερη διάκριση αυτών των αποτελεσμάτων, μία βοηθητική εφαρμογή αναλαμβάνει αυτόματα να τα εισάγει σε αρχεία κειμένου (text files) με ξεχωριστές επεκτάσεις το καθένα. Κάθε επέκταση του αρχείου υποδηλώνει και κάποια κατηγορία στην οποία κατατάσσονται τα αποτελέσματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται και περιγράφονται συνοπτικά αυτά τα αρχεία.

Αρχείο ERR: Το αρχείο err περιέχει πολύ σημαντικές πληροφορίες οι οποίες αφορούν την διαδικασία της μοντελοποίησης. Είναι ένα πολύ σημαντικό αρχείο και το πρώτο που πρέπει να δει ο χρήστης.

Αρχείο ESO: Το αρχείο eso περιέχει τα αποτελέσματα που επέλεξε ο χρήστης, από την κατηγορία Report, να δει.

Αρχείο MTR: Το αρχείο mtr περιέχει αποτελέσματα που επίσης επέλεξε ο χρήστης, από την κατηγορία Report, να δει. Η διαφορά αυτού του αρχείου με το αρχείο eso είναι ότι τα αποτελέσματά του αρχείου mtr αναφέρονται στην μεταβλητή της ενεργειακής κατανάλωσης (π.χ. ενεργειακή κατανάλωση συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού, ηλεκτροφωτισμού, ηλεκτρικών συσκευών κ.λπ) και σε παράγοντες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (π.χ. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> κ.λπ.) Τα αρχεία err, eso και mtr που περιγράφηκαν είναι αυτά που ενδιαφέρουν άμεσα τον χρήστη. Όσον αφορά τα υπόλοιπα αρχεία, αυτά είναι τα εξής:

Αρχείο RDD: Το αρχείο rdd περιέχει μία λίστα με όλα τα διαθέσιμα είδη αποτελεσμάτων τα οποία θα μπορούσε ο χρήστης να επιλέξει ώστε να εμφανισθούν στο αρχείο eso.

Αρχείο MTD: Το αρχείο mtd δείχνει ποιες μεταβλητές αντιστοιχούν σε κάποιο συγκεκριμένο είδος μεταβλητών καθώς και ποιες μεταβλητές περιέχονται σε ένα είδος μεταβλητών. Οι μεταβλητές αυτές αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση επομένως το αρχείο αυτό σχετίζεται με το αρχείο mtr.

Αρχείο AUDIT : Το αρχείο audit αποτελεί ένα αντίγραφο των δεδομένων που επεξεργάστηκε το λογισμικό EnergyPlus.

Αρχείο BND: Το αρχείο bnd περιέχει πληροφορίες αναφορικά με τους κόμβους και τις διακλαδώσεις ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού. Από το αρχείο αυτό ο χρήστης μπορεί να διαπιστώσει εάν η συνδεσμολογία ενός συστήματος θέρμανσης ψύξης και κλιματισμού που περιέγραψε είναι σωστή ή λάθος.

Αρχείο DBG: Το αρχείο dbg μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάποιον κατασκευαστή προγράμματος κατά τη διάρκεια εντοπισμού σφαλμάτων (debugging) σε κάποιο τμήμα κώδικα που προσέθεσε στο λογισμικό EnergyPlus. Το αρχείο αυτό μπορεί να το στείλει στην ομάδα τεχνικής υποστήριξης του EnergyPlus. Για να εμφανισθεί αυτό το αρχείο θα πρέπει ο χρήστης να δώσει εντολή από την κατηγορία simulation parameters.

Αρχείο DXF: Το αρχείο αυτό ανοίγει με μία εφαρμογή προβολής (π.χ. Quickview Plus). Με τη βοήθεια αυτής της εφαρμογής ο χρήστης μπορεί να δει το σχήμα του κτιρίου που μοντελοποιήθηκε από το λογισμικό EnergyPlus.

Αρχείο EIO: Το αρχείο eio περιέχει αναφορές σε κάποια δεδομένα που εισήχθησαν από τον χρήστη.

Αρχείο EPMIDF: Το αρχείο epmidf περιέχει αποτελέσματα από την επεξεργασία μακροεντολών που εισήγαγε ο χρήστης μαζί με τα δεδομένα του. Το αρχείο αυτό θα πρέπει να υποστεί επεξεργασία από το λογισμικό EnergyPlus.

Αρχείο EPMDDET: Το αρχείο epmdet περιέχει πληροφορίες σχετικά με την επεξεργασία μακροεντολών.

Αρχείο LOG: Το αρχείο log περιγράφει όλες τις ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης. Το αρχείο αυτό εμφανίζεται όταν το λογισμικό EnergyPlus εκτελείται από παράθυρο γραμμής εντολών.

Αρχείο SLN: Το αρχείο sln περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις επιφάνειες του κτιρίου που μοντελοποιήθηκε. Για να εμφανισθεί αυτό το αρχείο ο χρήστης θα πρέπει να δώσει εντολή από την κατηγορία Report.

Αρχείο SSZ: Το αρχείο ssz περιέχει αποτελέσματα που αφορούν την κατηγορία Design object. Το αρχείο αυτό ανοίγει ως φύλλο υπολογισμού.

Αρχείο ZSZ: Το αρχείο zsz περιέχει αποτελέσματα που αφορούν την κατηγορία Design object. Το αρχείο αυτό ανοίγει ως φύλλο υπολογισμού.

Αρχείο MAP : Το αρχείο map περιέχει αποτελέσματα που αφορούν την κατηγορία Daylighting.

Αρχείο TABLE: Το αρχείο table (ή tbl) περιέχει αποτελέσματα που επέλεξε ο χρήστης, από την κατηγορία Report, να δει. Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων αυτού του αρχείου είναι διαφορετική από αυτή των αρχείων mtr και eso.

Αρχείο CIF: Το αρχείο cif (sci) περιέχει αποτελέσματα σχετικά με την κατηγορία Economics.

Αρχείο METER: Το αρχείο Meter είναι παρόμοιο με το αρχείο mtr μόνο που το πρώτο ανοίγει ως φύλλο υπολογισμού.

Αρχείο SVG: Το αρχείο αυτό ανοίγει με μία εφαρμογή προβολής. Με τη βοήθεια αυτής της εφαρμογής ο χρήστης μπορεί να δει τη διάταξη του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που μοντελοποιήθηκε από το λογισμικό EnergyPlus.

Αρχείο Delight IN: Το αρχείο delightin περιέχει πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με συγκεκριμένα αντικείμενα της κατηγορίας Daylighting.

Αρχείο Delight OUT: Το αρχείο delightiout περιέχει αποτελέσματα τα οποία σχετίζονται με συγκεκριμένα αντικείμενα της κατηγορίας Daylighting.

Αρχείο Delight DFDMP: Το αρχείο delightdfdmp περιέχει προειδοποιητικά μηνύματα τα οποία σχετίζονται με συγκεκριμένα δεδομένα της κατηγορίας Daylighting ή και μηνύματα σχετικά με σφάλματα τα οποία εντοπίστηκαν κατά την επεξεργασία συγκεκριμένων δεδομένων της κατηγορίας Daylighting. Συνήθως αυτό το αρχείο θα πρέπει να είναι άδειο.

Αρχείο Delight ELDMP: Το αρχείο delighteldmp περιέχει αποτελέσματα τα οποία σχετίζονται με συγκεκριμένα αντικείμενα της κατηγορίας Daylighting. Τα αποτελέσματα αυτά εμφανίζονται σε μία συγκεκριμένη χρονική συχνότητα (π.χ. σε ωριαία βάση, σε μηνιαία βάση κ.λπ)

Αρχείο EXPIDF: Το αρχείο expidf περιέχει αποτελέσματα τα οποία σχετίζονται με την κατηγορία Compact HVAC.

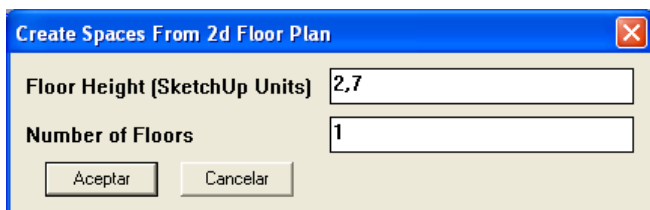
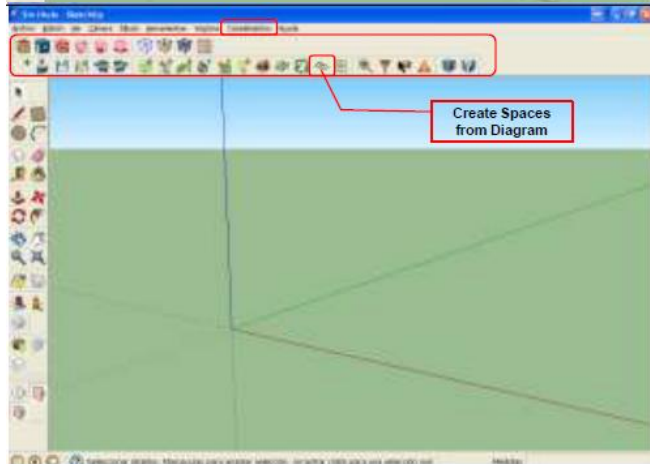
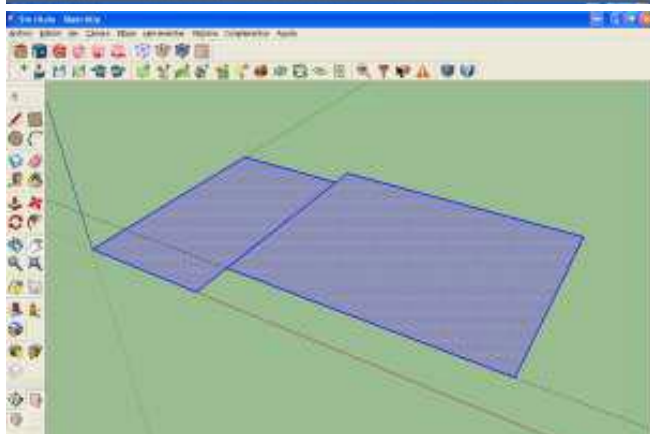
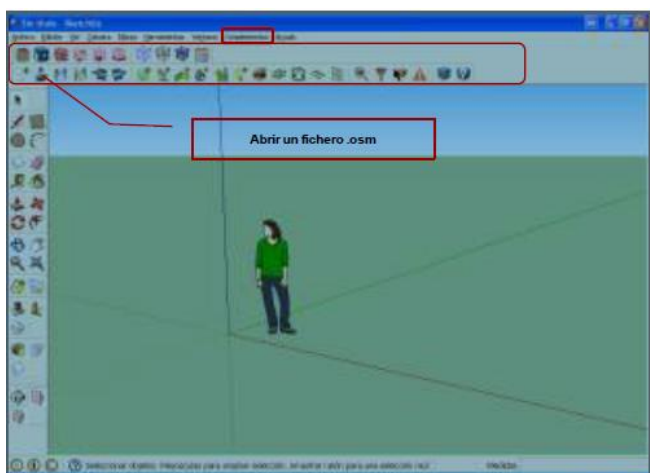
Αρχείο errgrp: Το αρχείο errgrp είναι παρόμοιο με το αρχείο err μόνο που το πρώτο παράγεται μετά από ομαδικές προσομοιώσεις.

Αρχείο VCpErr: Το αρχείο VCpErr περιγράφει τα τυχόν σφάλματα τα οποία προέκυψαν κατά τη διαδικασία μετάβασης ενός αρχείου IDF από παλαιότερη έκδοση στην τρέχουσα που χρησιμοποιεί ο χρήστης.

Τα περισσότερα αρχεία από τα παραπάνω είναι της μορφής CSV (Comma Separated Values). Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να εισάγει το περιεχόμενο τους σε κάποιο φύλλο υπολογισμού. Υπάρχουν, βέβαια, και βοηθητικές εφαρμογές (οι οποίες συνοδεύουν το λογισμικό) όπου εισάγουν αυτόματα, μετά το πέρας μίας μοντελοποίησης, τα αποτελέσματα των αρχείων eso, mtr, ssz και zsz, σε φύλλα υπολογισμού. Τέλος, να επισημανθεί ότι η εμφάνιση των παραπάνω αρχείων εξαρτάται από τα δεδομένα τα οποία ο χρήστης είχε πρωτίστως



## 4. Google SketchUp



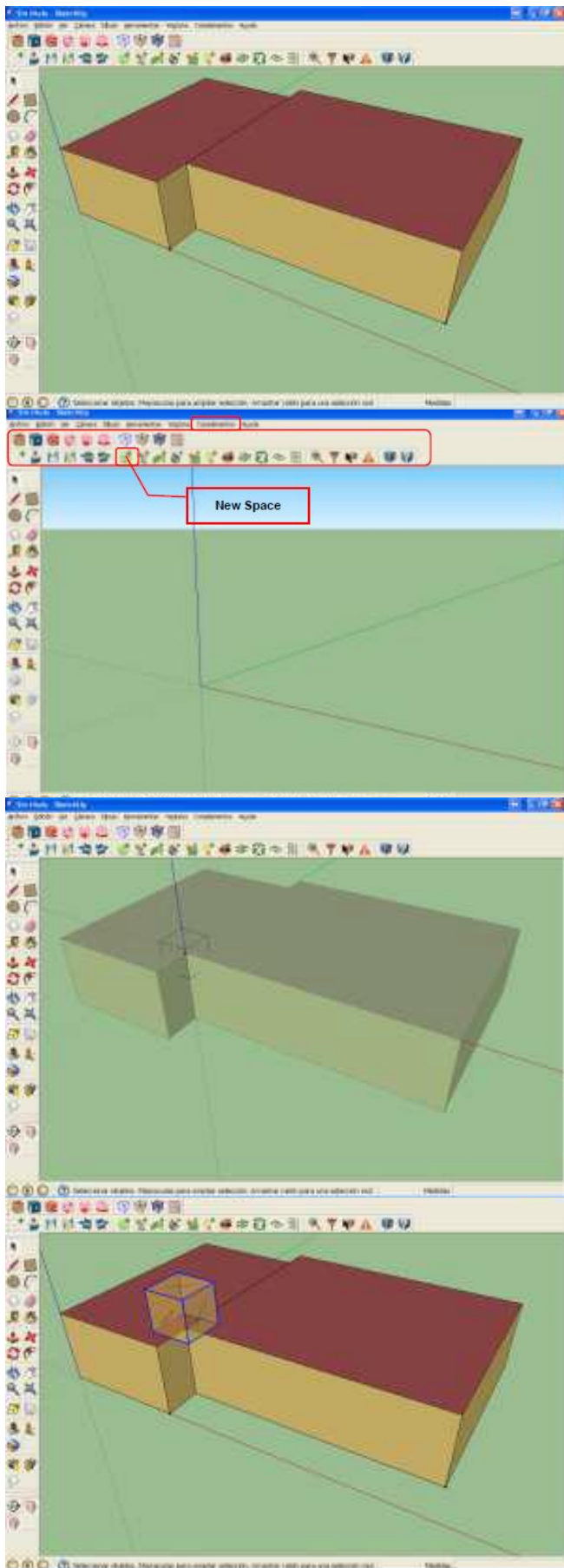
Το περιβάλλον εργασίας του Google Sketchup: Έχοντας ήδη εγκαταστήσει τις τελευταίες εκδόσεις των Open Studio και EnergyPlus είμαστε έτοιμοι να δημιουργήσουμε ένα νέο μοντέλο.

