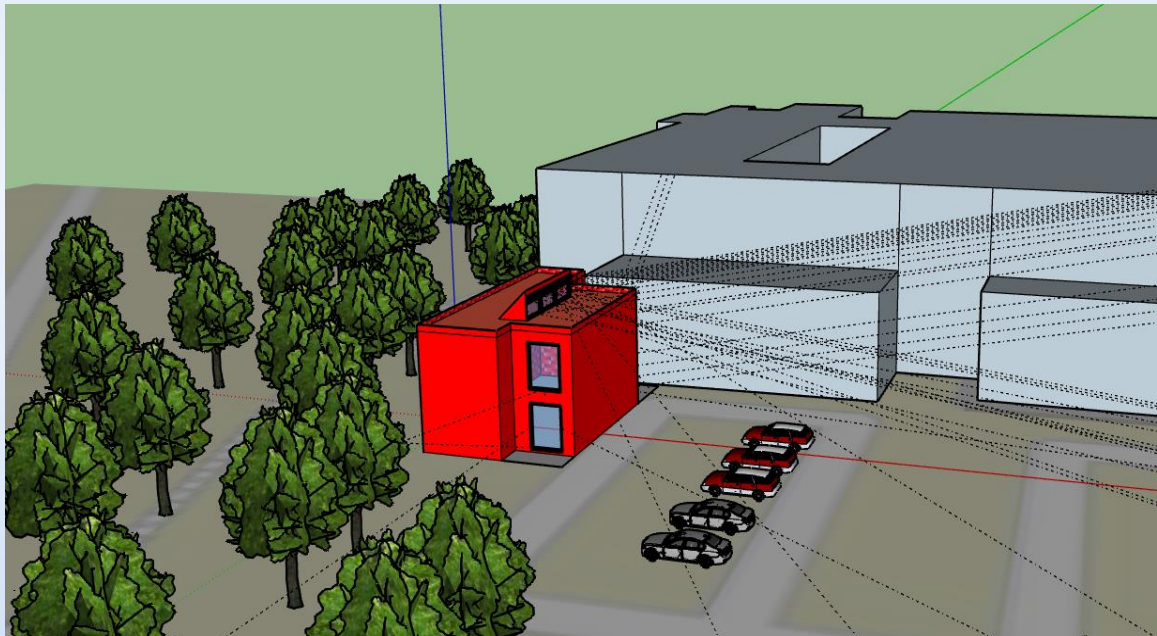




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ  
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ενεργειακή ανάλυση παθητικών συστημάτων σε Κτίρια Σχεδόν  
Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης με χρήση των  
λογισμικών PHPP και DesignPH.



Δημήτριος Παλλαντζάς, ΑΜ: 09111079  
Αθήνα, Μάρτιος 2019

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα. Ειρήνη Κορωνάκη για την υπομονή της στις πολλές αλλαγές που πραγματοποίησα κατά τη διάρκεια της εργασίας, αλλά και για τις συμβουλές της σε κρίσιμα σημεία της πορείας της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της επιτροπής για την κατανόησή τους στο πρόβλημα υγείας μου, που είχε ως συνέπεια την καθυστέρηση της παρουσίασης της εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ σε τρεις πολύ σημαντικούς ανθρώπους: στον καθηγητή Dr. Wolfgang Feist, δημιουργό του προτύπου Παθητικού Κτιρίου και ιδρυτή του ομώνυμου Ινστιτούτου στη Γερμανία, χάρη στον οποίο πήρα γνώσεις και πολύτιμες εμπειρίες κατά την πρακτική μου στο Ινστιτούτο στο Darmstadt, στον καθηγητή Roberto Iannetti, καθηγητή στο Πολυτεχνείο του Μιλάνου, για την επεξηγηματικότητα, τις ατελείωτες ώρες διδασκαλίας και τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσε στο βιοκλιματικό σχεδιασμό και τη φυσική των κτιρίων και τον Στέφανο Παλλαντζά, Πολιτικό Μηχανικό ΕΜΠ, πρόεδρο του Ελληνικού Ινστιτούτου Παθητικού Κτιρίου, για τις ουσιαστικές γνώσεις και εμπειρία που αποκόμισα από πραγματικές εφαρμογές του προτύπου στην Ελλάδα.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT .....	7
ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ .....	8
ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΙΣ.....	11
<b>Μέρος Α΄: Θεωρητική προσέγγιση .....</b>	<b>12</b>
1. Περιβάλλον.....	12
1.1 Αποτελέσματα της ταχείας κλιματικής αλλαγής .....	13
1.2 Αιτίες της κλιματικής αλλαγής.....	18
1.2.1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου .....	18
1.2.2 Φαινόμενο θερμικής νησίδας .....	21
1.3 Συνέπειες και ενέργειες.....	23
1.3.1 Πρωτόκολλο του Κιότο.....	23
1.3.2 Ευρωπαϊκές στρατηγικές.....	24
2. Ενεργειακή φτώχεια.....	27
2.1 Το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας.....	27
2.2 Κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ενεργειακής φτώχειας .....	26
2.3 Η κατάσταση στην Ελλάδα .....	30
3. Ανάλυση του κτιρίου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας σύμφωνα με το ελληνικό κράτος.....	34
3.1 Εθνικό σχέδιο .....	34
3.2 Περιγραφή υφιστάμενης κατάστασης .....	35
3.3 Χαρακτηριστικά κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (ΚΣΜΚΕ).....	40
3.4 Πολιτικές, μέτρα και δράσεις.....	43
4. Το Παθητικό Κτίριο.....	44
4.1 Ιστορία .....	44

4.2 Έννοια του παθητικού κτιρίου .....	50
4.3 Λογισμικό .....	51
4.4 Οικονομική σκοπιμότητα κατασκευής παθητικών κτιρίων .....	55
4.5 Παράδειγμα οικονομικής ανάλυσης .....	56
5. Σχεδιασμός Παθητικού Κτιρίου .....	65
5.1 Αρχιτεκτονική.....	66
5.1.1 Βιοκλιματικός σχεδιασμός ανά κλίμα .....	66
5.1.2 Χωροθέτηση κτιρίου και διάταξη εσωτερικών χώρων .....	69
5.1.3 Προστασία από τον ήλιο και σκιασμός.....	71
5.1.4 Φωτισμός .....	76
5.2 Θερμομόνωση – Κουφώματα.....	80
5.2.1 Ιστορικά στοιχεία και εθνικός κανονισμός.....	80
5.2.2 Απώλειες Θερμότητας .....	79
5.2.3 Βασικές αρχές θερμομόνωσης .....	81
5.2.4 Επιλογή κουφωμάτων .....	88
5.3 Θερμογέφυρες – Αεροστεγανότητα .....	96
5.3.1 Ανάλυση θερμογεφυρών .....	96
5.3.2 Ανάλυση αεροστεγανότητας .....	100
5.4 Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση ενέργειας.....	104
5.4.1 Ποιότητα εσωτερικού αέρα.....	104
5.4.2 Κεντρικό και μη-κεντρικό σύστημα αερισμού .....	107
5.5 Παθητικά ηλιακά συστήματα – Φυσικός δροσισμός .....	113
5.5.1 Ανάλυση παθητικών ηλιακών συστημάτων .....	113
5.5.2 Φυσικός δροσισμός.....	117
5.6 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	120
5.6.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα .....	120
5.6.2 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.....	123



<b>Μέρος Β΄: Εφαρμογή του προτύπου Παθητικού Κτιρίου .....</b>	<b>127</b>
6. Κτίριο ορυκτολογίας Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου .....	125
6.1 Περιγραφή υφιστάμενης κατάστασης .....	126
6.2 Προσανατολισμός και κλιματικά δεδομένα.....	130
6.3 Επιλογή κατάλληλης στρατηγικής .....	131
7. Μελέτη ενεργειακής απόδοσης με χρήση των PHPP- DesignPH .....	133
7.1 Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης .....	133
7.2 Μοντελοποίηση σε παθητικό κτίριο.....	152
7.3 Σύγκριση.....	155
8. Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	158
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	159
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	161

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή κύριος στόχος είναι η ανάλυση της λειτουργίας των Κτιρίων Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας και η σημαντικότητα τους για το περιβάλλον της σημερινής εποχής.

Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη, ένα θεωρητικό και ένα πρακτικό. Το θεωρητικό μέρος αποτελείται από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, το πρόβλημα της ενεργειακής φτώχειας στην Ελλάδα, την ανάγκη αναθεώρησης της ελληνικής νομοθεσίας και το σχεδιασμό ενός κτιρίου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας με το πρότυπο του παθητικού κτιρίου. Στο πρακτικό μέρος, επιλέχθηκε το κτίριο Ορυκτολογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, ως το υπό μελέτη κτίριο, και έγινε σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης του ως συμβατικό και ως κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Η ενεργειακή ανάλυση και μοντελοποίηση του κτιρίου έγινε με τη χρήση των λογισμικών PHPP και DesignPH.

Η εργασία, μπορεί να βοηθήσει οποιονδήποτε σπουδαστή θετικών επιστημών να κατανοήσει τις βασικές αρχές της φυσικής των κτιρίων, το βιοκλιματικό σχεδιασμό και την εφαρμογή του προτύπου του Παθητικού Κτιρίου. Ωστόσο, δεν επαρκεί για να καλύψει το εύρος των γνώσεων που απαιτούνται για το σχεδιασμό ενός κτιρίου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

## **ABSTRACT**

In this thesis, the main objective is to analyze the operation of Nearly Zero Energy Consumption Buildings and their significance to the environment of today's era.

The thesis is divided into two parts, one theoretical and one practical. The theoretical part consists of the effects of climate change, the problem of energy poverty in Greece, the lack of national legislation and the design of a building of virtually zero energy consumption through the passive house building concept. In the practical part, the Mineralogy Building of the National Technical University of Athens was selected as the building under study and was made a comparison of its energy efficiency as a conventional and as a zero-energy building. The energy simulation modeling of the building was done using the PHPP and DesignPH software.

The work can help any student of positive science to understand the basic principles of building physics, the bioclimatic design of buildings and the implementation of the passive house concept. However, it is not enough to cover the breadth of knowledge needed to design a nearly zero-energy building.

## ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

[1]**Θερμομόνωση κτιρίου:** Με τη θερμομόνωση, επιδιώκεται η μείωση της ταχύτητας ανταλλαγής θερμότητας μέσα από τα τοιχώματα που χωρίζουν περιοχές ή χώρους διαφορετικής θερμοκρασίας. Η θερμομόνωση συνίσταται από ένα σύνολο κατασκευαστικών στοιχείων (υλικών, μελετών, διαδικασιών και μεθόδων κατασκευής) και συνδέεται άμεσα με το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του κτιρίου.

[2]**Μετάδοση θερμότητας με αγωγή:** Βασίζεται στην ιδιότητα των μορίων των υλικών σωμάτων να προσλαμβάνουν θερμότητα από γειτονικά μόρια υψηλότερης θερμοκρασίας και να μεταδίδουν τη θερμότητά τους σε γειτονικά μόρια χαμηλότερης θερμοκρασίας. Στα στερεά σώματα η μετάδοση της θερμότητας επιτυγχάνεται εύκολα λόγω της πολύ μικρής απόστασης μεταξύ των μορίων του κάθε σώματος. Στα υγρά, την αγωγιμότητα, βοηθούν οι ελαστικές κρούσεις των μορίων. Στα μέταλλα, η ροή της θερμότητας με αγωγή οφείλεται κυρίως στη διάχυση των ελεύθερων ηλεκτρονίων της εξωτερικής στοιβάδας.

[3]**Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά:** Βασίζεται στη δυνατότητα μεταβίβασης της θερμότητας σε υγρά ή αέρα σώματα μέσω της μετακίνησης των θερμών μορίων. Στα κτίρια, με τη φυσική κυκλοφορία του αέρα διακινούνται μεγάλα ποσά θερμότητας. Εκτός από τη φυσική κυκλοφορία του αέρα, που οφείλεται σε θερμοκρασιακές μεταβολές μέσα στους χώρους, μετακινήσεις του αέρα των χώρων προκαλούν και οι άνεμοι, οι κινήσεις των ανθρώπων, τα ανοίγματα θυρών και παραθύρων, η λειτουργία ανεμιστήρων, κ.α.

[4]**Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία:** Συμβαίνει μεταξύ στερεών σωμάτων που διαχωρίζονται από αέρα και μεταδίδεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

[5]**Συντελεστής εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας:** Είναι η αναλογία εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας ενός σώματος προς τη θερμική ακτινοβολία μελανού σώματος. Μετράται από 0 έως 1.

[6]**Ειδική θερμότητα (c):** Ονομάζεται η ποσότητα ενέργειας που χρειάζεται, ώστε να υψωθεί η θερμοκρασία της μονάδας μάζας ενός υλικού κατά 1 °C. Οι μονάδες της ειδικής θερμότητας είναι το 1 kcal / kg °C ή το 1 Wh / kg K.

[7]**Θερμοχωρητικότητα (Q):** Είναι η ικανότητα ενός κατασκευαστικού στοιχείου να αποθηκεύει, κατά τη θέρμανση του, ποσότητες θερμότητας. Η θερμοχωρητικότητα υπολογίζεται από τη σχέση  $Q = m \times c \times \Delta T$ , όπου m η μάζα του στοιχείου, c η ειδική θερμότητά του και  $\Delta T$  η διαφορά θερμοκρασίας. Μετράται σε kcal.

[8]**Συντελεστής θερμοχωρητικότητας (W):** Εκφράζει την ποσότητα της ενέργειας που αποθηκεύεται σε 1m<sup>2</sup> στοιχείου κατασκευής, όταν η διαφορά θερμοκρασίας

μεταξύ του στοιχείου και του αέρα που το περιβάλλει είναι 1°C. Μετράται σε kcal / m<sup>2</sup> °C.

[9]**Συντελεστής θερμοπερατότητας (U-Value):** Είναι η ποσότητα θερμότητας ανά μονάδα χρόνου που περνά μέσα από 1m<sup>2</sup> στοιχείου κατασκευής με πάχος d(m), όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών αυτών είναι ίση με 1°C. Μετράται σε W / m<sup>2</sup>K.

[10]**Θερμική αντίσταση (R):** Είναι η αντίσταση των στοιχείων στη ροή θερμότητας διαμέσου ομοιογενούς υλικού για διαφορά θερμοκρασίας στις δυο πλευρές του στοιχείου 1°C. Μετράται σε m<sup>2</sup>K / W.

[11]**Εσωτερική επιφανειακή αντίσταση (R<sub>si</sub>):** Είναι η αντίσταση στη ροή θερμότητας πάνω στην εσωτερική επιφάνεια του κατασκευαστικού στοιχείου. Μετράται σε m<sup>2</sup>K / W.

[12]**Εξωτερική επιφανειακή αντίσταση (R<sub>se</sub>):** Είναι η αντίσταση στη ροή θερμότητας πάνω στην εξωτερική επιφάνεια του κατασκευαστικού στοιχείου. Μετράται σε m<sup>2</sup>K / W.

[13]**Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ):** Είναι η ποσότητα θερμότητας ανά μονάδα χρόνου που περνά μέσα από τις απέναντι πλευρές ομοιογενούς υλικού πάχους 1m, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών αυτών είναι ίση με 1°C. Μετράται σε W / mK

[14]**Υγρασία:** Είναι η περιεκτικότητα (κατά βάρος ή % μέρη) μιας ουσίας σε νερό. Ειδικά για τον αέρα, υγρασία είναι η περιεκτικότητα του σε νερό με τη μορφή υδρατμών. Αυτή εξαρτάται από τη δυνατότητα απόληψης ποσοτήτων νερού (ελεύθερες επιφάνειες νερού ή υγρά σώματα στο χώρο και εκτεθειμένα σε ρεύματα αέρα, ανθρώπινη εκπνοή και ιδρώτα) από τον αέρα, από τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα, καθώς και από την επιφανειακή θερμοκρασία των τοιχωμάτων ή άλλων αντικειμένων στο χώρο. Με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα αυξάνεται η δυνατότητα του να απορροφά υγρασία, ενώ με τη μείωση της θερμοκρασίας του μπορεί να επέλθει κορεσμός και στη συνέχεια να εμφανιστεί υγροποίηση των υδρατμών (εμφάνιση σταγόνων στην επιφάνεια των ψυχρότερων αντικειμένων ή τοιχωμάτων)

[15]**Σημείο δρόσου:** Είναι η θερμοκρασία στην οποία αρχίζει η υγροποίηση των υδρατμών του αέρα όταν αυτός ψύχεται.

[16]**Απόλυτη υγρασία (w):** Είναι η ποσότητα υδρατμών σε gr, που περιέχεται στη μονάδα όγκου αέρα και συνήθως μετράται σε gr / m<sup>3</sup>.

[17]**Σημείο κορεσμού ή μέγιστης υγρασίας:** Είναι η μέγιστη ποσότητα υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει 1m<sup>3</sup> αέρα σε ορισμένη θερμοκρασία του συστήματος αέρα – χώρος και σε δεδομένη ατμοσφαιρική πίεση. Εκφράζεται σε gr / m<sup>3</sup>.

[18] **Σχετική υγρασία αέρα ( $\phi$ ):** Είναι ο λόγος της περιεκτικότητας υδρατμών στον αέρα σε καθορισμένη θερμοκρασία προς τη μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα υδρατμών στη θερμοκρασία αυτή, επί τοις εκατό.

[19] **Πρωτεύουσα ή πρωτογενής ενέργεια:** Είναι η ενέργεια από τον ήλιο, από το έδαφος και γενικότερα η ενέργεια, την οποία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε χωρίς να την υπάγουμε σε επεξεργασία.

[20] **Θερμική άνεση:** Ορίζεται η κατάσταση του μυαλού, κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες (ASHRAE).

## ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΙΣ

ΚΣΜΚΕ = Κτίριο Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας

Ε.Ε. = Ευρωπαϊκή Ένωση

ΑΠΕ = Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΕΛΣΤΑΤ = Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία

ΚΕΝΑΚ = Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου

ΚΘΚ = Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίου

ΘΨΚ = Θέρμανση Ψύξη και Κλιματισμός

ΖΝΧ = Ζεστό Νερό Χρήσης

Η/Μ = Ηλεκτρομηχανολογικά

ΣΗΘ = Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

ΠΕΑ = Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης

ΠΚ = Παθητικό Κτίριο

ΣΚ = Συμβατικό Κτίριο

PHI = Passive House Institute Dr. Wolfgang Feist

ΕΙΠΑΚ = Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου

Φ/Β = Φωτοβολταϊκά συστήματα

ΓΑΘ = Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

# Μέρος Α΄: Θεωρητική προσέγγιση

## Κεφάλαιο 1

### Περιβάλλον

#### Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει ολοένα και περισσότερο τον πλανήτη και μέσα στα επόμενα χρόνια κάποια φαινόμενα θα είναι μη αναστρέψιμα. Για να αντιμετωπίσουμε αποτελεσματικά την κλιματική αλλαγή πρέπει, μακροπρόθεσμα, να μειώσουμε σε σημαντικό βαθμό την κατανάλωση ενέργειας. Αυτό σημαίνει αποδοτική χρήση της διαθέσιμης ενέργειας, αλλά κυρίως να τεθεί ως βασική προτεραιότητα η **εξοικονόμηση ενέργειας**. Οι πόλεις και οι τοπικές αρχές, οφείλουν να έχουν σημαντικό ρόλο στην προστασία του κλίματος τόσο σε επίπεδο δήμου όσο και σε επίπεδο περιφέρειας. Αξίζει να αναφερθεί, ότι κατά μέσο όρο, περίπου το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στις βιομηχανοποιημένες χώρες αφορά τα κτίρια. Γι' αυτό το λόγο, η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στη συνολική ενεργειακή αξιολόγηση μιας πόλης, ενός δήμου ή μιας αστικής περιοχής. Στο πλαίσιο αυτό, λόγω του μεγάλου κύκλου ζωής των κτιρίων, μια συνεπής προσέγγιση είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Οι κυβερνήσεις των περισσότερων χωρών, κατάφεραν, με 10 χρόνια καθυστέρηση, να συμφωνήσουν σε ένα πλαίσιο, κοινό για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, γνωστό πλέον ως «συμφωνία του Παρισιού», COP21<sup>1</sup>. Το πλαίσιο πολιτικής που πρέπει να ακολουθηθεί για το κλίμα και την εξοικονόμηση ενέργειας είναι:

- Να συμβάλει στη δημιουργία ενός κοινού νομικού πλαισίου που θα ισχύει σε όλες τις χώρες
- Να περιλάβει σαφείς, δίκαιους και φιλόδοξους στόχους για όλες τις χώρες με βάση τις, παγκόσμια εξελισσόμενες, οικονομικές και εθνικές περιστάσεις
- Να αναθεωρεί τακτικά βάσει της ανάγκης για διαρκή επικαιροποίηση των επιστημονικών δεδομένων αναφορικά με την επίτευξη του στόχου των 2 βαθμών Κελσίου
- Να καταστήσει όλες τις χώρες υπόλογες – τη μια για την άλλη και όλες για το κοινό - για την εφαρμογή των συμφωνηθέντων.

---

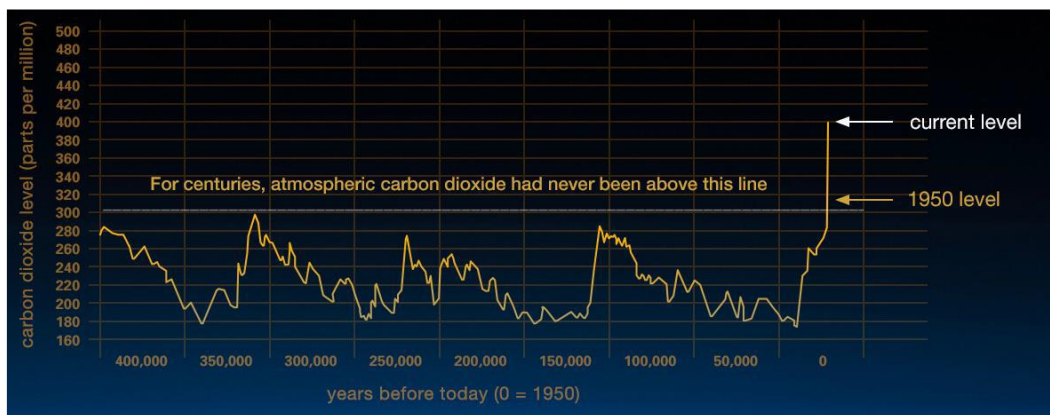
<sup>1</sup> COP = Conference Of Parties, with 'parties' meaning the countries that ratified the UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in 1992 at the Earth Summit in Rio de Janeiro.





## 1.1 Αποτελέσματα της ταχείας κλιματικής αλλαγής

### Διοξείδιο του άνθρακα



Εικόνα 1.1: Επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με την πάροδο των ετών [44]

Στο παραπάνω γράφημα, εμφανίζεται το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα συναρτήσει του χρόνου. Βασίζεται στη σύγκριση ατμοσφαιρικών δειγμάτων που περιέχονται σε πάγο και οι πιο πρόσφατες μετρήσεις, παρέχουν αποδείξεις ότι το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα έχει αυξηθεί δραματικά μετά τη βιομηχανική επανάσταση (1760-1860 μ.Χ.). Ακόμη, τα κλιματικά δεδομένα στη γη έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της ύπαρξής της. Τα τελευταία 650.000 χρόνια έχουν υπάρξει 7 παγετώδεις εξάρσεις και 7 υφέσεις, με το αιφνίδιο τέλος της εποχής των παγετώνων να χρονολογείται 7.000 πριν την αρχή της «μοντέρνας» κλιματικής περιόδου και του ανθρώπινου πολιτισμού. Οι περισσότερες από αυτές τις κλιματικές αλλαγές αποδίδονται σε πολύ μικρές διακυμάνσεις στην τροχιά της γης, η οποία αλλάζει το ποσό της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνει ο πλανήτης μας.

## Επίπεδο στάθμης της θάλασσας

### SATELLITE DATA: 1993-PRESENT

Data source: Satellite sea level observations.  
Credit: NASA Goddard Space Flight Center

### RATE OF CHANGE

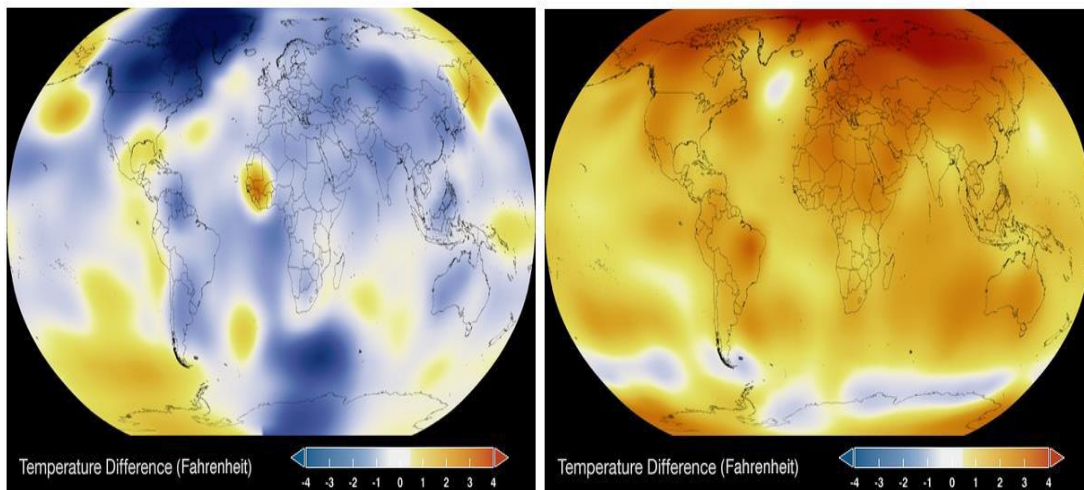
↑ 3.4  
millimeters per year  
margin:  $\pm 0.4$



Εικόνα 1.2: Μεταβολή του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας από το 1993 έως το 2016 [45]

Στο γράφημα, φαίνεται η αλλαγή στη στάθμη της θάλασσας από το 1993, όταν και παρατηρήθηκε πρώτη φορά, μέσω δορυφόρων. Το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας έχει αυξηθεί από δυο παράγοντες, άμεσα συνδεδεμένους με την υπερθέρμανση του πλανήτη. Τη διάλυση των πάγων και την απόδοσή τους σε νερό και την εξάτμιση του θαλασσινού νερού εξαιτίας της υπερθέρμανσης. Δραματικό είναι το γεγονός ότι τον τελευταίο αιώνα το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας αυξήθηκε κατά 17 εκατοστά, ενώ την τελευταία δεκαετία η αύξηση είναι διπλάσια.

## Αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας

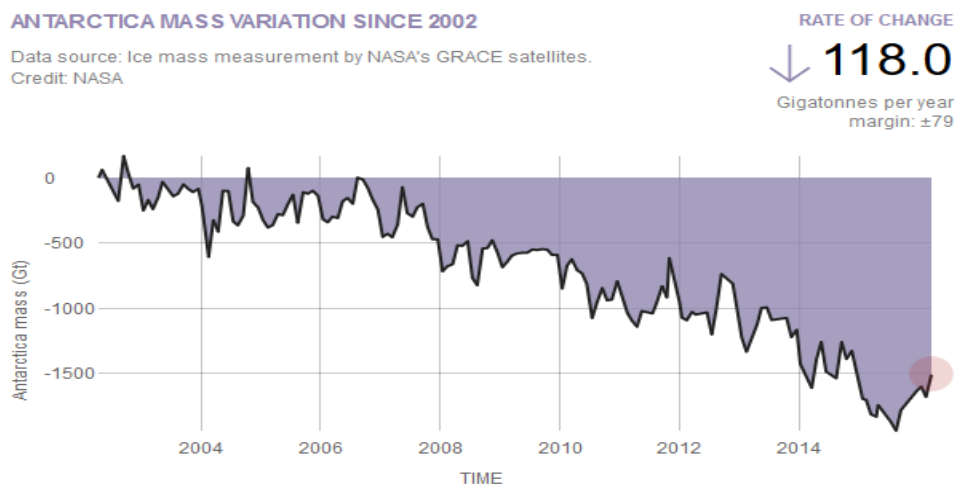


Εικόνα 1.3: Θερμοκρασιακή άνοδος στη γη από το 1884 έως το 2015[46]

Η κατά μέσο όρο αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης από το 1884 έως το 2015. Με σκούρο μπλε εμφανίζονται οι περιοχές, οι οποίες είναι ψυχρότερες από το μέσο όρο. Με σκούρο κόκκινο οι περιοχές, οι οποίες είναι

θερμότερες από το μέσο όρο (Αριστερά 1884 – Δεξιά 2015). Οι παγκόσμιες ανακατασκευές της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης, δείχνουν ότι η θέρμανση της ξεκινά από το 1880. Το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης της θερμοκρασίας ξεκίνησε τη δεκαετία του '70, ενώ τα 10 θερμότερα χρόνια σημειώθηκαν μέσα στα τελευταία 12 (2003-2015). Η θερμότερη χρονιά που καταγράφηκε ήταν το 2015 (χρονιά που έγινε και η μέτρηση, ενώ πιθανότατα αυτή τη στιγμή να είναι η φετινή).

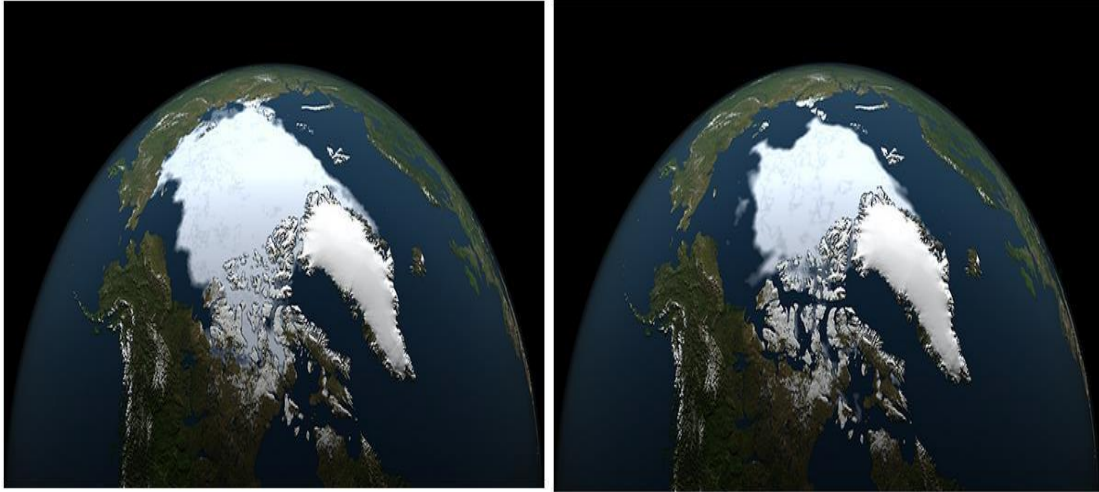
### Συρρίκνωση του επιπέδου των πάγων



Εικόνα 1.4: Επίπεδο παγετώνων τα τελευταία 20 χρόνια [47]

Στο γράφημα, φαίνεται ότι η ήπειρος της Ανταρκτικής χάνει περίπου 134 γιγατόνους πάγου ετησίως από το 2002. Το επίπεδο πάγων της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής μειώνεται αισθητά. Σύμφωνα με τα στοιχεία από την ανάκαμψη της βαρύτητας και «πειράματος» κλίματος της NASA, η Γροιλανδία έχασε 150 έως 250 κυβικά χιλιόμετρα πάγου ετησίως μεταξύ 2002 και 2006, ενώ η Ανταρκτική έχασε περίπου 152 κυβικά χιλιόμετρα πάγου μεταξύ 2002 και 2005.

Πτώση του επιπέδου των πάγων υπάρχει και στην Αρκτική. Τόσο η έκταση, όσο και το πάχος του πάγου στη θάλασσα έχει μειωθεί ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες. Ο πάγος της θάλασσας της Αρκτικής φτάνει στο ελάχιστο κάθε Σεπτέμβριο. Σήμερα ο πάγος μειώνεται με ρυθμό **13,4% ανά δεκαετία**, σε σχέση με το μέσο όρο της περιόδου 1981 – 2010.



Εικόνα 1.5: Εικόνες έκτασης του πάγου. Αριστερά το 1992 και δεξιά το 2012 [47]

Οι εικόνες δείχνουν τον ετήσιο ελάχιστο πάγο της Αρκτικής από το 1979 (αριστερή εικόνα), βασισμένες σε δορυφόρους. Η έκταση του πάγου στη θάλασσα το 2012 είναι η χαμηλότερη στο δορυφορικό αρχείο.

### **Ακραία καιρικά φαινόμενα**



Εικόνα 1.6: Παράδειγμα ακραίου καιρικού φαινομένου, όπως ο τυφώνας [48]

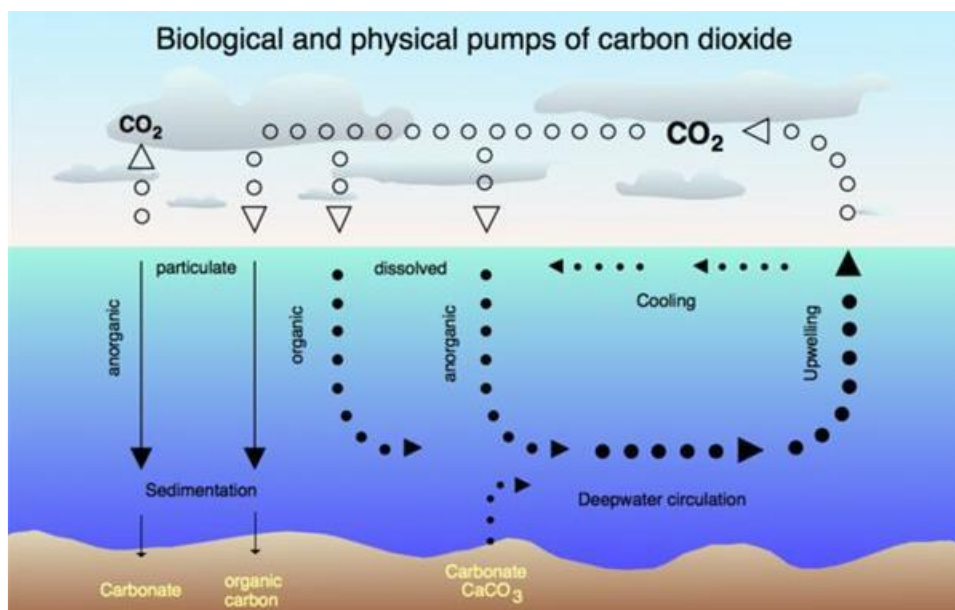
Ο αριθμός των ακραίων γεγονότων υψηλών θερμοκρασιών στις Ηνωμένες Πολιτείες αυξάνεται, ενώ ο αριθμός των ακραίων γεγονότων χαμηλής θερμοκρασίας μειώνεται από το 1950. Υπάρχουν 20 θύελλες και τυφώνες κατηγορίας 4 ή 5 που παρουσιάστηκαν στο βόρειο ημισφαίριο το 2015.

*«Μόνο τους τελευταίους μήνες, παρατηρήσαμε υπερβολική ζέστη στη Δυτική Ευρώπη, τον Καναδά, την Αλάσκα, τις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, το Τέξας, την Ιαπωνία και την Αλγερία, οι οποίες έθεσαν ένα νέο ρεκόρ θερμοκρασίας για την Αφρική. Η Ελλάδα, η Σκανδιναβία, η Καλιφόρνια και η Σιβηρία υπέφεραν από ξηρασία και πυρκαγιές, ενώ η Ιαπωνία, οι ΗΠΑ, η Ευρώπη και η Ινδία χτυπήθηκαν με καταστροφικές πλημμύρες. Ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη οδηγεί σε περισσότερες*

ακραίες θερμοκρασίες και αυτό έχει επιβεβαιωθεί πλέον από την παγκόσμια ανάλυση δεδομένων. Βλέπουμε πέντε φορές περισσότερες μηνιαίες αναφορές για υψηλές θερμοκρασίες – όπως ο «πιο ζεστός Ιούλιος στην ιστορία στην Καλιφόρνια». Αναλύει ο καθηγητής **Stefan Rahmstorf**, ειδικός σε θέματα φυσικής των ωκεανών και επικεφαλής για τα θέματα του κλίματος στο ινστιτούτο Potsdam. [68]

## Οξίνιση των ωκεανών

Οι ωκεανοί είναι οι κύριοι ρυθμιστές του παγκόσμιου κλίματος και κρύβουν τεράστια ποικιλία ειδών και οικοσυστημάτων. Περίπου το 90% της βιομάζας του πλανήτη βρίσκεται στους ωκεανούς, από μικρόβια, μέχρι τα πιο έξυπνα ζώα της Γης, τις φάλαινες. Παρόλη την σημαντικότητα των ωκεάνιων, των θαλάσσιων και παράκτιων οικοσυστημάτων, ο υδάτινος αυτός κόσμος δε λαμβάνει της αναγκαίας προσοχής. Τα προβλήματα που αφορούν τα οικοσυστήματα αυτά, απλώς τυγχάνουν μιας επιφανειακής/πρόχειρης επεξεργασίας και αντιμετώπισης σε ότι αφορά τόσο στη λήψη αποφάσεων, όσο και στην ολοκλήρωση σχεδίων δράσης και μελετών. Ένας πολύ σημαντικός δείκτης της υποβάθμισης των ωκεανών, είναι το φαινόμενο της οξίνισής τους, δηλαδή της μείωσης του pH τους. Με λίγα λόγια, οι ωκεανοί μπορούν να λειτουργούν ως «παγίδες» διοξειδίου του άνθρακα, μετριάζοντας μάλιστα έτσι τα αποτελέσματα των αυξημένων εκπομπών του αερίου αυτού εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας, αυξάνοντας όμως ταυτόχρονα την οξύτητα του νερού. Συγκεκριμένα, απορροφούν μεταξύ του ¼ και ½ του ανθρωπογενούς CO<sub>2</sub>, ενώ από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης η οξίνιση της επιφάνειας των ωκεανών αυξήθηκε κατά 30%. Ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνεται η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας υπολογίζεται ότι είναι περίπου 100 φορές μεγαλύτερος τα τελευταία 650.000 χρόνια.