Ξεκινάμε σχεδιάζοντας τους χώρους του κτηρίου. Υπάρχουν δύο τρόποι για να το κάνουμε αυτό.

1. Χρησιμοποιώντας τα απλά εργαλεία σχεδίασης του Sketchup. ( γραμμή, καμπύλη, κύκλος...) σχεδιάζουμε τις βασικές επιφάνειες του κτηρίου, αρχίζοντας από τα στοιχεία της κάτωτης.

2. Χρησιμοποιώντας την επιλογή **Create Spaces from Diagram** και δίνοντας τις διαστάσεις του χώρου που θέλουμε να δημιουργήσουμε.

Τώρα μπορούμε να ορίσουμε το ύψος του ορόφου ( στο παράδειγμά μας δώσαμε ως ύψος ορόφου 2,7m) και τον αριθμό των ορόφων ( ένας στο παράδειγμα ).



Με τον ίδιο τρόπο ορίζουμε τις διαστάσεις και για τον δεύτερο χώρο.

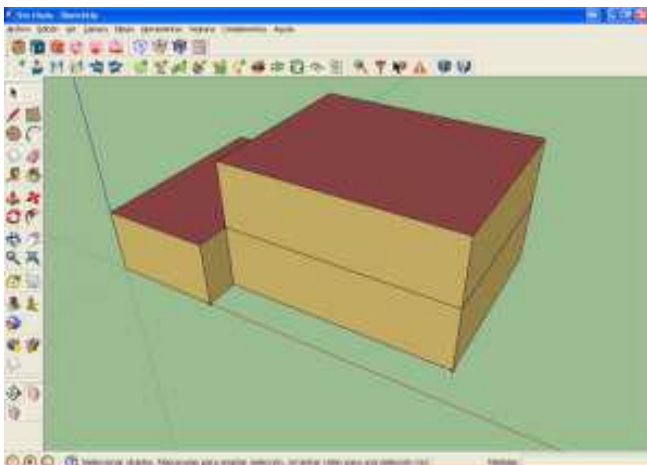
Έστω τώρα πως θέλουμε να προσθέσουμε και δεύτερο όροφο, με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Το εικονίδιο New Space.

Με απλό κλικ επιλέγουμε τη θέση του νέου χώρου.

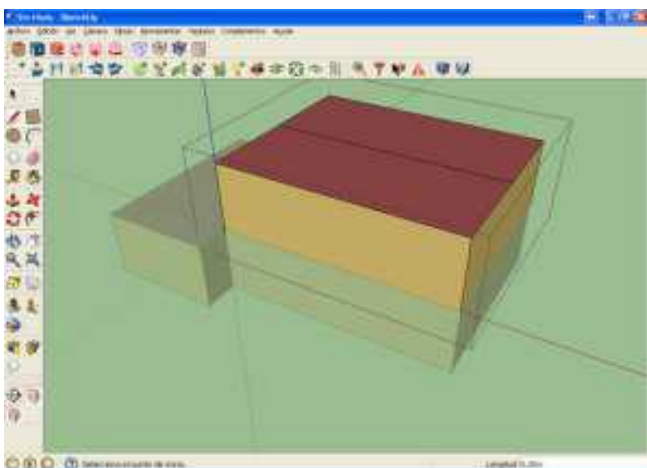
Με διπλό κλικ στη συνέχεια έχουμε πρόσβαση στις ιδιότητες του νέου χώρου και έχουμε δυνατότητα επεξεργασίας τους.





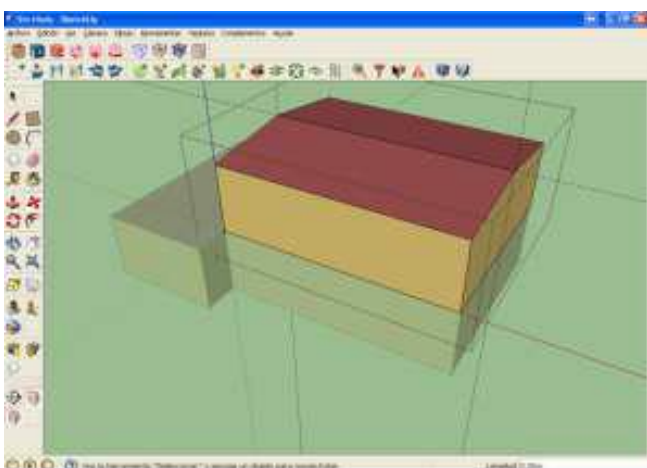
Επιλέγουμε τις ίδιες διαστάσεις με τον χώρο του ισογείου. Έπειτα ορίζουμε και το ύψος του. Υπάρχει και δεύτερος τρόπος να γίνει αυτό, επιλέγοντας το "Push / Pull" από τα εργαλεία του Sketchup.

Στη συνέχεια έστω πως θέλουμε να σχεδιάσουμε κεκλιμένη στέγη στον επάνω όροφο. Και αυτό γίνεται με τη χρήση του "Push / Pull".



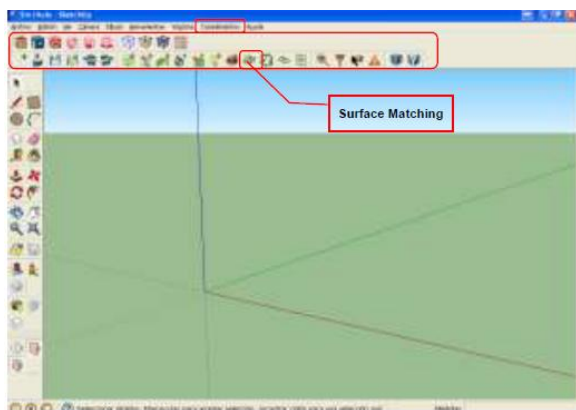
Επιλέξτε με διπλό κλικ την επιφάνεια.

Από τα εργαλεία του Sketchup σχεδιάστε γραμμές "οδηγούς" στην κορυφογραμμή της σκεπής και στους πλαϊνούς τοίχους, έτσι ώστε να μπορείτε να προσδιορίσετε τη θέση της και το επιθυμητό ύψος.



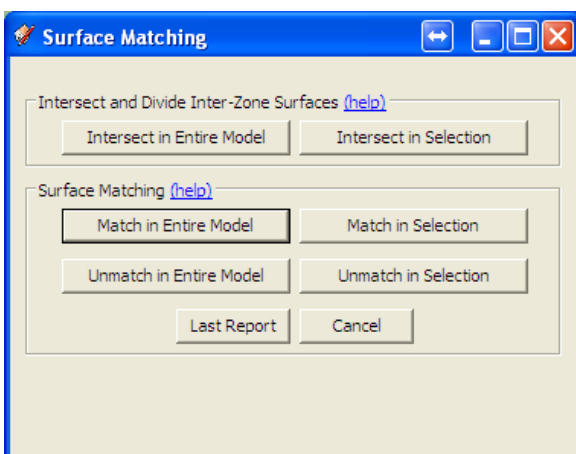
Με το "Push / Pull" ανεβάστε τη σκεπή στο επιθυμητό ύψος.

Χρήσιμη συμβουλή: Καλό θα ήταν να αφαιρείτε τις γραμμές οδηγούς όταν πια δεν τις χρειάζεστε. Έτσι το σχέδιο παραμένει "καθαρό" και γλυτώνετε πιθανή σύγχυση στη συνέχεια.



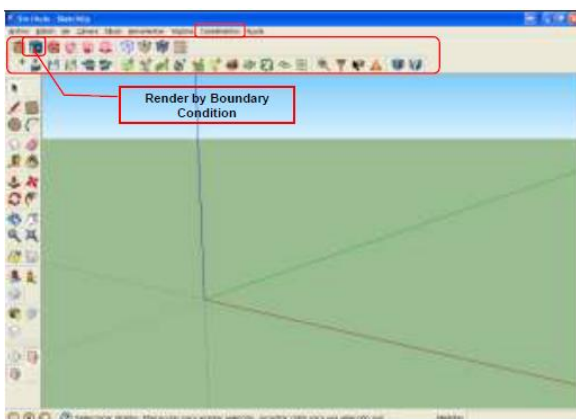
## Η επιλογή Surface Matching

Με αυτή την επιλογή μας δίνεται η δυνατότητα να ομαδοποιήσουμε τις επιφάνειες που τέμνονται ή εφάπτονται, αλλά ανήκουν σε διαφορετικές ζώνες.

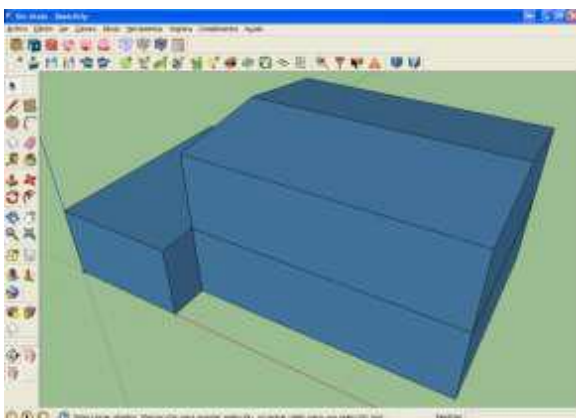


Επιλέξτε "Intersect in Entire Model" ή "Match in Entire Model" για να ομαδοποιήσετε τις κοινές επιφάνειες ( τοίχους, δάπεδα, οροφές... ).

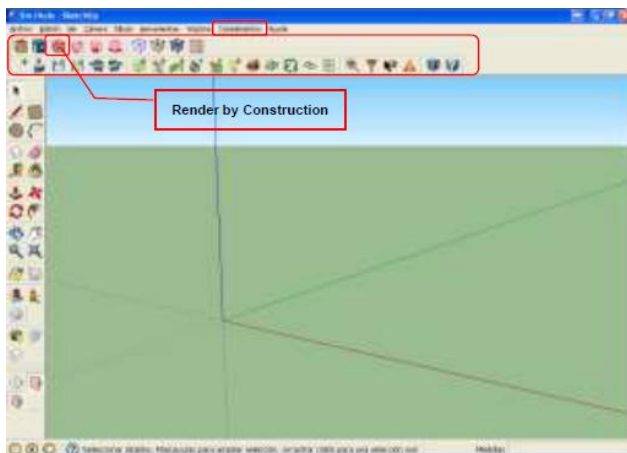
Σε αυτό το σημείο πρέπει να ελεγχθεί ότι έχουν εισαχθεί σωστά όλα τα χαρακτηριστικά των επιφανειών, χρησιμοποιώντας τα εργαλεία "Rendering"



Render by Boundary Conditions - Συνοριακές συνθήκες.

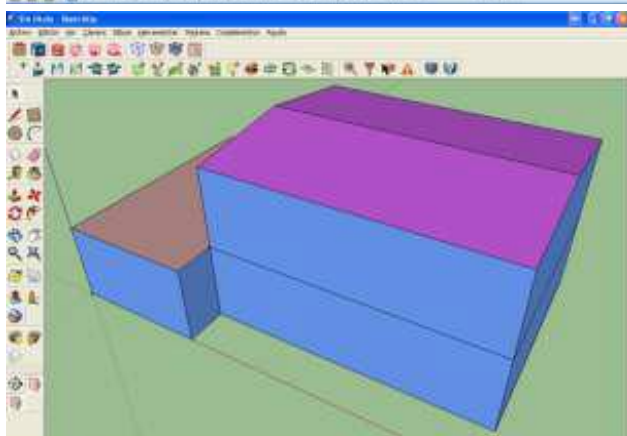


Οι εξωτερικές επιφάνειες εμφανίζονται με μπλε χρώμα, οι εσωτερικές με πράσινο και οι επιφάνειες που έχουν επαφή με το έδαφος με μπεζ.

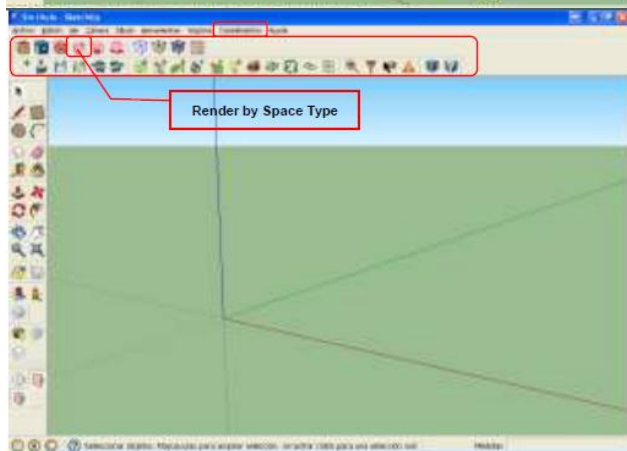


## Render by Construction - Υλικό κατασκευής

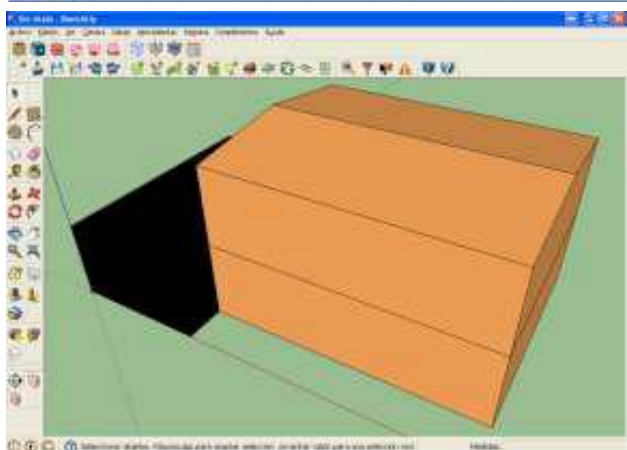
Με αυτή την επιλογή, κάθε υλικό κατασκευής εμφανίζεται με διαφορετικό χρώμα. Επιλέξτε με διπλό κλικ μια επιφάνεια, για να δείτε και να επεξεργαστείτε τα υλικά από τα οποία αποτελείται. Διαφορετικά χρησιμοποιήστε το εργαλείο "OpenStudio/Inspector".