Εικόνα 1.7: Κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα [49]



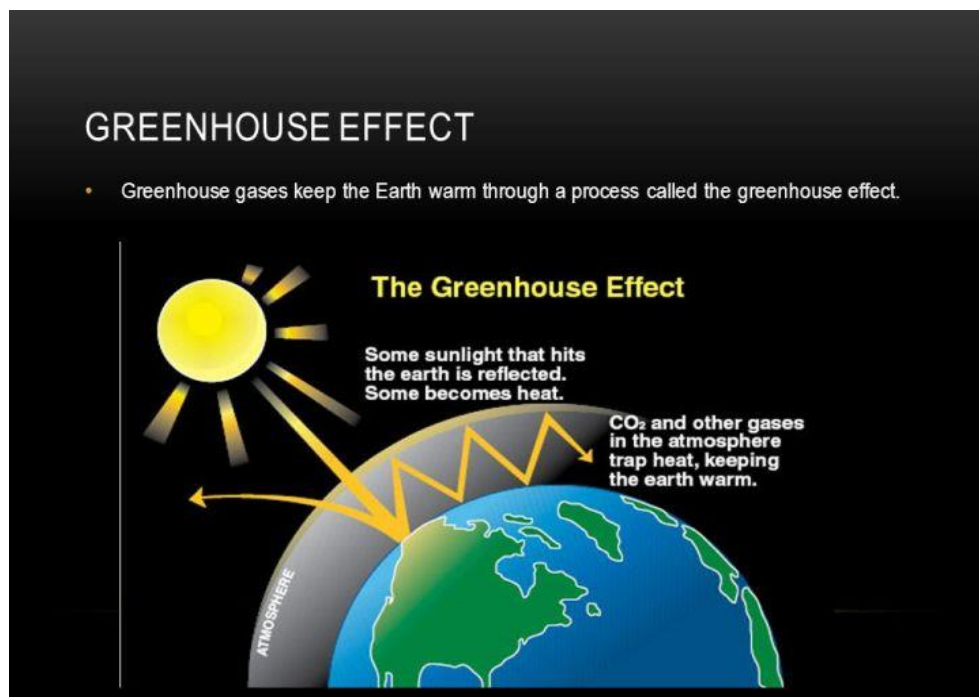
## 1.2 Αιτίες της κλιματικής αλλαγής

Τα αίτια για την κλιματική αλλαγή ποικίλλουν. Για κάποια ευθύνεται ο άνθρωπος και η δραστηριότητά του και άλλα εκπίπτουν φυσικά. Θα παρουσιαστούν αυτά, για τα οποία ευθύνονται οι ανθρώπινες παρεμβάσεις.

### 1.2.1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Ένα στρώμα αερίων του θερμοκηπίου, πρωτίστως υδρατμοί, (συμπεριλαμβανομένων πολύ μικρότερων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και οξειδίου του αζώτου), ενεργεί ως θερμική κάλυψη για τη Γη, απορροφώντας θερμότητα και ζεσταίνοντας την επιφάνεια σε ένα μέσο όρο ζωής 15 βαθμών Κελσίου.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά την ατμόσφαιρα και θερμαίνει την επιφάνεια της γης. Αυτή η θερμότητα εκπέμπεται ξανά πίσω προς το διάστημα, με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας μακρών κυμάτων. Η θερμότητα διατηρείται και απορροφάται από αέρια του θερμοκηπίου, ενώ εκπέμπεται εκ νέου θερμαίνοντας τη Γη και την κατώτερη ατμόσφαιρα.



Εικόνα 1.8: Πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ της ατμόσφαιρας της γης [50]

*“Το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα του πλανήτη Γη, σχετίζεται με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του αέρα, που οφείλεται στην αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα”* [69]. Στις αρχές του 18<sup>ου</sup> αιώνα, το επίπεδο

συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> ήταν 280 ppm<sup>2</sup>, ενώ προς το παρόν είναι ήδη 402 ppm και αυξάνεται με ρυθμό άνω των 2 ppm / έτος.

Ακόμη, χρόνο με το χρόνο παρατηρείται συνεχόμενη αύξηση της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου (GHG)<sup>3</sup>, τα οποία προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως:

- Αποψίλωση και μεταβολές στη χρήση της γης
- Καύση ορυκτών καυσίμων
- Φυσικές καταστροφές

Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι, ως επί το πλείστον, ένα ζήτημα, το οποίο οφείλεται στη μεγάλη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Ας δούμε αναλυτικά κάποιες από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, που επιφέρουν τα προβλήματα στην ατμόσφαιρα.

**Αποψίλωση:** Αφορά το 17%<sup>4</sup> της επιπλέον συγκέντρωσης CO<sub>2</sub>, εξαιτίας της ανθρώπινης παρέμβασης. Τα δάση, παγκοσμίως, δεσμεύουν το διοξείδιο του άνθρακα και συμβάλλουν στην άμβλυνση της επικείμενης κλιματικής αλλαγής. Παρ' όλα αυτά, εν έτη 2019, επικρατεί έντονα το φαινόμενο αυτό, κυρίως στα τροπικά δάση όπως του Αμαζονίου, ενός δάσους, το οποίο είναι υπεύθυνο για το 20% της δέσμευσης του CO<sub>2</sub> παγκοσμίως και χαρακτηρίζεται ως «πνεύμονας του πλανήτη». Και όλα αυτά χωρίς να έχουμε λάβει υπ' όψιν τις πυρκαγιές.



Εικόνα 1.9: Εικόνα αποψίλωσης δασικής έκτασης [51]

**Καύση ορυκτών καυσίμων:** Η τέταρτη έκθεση αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Ομάδας Κλιματικής Αλλαγής (IPCC)<sup>5</sup> αναφέρει: “Είναι μεγαλύτερη από 90% η

<sup>2</sup> ppm = Parts Per Million

<sup>3</sup> GHG = Green House Gases

<sup>4</sup> 50% μεγαλύτερη, από την «ευθύνη» όλων των μέσων μαζικής μεταφοράς, που επιφέρει 8% συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα

<sup>5</sup> IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change

βεβαιότητα, ότι οι εκπομπές των αερίων που παγιδεύουν θερμότητα, από ανθρώπινες δραστηριότητες, έχουν προκαλέσει «το μεγαλύτερο μέρος των παρατηρούμενων αυξήσεων στην παγκόσμια μέση θερμοκρασία από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα»”. Υπάρχουν πολλά αέρια, τα οποία παγιδεύουν θερμότητα (από μεθάνιο έχω υδρατμούς), αλλά το διοξείδιο του άνθρακα θέτει το μεγαλύτερο κίνδυνο μη αναστρέψιμων αλλαγών εάν συνεχίσει να συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα με αυτό το ρυθμό.



Εικόνα 1.10: Παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου εξαιτίας των εργοστασίων [51]

*“Η ατμοσφαιρική ρύπανση συμβαίνει όταν ο αέρας περιέχει σκόνη, αέρια, καπνούς ή οσμή σε επιβλαβείς ποσότητες αερολυμάτων. Σύμφωνα με έρευνα για την παγκόσμια επιβάρυνση των ασθενειών για το 2010, υπολογίστηκε ότι η ρύπανση από μολυσμένα σωματίδια του εξωτερικού περιβάλλοντος του αέρα, οφείλεται για 3,3 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους ανά έτος παγκοσμίως”. [70]*

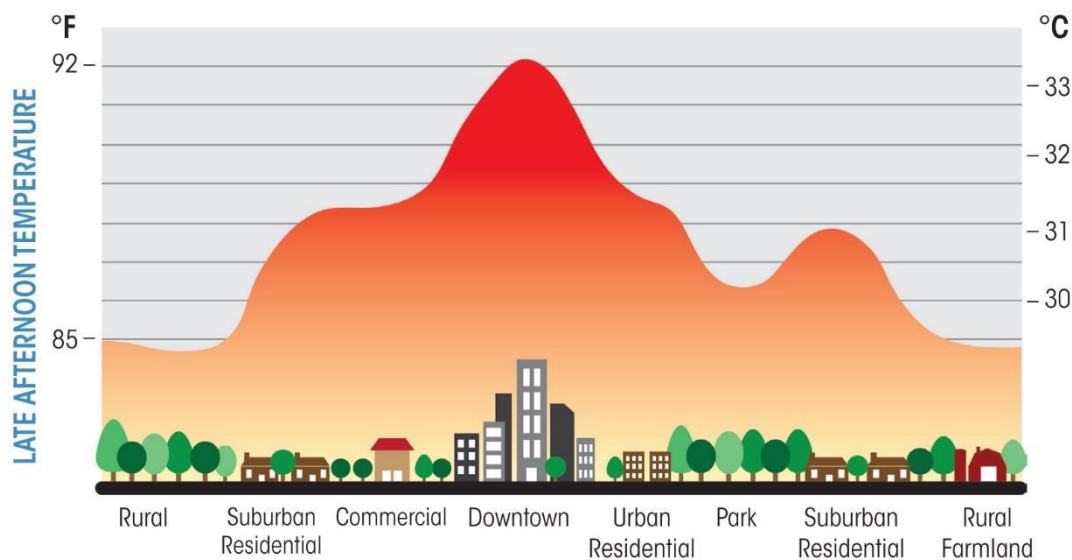
### 1.2.2 Φαινόμενο θερμικής νησίδας

Η αστική θερμική νησίδα είναι το φαινόμενο της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα και των επιφανειών στο εσωτερικό των πόλεων σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες στα περίχωρα των πόλεων. Το φαινόμενο της θερμικής νησίδας έχει παρατηρηθεί σε πολλές πόλεις παγκοσμίως. Η πρώτη αναφορά του φαινομένου έγινε το 1820 από τον Luke Howards, ο οποίος μετά από έρευνα, συνέκρινε τα δεδομένα της θερμοκρασίας στο κέντρο του Λονδίνου και της περιαστικής ζώνης του και κατέληξε στο συμπέρασμα μιας «τεχνητής αύξησης θερμότητας» στην πόλη σε σχέση με τα περίχωρα. Κατά τη διάρκεια του 19<sup>ου</sup> αιώνα, ο Renou έκανε παρόμοιες διαπιστώσεις για το Παρίσι και τον 20<sup>ο</sup> αιώνα ο Wilhelm Schmidt για τη Βιέννη.

Με βάση τις υπάρχουσες μετρήσεις, η ένταση της θερμικής νησίδας μπορεί να φτάσει έως και 15°C. Ακόμα, πρόσφατα απεδείχθη, ότι υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στην ένταση της θερμικής νησίδας και τον πληθυσμό των πόλεων. Παραδείγματος χάριν, ευρωπαϊκές πόλεις με πληθυσμό 4-5 εκατομμύρια κατοίκους παρουσιάζουν μια αύξηση της θερμοκρασίας της τάξεως των 8-10 °C. Συγκεκριμένα, μάλιστα, στην Αθήνα, η μέση αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι περίπου 6°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας στις πόλεις έχει σημαντικές ενεργειακές



συνέπειες, καθώς υπάρχει πολύ μεγαλύτερη ανάγκη ψύξης των κτιρίων το καλοκαίρι. Παράλληλα, για να καλυφθούν οι ανάγκες κλιματισμού, είναι αναγκαία η αύξηση των ηλεκτρικών φορτίων αιχμής, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένες απαιτήσεις ισχύος και στην παραγωγή πρόσθετων ρύπων στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Τέλος, η αύξηση της θερμοκρασίας στα αστικά κέντρα συμβάλλει στη μείωση της απόδοσης των κλιματιστικών μηχανημάτων έως και 25%. [Σταυρακάκη Μ.]: Ανάλυση φαινομένου ψυχρής νησίδας σε αστικά πάρκα, 2017



Εικόνα 1.11: Ανάλυση φαινομένου θερμικής νησίδας [52]

Η ισχύς ή αλλιώς η ένταση της θερμικής νησίδας μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$UHI_{max} = T_{urban} - T_{rural}$$

Όπου η  $T_{urban}$  είναι η θερμοκρασία στον αστικό ιστό, ενώ η  $T_{rural}$  είναι η αντίστοιχη θερμοκρασία στον υπαίθριο χώρο.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης θερμότητας προέρχεται κατά κύριο λόγο από τα κτίρια και τα μέσα μεταφοράς. Πιο συγκεκριμένα, οι αυξημένες ανάγκες για θέρμανση το χειμώνα και αντίστοιχα για δροσισμό το καλοκαίρι έχουν ως αποτέλεσμα την αποβολή θερμότητας από τα κτίρια προς τον περιβάλλοντα αέριο χώρο, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο τη θερμοκρασία. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι αποτέλεσμα ενός θερμικού πλεονάσματος, που προκαλεί διαταραχή στο θερμικό ισοζύγιο των πόλεων. Αναλυτικότερα, οι κύριοι παράγοντες που συντελούν στην ανάπτυξη του φαινομένου, είναι:

- **Γεωμετρία κτιρίων και δρόμων:** Μεγάλο μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από κτίρια, δρόμους, πεζοδρόμια και άσφαλτο υφίσταται πολλαπλές ανακλάσεις και εν τέλει παγιδεύεται, δίχως να καταφέρει να διαφύγει στην ατμόσφαιρα.
- **Οι θερμικές και οπτικές ιδιότητες των υλικών:** Λόγω ακατάλληλων οπτικών και θερμικών χαρακτηριστικών πολλών χρησιμοποιούμενων υλικών,

μεγάλο μέρος της θερμότητας που μεταφέρει η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τα υλικά και ακτινοβολείται ξανά στην ατμόσφαιρα. Αποτέλεσμα η αύξηση της θερμοκρασίας.

- **Η ανθρωπογενής θερμότητα:** Παράγεται κυρίως από καύσεις, όπως για παράδειγμα τα αυτοκίνητα ή άλλες σταθερές πηγές.
- **Το φαινόμενο του θερμοκηπίου:** Συμβάλλει στην αύξηση της θερμικής ακτινοβολίας που ανακλάται από τη ρυπασμένη ατμόσφαιρα και προσπίπτει στο σύνολο των επιφανειών μιας πόλης.
- **Η μειωμένη διαπνοή και εξάτμιση:** Οφείλονται στην έλλειψη πρασίνου και υδάτινων επιφανειών στις πόλεις.
- **Η μείωση του αέρα στους δρόμους:** Τα κτίρια μειώνουν τη ροή του αέρα, ενώ οι επιφάνειες των κτιρίων δεν ψύχονται επαρκώς.

### 1.3 Συνέπειες και ενέργειες

Οι επικείμενες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής έχουν μελετηθεί από διάφορους φορείς τις παγκόσμιας κοινότητας και με βάση τις προβλέψεις για τα επόμενα χρόνια έχουν θεσπιστεί ενέργειες και στόχοι μέσω διάφορων προγραμμάτων και συνθηκών παγκοσμίως.

#### 1.3.1 Πρωτόκολλο του Κιότο

Κατά την Τρίτη Σύνοδο των Συμβαλλομένων Μερών, που πραγματοποιήθηκε το Δεκέμβριο του 1997 στο Κιότο της Ιαπωνίας, τα μέλη των Ηνωμένων Εθνών, που υπέγραψαν το 1992 τη Σύμβαση – Πλαίσιο για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC), αποδέχθηκαν το πρωτόκολλο του Κιότο. Τα κύρια σημεία συνοψίζονται ως εξής:

- Τα ανεπτυγμένα κράτη δεσμεύονται να μειώσουν τις συνολικές τους εκπομπές κατά τουλάχιστον 5%. Ο στόχος αυτός αναφέρεται σε έξι αέρια (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου, υδροφθοράνθρακες, πλήρως φθοριομένοι υδρογονάνθρακες και εξαφθοριούχο θείο).
- Ο στόχος κάθε κράτους πρέπει να επιτευχθεί την περίοδο 2008-2012.
- Δυνατότητα εκπλήρωσης των υποχρεώσεων από κοινού. Τα Κράτη δύνανται να δηλώσουν κοινή εκπλήρωση των υποχρεώσεών τους, μέσω μιας συμφωνίας που θα συνάψουν, όπου θα καταγράφεται η υποχρέωση κάθε κράτους ως προς το επίπεδο των εκπομπών και η οποία πρέπει να κατατεθεί μαζί με το κείμενο επικύρωσης.
- Δυνατότητα εκπλήρωσης μέρους των υποχρεώσεων μέσω τριών ευέλικτων μηχανισμών. Το Πρωτόκολλο του Κιότο παρέχει τη δυνατότητα να επιτυγχάνεται η εκπλήρωση μέρους των υποχρεώσεων μέσω τριών μηχανισμών: από κοινού εφαρμογή, μηχανισμός "καθαρής" ανάπτυξης.

και εμπόριο εκπομπών. Η γενική προϋπόθεση είναι η εκπλήρωση των υποχρεώσεων μέσω των μηχανισμών αυτών να είναι συμπληρωματική των εθνικών δράσεων για την επίτευξη του στόχου.

- Υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων. Το Πρωτόκολλο δεσμεύει τα Κράτη-Μέλη του σε εφαρμογή ή υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων για την επίτευξη του στόχου του Πρωτοκόλλου, σύμφωνα με τις εθνικές συνθήκες κάθε κράτους. Περιλαμβάνει και ενδεικτικό κατάλογο συγκεκριμένων μέτρων που μπορούν να εφαρμοσθούν από τα Κράτη-Μέλη.
- Συνεκτίμηση αποδεκτών (καταβόθρες). Το Πρωτόκολλο περιλαμβάνει διατάξεις για την συνεκτίμηση των αποδεκτών (καταβόθρες), οι οποίες αν και χρειάζονται περαιτέρω μελέτη και διευκρινήσεις, παρέχουν κατ' αρχήν τη δυνατότητα συνυπολογισμού της πρόσληψης διοξειδίου του άνθρακα από τα δάση και τις καλλιεργούμενες γαίες στη μείωση των εκπομπών.
- Αυστηρό καθεστώς συμμόρφωσης. Το Πρωτόκολλο προβλέπει την εγκαθίδρυση ενός αυστηρού καθεστώτος συμμόρφωσης .
- Δεν υπάρχουν ποσοτικοί στόχοι για αναπτυσσόμενες χώρες.

Ενενήντα μέρες μετά την επικύρωση του Πρωτοκόλλου και από τη Ρωσία ικανοποιήθηκαν πλέον και οι δύο απαραίτητοι όροι προκειμένου να τεθεί σε ισχύ το Πρωτόκολλο του Κιότο, δηλ. να έχει κυρωθεί τουλάχιστον από 55 κράτη-Μέλη της Σύμβασης για τις κλιματικές αλλαγές, και μεταξύ αυτών να συμπεριλαμβάνονται Μέρη του Παραρτήματος I της Σύμβασης (ανεπτυγμένες χώρες) που αντιπροσωπεύουν τουλάχιστον το 55% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα των χωρών αυτών κατά το 1990. [53]

### 1.3.2 Ευρωπαϊκές στρατηγικές

#### Οδηγία 2002 / 91 / EC “Energy performance of buildings”

Η οδηγία αυτή εκδόθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο στις 16 Δεκεμβρίου του 2002 και είχε ως στόχο να προάγει την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στην κοινωνία, λαμβάνοντας υπ’ όψιν τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής, τις απαιτήσεις του εσωτερικού περιβάλλοντος και τη συσχέτιση κόστους – αποδοτικότητας.

Οι απαιτήσεις τις οδηγίας:

- Να δημιουργηθεί το γενικό κατώφλι και η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.
- Ο καθορισμός των ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση των νέων κτιρίων.
- Ο καθορισμός των ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση μεγάλων υφιστάμενων κτιρίων τα οποία υπόκεινται πλήρη ανακαίνιση.
- Ενεργειακά πιστοποιητικά κτιρίων.

- Έρευνα για την αποδοτικότητα των μονάδων θέρμανσης και ψύξης και θέρμανση ενός πλαισίου ενεργειακής απόδοσης. [54]

#### Κλιματική και ενεργειακή στρατηγική 20-20-20

Στις 09/03/2007 το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο παρουσίασε το «Πακέτο 3 για 20». Ένα πακέτο κανονισμών που υποχρεώνουν την Ευρωπαϊκή Ένωση να πετύχει τους κλιματικούς και ενεργειακούς στόχους μέχρι το 2020.

Οι τρεις βασικοί στόχοι είναι:

- Μείωση 20% στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τις μετρήσεις το 1990
- Παροχή του 20% της ενέργειας της Ε.Ε. από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Βελτίωση 20% της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων

Μέσω της επίτευξης αυτών των στόχων, η Ε.Ε. στοχεύει στη μείωση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας και συνεπώς της κλιματικής αλλαγής.

Ταυτόχρονα στοχεύει στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και στη χρήση των ΑΠΕ.

#### The Green Paper

Έγγραφο, δημοσιευμένα από την Ευρωπαϊκή Κομισιόν με στόχο να ωθήσει τη συζήτηση για την εξοικονόμηση ενέργειας σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Προσκαλούν όλες τις ενδιαφερόμενες πλευρές σε συζητήσεις, με στόχο να προταθούν λύσεις για το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής.

Οι έξι περιοχές κυρίου ενδιαφέροντος είναι:

- Διαμόρφωση της αγοράς για τα καύσιμα και τον ηλεκτρισμό
- Ενίσχυση της αλληλεγγύης μεταξύ των κρατών - μελών της Ε.Ε. σε περίπτωση διακοπής του εφοδιασμού καυσίμων, με τη δημιουργία αποθεμάτων φυσικού αερίου μεταξύ των υφιστάμενων υποχρεωτικών αποθεμάτων πετρελαίου που απαιτεί η νομοθεσία της Ε.Ε..
- Διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος της Ε.Ε., παράλληλα με το σεβασμό των διαφορετικών επιλογών στην ενεργειακή πολιτική της κάθε χώρας.
- Η δημιουργία ενός νέου «οδικού χάρτη» για τις ΑΠΕ προς την αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης του πλανήτη, ο οποίος να περιέχει στόχους μετά το 2020.
- Η δημιουργία ενός στρατηγικού πλάνου για την τεχνολογία και το πώς πρέπει να την εκμεταλλευτεί η Ε.Ε. για να πετύχει τους στόχους της.
- Εξωτερική πολιτική με τις χώρες – παρόχους ορυκτών καυσίμων, οι οποίες βρίσκονται εκτός Ε.Ε. [55]

Πρόοδος ενεργειακής αποδοτικότητας με βάση τις οδηγίες της Ε.Ε.

Με βάση τη σύνοδο για την ενεργειακή αποδοτικότητα που έλαβε χώρα τον Ιούλιο του 2014, η Ε.Ε. αναμένεται να επιτύχει την εξοικονόμηση ενέργειας σε ποσοστό 18% μέχρι το 2020, χάνοντας το στόχο του 20% για 2%. Ωστόσο, εάν οι χώρες της Ε.Ε. τηρήσουν την υπάρχουσα νομοθεσία, ο στόχος μπορεί να επιτευχθεί χωρίς επιπλέον μέτρα. Πιο συγκεκριμένα οδηγούμαστε σε ένα ενεργειακά αποδοτικό μέλλον με πολλά πλεονεκτήματα, όπως:

- Τα νέα κτίρια καταναλώνουν 70% λιγότερη ενέργεια σε σχέση με την ενέργεια που κατανάλωναν το 1980
- Η ενεργειακή κατανάλωση στην ευρωπαϊκή βιομηχανία έχει μειωθεί 19% ανάμεσα στο 2001 και το 2011
- Οι εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας έχουν εξοικονομήσει στους καταναλωτές 100 δις. ανά χρόνο – περίπου 465€ ανά νοικοκυριό – για κατανάλωση ενέργειας.
- Οι χώρες της Ε.Ε. θα έχουν εξοικονομήσει περίπου 200 εκ. κιλοβατώρες ηλεκτρικού ρεύματος και 45 εκ. λίτρα σε καύσιμα μέχρι το 2020
- Το ποσοστό της ενεργειακής απόδοσης των ψυγείων αυξήθηκε από 5% το 1995 σε περίπου 90% το 2010.

Πλέον, στην Ε.Ε., σχεδιάζονται οι επόμενοι στόχοι των 2030 και 2050 και καλούμαστε ως Ελλάδα να τους επιτύχουμε, καθώς προς το παρόν είμαστε αρκετά πίσω στον τομέα της ενεργειακής αποδοτικότητας και καλούμαστε να πληρώσουμε διαφόρων ειδών πρόστιμα. [56,57]

## Κεφάλαιο 2

### Ενεργειακή φτώχεια

#### Εισαγωγή

Εκτός από τις κλιματικές αλλαγές, ένα φαινόμενο που παρουσιάζεις όξυνση, τα τελευταία χρόνια, είναι η ενεργειακή φτώχεια. Η βασική αιτία είναι η πάροδος του χρόνου σε συνδυασμό με την οικονομική κρίση. Μεγάλο ποσοστό του κτιριακού αποθέματος είναι κατασκευασμένο πριν το 1980, με αποτέλεσμα το πέρας του χρόνου να αλλοιώνει τις θερμικές ιδιότητες των υλικών των κτιρίων και να καθιστά ενεργειακά ακατάλληλα για χρήση. Στα δομικά στοιχεία συσσωρεύονται υγραποιήσεις, μούχλες και αυτές οι αλλοιώσεις οδηγούν σε ένα ανεπαρκώς μονωμένο και ανθυγιεινό κέλυφος κτιρίου. Τέλος, όσο χαμηλότερες είναι οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό περιβάλλον ενός παλιού κτιρίου, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα υγρασίας[14] στα δομικά στοιχεία, καθώς συναντάται το σημείο δρόσου[15].

#### 2.1 Το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας

Ως «ενεργειακή φτώχεια», ορίζεται διεθνώς, η αδυναμία πρόσβασης σε βασικές ενεργειακές υπηρεσίες, όπως η θέρμανση, η ψύξη, ο ηλεκτρισμός κ.α. Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας, υπολογίζεται ότι πληθυσμός μεταξύ 1,3 και 2,6 δις ανθρώπων στον πλανήτη ζει σε συνθήκες ενεργειακής φτώχειας. Σύμφωνα με μελέτη του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Απόδοσης Κτιρίων, ο αριθμός των ενεργειακά φτωχών πολιτών στην Ευρώπη κυμαίνεται από 50 έως 125 εκατομμύρια. Παρά τη σοβαρότητα του προβλήματος, δεν υπάρχει ακόμα σε ευρωπαϊκό επίπεδο ένας κοινός ορισμός, αλλά ούτε και από σαφηνισμένα κριτήρια για τον προσδιορισμό αυτών που ζουν σε κατάσταση ενεργειακής φτώχειας. Οι υφιστάμενες προσεγγίσεις για τον ορισμό του φαινομένου βασίζονται σε ποσοτικούς δείκτες, όπως π.χ. το ποσοστό των δαπανών του νοικοκυριού για ενεργειακές ανάγκες σε σχέση με το εισόδημά του. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ενεργειακή φτώχεια, αφορά στην αδυναμία πρόσβασης σε βασικές ενεργειακές υπηρεσίες και παροχές, αλλά δεν είναι ταυτόσημη της εισοδηματικής φτώχειας. Παρ' όλα αυτά, οι δύο αυτές έννοιες συνδέονται. Ειδικότερα, η ενεργειακή φτώχεια μπορεί να περιγραφεί ως μια κυκλική διαδικασία. Αρχικά, οι εισοδηματικά φτωχοί πολίτες μπορούν να αντέξουν, σε οικονομικό επίπεδο, μόνο φθηνή, κακής ποιότητας στέγαση. Λόγω της κατασκευαστικής και ενεργειακής ανεπάρκειας των κατοικιών, το κόστος για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών είναι ιδιαίτερα υψηλό. Ως εκ τούτου, ένα μεγάλο μερίδιο, του χαμηλού εισοδήματος των ενοίκων, δαπανάται για πληρωμή των ενεργειακών υπηρεσιών. Δεδομένου ότι οι τιμές των υπηρεσιών ενέργειας αυξάνονται, το ίδιο συμβαίνει και με το ποσοστό του εισοδήματος που δαπανάται για αυτές. Παγιδευμένος σε αυτόν τον

φαύλο κύκλο ο οικονομικά φτωχός καταλήγει και ενεργειακά φτωχός, καθώς αδυνατεί να εξοικονομήσει χρήματα προκειμένου να βελτιώσει τις συνθήκες στέγασής του. Το ακόλουθο γράφημα παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ ενεργειακής και εισοδηματικής φτώχειας.

ΓΡΑΦΗΜΑ 1: Σχέση μεταξύ της ενεργειακής και της εισοδηματικής φτώχειας



Εικόνα 2.1: Συσχέτιση μεταξύ της ενεργειακής και της εισοδηματικής φτώχειας [35]

## 2.2 Κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ενεργειακής φτώχειας

### Κοινωνικές επιπτώσεις:

Αρχικά, θα αναφερθούμε στις κοινωνικές επιπτώσεις και επιπτώσεις στην υγεία. Οι άνθρωποι που πλήττονται από την ενεργειακή φτώχεια αδιαμφισβήτητα αντιμετωπίζουν προβλήματα στην υγεία και την κοινωνική τους ευημερία. Η μείωση των ωρών θέρμανσης και ψύξης εντός των κατοικιών, αλλά και η προσπάθεια για μειωμένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό, έχουν ως αποτέλεσμα τη διαβίωση σε εντεινόμενες συνθήκες θερμικής δυσφορίας (κρύο-ζέστη), κακού αερισμού (που μπορεί να συμβάλει σε εμφάνιση προβλημάτων μούχλας και υγρασίας) και ανεπαρκούς φωτισμού. Τα παραπάνω υποστηρίζονται και από τη γνωμοδότηση της Ευρωπαϊκής Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής «Μια επείγουσα ανάγκη: η εξάλειψη της ενεργειακής φτώχειας χάρη στην ευρωπαϊκή δέσμευση για την ενεργειακή ασφάλεια και αλληλεγγύη», «η ενέργεια συνιστά βασικό κοινό αγαθό, λόγω του ζωτικού της ρόλου σε όλες τις καθημερινές δραστηριότητες, ενώ παρέχει στον καθένα τη δυνατότητα αξιοπρεπούς διαβίωσης. [...] Η ενεργειακή φτώχεια σκοτώνει σωματικά και κοινωνικά».

Ένα κρύο σπίτι έχει αντίκτυπο στη συχνότητα προσβολής των ενοίκων του από ασθένειες (καρδιαγγειακά, αναπνευστικά προβλήματα κ.ά.), αλλά και στην ένταση του φαινομένου της αυξημένης θνησιμότητας το χειμώνα, ιδιαίτερα μεταξύ των

ηλικιωμένων και των πιο ευάλωτων ατόμων. Ενδεικτικά, στοιχεία από το Ηνωμένο Βασίλειο δείχνουν ότι κάθε μείωση της μέσης θερμοκρασίας στο εσωτερικό μιας κατοικίας κατά 1°C έχει ως αποτέλεσμα περίπου 8.000 επιπλέον θανάτους. Αυτό προέκυψε μετά από έρευνα του οργανισμού Age UK το 2012 στο πλαίσιο της προσπάθειας τεκμηρίωσης του πώς συνδέεται η ενεργειακή φτώχεια με τη δημόσια υγεία, αλλά και με τη θνησιμότητα των πληγέντων από αυτήν. Αναφορά στο θέμα τα συσχετίσης της ενεργειακής φτώχειας με τα επίπεδα θνησιμότητας στην Ελλάδα υπάρχει στο άρθρο «Ενεργειακή φτώχεια και κλιματική αλλαγή: προκλήσεις για την Ελλάδα» όπου στα συμπεράσματα αναφέρεται χαρακτηριστικά πως «έγινε προσπάθεια τεκμηρίωσης της συσχέτισης της ενεργειακής φτώχειας με τη δημόσια υγεία και με τα αυξημένα επίπεδα θνησιμότητας και νοσηρότητας του ενεργειακά φτωχού πληθυσμού στην Ελλάδα. Με βάση το στατιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε για την περίοδο 2003-2012, στον παράγοντα ενεργειακή φτώχεια μπορούν να αποδοθούν 750-1.631 θάνατοι ανά μήνα της χειμερινής περιόδου ή 3.000-6.525 ανά έτος (ήτοι το 2,8-6% των θανάτων που καταγράφονται σε ετήσια βάση)».

Επιπρόσθετα, σε περιοχές με θερμό κλίμα, η ενεργειακή φτώχεια μεταφράζεται σε οικονομική αδυναμία χρήσης κλιματισμού για την αποτελεσματική ψύξη των κτιρίων, με συνέπεια να παρατηρούνται πολύ υψηλές θερμοκρασίες στο εσωτερικό τους. Το γαλλικό Ινστιτούτο Επιτήρησης της Υγείας πραγματοποίησε μια μελέτη που έδειξε ότι ο καύσωνας του 2006 οδήγησε σε αύξηση των θανάτων στη χώρα κατά 60% σε σύγκριση με ότι αναμενόταν κανονικά.

Ειδικά για την Ελλάδα, οι επιπτώσεις της κρίσης έχουν επαναπροσδιορίσει τις ατομικές και συλλογικές πρακτικές των νοικοκυριών σε όλη την κλίμακα των εισοδηματικών και κοινωνικών στρωμάτων, δημιουργώντας πολλαπλές ταχύτητες σε σχέση με τη θέρμανση και ανισότητες μεταξύ των νοικοκυριών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η διακοπή της κεντρικής θέρμανσης σε πολλές πολυκατοικίες, η οποία έχει επηρεάσει και την κοινή ζωή των ενοίκων. Τέλος, η αύξηση του άγχους που συνεπάγεται η υποβάθμιση της ποιότητας ζωής των πληγέντων (μείωση της αίσθησης της ευεξίας και της ικανοποίησης που απολαμβάνουν από τη ζωή στην καθημερινότητά τους) και η δύσκολη προσαρμογή στις νέες οικονομικές συνθήκες και δεδομένα αποτελούν στοιχεία που το καθένα από μόνο του, αλλά και συνδυαστικά, οδηγούν σε αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα. Σε επίπεδο κοινωνίας, αυτό μεταφράζεται σε μείωση του προσδόκιμου ζωής του γενικού πληθυσμού και στην αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα των ασθενέστερων από τους πληγέντες.

### **Οικονομικές επιπτώσεις:**

Η ενεργειακή φτώχεια συμβάλλει στην αύξηση του κόστους λειτουργίας του Συστήματος Δημόσιας Υγείας, λόγω αυξημένης νοσηρότητας, όπως προκύπτει από έρευνες. Όταν η πολιτική για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που δημιουργεί η ενεργειακή φτώχεια υλοποιούνται με τη μορφή επιδομάτων, το πρόβλημα δεν εξαλείφεται παρά διαιωνίζεται και συντηρείται. Ενδεικτικά, την περίοδο 2012-2014 δαπανήθηκαν 650.000.000 ευρώ για επιδόματα θέρμανσης, που να μην ανακούφισαν



προσωρινά τα νοικοκυριά που τα έλαβαν, αλλά δεν τα βοήθησαν να βγουν από την ενεργειακή φτώχεια. Υπονομεύεται, επίσης, η εισπραξιμότητα των φορολογικών και τραπεζικών υποχρεώσεων των πολιτών διότι, καθώς το εισόδημα των πληγέντων συχνά δεν επαρκεί για να καλύψει όλες τις οφειλές τους, το όποιο διαθέσιμο κατευθύνεται στην κάλυψη άλλων άμεσων αναγκών διαβίωσης. Στην Ελλάδα, οι ληξιπρόθεσμες οφειλές προς το Δημόσιο ξεπερνούν τα 90 δις ευρώ, υπάρχει σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΗ και ένα σημαντικό χρέος προς αυτήν που τον Ιούνιο του 2016 ανερχόταν στα 2,7 δις ευρώ. Μέσα σε ένα τρίμηνο, οι απλήρωτοι λογαριασμοί αυξήθηκαν κατά 400 εκατ. Ευρώ. Περίπου το 50% των χρεών μας προς τη ΔΕΗ προέρχεται από τα νοικοκυριά, κάτι το οποίο μπορεί να αποδοθεί σε μεγάλο ποσοστό στην ενεργειακή φτώχεια. Εν κατακλείδι, η κατάσταση αυτή εντείνεται και από την αύξηση των τιμών της ενέργειας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια, τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

### **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις:**

Το χειμώνα του 2012-2013 τα μεγάλα αστικά κέντρα της Ελλάδας βίωσαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ενεργειακής φτώχειας μέσα από το φαινόμενο της αιθαλομίχλης. Λόγω της αύξησης στο κόστος προμήθειας πετρελαίου θέρμανσης, πολλά νοικοκυριά στράφηκαν στο τζάκι και τη σόμπα ως μέσο θέρμανσης, καίγοντας σε μεγάλο βαθμό ακατάλληλα και φθηνά υλικά. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην Αθήνα τα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων αυξήθηκαν κατά 30%, ενώ οι συγκεντρώσεις οργανικών ενώσεων, γνωστών για την πρόκληση καρκίνου στον άνθρωπο πενταπλασιάστηκαν, προκαλώντας αναπνευστικά και καρδιακά προβλήματα στους κατοίκους της πόλης. [35]

## **2.3 Η κατάσταση στην Ελλάδα**

Η αύξηση των ενεργειακών τιμών, σε συνδυασμό με τη μείωση των εισοδημάτων ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης έχει πολλαπλασιάσει τον αριθμό των ευάλωτων νοικοκυριών, εντείνοντας έτσι το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας. Στην Ελλάδα δεν υπάρχει ακόμα σαφής ποσοτικός ορισμός και συγκεκριμένοι δείκτες παρακολούθησης του φαινομένου. Ενεργειακά φτωχό κρίνεται το νοικοκυριό, το οποίο δαπανά πάνω από το 10% του εισοδήματός του για τις ενεργειακές ανάγκες του, σε συνδυασμό και με κάποια άλλα κοινωνικά, συνήθως, και γεωγραφικά κριτήρια, που εφαρμόζονται για την κατανομή των κοινωνικών επιδομάτων. Στις μελέτες και έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί και έμμεσα σχετίζονται με τη μορφή επιδομάτων: το «κοινωνικό οικιακό τιμολόγιο» της ΔΕΗ, η δυνατότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (έως και 300 kWh για το 2015) σε νοικοκυριά που αδυνατούν να πληρώσουν τους λογαριασμούς ενέργειας, η επιδότηση ενοικίου και το επίδομα πετρελαίου θέρμανσης. Λύσεις και πολιτικές χωρίς αξιόλογα και μακροπρόθεσμα αποτελέσματα, αλλά κυρίως δίχως όραμα για την ουσιαστική αντιμετώπιση του φαινομένου. Η πιο σημαντική εθνική πολιτική προς τη σωστή κατεύθυνση ήταν το

πρόγραμμα ενεργειακής αναβάθμισης κατοικιών «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον», το οποίο, όμως, αποδείχθηκε ανεπαρκές λόγω της γραφειοκρατικής φύσης του, του περιορισμένου προϋπολογισμού του, αλλά και άλλων στρεβλώσεων, τεχνικών και διαδικαστικών.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στις μελέτες και τις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για την καταγραφή των επιπέδων ενεργειακής φτώχειας στην Ελλάδα, αλλά και διεθνώς, βασίζεται στην παρακολούθηση ορισμένων δεικτών:

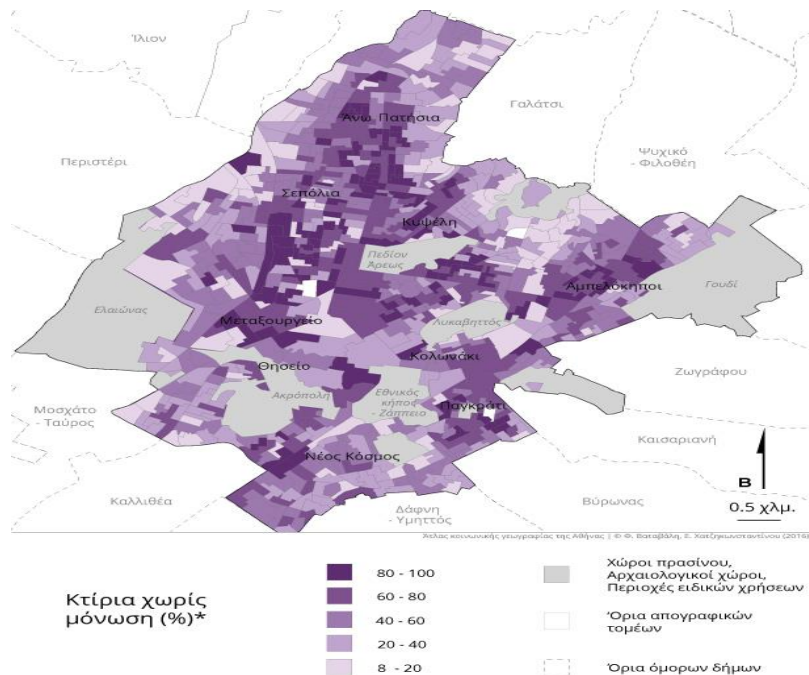
- Ποσοστό του εισοδήματος που αφορά στην κάλυψη δαπανών για την ενέργεια
- Υποκειμενικά ερωτηματολόγια (βαθμός ικανοποίησης από τις συνθήκες διαβίωσης, εκτίμηση ποσού δαπανών για ενέργεια κ.ά.)
- Ενεργειακή απόδοση κτιρίων ως ένδειξη για την εκτίμηση της ενεργειακής φτώχειας μέσω των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστούν προσεγγιστικά αποτελέσματα από τρεις διαφορετικές έρευνες που διεξήχθησαν στην Ελλάδα θέτοντας ως επίκεντρο το νομό Αττικής:

- *Κ.Α. Μπαλαράς, Ε.Γ. Δασκαλάκη, Μ. Βιτάλη(2014). Βασικοί Δείκτες Ενεργειακής Αποδοτικότητας Ελληνικών Κατοικιών*
- *Ε.Ε. Πανάς Πρόεδρος τμήματος στατιστικής Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Έρευνα για την ενεργειακή φτώχεια στην Ελλάδα 2012*
- *Φ. Βαταβάλη, Ε. Χατζηκωνσταντίνου, Χαρτογραφώντας την ενεργειακή φτώχεια στην Αθήνα της κρίσης 2016*

### **Κτιριακό απόθεμα:**

Η πλειοψηφία των κτιρίων του Δήμου Αθηναίων είναι πολυκατοικίες που κατασκευάστηκαν τις πρώτες μεταπολεμικές δεκαετίες με το σύστημα της αντιπαροχής. Η παλαιότητα και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτιριακού αποθέματος, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ελάχιστα κτίρια έχουν δεχθεί συστηματικές παρεμβάσεις συντήρησης ή αναβάθμισης από την κατασκευή τους μέχρι σήμερα, συγκροτούν ένα σώμα κτιρίων με σοβαρά λειτουργικά προβλήματα, ιδιαίτερα ως προς την ενεργειακή απόδοση. Ενδεικτικά να αναφέρουμε και πάλι, ότι ο κτιριακός τομέας στην Ελλάδα αντιπροσωπεύει το 40% της κατανάλωσης ενέργειας και η ετήσια δαπάνη των δημοσίων κτιρίων φτάνει τα 450 εκατ. Ευρώ.



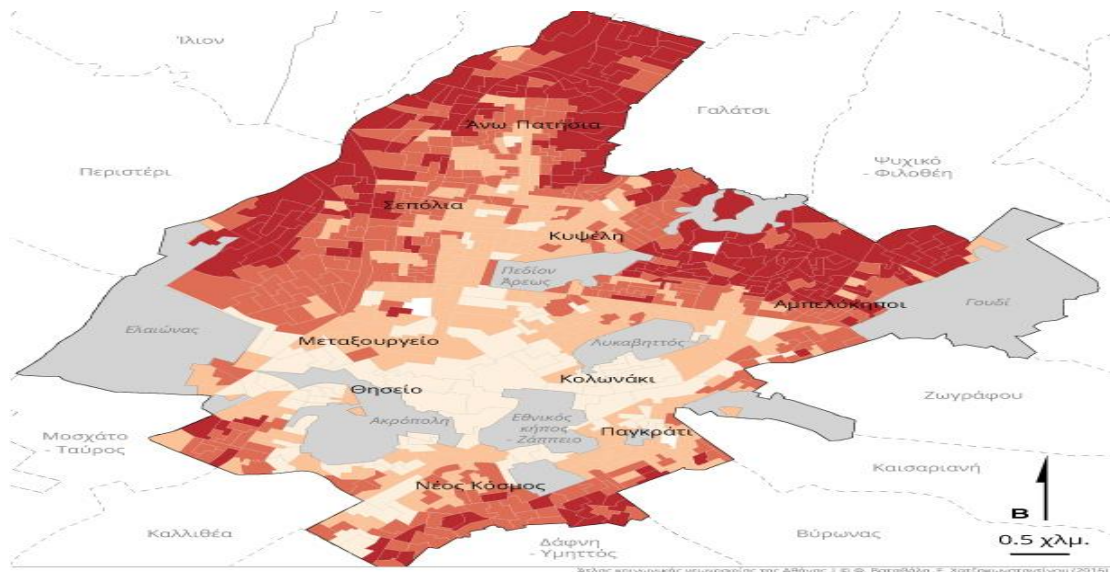
Εικόνα 2.2: Ποσοστό κτιρίων χωρίς μόνωση στην περιοχή της Αττικής [43]

Αξίζει να σημειωθεί, ότι όλα τα κτίρια που κατασκευάστηκαν στην Ελλάδα μετά το 1980 είναι μονωμένα βάσει του Κανονισμού Θερμομόνωσης, όμως σχεδόν όλα τα κτίρια που έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980 (σχεδόν το 82% των κτιρίων στην Ελλάδα) δεν έχουν μόνωση. Ενώ η «υποχρεωτική» θερμομόνωση[1] που επιβλήθηκε από τη νομοθεσία για την ανέγερση κτιρίων μετά το 1980 ήταν της τάξεως των 3cm, όταν σήμερα για ένα Κτίριο Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης απαιτείται κατά μέσο όρο θερμομόνωση της τάξεως των 10-15cm.

### Θέρμανση:

Σύμφωνα με έρευνα, το 50-60% των χρηστών χρησιμοποιεί θέρμανση για λιγότερο από 6 ώρες ημερησίως, ενώ αντίστοιχα μόνο το 13-17% έχει συνεχή λειτουργία. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί η κατάσταση στη Ρουμανία επί δικτατορίας Τσαουσέσκου, όπου κατά την εφαρμογή μιας πολιτικής λιτότητας για την κατασκευή μεγαλεπήβολων παλατιών και άλλων έργων, ο λαός είχε δικαίωμα για 2 ώρες θέρμανσης ημερησίως (ενώ πάνω από 70% του πληθυσμού τρεφόταν από συσσώτια).

Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε το ποσοστό των νοικοκυριών που χρησιμοποιούν πετρέλαιο ή φυσικό αέριο ως κύρια πηγή θέρμανσης.

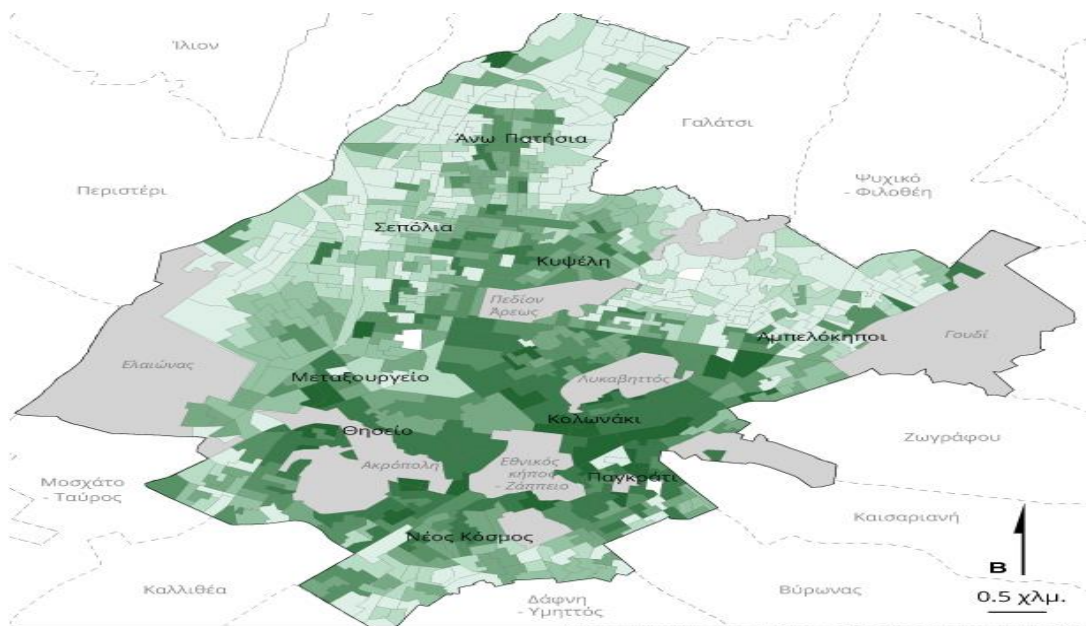


**Νοικοκυριά που χρησιμοποιούν πετρέλαιο για θέρμανση (%)\***



\*Πηγή στοιχείων: ΕΛΣΤΑΤ - Απογραφή 2011

Εικόνα 2.3: Ποσοστό των νοικοκυριών που χρησιμοποιούν πετρέλαιο για θέρμανση στην Αττική [43]



**Νοικοκυριά που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο για θέρμανση (%)\***



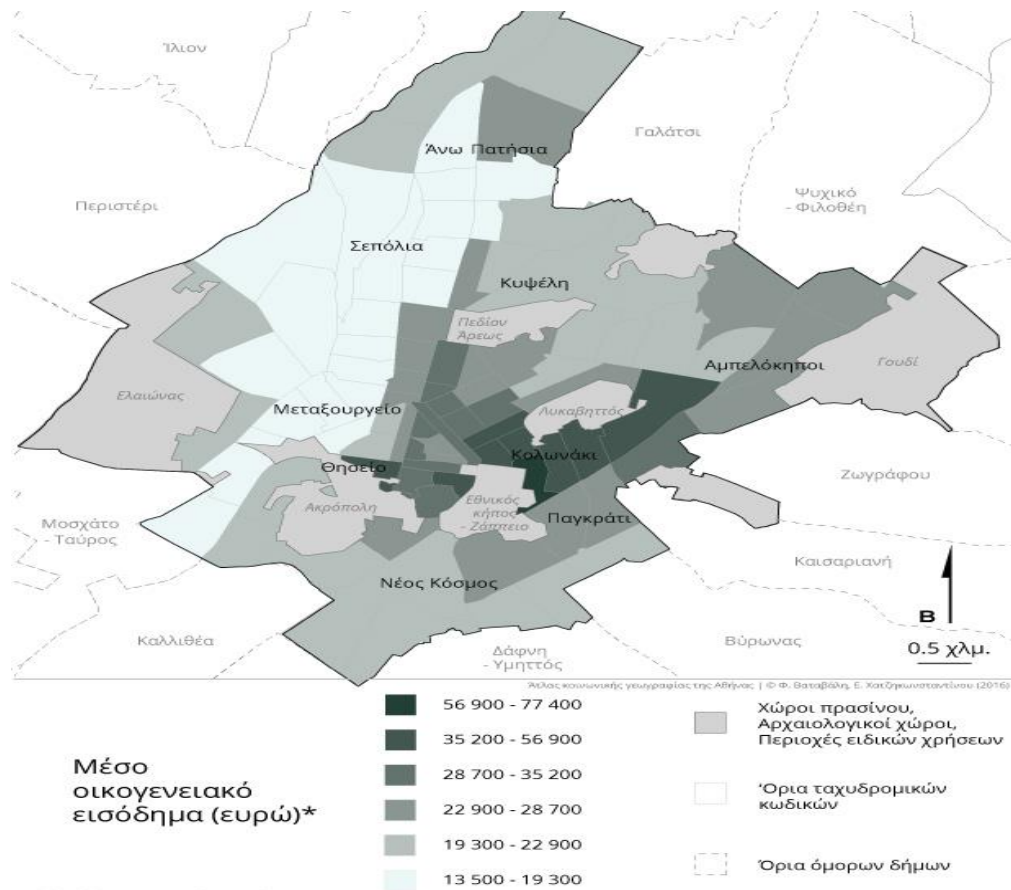
\*Πηγή στοιχείων: ΕΛΣΤΑΤ - Απογραφή 2011

Εικόνα 2.4: Ποσοστό των νοικοκυριών που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο για θέρμανση [43]

## Μέσο ετήσιο οικογενειακό εισόδημα:

Έχει διαπιστωθεί ότι το κόστος θέρμανσης ανά άτομο και μονάδα επιφάνειας είναι κατά 127% μεγαλύτερο στις χαμηλές εισοδηματικές τάξεις σε σχέση με τα υψηλά εισοδήματα, ενώ το κόστος για δροσισμό είναι κατά 100% μεγαλύτερο. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι τα χαμηλότερα οικονομικά στρώματα της κοινωνίας κατά κανόνα διαμένουν σε κατοικίες χαμηλής ενεργειακής απόδοσης και δε διαθέτουν τους απαραίτητους πόρους για την ενεργειακή αναβάθμιση των κατοικιών τους. Μετά από έρευνα στα πλαίσια του προγράμματος «*Αλληλεγγύη και κοινωνικός αποκλεισμός στην Ελλάδα*» το 2015, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το 29,2% των ερωτηθέντων δήλωσε ότι δεν καλύπτονται οι ανάγκες τους σε θέρμανση/ψύξη, μαγείρεμα, ζεστό νερό, ψυγείο και ηλεκτρισμό, ενώ το 80,2% του συγκεκριμένου ποσοστού δεν είναι σε θέση να καλύψει ούτε καν τις βασικές ανάγκες ψύξης - θέρμανσης, κυρίως για οικονομικούς λόγους.
- Το 17% των ερωτηθέντων δήλωσε ότι διακόπηκε η ηλεκτροδότηση ή η υδροδότηση της οικίας του λόγω ανεξόφλητων λογαριασμών, με το 45,5% να αναφέρει ότι η διακοπή πραγματοποιήθηκε τουλάχιστον μια έως δύο φορές.
- Το 48,5% των ερωτηθέντων αντιμετώπισε δυσκολίες κατά την τελευταία πενταετία στην αποπληρωμή οφειλών του.
- Το 24% των ερωτηθέντων έχει προβεί σε ρύθμιση ληξιπρόθεσμων οφειλών του προς τη ΔΕΗ ή την ΕΥΔΑΠ.
- Το 12% των ερωτηθέντων που διαμένουν σε πολυκατοικία ανέφερε ότι δεν υπάρχει κεντρική θέρμανση λόγω παλαιότητας του κτιρίου. Από τους υπόλοιπους που διαμένουν σε πολυκατοικία με κεντρική θέρμανση, το 23,4% δήλωσε ότι δεν λειτουργεί από το έτος 2010, κυρίως για οικονομικούς λόγους.
- Οι ερωτηθέντες που διαμένουν σε πολυκατοικία όπου δεν υπάρχει ή δεν λειτουργεί κεντρική θέρμανση χρησιμοποιούν ως μέσο θέρμανσης σόμπες (υγραερίου, χαλαζία, αλογόνου, κηροζίνης) σε ποσοστό 33,14%, κλιματιστικά σε ποσοστό 29,14% και θερμοσυσσωρευτές σε ποσοστό 21,71%. Καταγράφηκε, επίσης, ένα ποσοστό 4,57% που δεν χρησιμοποιεί κανένα μέσο θέρμανσης.