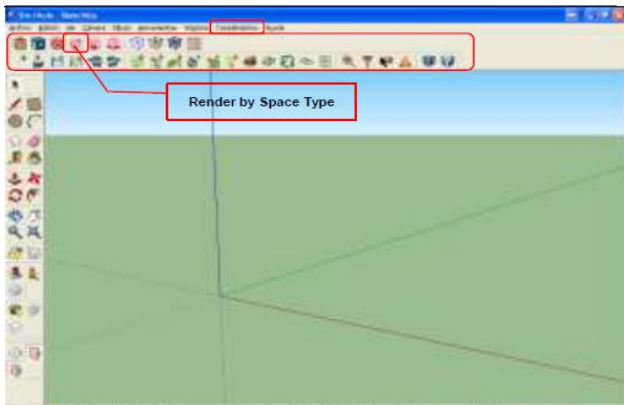


## Render by Space Type



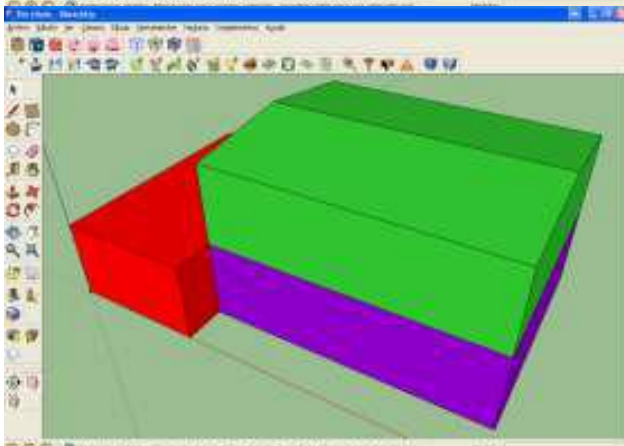
Με αυτή τη επιλογή οι χώροι ομαδοποιούνται ανάλογα με τη χρήση/λειτουργία τους. Κάθε χρώμα απεικονίζει έναν τέτοιο τύπο "space type". Μπορείτε να δείτε και να αλλάξετε τις ρυθμίσεις του κάθε χώρου από το "OpenStudio/Inspector"





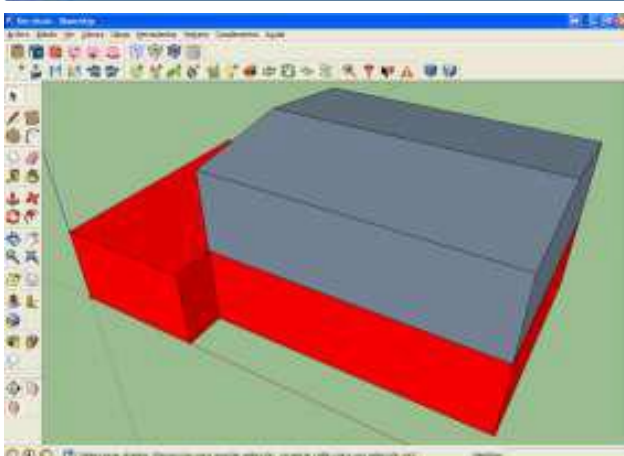
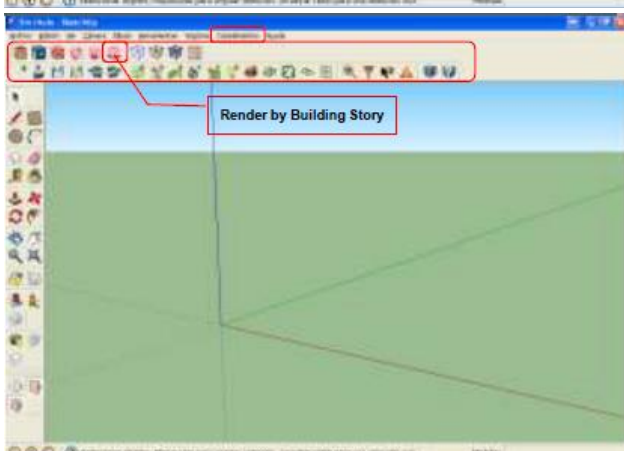
### Render By Thermal Zone

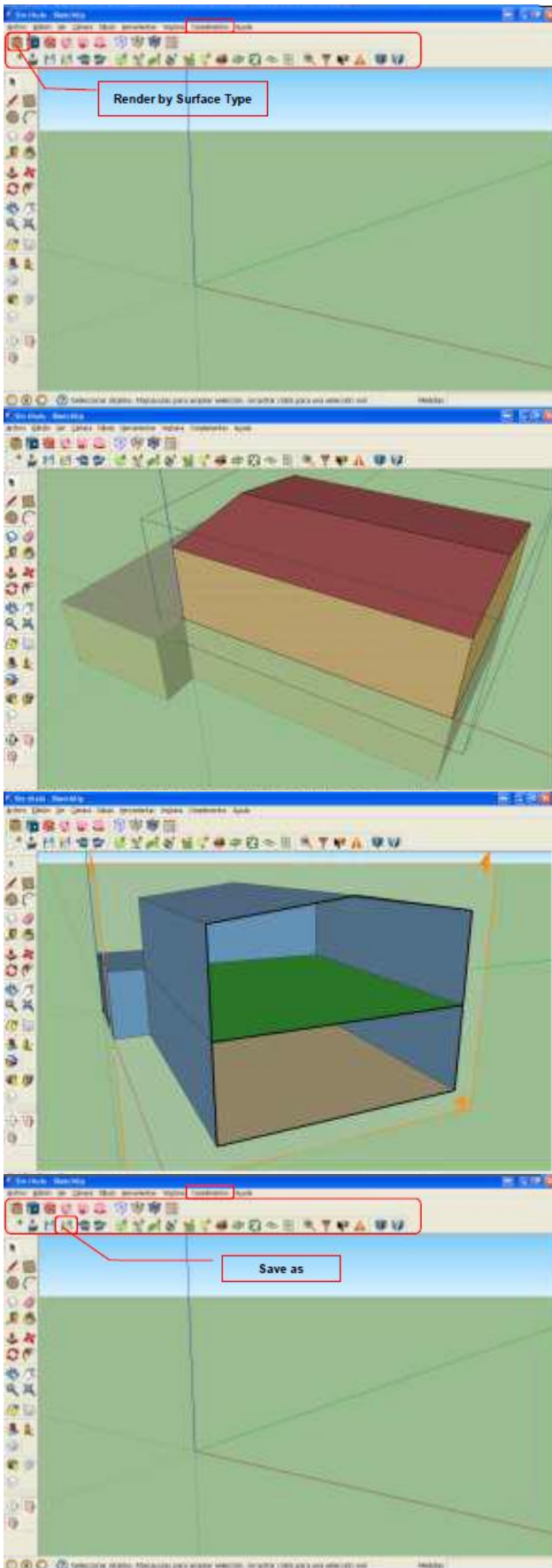
Κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε μια θερμική ζώνη. Μπορείτε να επιλέξετε κάθε ζώνη ξεχωριστά για να αλλάξετε τις ιδιότητες, ή (όπως και με τις προηγούμενες) να επεξεργαστείτε όλες τις ζώνες, με το "OpenStudio/Inspector".



### Render by Building Story

Κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε κάθε όροφο του κτιρίου.

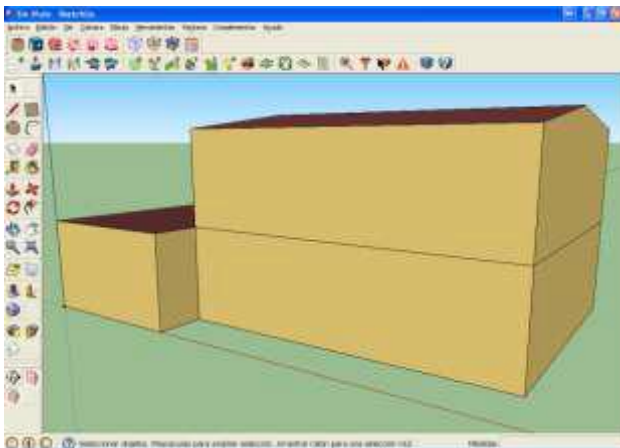




## Render by Surface Type

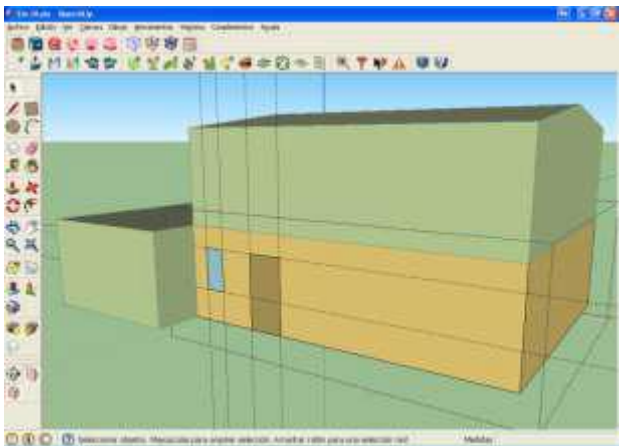
Ο διαχωρισμός γίνεται με βάση τον τύπο κάθε επιφάνειας. Επιλέξτε κάθε επιφάνεια ξεχωριστά, για να επεξεργαστείτε τις ιδιότητές της.

Τα διαφορετικά χρώματα, οι θέσεις και τα χαρακτηριστικά των επιφανειών σας επιτρέπουν να εξακριβώσετε τη σωστή τους θέση στο μοντέλο.

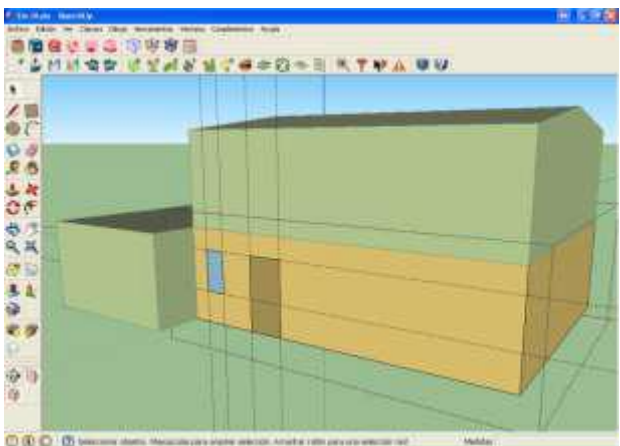


## Σχεδιάζοντας ανοίγματα

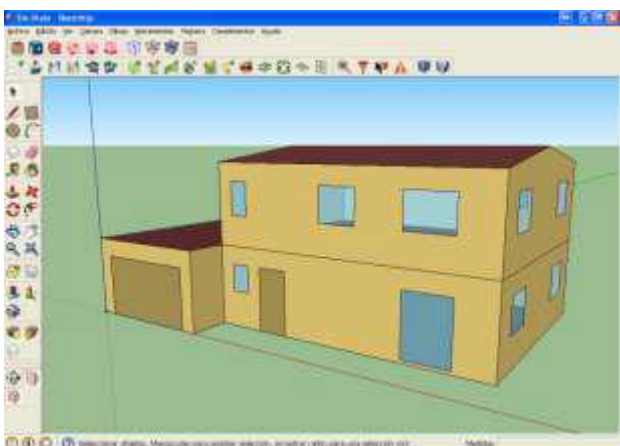
Για να σχεδιάσετε τα ανοίγματα του κτιρίου (πόρτες - παράθυρα) χρησιμοποιήστε τα εργαλεία σχεδίασης του SketchUp.



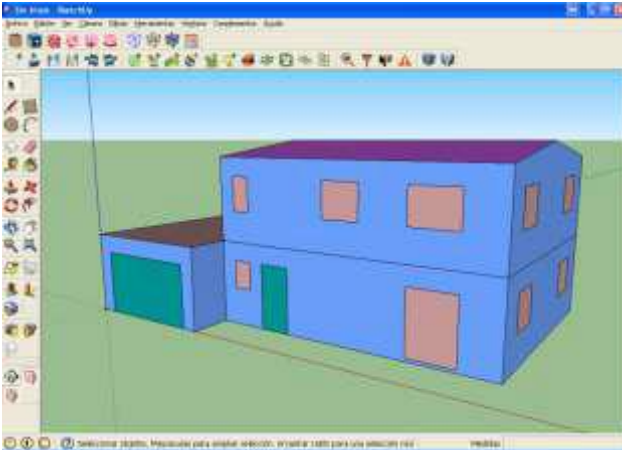
Για περισσότερη ευκολία χρησιμοποιήστε γραμμές οδηγούς. Θα σας βοηθήσουν να προσδιορίσετε την θέση του ανοίγματος σε σχέση με τις άκρες των επιφανειών.



Στη συνέχεια και για λόγους αποφυγής σύγχυσης από την παρουσία πολλών βοηθητικών γραμμών, διαγράψτε τις γραμμές οδηγούς.



Τα παράθυρα εμφανίζονται ως ημιδιαφανή ανοίγματα, ενώ οι πόρτες ως αδιαφανείς επιφάνειες καφέ χρώματος.



Μπορείτε να επεξεργαστείτε και να αλλάξετε τις ιδιότητες του ανοίγματος, και πάλι από το "OpenStudio/Inspector".

Επαναλάβετε τη διαδικασία έως ότου σχεδιάσετε όλα τα ανοίγματα του κτιρίου.

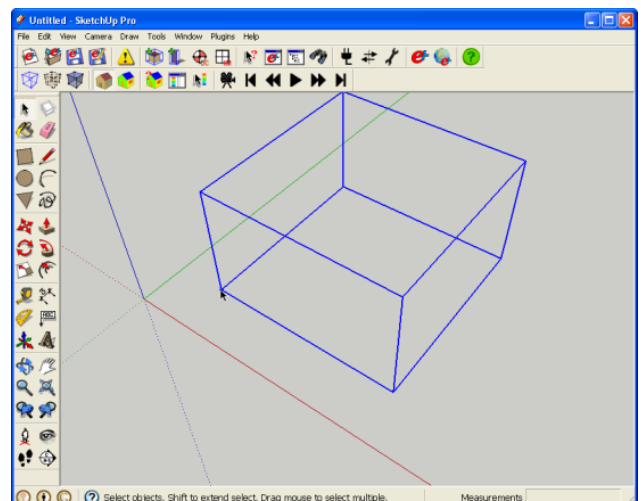
## 5. Open Studio

Ανοίγοντας για πρώτη φορά το SketchUp OpenStudio, ή οποιαδήποτε στιγμή που θέλετε να δημιουργήσετε ένα νέο αρχείο IDF, το αρχείο φορτώνεται ως OpenStudio NewTemplate.idf. Το αρχείο αυτό βρίσκεται στον κατάλογο "plugin" του OpenStudio Sketchup. Αυτόματα το αρχείο έχει γεμίσει με κάποια βασικά αντικείμενα του EnergyPlus όπως τα **schedules**, τα κτίρια (**buildings**) και τη θέση (**location**) (η προεπιλεγμένη θέση είναι στο Σικάγο).

Αν θέλετε να εξοικειωθείτε με τη γλώσσα του EnergyPlus και του OpenStudio, τότε ρίξτε μια ματιά στους φακέλους του EnergyPlus για να εξοικειωθείτε με τα προγράμματα, παραδείγματα μοντέλων (**sample models**), τα σύνολα δεδομένων και τις βιβλιοθήκες (**datasets and libraries**), για μια πιο εκτεταμένα τεκμηριωμένη επεξήγηση.

### Δημιουργία νέας Θερμικής ζώνης:

Μετά την δημιουργία νέου αρχείου IDF, δημιουργούμε μια νέα θερμική ζώνη με το εργαλείο **New Zone**. Αφού επιλέξετε το εργαλείο από τη γραμμή εργαλείων του OpenStudio, κάντε κλικ στο σημείο όπου θέλετε να τοποθετήσετε τη ζώνη αυτή. Η ζώνη εμφανίζεται ως ένα μπλε πλαίσιο γύρω από την επιλεγμένη περιοχή.



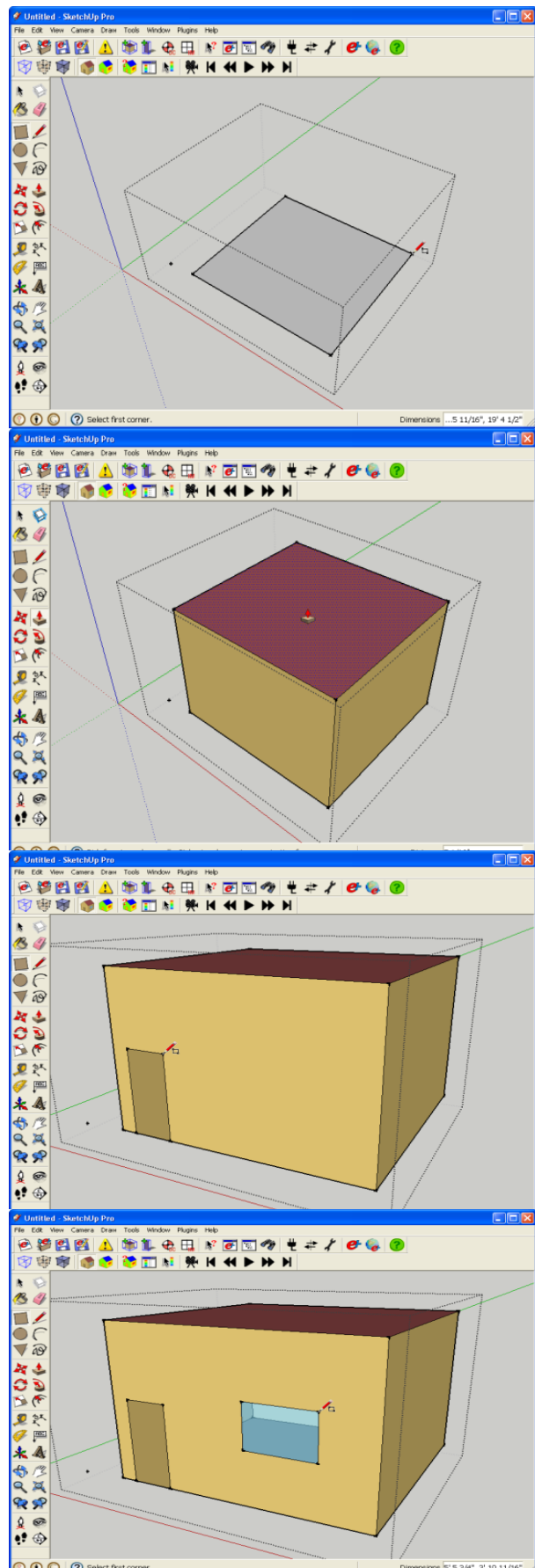
Κάντε διπλό κλικ στο σημάδι ελέγχου (**check mark**) για να ενεργοποιήσετε την ζώνη σας, τότε το πλαίσιο οριοθέτησης του γίνεται μια μπλε διακεκομμένη γραμμή.

Αρχίστε να μοντελοποιείτε τα στοιχεία της περιοχής. Η πρώτη επιφάνεια είναι συνήθως ένα πάτωμα που μπορεί να γίνει στο έδαφος με το εργαλείο "ορθογώνιο" ή άλλο εργαλείο σχεδίασης του SketchUp. Σημειώστε ότι το SketchUp χρησιμοποιεί τον κανόνα του δεξιού χεριού, για να καθορίσει την διεύθυνση της επιφάνειας.

Μετά την τοποθέτηση του δαπέδου χρησιμοποιήστε το εργαλείο **Push / Pull** για να ωθήσετε την επιφάνεια του δαπέδου επάνω. Αυτό θα δημιουργήσει νέες επιφάνειες στις οποίες το OpenStudio θα αναθέσει και το αντίστοιχο τύπο (τοίχου ή οροφής).

Επίσης, μπορείτε να δημιουργήσετε γεωμετρικά σχήματα και με άλλα εργαλεία του Sketchup, όπως γραμμή, κύκλος και το ορθογώνιο, αλλά το Push / Pull λειτουργεί πολύ καλά για την εξώθηση ενός δαπέδου έτσι ώστε οι τοίχοι και η οροφή να δημιουργήσουν μια ζώνη.

Το OpenStudio έχει ένα χρώμα σχεδιασμού για τον εντοπισμό πατώματος, τοίχου και οροφής: Τα σκοτεινότερα χρώματα χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν την εξωτερική επιφάνεια, ενώ τα ελαφρύτερα χρώματα για τις εσωτερικές. Εάν η επιφάνεια





είναι προσανατολισμένη με λάθος τρόπο μπορείτε με "δεξι κλικ" να επιλέξετε **Reverse Face** για να διορθώσετε την κατεύθυνση της.

## Δημιουργώντας υποεπιφάνειες (subsurfaces):

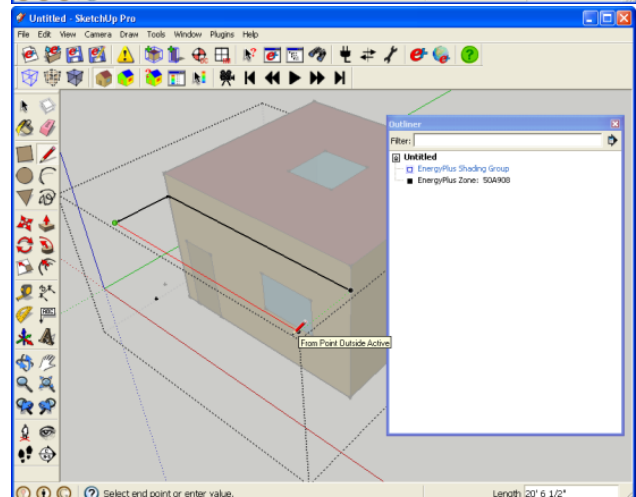
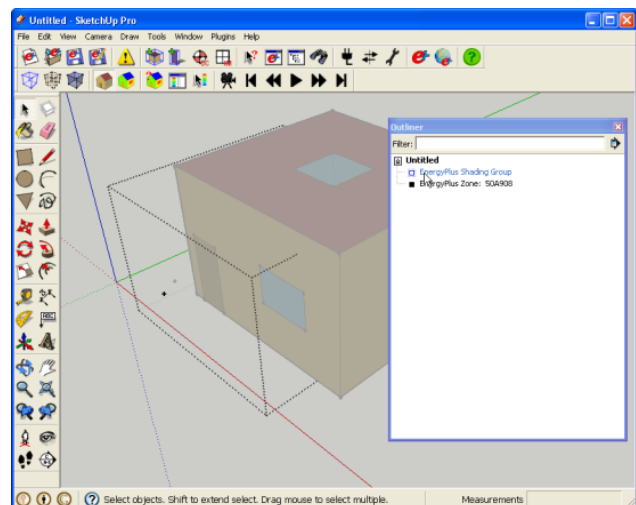
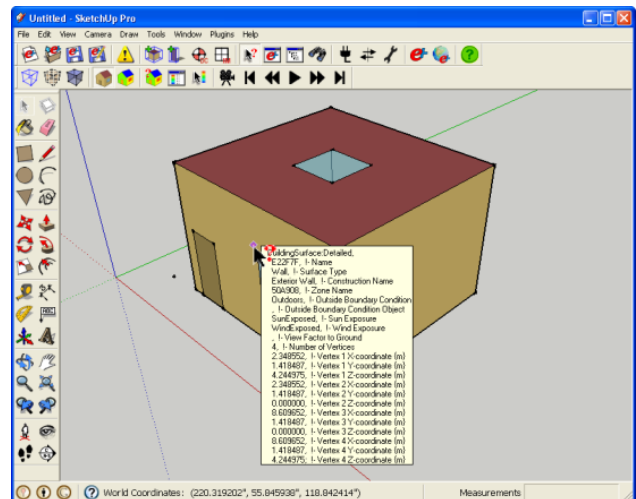
Έχοντας έτοιμους τέσσερις τοίχους, το δάπεδο και την οροφή, μπορείτε να ξεκινήσετε την προσθήκη υποεπιφανειών. Οι υποεπιφάνειες είναι, όπως υποδηλώνει το όνομα, οι επιφάνειες που βρίσκονται μέσα σε άλλες επιφάνειες βάσης. Περιλαμβάνονται οι πόρτες, τα παράθυρα και οι φεγγίτες.

Υπάρχουν μια σειρά από κατευθυντήριες γραμμές που πρέπει να ακολουθούνται για την δημιουργία υποεπιφανειών:

1. οι διαστάσεις τους πρέπει να είναι μικρότερες από τις διαστάσεις της κύριας επιφάνειας. Αν θέλετε να σχεδιάσετε ένα παράθυρο στις διαστάσεις ενός τοίχου, μπορείτε να το διαμορφώσετε με το εργαλείο Offset.

2. μια υποεπιφάνεια δεν μπορεί να έχει κοινά άκρα, με άλλη υποεπιφάνεια.

3. σε περίπτωση που θέλετε να διαγράψετε μια υποεπιφάνεια, φροντίστε να διαγράψετε και τις άκρες της ( όχι μόνο το πρόσωπο). Μην διαγράψετε τα άκρα που είναι επίσης



μέρος του άκρου της βασικής επιφάνειας. (Για παράδειγμα, το κάτω μέρος της πόρτας)

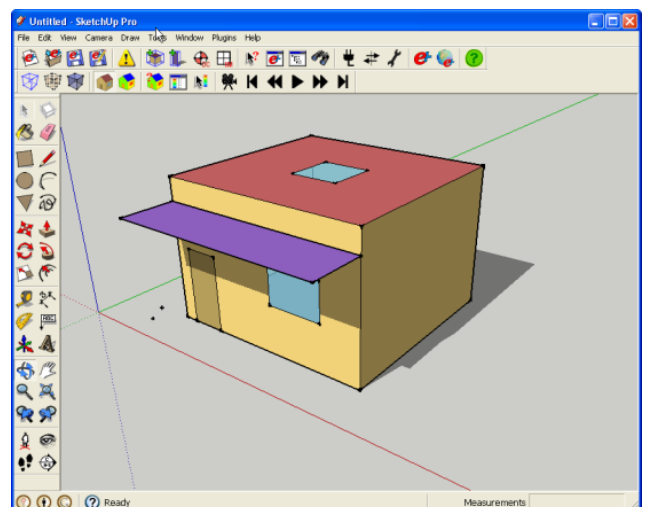
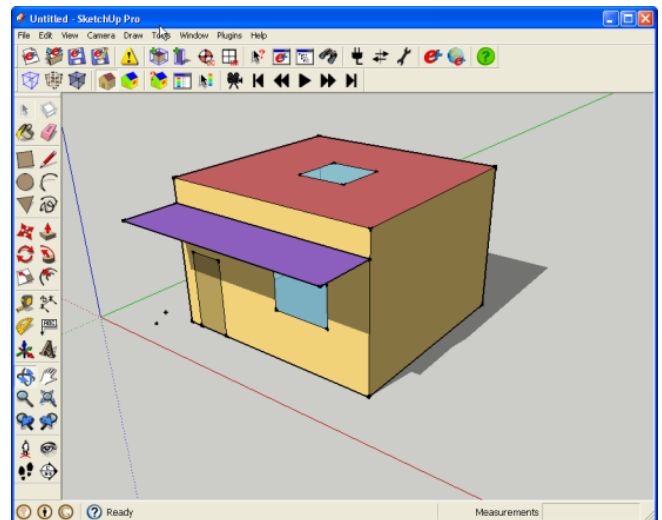
Οι υποεπιφάνειες έχουν επίσης τη δική τους αυτόματη επιλογή χρωμάτων. Οι πόρτες είναι καφέ, και τα παράθυρα είναι ένα ημιδιαφανές μπλε. Αν σχεδιάσετε κάτι και δεν εμφανιστεί το αναμενόμενο χρώμα, (το οποίο είναι ένα σημάδι ότι κάτι είναι λάθος), ελέγξτε το με την επιλογή object info για να δείτε πώς ερμήνευσε την επιφάνεια το Openstudio. Μπορείτε να αλλάξετε το μέγεθος των επιφανειών και υποεπιφανειών με τα εργαλεία Sketchup.

### Επιλογές σκίασης.

Επιλέξτε το εργαλείο **New Shading Group** και στη συνέχεια επιλέξτε το σημείο εισαγωγής του σκιάστρου. Το Shading Group (ομάδα σκίασης) λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο με τη ζώνη. Μπορείτε να ανοίξετε την ομάδα της σκίασης με διπλό κλικ στο σημείο αναφοράς ή εισάγεται μέσω του Outliner. Σχεδιάστε μια οριζόντια επιφάνεια σκίασης πάνω από την πόρτα και το παράθυρο.

Οι ομάδες σκίασης μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να σχεδιαστούν στοιχεία όπως περσίδες, τέντες, δέντρα, γειτονικά κτίρια ή οποιοδήποτε στοιχείο που παρεμβαίνει με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο κτίριο. Κάθε επιφάνεια σκίασης θα πρέπει να έχει ένα μέγιστο των τεσσάρων κορυφών, συνεπώς απαιτείται συχνά η σύνθεση **δέσμεων** διαφόρων επιφανειών για τον προσδιορισμό ενός στοιχείου **shader**.

Μετά την προσθήκη μιας δέσμης σκίασης σε ένα μοντέλο (έξω από μια ζώνη), κάθε πρόσωπο της ομάδας σκίασης γίνεται μια



ανεξάρτητη επιφάνεια σκίασης.

Μπορείτε επίσης να ορίσετε ένα χρονοδιάγραμμα ενεργοποίησης (**Schedule**) της επιφάνειας σκίασης. Αν αυτό το χρονοδιάγραμμα παραμένει κενό, τότε η επιφάνεια shader είναι πάντα ενεργή. Αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιείται, αν θέλετε να απενεργοποιήσετε προσωρινά τις επιφάνειες σκίασης χωρίς να διαγράψετε τη γεωμετρία τους. Μια άλλη χρήση για ένα Πρόγραμμα σκίασης, θα είναι να μιμηθεί ένα φυλλοβόλο δέντρο, κατά τη διάρκεια του έτους.