Εικόνα 2.5: Μέσο οικογενειακό εισόδημα των νοικοκυριών στην Αττική [43]

Συμπερασματικά, χρηματοδοτήσεις και προσπάθειες από την πλευρά του κράτους έχουν γίνει, αλλά δυστυχώς έχουν γίνει μόνο ως προς την προσωρινή ανακούφιση των νοικοκυριών και ελάχιστα προς τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων. Συνεπώς, ακολουθώντας τη συγκεκριμένη πολιτική γραμμή το πρόβλημα θα διαιωνίζεται και θα διογκώνεται. [43]

## Κεφάλαιο 3

Ανάλυση του κτιρίου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας σύμφωνα με το ελληνικό κράτος

### Εισαγωγή

Μετά από οδηγία της ΕΕ κάθε κράτος μέλος οφείλει να ορίσει **κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας** με βάση προδιαγραφές και νόρμες της ΕΕ, αλλά αφήνοντας αρκετά περιθώρια σε κάθε κράτος για τον καθορισμό ορίων. Παρακάτω θα γίνει η παρουσίαση της πρότασης/ορισμού του **ΚΣΜΚΕ** σύμφωνα με το ελληνικό κράτος.

### 3.1 Εθνικό σχέδιο

Το παρόν άρθρο(9, Οδηγίας 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων) χαρακτηρίζεται ως το εθνικό σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Στο άρθρο 9 της Οδηγίας και του ν.4122/2013 «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις.» (Α΄42) που εναρμόνισε την Οδηγία στο εθνικό δίκαιο, αναφέρεται ότι από 1.1.2021, όλα τα νέα κτίρια πρέπει να είναι κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, ενώ για τα νέα κτίρια που στεγάζουν υπηρεσίες του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα, η υποχρέωση αυτή τίθεται σε ισχύ από 1.1.2019.Το παρόν εθνικό σχέδιο αποσκοπεί να αποτελέσει ένα βασικό εργαλείο για τη χάραξη της πολιτικής της ενεργειακής αναβάθμισης του κτιριακού αποθέματος και αξιοποιεί κατά το δυνατό:

- Τις συστάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο σχετικά με κατευθυντήριες γραμμές για την προώθηση των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας και τις βέλτιστες πρακτικές για να εξασφαλιστεί ότι έως το 2020 όλα τα νέα κτίρια θα είναι κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας(29.072016/1318)
- Τη μελέτη BUIDE13616/15.05.2013 του Ecofys με θέμα «Guidance document for national plans for increasing the number of nearly zero buildings»,(order of European Commission)
- Την Έκθεση της επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο σχετικά με την πρόοδο των κρατών μελών στο θέμα των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας(7.10.2013) 483 final/2

- Τη μελέτη BESDE10788/14.02.2013 του Ecofys με θέμα «Towards nearly zero energy buildings Definition of common principles under the EPBD», (order of European Commission)
- Τη μελέτη BUINL13782/19.08.2014 του Ecofys με θέμα «Role of Building Automation related to Renewable Energy in nZEB's (order of European Copper Institute)
- Την από Απριλίου 2015 λεπτομερή μελέτη του Concerted Action με θέμα «Overview of national applications of the Nearly Zero-Energy Building (NZEB) definition»
- Το πρότυπο EN 15603 «Energy performance of buildings. Overall energy use and definition of energy ratings»

Το εθνικό σχέδιο χρησιμοποιεί στοιχεία του κτιριακού αποθέματος από τις απογραφές και τις εκθέσεις της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) καθώς επίσης και από στατιστικά στοιχεία που τηρούνται στα τμήματα επιθεώρησης ενέργειας του σώματος επιθεώρησης ενέργειας βορείου και νοτίου Ελλάδος του υπουργείου περιβάλλοντος και ενέργειας.

### 3.2 Περιγραφή υφιστάμενης κατάστασης

Το ελληνικό κτιριακό απόθεμα συντίθεται κυρίως από κτίρια κατοικιών και ένα αριθμό κτιρίων άλλων χρήσεων του τριτογενούς τομέα, τα οποία απογράφονται κάθε δέκα χρόνια στο σύνολο της επικράτειας. Σύμφωνα με την Απογραφή κτιρίων 2011 (Μάιος 2015) της ΕΛΣΤΑΤ, ο αριθμός των κτιρίων της χώρας είναι 4.105.637. Από το σύνολο των κτιρίων τα 3.775.848 (ποσοστό 92%) είναι αποκλειστικής χρήσης ενώ τα 329.789 (ποσοστό 8%) είναι μεικτής χρήσης. Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται τα κτίρια αποκλειστικής χρήσης σύμφωνα με τη χρήση τους.



Κτίρια αποκλειστικής χρήσης									
Σύνολο κτιρίων αποκλειστικής χρήσης	Αποκλειστική χρήση κτιρίων								
	Κατοικία	Εκκλησία - Μοναστήρι	Ξενοδοχείο	Εργοστάσιο - Εργαστήριο	Σχολικό κτίριο	Κατάστημα - Γραφείο	Σταθμός αυτοκινήτων (πάρκινγκ)	Νοσοκομείο, κλινική κλπ.	Άλλη χρήση
3.775.848	2.990.324	47.872	34.736	30.731	19.474	153.510	16.952	1.749	480.500
Κτίρια μικτής χρήσης									
Σύνολο κτιρίων μικτής χρήσης	Κύρια χρήση κτιρίων μικτής χρήσης								
	Κατοικία	Εκκλησία - Μοναστήρι	Ξενοδοχείο	Εργοστάσιο - Εργαστήριο	Σχολικό κτίριο	Κατάστημα - Γραφείο	Σταθμός αυτοκινήτων (πάρκινγκ)	Νοσοκομείο, κλινική κλπ.	Άλλη χρήση
329.789	255.684	515	8.780	3.031	2.379	52.744	515	224	5.917
<b>ΠΛΗΘΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑ ΧΡΗΣΗ</b>	<b>3.246.008</b>	<b>48.387</b>	<b>43.516</b>	<b>33.762</b>	<b>21.853</b>	<b>206.254</b>	<b>17.467</b>	<b>1.973</b>	<b>486.417</b>
<b>ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ 4.105.637</b>									

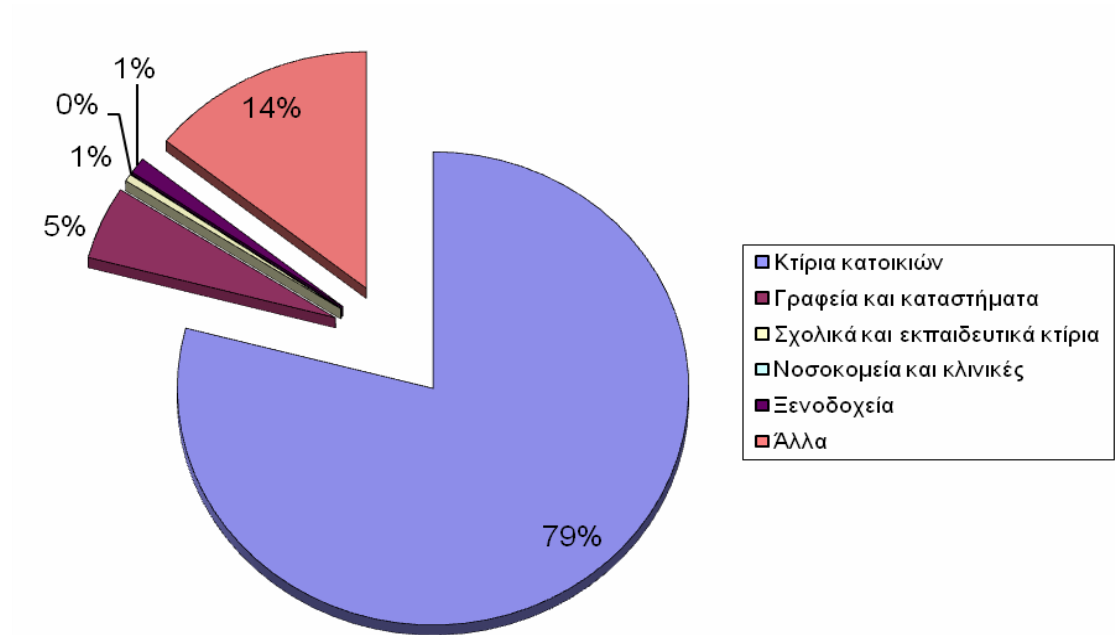
Εικόνα 3.1: Πλήθος κτιρίων απογραφής 2011

Από τα ανωτέρω στοιχεία, το κτιριακό απόθεμα κατηγοριοποιείται ως ακολούθως:

- α) Κτίρια κατοικιών (μονοκατοικίες και πολυκατοικίες): 3.246.008
- β) Κτίρια άλλων χρήσεων: 273.596

- I. Γραφεία και καταστήματα: 206.254
- II. Σχολικά και εκπαιδευτικά κτίρια: 21.853
- III. Νοσοκομεία και κλινικές: 1.973
- IV. Ξενοδοχεία: 43.516

Όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα, τα κτίρια των κατοικιών (βάσει του ανωτέρω σχετικού πίνακα) αντιπροσωπεύουν το 79,1% του συνολικού πλήθους κτιρίων. Τα κτίρια πλην κατοικιών αντιστοιχούν περίπου στο 20%, εκ των οποίων τα γραφεία και τα καταστήματα, τα εκπαιδευτικά κτίρια, τα νοσοκομεία και τα νοσηλευτικά ιδρύματα και τα ξενοδοχεία αντιστοιχούν περίπου στο 6,6% του αποθέματος.



Εικόνα 3.2: Ποσοστιαία κατανομή του κτιριακού αποθέματος με βάση τη χρήση

### Πίνακας κατανομής του κτιριακού αποθέματος με βάση τη χρήση

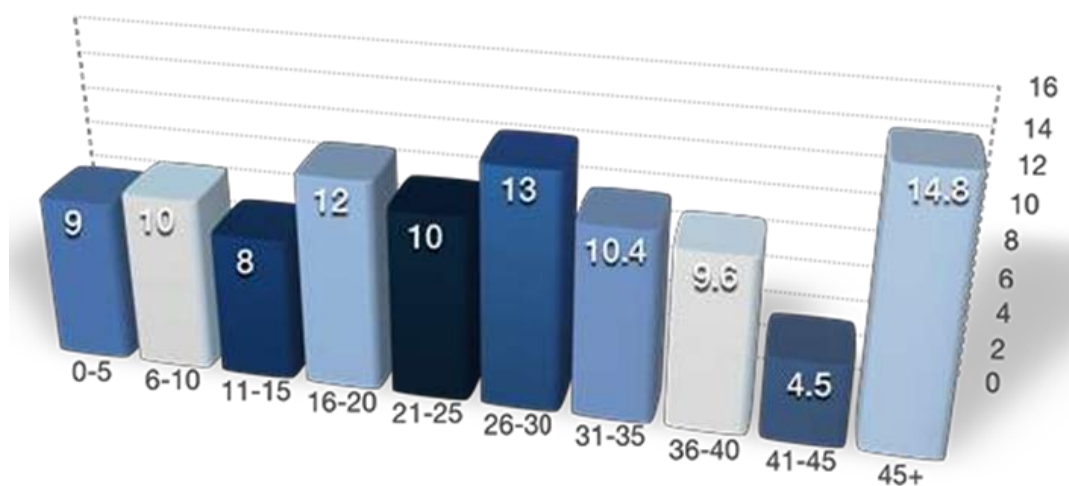
		Ποσοστό
α) Κτίρια κατοικιών (μονοκατοικίες και πολυκατοικίες):	<b>3.246.008</b>	79,1%
β) Κτίρια άλλων χρήσεων:	<b>273.596</b>	
i. γραφεία και καταστήματα	206.254	5,0%
ii. Σχολικά και εκπαιδευτικά κτίρια	21.853	0,5%
iii. Νοσοκομεία και κλινικές	1.973	0,0%
iv. Ξενοδοχεία	43.516	1,1%
<b>Σύνολο</b>		<b>85,7%</b>

Οι ηλικίες των κτιρίων μπορεί να κατανεμηθούν σε 3 βασικές περιόδους, οι οποίες διαφοροποιούνται με βάση το υφιστάμενο νομικό πλαίσιο, το οποίο αρχικά υιοθετήθηκε το 1980 με τον κανονισμό θερμομόνωσης κτιρίων (ΚΘΚ) και στη

συνέχεια το 2010 με τον κανονισμό ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (ΚΕΝΑΚ). Κατά συνέπεια, οι ηλιακές κλάσεις που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση είναι οι παρακάτω:

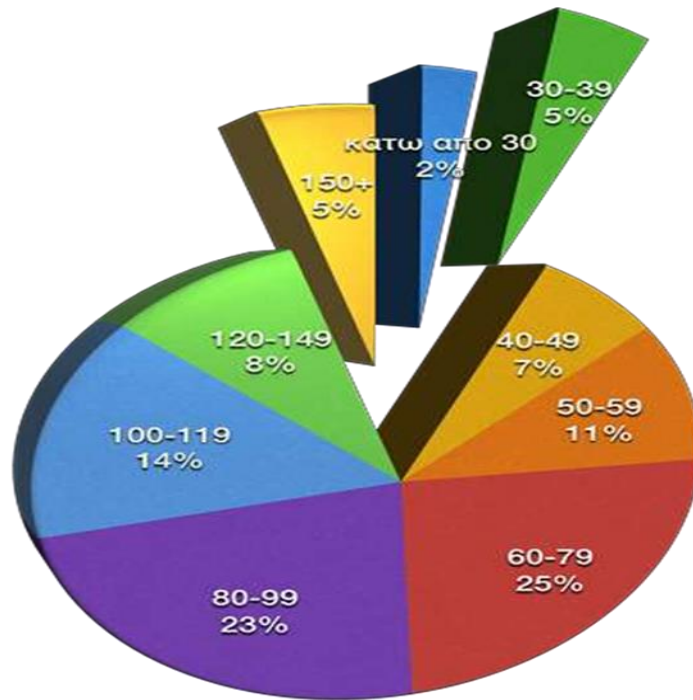
- Πριν το 1980, δεν υπάρχει κανονισμός θερμομόνωσης και τα κτίρια είναι θερμικά απροστάτευτα
- Από το 1981 έως το 2000, εφαρμόζεται ο ΚΘΚ
- Από το 2001 έως το 2010, εφαρμόζεται ο ΚΘΚ, ο ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός 2000 και ο ελληνικός κανονισμός σπλισμένου σκυροδέματος 2000
- Από το 2010 έως σήμερα εφαρμόζεται ο ΚΕΝΑΚ

Με βάση την απογραφή του 2011(ΕΛΣΤΑΤ 2014) το 55% των κτιρίων με χρήση κατοικίας της χώρας έχει κατασκευαστεί πριν το 1980, δηλαδή είναι θερμικά απροστάτευτα, ενώ λόγω της οικονομικής ύφεσης, ο αριθμός των κτιρίων που έχει κατασκευαστεί μετά το 2010, με τις ελάχιστες απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ είναι μόλις το 1,5%.



Εικόνα 3.3: Μέσος όρος ηλικίας κατοικιών σύμφωνα με την απογραφή του 2011 της ΕΛΣΤΑΤ

Σε ότι αφορά το μέγεθος των κατοικιών με βάση τα στοιχεία της απογραφής του 2011, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, το 59% είναι 50-99 τ.μ., το 14% κάτω από 49 τ.μ. και το 27% πάνω από 100 τ.μ..



Εικόνα 3.4: Μέγεθος κατοικιών σύμφωνα με την απογραφή του 2011 της ΕΛΣΤΑΤ

Σε ότι αφορά τα κτίρια που στεγάζουν δημόσιες υπηρεσίες, πρέπει να σημειωθεί πως δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για το ακριβές πλήθος τους σε συνάρτηση με τη χρήση τους και τα ενεργειακά χαρακτηριστικά τους. Η απογραφή του 2011 αποτιμούσε τα κτίρια που στεγάζουν την κεντρική και αποκεντρωμένη διοίκηση, τους ΟΤΑ και τα Ν.Π.Δ.Δ. και Ν.Π.Ι.Δ. σε περίπου 112.000.