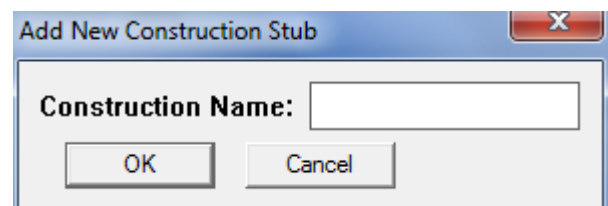
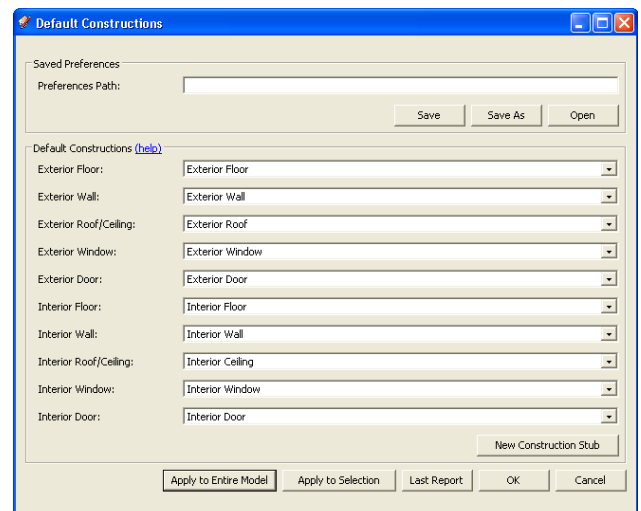
## Πρότυπες Κατασκευές (constructions)

Οι πρότυπες κατασκευές χρησιμοποιούνται για να καθοριστούν αυτόματα οι δομές (**structures**) των επιφανειών. Εσωτερικοί και εξωτερικοί τοίχοι, οροφές (στέγη και ταβάνι), παράθυρα και πόρτες.

Οι πρότυπες κατασκευές ενεργοποιούνται αυτόματα, με τη δημιουργία ενός νέου πρότυπου IDF μοντέλου. Βρίσκονται στο φάκελο plugin στο SketchUp OpenStudio / NewTemplate.idf.

Αν τώρα θέλετε να δημιουργήσετε νέες δομές, θα σας ζητηθεί να ορίσετε πρότυπα (**patterns**). Η αλλαγή των πρότυπων κατασκευών δεν επηρεάζει τις υπάρχουσες επιφάνειες, αλλά θέτει τα πρότυπα για τις επιφάνειες που δημιουργήθηκαν από τη στιγμή που ορίζεται.

Επιλέξτε "Εφαρμογή σε Ολόκληρο το μοντέλο" (Apply to Entire Model) ή "Εφαρμογή στην επιλογή" (Apply to selection) για να επαναπροσδιορίσετε τις υπάρχουσες επιφάνειες με το νέο ισχύον πρότυπο. Μπορείτε να το εφαρμόσετε σε μία δεδομένη επιλογή ή ολόκληρο το μοντέλο. Οι αλλαγές αυτές θα εφαρμοστούν στο



εσωτερικό, αλλά και το εξωτερικό του κτηρίου (interior & exterior surfaces)

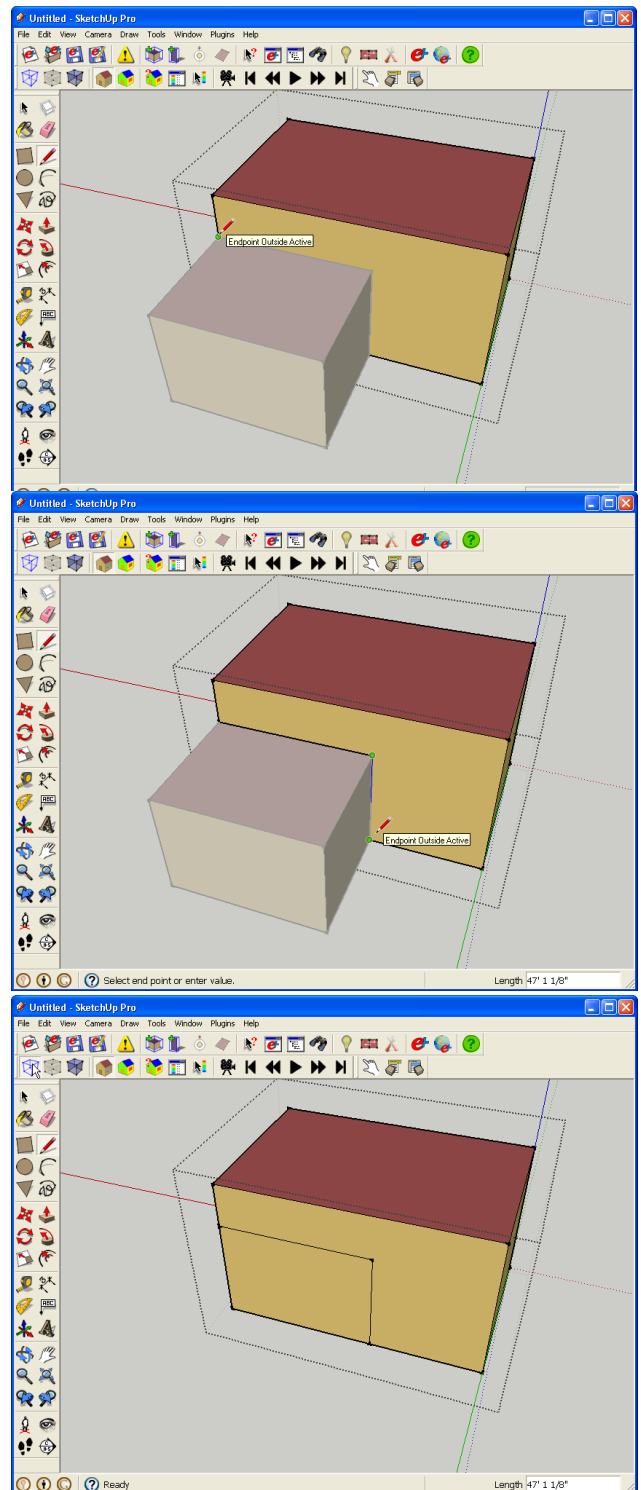
Η λειτουργία αυτή σας επιτρέπει να δημιουργήσετε ένα νέο άδειο κτίριο. Μπορείτε να αναθέσετε ιδιότητες στις επιφάνειες του νέου κτηρίου εξ αρχής, διαφορετικά θα πρέπει, σε κάποιο σημείο της κατασκευής, να ορίσετε τις επιθυμητές ιδιότητες των στρωμάτων των υλικών κατασκευής (layers of materials of constructions) στο αρχείο IDF. Είναι δυνατόν να αποθηκεύσετε τις προτιμήσεις Κτίρια Πρότυπο σε ένα εξωτερικό αρχείο, και να επαναλάβετε αυτές τις ρυθμίσεις, αν τις χρειαστείτε σε άλλα μοντέλα.

### Συσχέτιση επιφανειών

Σε περίπτωση που δύο διαφορετικές (παρακείμενες) ζώνες μοιράζονται ένα κοινό δομικό στοιχείο, τότε κατά τη μοντελοποίηση στο EnergyPlus θα πρέπει να προγραμματίσουμε το κοινό αυτό στοιχείο, έτσι ώστε να υπολογίζεται και η μεταφορά θερμότητας από ζώνη σε ζώνη. Αυτό μπορεί να γίνει χειροκίνητα, ή χρησιμοποιώντας το εργαλείο combination surfaces tool.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, για την αποφυγή προβλημάτων, συνιστάται να αποθηκεύσετε το αρχείο IDF και να φορτώσετε εκ νέου και πάλι πριν από τη χρήση του corresponding combination surfaces tool. Έτσι, το plugin θα καθαρίσει τις εγγραφές απορρίπτοντας περιττά στοιχεία.

Οι επιφάνειες που συνδέονται και βρίσκονται σε διαφορετικές ζώνες, θα πρέπει να έχουν ίδια



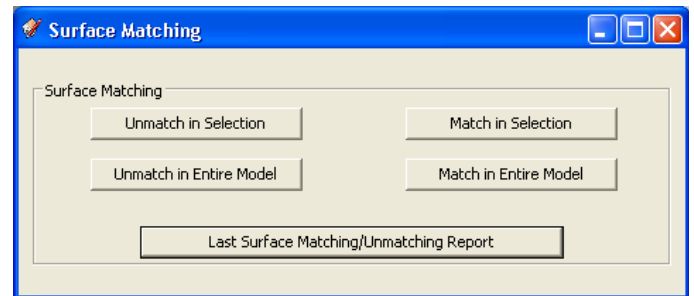
έκταση και, στις περισσότερες περιπτώσεις, να καταλαμβάνουν τον ίδιο χώρο.

Σε περίπτωση όμως που μόνο ένα τμήμα της επιφάνειας της μίας ζώνης εφάπτεται στην δεύτερη ζώνη, τότε θα πρέπει να σχεδιαστεί μια τομή, μόνο στο τμήμα του τοίχου που συνορεύει με την δεύτερη ζώνη. Αυτή η τομή γίνεται με δύο διαφορετικούς τρόπους.

1. Σχεδιάζοντας χειροκίνητα, τα όρια του επιπέδου επαφής.

2. Κάνοντας δεξί "κλικ" στην επιφάνεια η οποία πρόκειται να κοπεί και εφαρμόζοντας τη λειτουργία "Intersect with model"

Και οι δύο τρόποι έχουν το ίδιο αποτέλεσμα: Μόλις οριστούν σωστά οι κοινές επιφάνειες, χρησιμοποιήστε το εργαλείο Surface Matching και αυτές "ενώνονται" αυτόματα.



Μπορείτε να ενώσετε μόνο τις εξωτερικές επιφάνειες των στοιχείων, ή να επιλέξετε να ενωθούν όλα τα χαρακτηριστικά τους.

Μπορείτε επίσης με τον ίδιο τρόπο να χωρίσετε τα χαρακτηριστικά δύο επιφανειών.

Ως εναλλακτική λύση σε αυτή την αυτοματοποίηση, μπορείτε να συνδυάσετε τις επιφάνειες χειροκίνητα χρησιμοποιώντας το παράθυρο πληροφοριών. Ρυθμίστε την οριακή συνθήκη ως "Surface" και στη συνέχεια, προσδιορίστε την επιφάνεια με την οποία θα ενωθεί. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι επιφάνειες είναι σε ζεύγη, οπότε αν πρέπει να συσχετίσουμε την επιφάνεια "A" στην επιφάνεια "B", τότε θα πρέπει να συσχετίσουμε και την επιφάνεια "B" στην επιφάνεια "A".

Το OpenStudio δεν μπορεί να ενώσει αυτόματα μη-ορθογώνιες επιφάνειες. Ωστόσο, αυτές οι επιφάνειες μπορούν να συνδυαστούν με το χέρι χρησιμοποιώντας το αντικείμενο information window.

## Θερμικά φορτία

Τα κύρια θερμικά φορτία των εσωτερικών χώρων προέρχονται από: τους ανθρώπους που κατοικούν ή επισκέπτονται τον χώρο (**people**), το φωτισμό (**lightning**), τον εξοπλισμό (**equipment**), τον εξαερισμό και τις απώλειες από τα ανοίγματα (**infiltration**). Το παράθυρο "zone loads" σας επιτρέπει να καθορίσετε τιμές για τα εσωτερικά κέρδη που θα καταγράφονται στο αρχείο από κάθε ζώνη, αλλά δεν σας επιτρέπει να δείτε τις ιδιότητες που. Εξακολουθεί να είναι απαραίτητο να ανοίξετε το αρχείο idf για να δείτε τα κέρδη που κατανέμονται σε κάθε ζώνη.

Ο καθορισμός των χρονοδιαγραμμάτων και των θερμικών φορτίων από το OpenStudio είναι πολύ κύριο και σημαντικό μέσο για τη μοντελοποίηση της προσομοίωσης. Για μια πιο συνεπή προσομοίωση το idf αρχείο πρέπει να επεξεργαστεί άμεσα στην πρωτότυπη γλώσσα του ή με τη βοήθεια άλλων διεπαφών (**interfaces**) όπως το IDFEditor.

Τα εσωτερικά κέρδη προκύπτουν από τα μοντέλα που χρησιμοποιούν ως αντικείμενα εισόδου τις επιλογές: "People", "Lights", "ElectricEquipment", "GasEquipment", "ZoneVentilation: DesignFlowRate" και "ZoneInfiltration: DesignFlowRate". Τα περισσότερα πεδία από αυτά τα αντικείμενα είναι τυποποιημένα. Για μια πλήρη λίστα όλων των πεδίων διαβάστε περισσότερα στο InputOutputReference.

Εδώ το OpenStudio χρησιμοποιεί ως σημείο αναφοράς, μια σειρά τιμών των εσωτερικών κερδών, των ώρων χρήσης και των μοτίβων ενός τυπικού κτιρίου γραφείων. Τα Schedules υπάρχουν στο αρχείο NewTemplate.idf, αλλά δεν θα είναι διαθέσιμα σε όλα τα υπάρχοντα αρχεία IDF. Μπορείτε να επαναφέρετε τα εσωτερικά κέρδη του με τις τυπικές τιμές κάνοντας κλικ στο "Reset to Default Office".

Κανένα αντικείμενο δεν μπορεί να προστεθεί σε αρχείο IDF με εσωτερικά κέρδη μικρότερα ή ίσα του μηδέν. Και κάθε φορά που προσθέτετε νέα εσωτερικά κέρδη στις επιλεγμένες περιοχές, τα προηγούμενα εσωτερικά κέρδη θα διαγράφονται. Τα φώτα (lights) είναι τα αντικείμενα που απαιτούνται για να προσθέσετε τη λειτουργία ελέγχου του φυσικού φωτισμού (Daylighting: Control). Θυμηθείτε να αφαιρέσετε την επιλογή "ZoneVentilation: DesignFlowRate" όταν χρησιμοποιείτε το αρχείο για προσομοιώσεις πιο προηγμένων συστημάτων HVAC που υπολογίζουν τη διείσδυση του αέρα (infiltration) μέσω του ίδιου του συστήματος HVAC.

The screenshot shows the 'Zone Loads' dialog box. It has a title bar with standard window controls. Below the title bar, there is a 'Saved Preferences' section with a 'Preferences Path' field and 'Save', 'Save As', and 'Open' buttons. The main section is titled 'Zone Loads (help)' and contains several rows of input fields and dropdown menus. The fields include: 'People per Zone Floor Area (Number of People/100 ft²)' with a value of 5.000039; 'Occupancy Schedule' with a dropdown set to 'Office Occupancy Schedule'; 'Activity Schedule' with a dropdown set to 'Office Activity Schedule'; 'Lighting Power Density (W/ft²)' with a value of 1.0; 'Lighting Schedule' with a dropdown set to 'Office Lights Schedule'; 'Electric Equipment Power Density (W/ft²)' with a value of 1.0; 'Electric Equipment Schedule' with a dropdown set to 'Office Equipment Schedule'; 'Gas Equipment Power Density (W/ft²)' with a value of 0.0; 'Gas Equipment Schedule' with a dropdown set to 'Office Equipment Schedule'; 'Outdoor Air per Person (cfm/person)' with a value of 5.000557; 'Outdoor Air per Person Schedule' with a dropdown set to 'Office Occupancy Schedule'; 'Outdoor Air per Area (cfm/ft²)' with a value of 0.060039; 'Outdoor Air per Area Schedule' with a dropdown set to 'Always On'; 'Infiltration Rate (ACH)' with a value of 0.5; and 'Infiltration Schedule' with a dropdown set to 'Infiltration Half On Schedule'. At the bottom of this section are 'Reset to Default Office' and 'New Schedule Stub' buttons. Below this is the 'HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem' section with a checkbox 'Add HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem' and a dropdown for 'HVACTemplate:Thermostat:'. At the bottom of the dialog are 'Add Thermostats', 'Edit Thermostats', and 'Refresh Thermostats' buttons, followed by 'Apply to Entire Model', 'Apply to Selection', 'Last Report', 'OK', and 'Cancel' buttons.