### Χρονική εξέλιξη εθνικών απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων

Με το **Π.Δ. της 1.6/1979** εισάγεται στην ελληνική νομοθεσία ο **κανονισμός θερμομόνωσης κτιρίων**, σύμφωνα με τον οποίο ορίζονται οι απαιτήσεις θερμομόνωσης στις κατοικούμενες κτιριακές κατασκευές. Με την **Κ.Υ.Α. 5825/2010, η οποία αναθεωρήθηκε με την 178581/2017 όμοια, εγκρίθηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ)**, σύμφωνα με τον οποίο προβλέπεται η ενσωμάτωση ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης τους, την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, με συγκεκριμένες δράσεις που αφορούν κυρίως:

- Στην εκπόνηση μελέτης ενεργειακής απόδοσης κτιρίων
- Στην ενεργειακή κατάταξη κτιρίων (Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης)

- Στις ενεργειακές επιθεωρήσεις κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού

Ο **KENAK** αποσκοπεί στη μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό (ΘΨΚ), φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX) με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μέσω του ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού του κελύφους, της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών δομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών (H/M) εγκαταστάσεων, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ). Έτσι, συνοπτικά ο KENAK περιλαμβάνει:

- Τον ορισμό μεθοδολογίας υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων για την εκτίμηση των ενεργειακών καταναλώσεων των κτιρίων ΘΨΚ, φωτισμό και ZNX
- Τον καθορισμό ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση και κατηγορίες για την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων
- Τον καθορισμό ελάχιστων προδιαγραφών για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κτιρίων, τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους και τις προδιαγραφές των H/M εγκαταστάσεων, των υπό μελέτη νέων κτιρίων καθώς και των ριζικά ανακαινιζόμενων
- Τον ορισμό του περιεχομένου της μελέτης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων
- Τον καθορισμό της μορφής του ΠΕΑ, καθώς και τα στοιχεία που αυτό θα περιλαμβάνει
- Τον καθορισμό της διαδικασίας των ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων, καθώς και η διαδικασία των επιθεωρήσεων λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού

### 3.3 Χαρακτηριστικά κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (ΚΣΜΚΕ)

Σύμφωνα με την παρ. 2 του άρθρου της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ και αντιστοίχως την παρ. 5 του άρθρου 2 του ν.4122/2013, ως «κτίριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας» νοείται «κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, προσδιοριζόμενη σύμφωνα με τη μεθοδολογία υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίων του παραρτήματος 1 της οδηγίας και αντιστοίχους του άρθρου 3 του νόμου. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται πρέπει να

καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, περιλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου η πλησίον του κτιρίου».

### Στατιστική καταγραφή βάσει Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) και Μελέτης Βέλτιστου Κόστους.

Προκειμένου να γίνει καταγραφή των ενεργειακών καταναλώσεων των κατοικιών και των κτιρίων του τριτογενούς τομέα ανά κλιματική ζώνη και ανά ενεργειακή κατηγορία, πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία των στοιχείων του ηλεκτρονικού αρχείου επιθεώρησης κτιρίων καθώς και ανάλυση ευαισθησίας αυτών από τα τμήματα επιθεώρησης ενέργειας του ΥΠΕΝ.

Η οδηγία 2010/31/ΕΕ καθορίζει σύστημα συγκριτικής αξιολόγησης (αρχή της «βελτιστοποίησης του κόστους») για την καθοδήγηση των κρατών μελών κατά τον καθορισμό των απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης που περιλαμβάνονται σε εθνικούς ή περιφερειακούς οικοδομικούς κώδικες και την τακτική επανεξέταση των απαιτήσεων αυτών. Σύμφωνα με την οδηγία, με τη βελτιστοποίηση του κόστους καθορίζεται το ελάχιστο επίπεδο επιδιωκόμενων στόχων τόσο για την ανακαίνιση κτιρίων όσο και για τα νέα κτίρια.

Για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων η ελληνική επικράτεια έχει χωριστεί σε 4 κλιματικές ζώνες (Α,Β,Γ και Δ – από τη θερμότερη στην ψυχρότερη) με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης. Από την ανάλυση ευαισθησίας των στοιχείων (βαθμός εμπιστοσύνης 95%) προκύπτει ότι τα εύρη των τιμών των ενεργειακών καταναλώσεων για τις ενεργειακές κατηγορίες Β μέχρι και Α+ είναι τα ακόλουθα (παρακάτω πίνακας). Όλες οι τιμές εμφανίζουν κανονική κατανομή.

Ενεργειακή κατηγορία	Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίων κατοικίας ανά Κλιματική Ζώνη			
	Α	Β	Γ	Δ
A+	13 - 28	14 - 29	15 - 46	17 - 36
A	26 - 39	28 - 45	26 - 57	67 - 94
B+	42 - 63	48 - 75	62- 103	60 - 118
B	60 - 92	70 - 109	93 - 141	89 - 171
Ενεργειακή κατηγορία	Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίων τριτογενούς τομέα ανά Κλιματική Ζώνη			
	Α	Β	Γ	Δ
A+	53 - 70	31 - 71	50 - 55	30
A	48 - 96	65 - 93	75 - 107	67-82
B+	105 - 161	98 - 153	113- 143	105 - 156
B	149 - 216	167 - 221	161 - 209	149 - 211

Εικόνα 3.5: Εύρος τιμών ενεργειακών καταναλώσεων για τις ενεργειακές κατηγορίες Β μέχρι και Α+

Η μεθοδολογία βέλτιστου κόστους παρέχει τη δυνατότητα να καθοριστεί το εύρος των απαιτήσεων ΚΣΜΚΕ για το 2020. Για τη μελέτη του βέλτιστου κόστους, χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι συνδυασμοί μέτρων σχετικά με τη βελτίωση των ενεργειακών χαρακτηριστικών του κελύφους, την ενσωμάτωση αποδοτικών τεχνικών συστημάτων κτιρίων και τη χρήση επιτόπιας ενέργειας από ΑΠΕ, όπως η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών, η παραγωγή ΖΝΧ, η θέρμανση με ηλιακή υποβοήθηση, καθώς και συστήματα θέρμανσης/ψύξης με χρήση αντλιών θερμότητας.

## Συμμετοχή των ΑΠΕ

Σύμφωνα με το εθνικό σχέδιο δράσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας η πρόβλεψη για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στον κτιριακό τομέα δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

(%)	2005	2010	2015	2020
Κατοικίες	15%	17%	22%	27%
Εμπορικά	10%	14%	27%	39%
Βιομηχανικά				
<b>Σύνολο</b>	<b>14%</b>	<b>16%</b>	<b>24%</b>	<b>30%</b>

Εικόνα 3.6: Ποσοστά συμμετοχής ΑΠΕ στον κτιριακό τομέα

Αναλύοντας τα εξεταζόμενα σενάρια των οριοθετημένων περιοχών ΚΣΜΚΕ από τα νέφη των εκτελεσμένων σεναρίων της μελέτης βέλτιστου κόστους και συνεκτιμώντας την πρόβλεψη για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στον κτιριακό τομέα, **για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως Κτίριο με Σχεδόν Μηδενική Κατανάλωση Ενέργειας (ΚΣΜΚΕ), πρέπει:**

- α) Οι νέες κατοικίες και τα νέα κτίρια τριτογενούς τομέα να κατατάσσονται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία Α
- β) Οι υφιστάμενες κατοικίες και τα υφιστάμενα κτίρια τριτογενούς τομέα να κατατάσσονται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία Β+.

Ειδικές περιπτώσεις χρήσεων του τριτογενούς τομέα θα εξεταστούν και θα οριστούν κατά περίπτωση. Το ελάχιστο ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ (πλέον του

ποσοστού που ορίζεται από ισχύουσες διατάξεις) καθώς και ο τρόπος υπολογισμού της συνεισφοράς τους στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας θα καθορισθεί επακριβώς.

### 3.4 Πολιτικές, μέτρα και δράσεις

#### **Κανονιστικά Μέτρα**

- **Υποχρεωτική κάλυψη αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης (ZNX)**

Σύμφωνα με το ν.4122/2013 (άρθρο 6, παρ. 4), στα νέα κτίρια ή κτιριακές μονάδες, η κάλυψη μέρους των αναγκών σε ZNX από ηλιοθερμικά συστήματα είναι υποχρεωτική. Το ελάχιστο ποσοστό του ηλιακού μεριδίου σε ετήσια βάση καθορίζεται σε 60%.

- **Αύξηση συντελεστή δόμησης για κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης**

Ο ν.4067/2012 «Νέος οικοδομικός κανονισμός» (άρθρο 25) παρέχει κίνητρα για τη δημιουργία κτιρίων ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται κίνητρο αύξησης του συντελεστή δόμησης κατά 5% σε κτίρια ενεργειακής κατηγορίας A+ και αύξηση του συντελεστή δόμησης 10% στην περίπτωση όπου το κτίριο επιτυγχάνει ιδιαίτερα υψηλό βαθμό ενεργειακής απόδοσης (πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση κάτω των 10kWH/τ.μ./έτος) και περιβαλλοντικής απόδοσης.

Το πεδίο εφαρμογής της διάταξης διευρύνεται και για τα κτίρια που κατατάσσονται σε ενεργειακή κατηγορία υψηλότερη από αυτή των ΚΣΜΚΕ.

- **Συμψηφισμός δαπανών για την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων**

Με την εφαρμογή του άρθρου 20 του ν.4178/2013 «Αντιμετώπιση της αυθαίρετης δόμησης – Περιβαλλοντικό ισοζύγιο και άλλες διατάξεις» (Α'174) και του άρθρου 102 του ν.4495/2017 «Έλεγχος και προστασία δομημένου περιβάλλοντος και άλλες διατάξεις» (Α'167), δίνεται η δυνατότητα συμψηφισμού των ποσών που καταβάλλονται για αμοιβές υπηρεσιών, εργασίες και υλικά για την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων με τα ποσά του ειδικού προστίμου που προβλέπονται και έως το ποσοστό 50% του προβλεπόμενου ειδικού προστίμου. Ο συμψηφισμός διενεργείται εφόσον οι παρεμβάσεις επιφέρουν αναβάθμιση του κτιρίου κατά μια τουλάχιστον ενεργειακή κατηγορία ή ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας μεγαλύτερη από το 30% της κατανάλωσης του κτιρίου αναφοράς.

- **Υποχρέωση ενεργειακής διαχείρισης από φορείς του δημοσίου**



## Κεφάλαιο 4

### Το Παθητικό Κτίριο

#### Εισαγωγή

Το πρότυπο του Παθητικού Κτιρίου είναι κατά πολλούς το βέλτιστο πρότυπο κατασκευής κτιρίων στον κόσμο, το οποίο συνεχώς εξελίσσεται. Περιλαμβάνει δομές και στοιχεία από το Βιοκλιματικό σχεδιασμό, τη Βιωσιμότητα των κτιρίων, την Ενεργειακή αποδοτικότητα και άλλα. Κύριος στόχος, είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και η ποιότητα ζωής των χρηστών. Αυτή τη στιγμή (2019), είναι κατασκευασμένα πάνω από 70.000 Παθητικά Κτίρια παγκοσμίως.

#### 4.1 Ιστορία

Ιστορικά, το πρότυπο του παθητικού κτιρίου ξεκίνησε από μια συζήτηση μεταξύ του Dr. Wolfgang Feist και του Dr. Bo Adamson το Μάιο του 1988. «Πότε όμως χτίστηκε το πρώτο παθητικό κτίριο?», «ποιος εφηύρε τα παθητικά κτίρια?», είναι ερωτήσεις στις οποίες ο Adamson έχει απαντήσει: *«Τα παθητικά κτίρια υπήρχαν από πάντα σε διάφορα μέρη του πλανήτη, ανάλογα με τις συνθήκες και τα κλιματικά δεδομένα, απλώς δεν είχαν χαρακτηριστεί ως παθητικά.»* [9]

Αρκετά από τα πρώτα ΠΚ βασίστηκαν σε ερευνητικά δεδομένα και πρακτικές που είχαν εφαρμοστεί σε ήδη υπάρχοντα κτίρια. Όπως, για παράδειγμα, παραδοσιακά κτίρια στην Ισλανδία (Εικόνα 4.1), στα οποία χρησιμοποιήθηκε γρασίδι, ως μονωτικό υλικό στέγης (το σημερινό πράσινο δώμα). Επίσης, το «DTU zero-energy house» (Εικόνα 4.2), το οποίο σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από τον Prof. Vagn Korsgaard στην Κοπενχάγη ήταν αρωγός της ιδέας της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας με ποικίλους τρόπους. Τέλος, ως απάντηση στο εμπόργκο πετρελαίου, οι μηχανικοί στη Βόρεια Αμερική έπρεπε να βρουν τρόπο να ισοσταθμίσουν την έλλειψη ενέργειας για θέρμανση. Σχεδίασαν, λοιπόν, κτίρια με πολύ μεγάλο πάχος μόνωσης αλλά και τον ήλιο ως κύρια πηγή θέρμανσης. Ενδεικτικά παραδείγματα είναι το Saskatchewan Conservation House και το Leger House στο Pepperell, Massachusetts (Εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.1: Παραδοσιακές κατοικίες στην Ισλανδία [9]



Εικόνα 4.2: DTU zero-energy house στην Κοπεγχάγη [9]



Εικόνα 4.3: Παράδειγμα από εξαιρετικά μονωμένο κτίριο στη Βόρειο Αμερική [9]

Το 1996 ο Dr. Wolfgang Feist ίδρυσε το Ινστιτούτο παθητικού κτιρίου στο Darmstadt της Γερμανίας, ενώ παράλληλα είχε μόλις ολοκληρώσει μια πιλοτική κατασκευή κατοικίας, το *Passivhaus Darmstadt Kranichstein* (Εικόνα 4.4). Αξίζει να αναφέρουμε ότι η συγκεκριμένη κατοικία είναι το σπίτι που διαμένει ακόμα ο ίδιος και η οικογένειά του, ενώ πραγματοποιούνται συνεχώς πειράματα και μετρήσεις. Πριν λίγα χρόνια μάλιστα το κτίριο «γιόρτασε» τα 25 του χρόνια, οι μετρήσεις δείχνου ότι εξακολουθεί να λειτουργεί άψογα και οι αλλαγές σε υλικά είναι ελάχιστες.

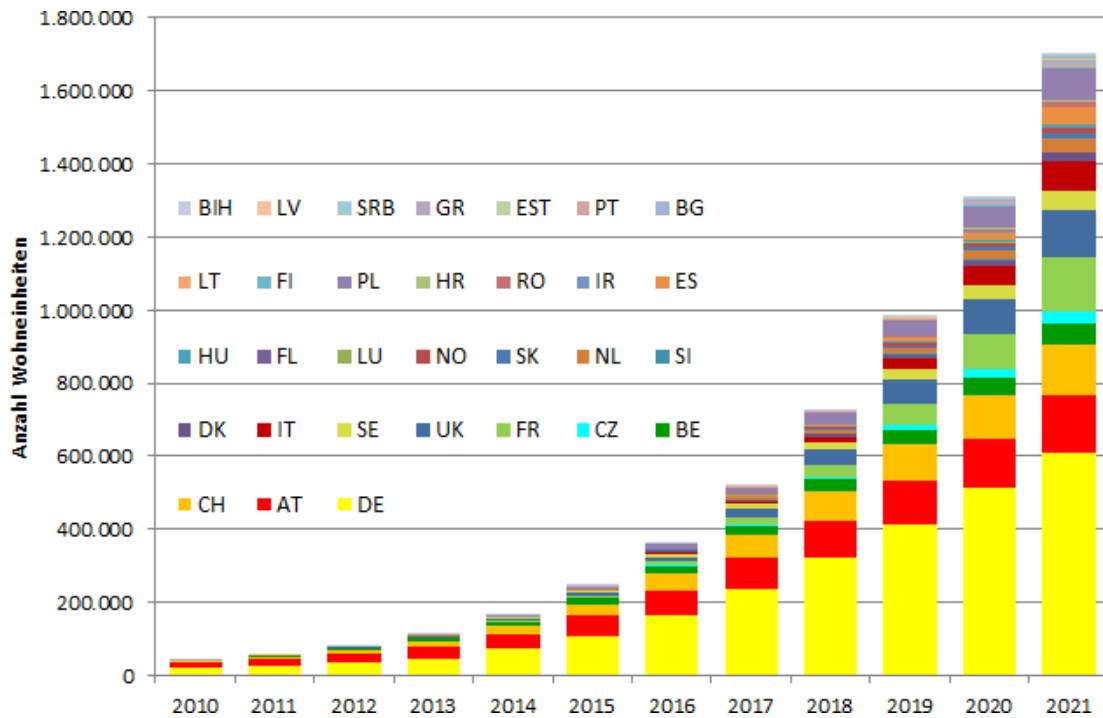
Το συγκεκριμένο παράδειγμα, είναι το πλέον ενδεικτικό στην απόδειξη ότι στο σχεδιασμό και την υλοποίηση παθητικών κτιρίων δεν υπάρχει “Performance gap”. Μια σύντομη επεξήγηση του παραπάνω όρου είναι ότι: η διαφορά απόδοσης ενός παθητικού κτιρίου από τα σχέδια και τη μελέτη του μηχανικού έως την πραγματικότητα είναι πολύ μικρή. Προϋποθέσεις για να επιτευχθεί αυτό υπάρχουν πολλές, όπως για παράδειγμα η τήρηση των οδηγιών κατά την κατασκευή, η τοποθέτηση των υλικών με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που απαιτούνται και πολλά άλλα.



Εικόνα 4.4: Το πρώτο πιστοποιημένο παθητικό κτίριο στο Darmstadt [9]

Επίσης, το 1988 δρομολογήθηκε το **CEPHEUS Project** (Cost Efficient Passive Houses as European Standards) που έθεσε ως στόχο την κατασκευή 250 παθητικών κατοικιών το διάστημα 1998-2001 στις: Γαλλία, Ελβετία, Γερμανία, Αυστρία και Σουηδία. Το Cepheus Project ήταν ένα φιλόδοξο σχέδιο που στόχευε στο να αποδείξει πως είναι εφικτή η κατασκευή κτιρίων που θα επιτύγχαναν τις ενεργειακές απαιτήσεις του ΠΚ με προσεγγίσιμο επιπρόσθετο κόστος κατασκευής. Ένας από τους κύριους στόχους που έθεσε το συγκεκριμένο έργο ήταν να αποδείξει ότι τα ΠΚ χαρακτηρίζονται από μικρή διαφορά στο συνολικό κόστος του κύκλου ζωής τους σε σχέση με τα συμβατικά κτίρια. Οι στόχοι επετεύχθησαν και μέχρι το τέλος του 2001, 221 διαμερίσματα σε 14 κατασκευασμένα κτίρια παραδόθηκαν στους χρήστες τους, πιστοποιημένα ως παθητικά.