## Ideal Loads Air System

Με την επιλογή: **HVACTemplate: Zone: IdealLoadsAirSystem** δίνουμε στο EnergyPlus την δυνατότητα να κάνει τους υπολογισμούς χρησιμοποιώντας το θερμικό φορτίο. Το Ideal Load Air System χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θέρμανσης και της ψύξης σε κάθε ζώνη χωρίς μοντελοποίηση ενός ολοκληρωμένου συστήματος HVAC. Είναι γρήγορος και εύκολος τρόπος να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις διάφορων στρατηγικών ενεργειακής απόδοσης.

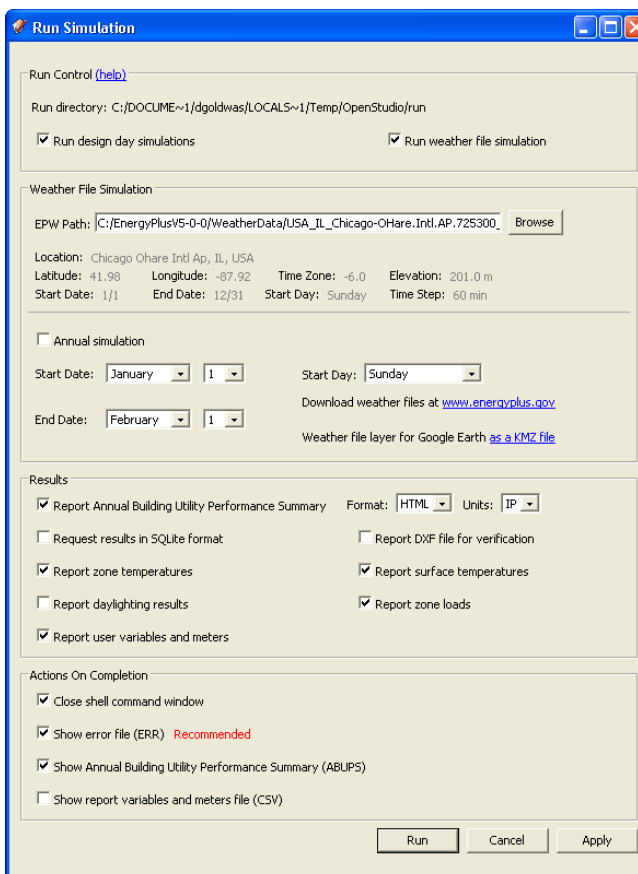
Το EnergyPlus έχει διάφορα άλλα συστήματα, όπως HVACTemplate PTAC, PTHP και πολλοί άλλοι που είναι λίγο πιο περίπλοκοι από το HVACTemplate: Zone: IdealLoadsAirSystem. Τα συστήματα αυτά πρέπει να διαμορφωθούν από το αρχείο IDF. Για τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου και των θερμοκρασιακών μεταβολών για ψύξη και θέρμανση σε κάθε ζώνη χρειάζεται η προσθήκη του HVACTemplate:Thermostat. Οι αρχικές τιμές για τα εσωτερικά κέρδη είναι αυτές που αντιστοιχούν σε ένα τυπικό κτίριο γραφείων. Τα αρχικά χρονοδιαγράμματα περιλαμβάνονται στο αρχείο NewTemplate.idf, αλλά μπορείτε να αποθηκεύσετε τις ρυθμίσεις των εσωτερικών κερδών που αντιστοιχούν σε άλλους τύπους περιβάλλοντος και να εφαρμόσετε αυτές τις ρυθμίσεις για άλλα μοντέλα.

## Προσομοίωση

Έχοντας εγκαταστήσει την τελευταία έκδοση του EnergyPlus (διαθέσιμο στο [www.energyplus.gov](http://www.energyplus.gov)), μπορούμε πλέον να ξεκινήσουμε την προσομοίωση. Τα αρχεία καιρού **weather files** μπορούν να ληφθούν επίσης από την ιστοσελίδα του EnergyPlus.

Ρυθμίσεις προσομοίωσης :

Η επιλογή Run Simulation EnergyPlus



προσφέρει μια ποικιλία από επιλογές για να διαμορφώσετε την προσομοίωση πριν από την εκτέλεση του EnergyPlus. Μπορείτε να αλλάξετε το σχήμα του αρχείου εισόδου προσομοίωσης και να οδηγηθείτε σε διαφορετικά αποτελέσματα.

## Run (Ελέγχου)

Για να δείτε το **IDF input file** πρέπει να εκτελέσετε το αρχείο που αναφέρεται στο παράθυρο διαλόγου **Run**.

1. Run design day simulations: Ζητά την προσομοίωση της μέρας σχεδιασμού (design day)
2. Run weather file simulation: Ζητά την προσομοίωση βασισμένη σε ένα αρχείο καιρού EPW weather file.

## Weather file simulation

Σε περίπτωση που έχουμε επιλέξει τη λειτουργία "Run weather file simulation" είναι απαραίτητο να εισάγουμε ένα αρχείο EPW στο EPW path. Υπάρχουν δείγματα αρχείων αποθηκευμένα στο EnergyPlus, στην ιστοσελίδα του EnergyPlus καθώς και στο Google Earth.

Η χρονική διάρκεια της προσομοίωσης ορίζεται στο παρακάτω πλαίσιο. Η επιλογή "**Annual simulation**" ζητά την εξομοίωση των 8.760 ωρών του έτους. Απενεργοποιώντας την επιλογή αυτή, μπορείτε να ορίσετε την αρχή και το τέλος της προσομοίωσης.

## Results - Αποτελέσματα

**Report Annual Building Utility Performance Summary:** επιλογή του τύπου του αρχείου (HTML, CSV, Tab, ή Fixed) και των μονάδων μέτρησης (SI ή IP)

**Request results in SQLite format:** τα αποτελέσματα είναι γραμμένα σε μια βάση δεδομένων SQLite και σε αρχείο ESO. Για προβολή κ επεξεργασία αυτών των αποτελεσμάτων απαιτείται το πρόγραμμα ZeroKit ResultsViewer.

**Report zone temperatures:** τα αποτελέσματα της μέσης θερμοκρασίας στην επιφάνεια του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας ανα ζώνη.

**Report daylighting results:** προσομοίωση του ημερησίου φυσικού φωτισμού και του δείκτη θάμβωσης σε ορισμένα σημεία αναφοράς.

**Report DXF file for verification:** το EnergyPlus θα δημιουργήσει ένα αρχείο DXF που μπορεί να εισαχθεί στο SketchUp ή την εφαρμογή CAD.



**Report surface temperatures:** εσωτερικές και εξωτερικές θερμοκρασίες των επιφανειών του μοντέλου.

**Report loads zone:** αναφορές των ψυκτικών φορτίων και προσομοίωση με θέρμανση μέσω κλιματιστικού.

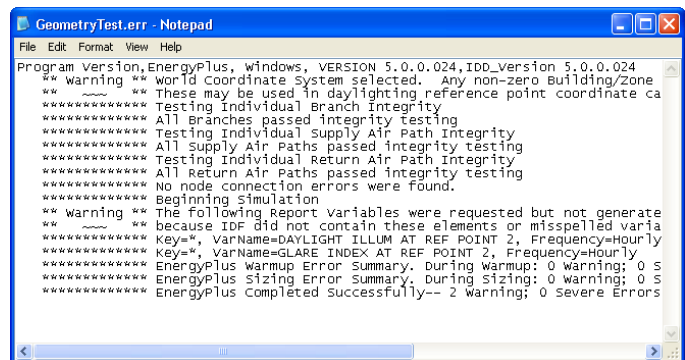
## Actions on Completion

**Close shell command window:** κλείνει το παράθυρο εντολών όταν τελειώσει την προσομοίωση.

**Show file error (ERR):** δείχνει τα σφάλματα του αρχείου.

**Show Annual Building Utility Performance Summary:** δίνει μια συνοπτική παρουσίαση της ετήσιας απόδοσης του κτιρίου.

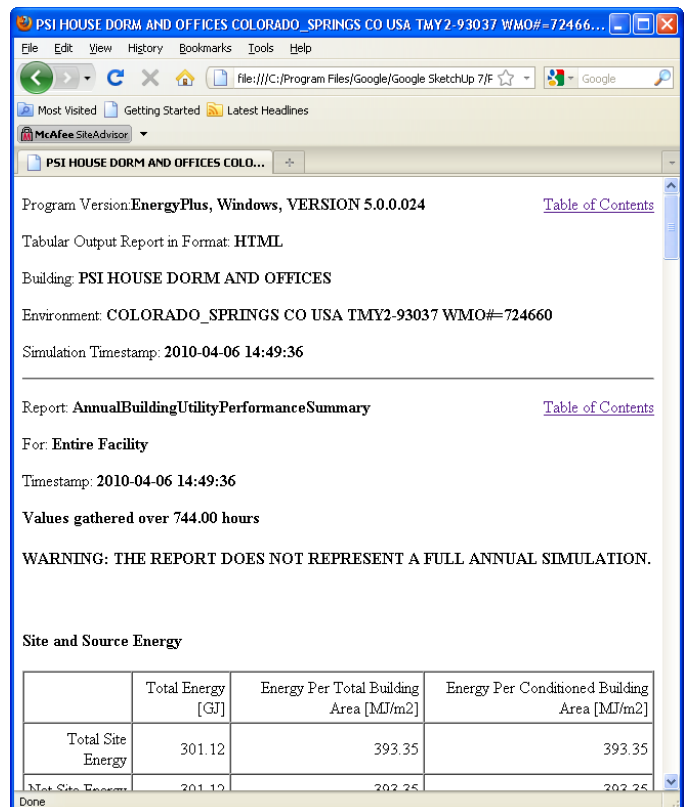
**Show report variables meters and file:** εμφανίζει τις μεταβλητές αναφοράς (report variables) και τα επίπεδα κατανάλωσης σε μορφή CSV.



```
GeometryTest.err - Notepad
File Edit Format View Help
Program Version: EnergyPlus, windows, VERSION 5.0.0.024, IDD_Version 5.0.0.024
** Warning **
** world coordinate system selected. Any non-zero Building/Zone
** These may be used in daylighting reference point coordinate ca
*****
Testing Individual Branch Integrity
*****
All Branches passed integrity testing
*****
Testing Individual Supply Air Path Integrity
*****
All supply Air Paths passed integrity testing
*****
Testing Individual Return Air Path Integrity
*****
All Return Air Paths passed integrity testing
*****
No node connection errors were found.
*****
Beginning simulation
** Warning **
The following Report variables were requested but not generate
because IDF did not contain these elements or misspelled varia
*****
Key=", varName=DAYLIGHT ILLUM AT REF POINT 2, Frequency=Hourly
*****
Key=", varName=GLARE INDEX AT REF POINT 2, Frequency=Hourly
*****
EnergyPlus Warmup Error Summary. during warmup: 0 warning; 0 s
*****
EnergyPlus Sizing Error Summary. during sizing: 0 warning; 0 s
*****
EnergyPlus Completed Successfully-- 2 warning; 0 Severe Errors
```

## 6. EnergyPlus

Έχοντας πλέον ορίσει τις μεταβλητές σας μπορείτε να τις αποθηκεύσετε με την επιλογή "Apply". Στη συνέχεια μπορείτε να κάνετε κλικ στο "Run" για να ξεκινήσει η προσομοίωση. Πριν από την εκτέλεση EnergyPlus, το OpenStudio θα καθαρίσει τον προσωρινό κατάλογο που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση. Το OpenStudio τότε θα εκτελέσει την προεπεξεργασία για να μετατρέψει όλα τα αντικείμενα εισόδου "ExpandObjectsHVAC HVACTemplate" για λεπτομερή προσομοίωση.



PSI HOUSE DORM AND OFFICES COLORADO\_SPRINGS CO USA TMY2-93037 WMO#=724660

Program Version: EnergyPlus, Windows, VERSION 5.0.0.024 [Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: PSI HOUSE DORM AND OFFICES

Environment: COLORADO\_SPRINGS CO USA TMY2-93037 WMO#=724660

Simulation Timestamp: 2010-04-06 14:49:36

Report: AnnualBuildingUtilityPerformanceSummary [Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2010-04-06 14:49:36

Values gathered over 744.00 hours

WARNING: THE REPORT DOES NOT REPRESENT A FULL ANNUAL SIMULATION.

Site and Source Energy

	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	301.12	393.35	393.35
Net Site Energy	201.12	262.25	262.25

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, το EnergyPlus εκκινεί σε νέο παράθυρο. Περιμένετε έως ότου η προσομοίωση ολοκληρωθεί. Στη συνέχεια το OpenStudio θα τρέξει το πρόγραμμα για τη μετατροπή των αποτελεσμάτων ESO σε μορφή CSV, εφόσον οι εκθέσεις αυτές έχουν ζητηθεί.

Τέλος, το OpenStudio θα ανοίξει ένα αρχείο σφαλμάτων, καθώς και τις εκθέσεις ABUPS ή/και το αρχείο CVS, εάν έχει ζητηθεί.

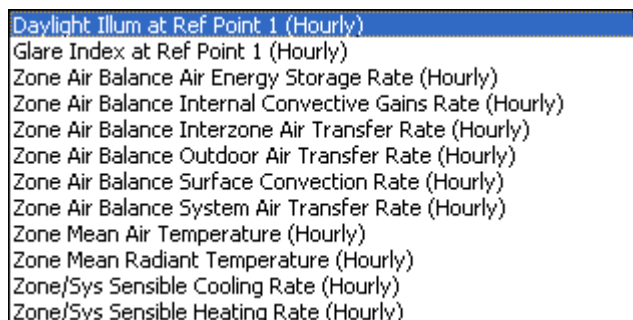
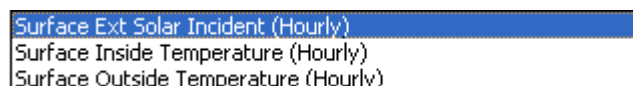
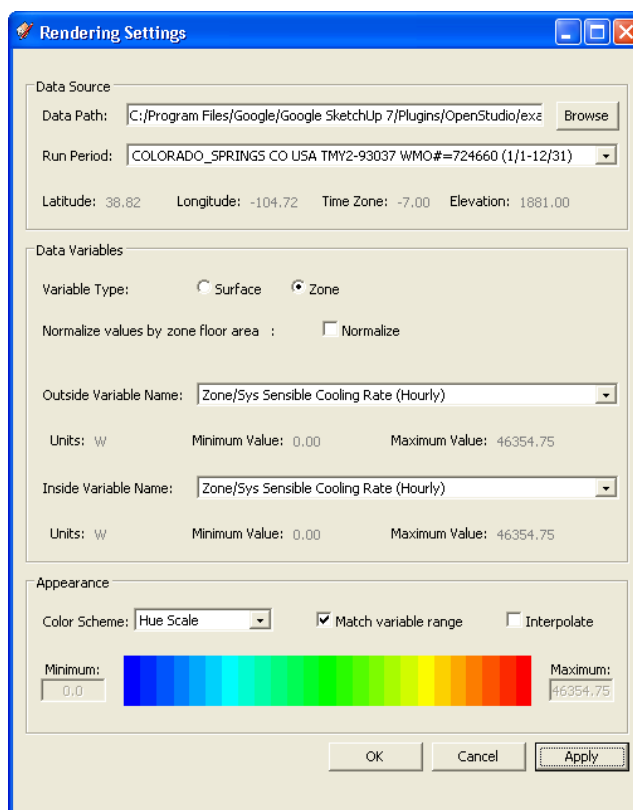
### Αποτελέσματα:

Τα δεδομένα από την προσομοίωση της έκθεσης EnergyPlus είναι διαθέσιμα στην έξοδο ESO (EnergyPlus Simulation Output) εάν έχει ζητηθεί τέτοιο αρχείο.

Για να δείτε μια πλήρη λίστα των διαθέσιμων μεταβλητών σε μια προσομοίωση, φροντίστε να συμπεριλάβετε το αντικείμενο **VariableDictionary IDF**, ώστε το EnergyPlus να δημιουργήσει μια έκθεση αποτελεσμάτων (Report Data Dictionary).

Μετά την προσομοίωση η έκθεση ESO μπορεί να εισαχθεί στο OpenStudio, το οποίο θα συσχετίσει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τα γεωμετρικά στοιχεία του αρχείου IDF στο Sketchup.

Το αρχείο OpenStudio file / examples / GeometryTest.idf έχει ένα προ-προσομοιωμένο μοντέλο EnergyPlus το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα. Ανοίξτε το αρχείο C: \ Program Files \ Google \ Google SketchUp 7 \ Plugins \ OpenStudio \ examples \ GeometryTest.idf. Μετά ανοίξτε το παράθυρο Rendering

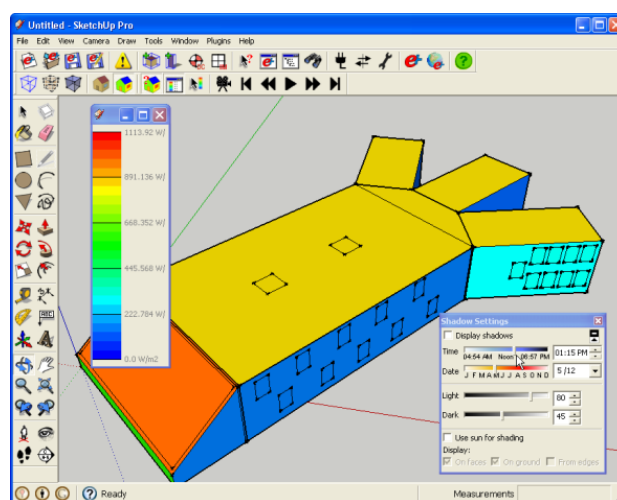
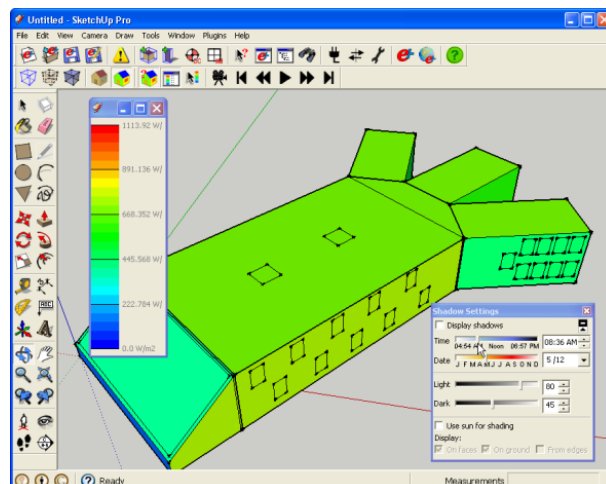


Settings ανοίξτε το ήδη υπάρχον παράδειγμα

GeometryTest.ESO. Μόλις φορτωθεί (ίσως χρειαστεί λίγη ώρα), μπορείτε να επιλέξετε τα αποτελέσματα που θέλετε να ανοίξετε για προβολή.

Το OpenStudio μπορεί να εμφανίσει τα αποτελέσματα για τις επιφάνειες (π.χ. θερμοκρασία επιφάνειας) ή για τις περιοχές (π.χ., μέση του αέρα). Για επιφάνειες, είναι δυνατό να δείξει διαφορετικά αποτελέσματα για τις εσωτερικές και εξωτερικές όψεις τους.

Επιλέξτε τα δεδομένα και την περίοδο προβολής και πατήστε το πλήκτρο "Apply" ή "OK" για να αποθηκεύσετε τις ρυθμίσεις σας. Επιλέξτε Render by Data Value για να δείτε τα δεδομένα για τη γεωμετρία του αρχείου εισόδου (input file).

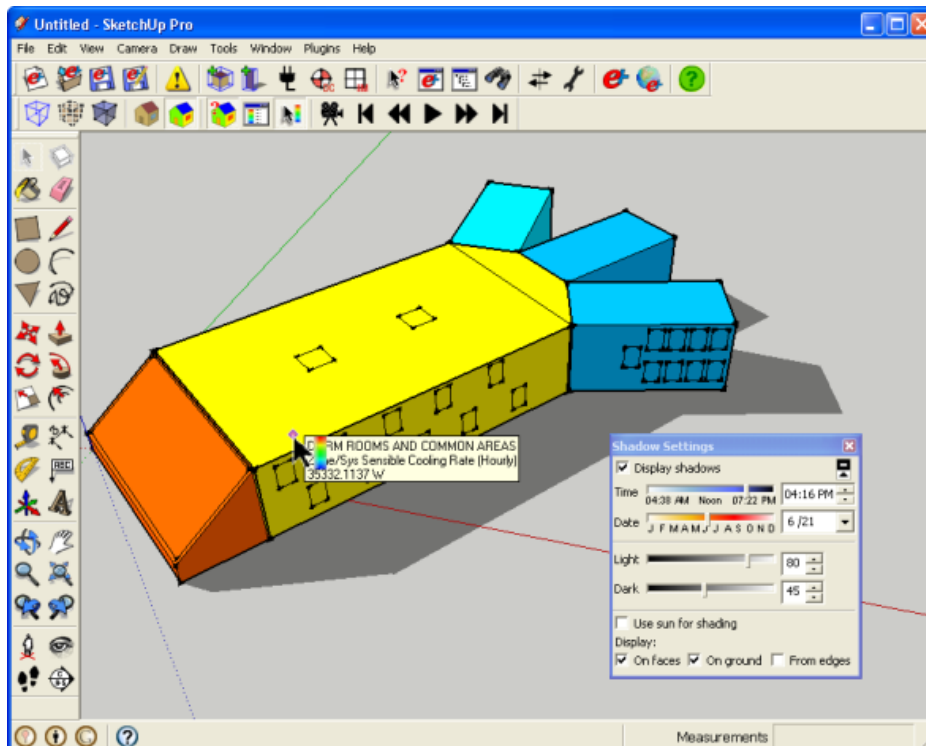


Το Εργαλείο δεδομένων (Data Tool) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εμφανίσει την τιμή δεδομένων για μια συγκεκριμένη περιοχή ή ζώνη τοποθετώντας τον κέρσορα του ποντικιού πάνω τους. Μπορείτε επίσης να χρησιμοποιήσετε τα εργαλεία του OpenStudio να δείτε αποτελέσματα σε βάθος χρόνου και κάμερες σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του Sketchup.

## Κανονικοποίηση

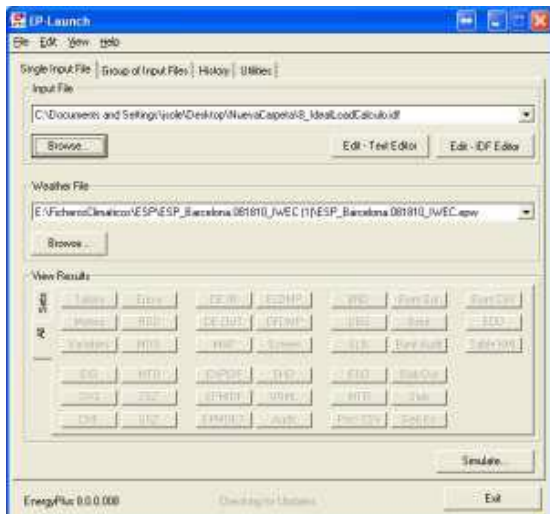
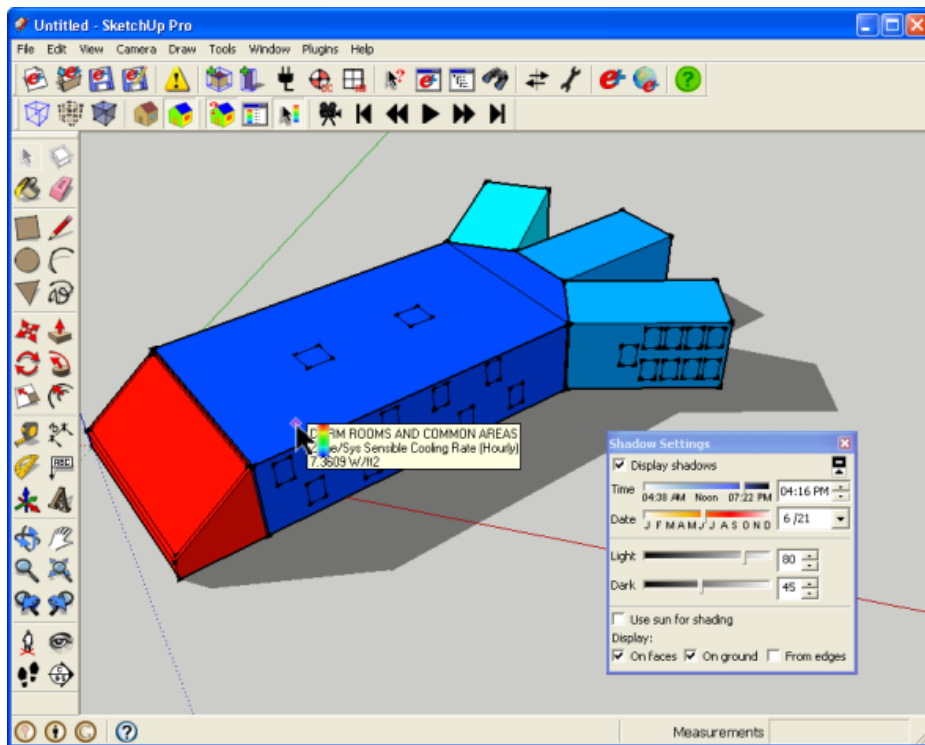
Τα αποτελέσματα μπορούν να παρουσιαστούν σε απόλυτες ή κανονικοποιημένες τιμές. Για κανονικοποιημένες τιμές επιλέξτε Normalize. Αυτή η επιλογή ομαλοποιεί τα αποτελέσματα των ζωνών σε σχέση με την περιοχή τους. Είναι χρήσιμο για συγκρίσεις μεταξύ των περιοχών, συγκρίνοντας τις τιμές ανά τετραγωνικό μέτρο.

Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν το ποσοστό της ψύξης στις 4:16 μ.μ. στις 21 Ιουνίου. Η πρώτη εικόνα χωρίς τη χρήση κανονικοποίησης, η δεύτερη με τις ζώνες κανονικοποιημένες.. Στην πρώτη εικόνα, μια μεγάλη περιοχή του μέσου φαίνεται να έχει το δεύτερο υψηλότερο ποσοστό της ψύξης με περίπου 35.000 W/ft<sup>2</sup>.



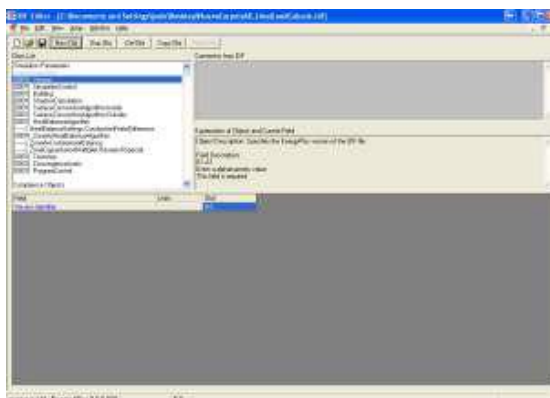
Στη δεύτερη εικόνα το μοντέλο έχει κανονικοποιηθεί. Το μοντέλο ομαλοποιείται ανά τετραγωνικό πόδι, και όπως φαίνεται η περιοχή από 7,3 W / ft<sup>2</sup> μπορεί να συγκριθεί με περίπου 12 W / ft<sup>2</sup> τις τρεις μπλε ζώνες.

Είναι δυνατό να επιλέξετε τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές για την γκάμα των χρωμάτων που χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση των μεταβλητών στην έκθεση. Σε τέτοιες περιπτώσεις, θα πρέπει να ορίσετε το εύρος με το χέρι.



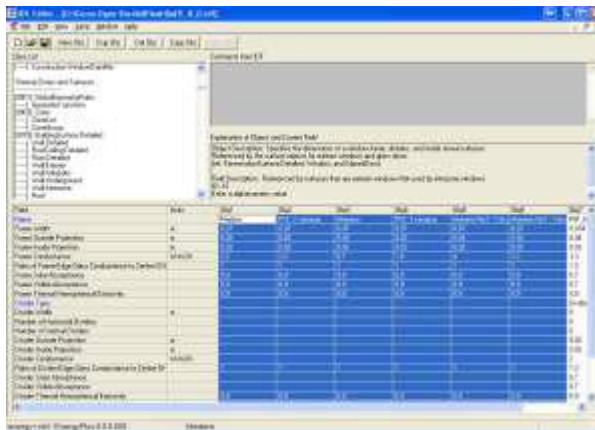
## IDF - Editor

Αν και το OpenStudio είναι αρκετά πλήρες, από την άποψη δυνατοτήτων και ευελιξίας, υπάρχουν πολλά στοιχεία που δεν περιλαμβάνονται σε αυτό. Το EnergyPlus αποτελεί ένα πολύ πληρέστερο λογισμικό για ενεργειακή μοντελοποίηση ενός κτηρίου.



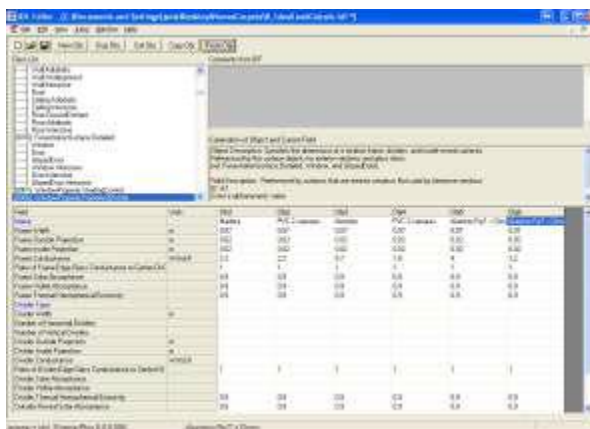
Μια χαρακτηριστική περίπτωση είναι η λειτουργία "Frame and divider" (πλαίσιο και κουφώματα), η οποία δεν υποστηρίζεται από το OpenStudio και θα πρέπει να εκτελεστεί απ' ευθείας από το περιβάλλον του EnergyPlus.

Προσοχή: Αν έχουμε ένα αρχείο το οποίο είναι αρχικά αποθηκευμένο σε μορφή .osm θα πρέπει να μετατραπεί πρώτα σε αρχείο .idf,



Χρησιμοποιήστε τη λειτουργία “File / Export IDF”.

Αυτό θα αποθηκεύσει αρχικά το υπάρχον αρχείο, θα προχωρήσει σε κλείσιμο του OpenStudio και θα ανοίξει το αρχείο στην EP Launch του EnergyPlus.

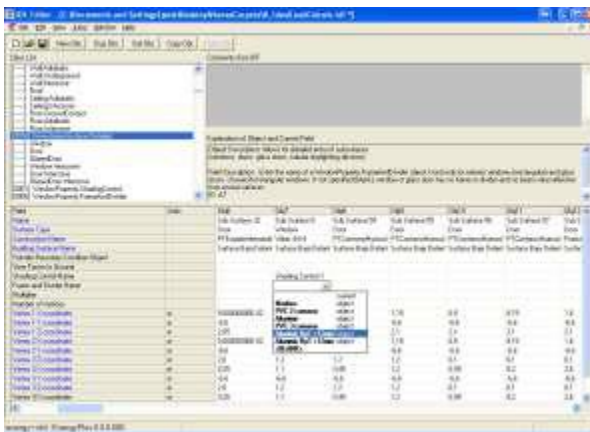


Επιλέξτε “Edit-IDF Editor” για να ανοίξει το περιβάλλον εργασίας του EnergyPlus.

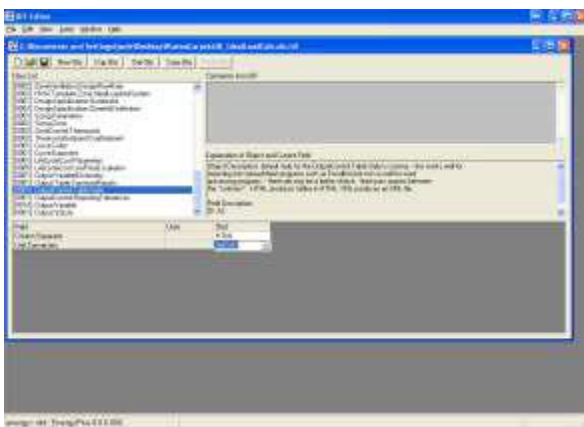


Έστω πως θέλουμε να επεξεργαστούμε το πλαίσιο και τα κουφώματα του μοντέλου μας. Επιλέγουμε WindowProperty: FrameAndDivider και μας εμφανίζονται χαρακτηριστικοί τύποι διαφόρων υλικών εργασίες (ξύλο / PVC 2 / αλουμίνιο / ...). Επιλέξτε το υλικό που επιθυμείτε και κάνετε κλικ στο "CopyObj."

Στη συνέχεια πηγαίνετε πίσω στο αρχείο του μοντέλου μας και κάνετε κλικ στο "Paste button Obj". Τα στοιχεία έχουν αυτόματα ενταχθεί στο μοντέλο σας.



Τώρα απλά αναθέστε σε κάθε πλαίσιο του μοντέλου σας το επιθυμητό υλικό. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέξτε "Fenestration:Surface:Detailed" για να εμφανιστούν όλα τα ανοίγματα του μοντέλου και προσθέστε στη γραμμή "frame and divider" και επιλέξτε το υλικό για καθε άνοιγμα ξεχωριστά.



Για να δείτε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των πλαισίων-κουφωμάτων, επιλέξτε "Output:Control:Table:Style". Μπορείτε επίσης να κάνετε ορισμένες τροποποιήσεις στον τρόπο λήψης αποτελεσμάτων. Π.χ. επιλέγοντας "JtoKWh" τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε kWh αντί σε J.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. ΑΠΑΝΤΑ 1-Απομνημονεύματα 1, Ξενοφών, Αρχαία Ελληνική Γραμματεία «Οι Έλληνες», Εκδόσεις Κάκτος
2. Καραβασίλη Μ., Κτίρια για έναν Πράσινο Κόσμο, οικολογική δόμηση , βιοκλιματική αρχιτεκτονική, Ευώνυμος Οικολογική Βιβλιοθήκη, systems international ΑΕ, Αθήνα, 1999
3. Ευθυμιόπουλος Η., Κτίριο και Περιβάλλον, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2005
4. Λάζαρη Ε., Βιοκλιματικός Σχεδιασμός στην Ελλάδα, Ενεργειακή Απόδοση και Κατευθύνσεις Εφαρμογής, Καπε, Πικέρμι, Σεπτέμβριος 2002,
5. Energy Research Group University College Dublin, Bioclimatic Architecture, The Demonstration Component of the Joule Thermie Programme, European Comission, Ireland, Published by: LIOR E.E.I.G., 1997
6. Τσιπήρας Κ. & Θ., Οικολογική Αρχιτεκτονική , Βιοκλιματική αρχιτεκτονική, οικολογική δόμηση, γεωβιολογία, εσωτέρα αρχιτεκτονική, , Εκδόσεις Κέδρος, 2005
7. Μαλλιάρης, Ενεργειακός Σχεδιασμός, Εισαγωγή για αρχιτέκτονες, - Παιδεία για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1994
8. Αξαρχλή Κ. Ν., «Ο ενεργειακός σχεδιασμός του κελύφους και η αξιοποίηση του απευθείας κέρδους στα σχολικά κτίρια – καθοριστικές παράμετροι σχεδιασμού για τον ελληνικό χώρο», ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, 1995
9. Αξαρχλή Κ. Ν ., Μέθοδοι και συστήματα εξοικονόμησης της ενέργειας με βιοκλιματικό σχεδιασμό η συμβολή του φυσικού φωτισμού, στο Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων και Περιβάλλοντος Χώρου, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2001
10. Αξαρχλή Κ. Ν ., Ενεργειακός Σχεδιασμός και Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Γενικές Αρχές του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού, σημειώσεις για το μικρής διάρκειας σεμινάριο του Τμήματος Κεντρικής



Μακεδονίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας με γενικό τίτλο «Ενεργειακός σχεδιασμός νέων και υφιστάμενων κτιρίων»

11. Αθανασούλη - Ρογκάκου Αθηνά, Πολιτικές Προστασίας Πολιτιστικού Περιβάλλοντος στην Ελλάδα, Περιβάλλον και Δίκαιο

12. Χατζοπούλου - Τζίκα Α., Πολεοδομικό Δίκαιο

13. Λάζαρη Ε., Ενεργειακή απόδοση συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας στο ελληνικό κτίριο, Αθήνα, ΚΑΠΕ, 2006

14. Γενική Διεύθυνση Έργων, Διεύθυνση Μελετών Συμβατικών Έργων, Οργανισμός Σχολικών Κτιρίων Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού Σχεδιασμού Σχολικών Κτιρίων, Αθήνα, 2008

15, Μιχάλης Γρ.Βραχόπουλος, Αναλυτική Προσέγγιση Κεντρικών Θερμάνσεων, Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης, 2004

16. Mazria Ed., The Passive Solar Energy Book, Rodale Press, Emmaus, Pa., 1979,

17. Ανδρεαδάκη Ε., Βιοκλιματικός Σχεδιασμός – Περιβάλλον και Βιωσιμότητα, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 2006,

18 Ανδρεαδάκη-Χρονάκη Ε., Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική: Παθητικά ηλιακά συστήματα, Θεσσαλονίκη: University Studio Press, 1985β

19. Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων

20. Axarli K., Demetriou M., The impact of shading on the thermal performance of a passive solar heating system: Experimental evaluation and Simulation analysis, November, 2005

21. Τσίππρας Στ. Κ., Το Οικολογικό Σπίτι, Εκδόσεις Λιβάνη, Αθήνα 1996

22. Τζανακάκη Ε., Αρχές & Τεχνολογίες Ενεργειακού Σχεδιασμού: θερμική προστασία κελύφους, παθητικά ηλιακά συστήματα, συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού. Αθήνα: ΚΑΠΕ, 2006
23. Φυσικός Δροσισμός στα Ξενοδοχεία – Κυκλάδες, Έκδοση του ΚΑΠΕ, Πρόγραμμα SAVE, 17η Γενική Διεύθυνση,
24. Anink David, Boonstra Chiel, Mak John, Handbook for a Sustainable Building, An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction & Refurbishment, James& James, April 1996
25. Brown T. Robert, Gillespie J. Terry, Microclimatic landscape Design
26. Lewis Owen J., Goulding John, Brophy Vivienne, Solar Bioclimatic Architecture, Brussels'97
27. Brown G. Z., Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies, John Wiley & Sons Limited, New
28. The Energy Research Group-School of Architecture-University College Dublin, Energy in Architecture- The European Passive Solar Handbook, Brussels 1996
29. Izard Jean-Louis, Architecture d'Ete: Construire pour le Comfort d'Ete
30. Colombo R., Passive Solar Architecture for Mediterranean Area, Design Handbook, February 1994.
31. Shaw Alexander, Energy Design for Architects, The Fairmont Press 1989
32. European Directory of Sustainable and Energy Efficient Buildings, James& James London'95
33. Goulding John, LewisOwen J., Steeners Theo C., Energy Conscious Design, A primer for Architects, The Energy Research Group, Brussels 1992

34. Stephens H.S. & Associates, Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Third European Conference on Architecture, Florence 1993
35. Koblin Wolfram, Kruger Eckehard, Schuh Ulrich, Handbuch Passive Nutzung der Sonnenenergie, Schriftenreihe des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau BMBau '84
36. Fernandes Eduardo de Oliveira, Yannis Simos, Energy and Buildings for Temperate Climates A
37. Τσίππρας Κ. Στ., Οικολογική Αρχιτεκτονική εκδόσεις Κέδρος, Αθήνα 2005
38. Coniglio M., Proposte di Design & Tecnologia Solare Soffice, Pirola Editore, Milano '85
39. Givoni Baruch, Climate Considerations in Building and Urban Design, Van Nostrand Reinhold, New York 1998
40. Κοντορούπης Γ. Μ., Φυτοτεχνικές Παρεμβάσεις Και Διαμόρφωση Περιβάλλοντος Χώρου και Χώρων Πρασίνου από τη σκοπιά Βιοκλιματικού Σχεδιασμού. Αθήνα 2004
41. Twidell J., Weir T., Renewable Energy Resources, H.S. Stephens & Associates, London '88
42. Watson D., Camous R., L'Habitat Bioclimatique de la Conception a la construction, L' Etincelle, Quebec 1983
43. Yannis Simos, Solar Energy And Housing Design Volume 1, Architectural Association, 1994
44. Ander G.D., Daylighting Performance and Design, Southern California Edison Rosemead, California 1986
45. Granata G., Solidi Energetici-Proposte di Design e Tecnologia Solare Soffice, Paravia & C. Editori, Torino 1981
46. COFEDES, Architecture, Climats, Energie: Outils et demarches pedagogiques, Paris 1986
47. Turner D.P., Window and Environment, McCorquodale 1969

48. South London Consortium Group Dept of Energy in assoc. with SLC Energy Group, Efficient Housing - A Demonstration of the integrated approach to energy efficient housing at Lawrie Pk. Rd. 1985
49. Lebens R., Passive Solar Heating Design, Applied Science Publishers, 1980
50. Chandra S., A Design Procedure to size Windows for Naturally Ventilated Rooms, Florida Solar Energy Center
51. Montgomery R., Passive Solar Journal Vol.4, No 1
52. Arq.Rogerio Versage, Prof. Roberto Lambert, [TUTORIAL OPENSTUDIO 1.0] Plugin do EnergyPlus para Sketchup, Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Civil, 2010

## **ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

<http://buildinggreen.gr/articles>

[http://hellainvest.com.gr/en/housing\\_estate/bioclimatic\\_design](http://hellainvest.com.gr/en/housing_estate/bioclimatic_design)

<http://www.blog.moudaniwn.gr>

<http://www.tovima.gr/science/article/?aid=182717>

<http://www.tiemme.gr/content.aspcatid.com>

<http://www.staticsart.gr>

<http://www.learn.londonmet.ac.uk>

<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/tree.htm>

<http://www.builddesk.com/sw56126>

<http://www.charlottetentandawning.com/architecturalsunshadesandlouvers.htm>

<http://www.the-green-house.net/passive-solar-energy>

[www.azsolarcenter.com](http://www.azsolarcenter.com)

<http://www.cres.gr>

[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

[www.battlemccarthy.com](http://www.battlemccarthy.com)

[www.michanikosapps.gr](http://www.michanikosapps.gr)

[www.foreignaffairs.gr](http://www.foreignaffairs.gr)

[www.enforce-eeu.eu](http://www.enforce-eeu.eu)

[www.cospico.gr](http://www.cospico.gr)

[www.greekarchitects.gr](http://www.greekarchitects.gr)

[www.vasglass.gr](http://www.vasglass.gr)

[www.legakisglass.com](http://www.legakisglass.com)

[www.sunandshadow.gr](http://www.sunandshadow.gr)

[www.ktizontastomellon.gr](http://www.ktizontastomellon.gr)

[www.yalodomi.gr](http://www.yalodomi.gr)

[www.varnakiotis.com](http://www.varnakiotis.com)

[www.klountzosglass.gr](http://www.klountzosglass.gr)

[www.triedrasi.gr](http://www.triedrasi.gr)

[www.sellandbuild.com](http://www.sellandbuild.com)

[www.rockwool.gr](http://www.rockwool.gr)

[www.anelixi.org](http://www.anelixi.org)

[www.sprayfoam.gr](http://www.sprayfoam.gr)

[www.thermomaster.gr](http://www.thermomaster.gr)

[www.buildnet.gr](http://www.buildnet.gr)

[www.rizakos.gr](http://www.rizakos.gr)

[www.energontexniki.gr](http://www.energontexniki.gr)

[www.econews.gr](http://www.econews.gr)

[www.libekat.com](http://www.libekat.com)

[www.otherside.gr](http://www.otherside.gr)

[www.building.dow.com](http://www.building.dow.com)

[www.apelapsyrou.weebly.com](http://www.apelapsyrou.weebly.com)

[www.ebooks.edu.gr](http://www.ebooks.edu.gr)

[www.bioklimatikospiti.blogspot.gr](http://www.bioklimatikospiti.blogspot.gr)

<http://www.construction21.org/espana/data/sources/users/8/docs/openstudio-paso-a-paso.pdf>

<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/documentation.html>