Τα τελευταία είκοσι χρόνια καλλιεργήθηκε και θεμελιώθηκε στην Ευρώπη η τάση για κατακόρυφη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον κτιριακό τομέα μέσα από την κατασκευή κτιρίων, τα οποία είναι ανεξάρτητα από τη χρήση ορυκτών καυσίμων και υπακούουν στην ενεργειακή πολιτική που καλείται να συμβάλλει στην επίτευξη των στόχων της οδηγίας 20-20-20. Με την πάροδο του χρόνου, το ΠΚ κερδίζει συνεχώς έδαφος στην αγορά, τόσο στην Ευρώπη, όσο και στον κόσμο. Μέχρι το τέλος του 2014 ο αριθμός των ΠΚ ήταν περίπου 200.000. Το παρακάτω γράφημα της γερμανικής εταιρίας Lang-Consulting δείχνει τις προβλέψεις για την αναμενόμενη αύξηση του αριθμού των παθητικών κτιρίων έως το τέλος της τωρινής δεκαετίας.



Σχήμα 4.5: Αριθμός Παθητικών Κτιρίων ανά έτος και χώρα [58]

## 4.2 Έννοια του παθητικού κτιρίου

**Ορισμός:** Το παθητικό κτίριο είναι ένα κτίριο στο οποίο η εσωτερική θερμική άνεση (ISO 7730) εξασφαλίζεται αποκλειστικά από προθέρμανση ή πρόψυξη της ποσότητας του νωπού αέρα, η οποία απαιτείται (DIN 1946) για τη σωστή εσωτερική ατμόσφαιρα, χωρίς τη χρήση επιπλέον ανακυκλοφορίας του αέρα.

Το παθητικό κτίριο (Passive House) είναι ένα πρότυπο κτιρίου το οποίο προσφέρει ταυτόχρονα υψηλή ενεργειακή απόδοση, άνεση, οικονομία και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Δεν είναι ένα εμπορικό τέχνασμα, αλλά μια σχεδιαστική φιλοσοφία που είναι ανοικτή σε όλους και αυτό έχει αποδειχθεί στην πράξη. Ως εκ τούτου, είναι κάτι περισσότερο από "απλώς" ένα ενεργειακά αποδοτικό κτίριο.

Το πρότυπο του ΠΚ είναι ένα καθαρά υπολογιστικό πρότυπο που βασίζεται αποκλειστικά στις αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού, αρχών της φυσικής, την ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου και ως εκ τούτου δεν έχει συγκεκριμένες μεθόδους κατασκευής. Λόγω αυτού, το κάθε κτίριο μπορεί και πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα, στο κλίμα της περιοχής.

Αυτό φαντάζει αρκετά φιλόδοξο, ωστόσο το ΠΚ δεν είναι παρά μια νέα κατηγορία κτιρίων, η οποία μειώνει κατακόρυφα τις ενεργειακές απαιτήσεις σε θέρμανση και ψύξη. Από τη σύμμεκτη κατασκευή μέχρι την βαριά προκατασκευή, οι αρχιτέκτονες, ακολουθώντας βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού, είναι ελεύθεροι να δημιουργήσουν ο,τι είδους ΠΚ επιθυμούν. Το πρότυπο χρησιμοποιείται

όλο και πιο συχνά και σε άλλα κτίρια όπως σχολεία, δημόσιες υπηρεσίες, εργοστάσια και ξενοδοχεία, ενώ εξίσου σημαντική είναι η εφαρμογή του προτύπου σε ανακαινίσεις υφιστάμενων κτιρίων

Με την ελαχιστοποίηση των απωλειών μεγιστοποιούνται τα θερμικά κέρδη. Αυτά προέρχονται από τον ήλιο, που πρέπει να εισέρχεται σε μεγάλη ποσότητα το χειμώνα στο κτίριο (αλλά και να αποφεύγεται με σωστή σκίαση το καλοκαίρι) και από τις δραστηριότητες των χρηστών και τις συσκευές μέσα στο σπίτι. Το κτίριο χρειάζεται καλό προσανατολισμό προς το νότο και καλό βιοκλιματικό σχεδιασμό. Επικουρική θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης προέρχονται και αυτά από τον ήλιο ή από άλλα παθητικά ή ενεργειακά συστήματα υψηλής απόδοσης και χαμηλής κατανάλωσης.

Η εκμετάλλευση της θερμότητας που ελεγχόμενα εναλλάσσεται μεταξύ κτιρίου και περιβάλλοντος, η οποία παρέχεται από παθητικά ηλιακά συστήματα, καθώς και από εσωτερικές θερμικές πηγές, όπως η θερμότητα που παράγεται από χρήστες και συσκευές, αρκεί για τη θέρμανση του εσωτερικού χώρου. Δεν απαιτούνται συμβατικοί τρόποι θέρμανσης ή ψύξης, κάτι το οποίο οδηγεί σε οικονομικό όφελος από την εξοικονόμηση ενέργειας, που επενδύεται σε καλύτερο σχεδιασμό και καλύτερης ποιότητας υλικά.

Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη μεγάλη και μακροχρόνια οικονομία στην ενέργεια, αναδεικνύει το ΠΚ ως μια εξαιρετική επένδυση. Με δεδομένη, μάλιστα, τη μείωση των αποθεμάτων, αλλά και το αυξανόμενο κόστος των ορυκτών καυσίμων, το ΠΚ αποδεικνύει στην πράξη ότι η αειφορία είναι προσιτή σε όλους. Επιπλέον, το ΠΚ πληροί τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής οδηγίας 2010/31 σε κάθε πιθανή εκδοχή, άρα αποτελεί ιδανική βάση για τα nZEB.

### **Πέντε Θεμελιώδεις Αρχές ενός ΠΚ:**

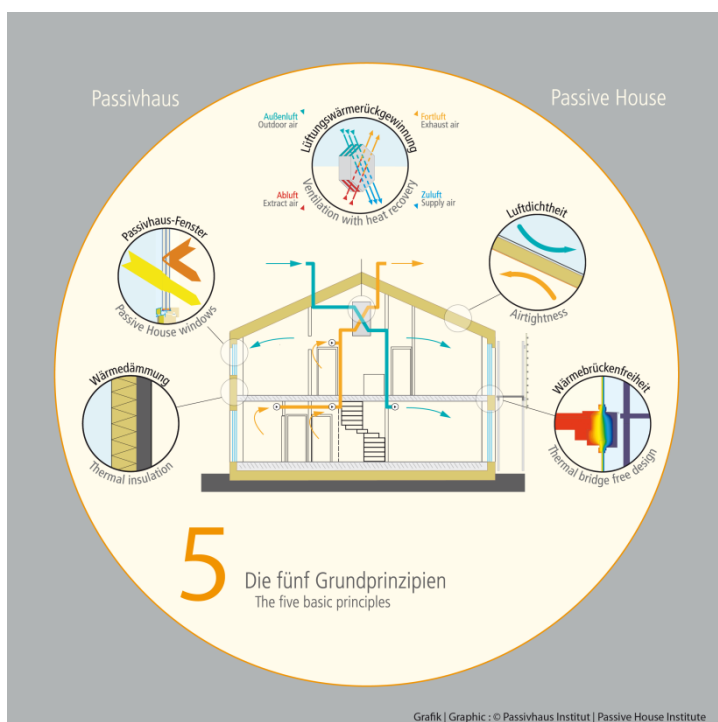
Τα μέγιστα ενεργειακά κέρδη ενός ΠΚ επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας επιμέρους ενεργειακά αποδοτικότερα κατασκευαστικά στοιχεία και ένα ποιοτικό σύστημα αερισμού. Η ικανότητα του ΠΚ να διατηρεί το εσωτερικό του στις επιθυμητές συνθήκες βασίζεται στις εξής θεμελιώδεις αρχές:

1. **Θερμομόνωση [1]:** Ένα σωστά μονωμένο κτιριακό κέλυφος, κατά τη διάρκεια του χειμώνα διατηρεί τη ζέστη μέσα στο κτίριο, ενώ το καλοκαίρι την εμποδίζει να εισέλθει.
2. **Κουφώματα:** Τα σωστά σχεδιασμένα, μονωμένα και τοποθετημένα κουφώματα συμμετέχουν στη βέλτιστη αξιοποίηση των θερμικών κερδών.
3. **Αερισμός με Ανάκτηση Ενέργειας:** Τα συστήματα αερισμού των ΠΚ παρέχουν καθαρό αέρα με μέγιστη ενεργειακή απόδοση μέσω της ανάκτησης θερμότητας και του ελέγχου της υγρασίας.
4. **Αεροστεγανότητα:** Τα ΠΚ είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται οι διαρροές αέρα στο κτιριακό κέλυφος και έτσι να αυξάνεται η

ενεργειακή απόδοση και να εμποδίζεται η εμφάνιση ρευμάτων αέρα και φθορών από την υγρασία.

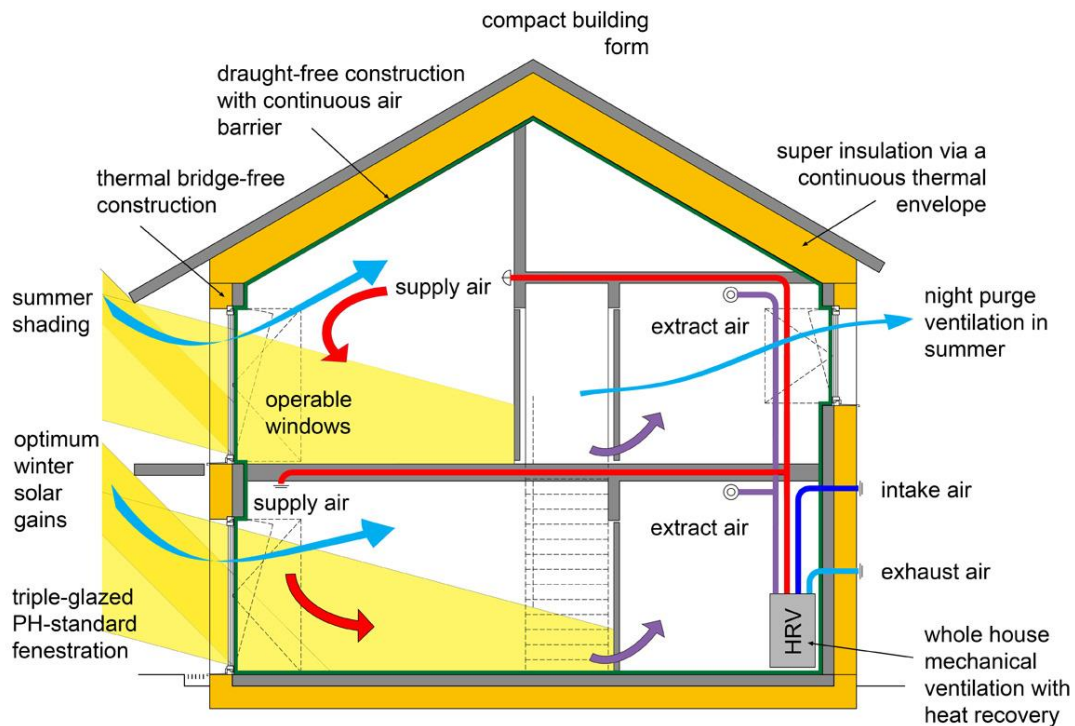
5. **Θερμογέφυρες:** Η ελαχιστοποίηση θερμογεφυρών και ασθενών σημείων στο κτιριακό κέλυφος, συνεισφέρει στη δημιουργία ευχάριστης και σταθερής θερμοκρασίας, εξαλείφοντας τις φθορές από την υγρασία, ενώ αυξάνει την ενεργειακή απόδοση.

Επιπρόσθετα, στη λειτουργία του ΠΚ, παράγοντες όπως η σκίαση, ο νυχτερινός φυσικός αερισμός, η ελαφρά γεωθερμία αέρα και ο σωστός σχεδιασμός της θερμικής μάζας συμβάλλουν στην καλύτερη απόδοση των ΠΚ στα μεσογειακά κλίματα, όπως το ελληνικό. [59]



Εικόνα 4.6: Οι πέντε βασικές αρχές ενός ΠΚ [www.passiv.de]





Εικόνα 4.7: Βασικές Αρχές ενός ΠΚ [9]

### 4.3 Λογισμικό

#### PHPP - Passive House Planning Package

Το PHPP είναι ένα εργαλείο υπολογισμού, το οποίο περιέχει οτιδήποτε είναι απαραίτητο ως προς το σχεδιασμό ενός λειτουργικού ΠΚ. Επίσης, υπολογίζει το ενεργειακό ισοζύγιο και την ετήσια απαίτηση ενέργειας του κτιρίου με βάση τα στοιχεία που του δίνει ο χρήστης.

Τα κυριότερα αποτελέσματα που εξάγονται είναι:

- 1) Η ετήσια απαίτηση ενέργειας για θέρμανση  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  και η μέγιστη θερμική ισχύς  $\text{W}/\text{m}^2$
- 2) Η καλοκαιρινή θερμική άνεση [20] με χρήση ενεργητικής ψύξης: Ετήσια απαίτηση ενέργειας για ψύξη  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  και μέγιστη ψυκτική ισχύς  $\text{W}/\text{m}^2$ .
- 3) Η καλοκαιρινή θερμική άνεση μέσω παθητικών συστημάτων ψύξης: Πιθανότητα υπερθέρμανσης %
- 4) Η ετήσια απαίτηση πρωτεύουσας ενέργειας [19] για ολόκληρο το κτίριο  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$



Το RHPP αποτελείται από ένα τυπωμένο εγχειρίδιο και ένα αντίστοιχο CD. Το εγχειρίδιο, όχι μόνο διευκρινίζει τις μεθόδους υπολογισμού που χρησιμοποιούνται στο RHPP, αλλά εξηγεί και άλλα σημαντικά σημεία στην κατασκευή των ΠΚ. Το πρόγραμμα RHPP βασίζεται σε ένα αρχείο Excel (ή ισοδύναμο πρόγραμμα λογισμικού υπολογιστικού φύλλου) με διαφορετικά φύλλα εργασίας που περιέχουν τις αντίστοιχες εισροές και υπολογισμούς για διάφορες μεταβλητές.

Μεταξύ άλλων, το RHPP παρέχει τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Διαστασιολόγηση μεμονωμένων εξαρτημάτων (συγκροτήματα δομικών στοιχείων, συμπεριλαμβανομένου του υπολογισμού των τιμών U [9], ποιότητας παραθύρων, σκίαση, αερισμός κ.λπ.) και η επίδρασή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου το χειμώνα, καθώς και το καλοκαίρι
- Διαστασιολόγηση φορτίου θέρμανσης και φορτίου ψύξης
- Διαστασιολόγηση των μηχανικών συστημάτων για ολόκληρο το κτίριο: θέρμανση, ψύξη, παροχή ζεστού νερού
- Επαλήθευση της ενεργειακής απόδοσης της ιδέας του κτιρίου στο σύνολό του

Οι υπολογισμοί είναι στιγμιαίοι, δηλαδή μετά την αλλαγή μιας καταχώρησης ο χρήστης μπορεί να δει αμέσως την επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου. Αυτό καθιστά δυνατή τη σύγκριση εξαρτημάτων/υλικών διαφορετικών ιδιοτήτων χωρίς μεγάλη προσπάθεια και έτσι να βελτιστοποιηθεί το συγκεκριμένο κατασκευαστικό έργο - είτε πρόκειται για νέα κατασκευή είτε για ανακαίνιση - με βήμα προς βήμα σε σχέση με την ενεργειακή απόδοση. Τυπικές μηνιαίες κλιματολογικές συνθήκες για την τοποθεσία του κτιρίου επιλέγονται ως υποκείμενες οριακές συνθήκες (ιδιαίτερα θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία). Με βάση αυτό, το RHPP υπολογίζει τη μηνιαία ζήτηση θέρμανσης ή ψύξης για το εγγεγραμμένο κτίριο, ενώ επίσης μπορεί έτσι να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικές κλιματικές περιοχές σε όλο τον κόσμο.

Φυσικά, όλοι οι υπολογισμοί στο RHPP βασίζονται αυστηρά στους νόμους της φυσικής. Όπου είναι δυνατόν, συγκεκριμένοι αλγόριθμοι καταφεύγουν στα τρέχοντα διεθνή πρότυπα (π.χ. EN, DIN, ISO). Οι γενικεύσεις είναι απαραίτητες σε ορισμένα σημεία (π.χ. καθιερωμένες ρουτίνες σκίασης) και μερικές φορές μπορεί επίσης να είναι αναγκαίες αποκλίσεις (λόγω της εξαιρετικά χαμηλής ζήτησης ενέργειας των ΠΚ), καθώς δεν υπάρχουν διεθνώς συναφή πρότυπα (π.χ. όσον αφορά τη διαστασιολόγηση των συστημάτων αερισμού). Αυτή η προσέγγιση έχει οδηγήσει σε ένα διεθνώς αξιόπιστο εργαλείο υπολογισμού με το οποίο η αποτελεσματικότητα ενός έργου κατασκευής μπορεί να εκτιμηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια απ' ό,τι με συμβατικές μεθόδους υπολογισμού. Το RHPP αποτελεί τη βάση για τη διασφάλιση της ποιότητας, τη μείωση του "Performance Gap" και την πιστοποίηση ενός κτιρίου ως ΠΚ ή ανακαίνισης EnerPHit. Τέλος, τα αποτελέσματα του υπολογισμού RHPP συγκεντρώνονται σε ένα καλά δομημένο φύλλο επαλήθευσης.

Specific building demands with reference to the treated floor area				
			Requirements	Fulfilled?*
	Treated floor area	156,0 m <sup>2</sup>		
Space heating	Heating demand	14 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	yes
	Heating load	10 W/m <sup>2</sup>	10 W/m <sup>2</sup>	yes
Space cooling	Overall specif. space cooling demand	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	-
	Cooling load	W/m <sup>2</sup>	-	-
	Frequency of overheating (> 25 °C)	1,6 %	-	-
Primary energy	Heating, cooling, dehumidification, DHW, auxiliary electricity, lighting, electrical appliances	60 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	yes
	DHW, space heating and auxiliary electricity	33 kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity	25 kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	-
Airtightness	Pressurization test result n <sub>50</sub>	0,2 1/h	0,6 1/h	yes

\* empty field: data missing; '-': no requirement

Εικόνα 4.8: Φύλλο επαλήθευσης του PHPP [9]

## Αξιοπιστία

*For a total of 38 test cases described by ASHRAE 140, PHPP results were within the confidence interval of the reference software for all but one case, which modelled the impact of a south window overhang on cooling energy demand.*

### PHPP V9.6 Validation using ANSI/ASHRAE Standard 140-2017

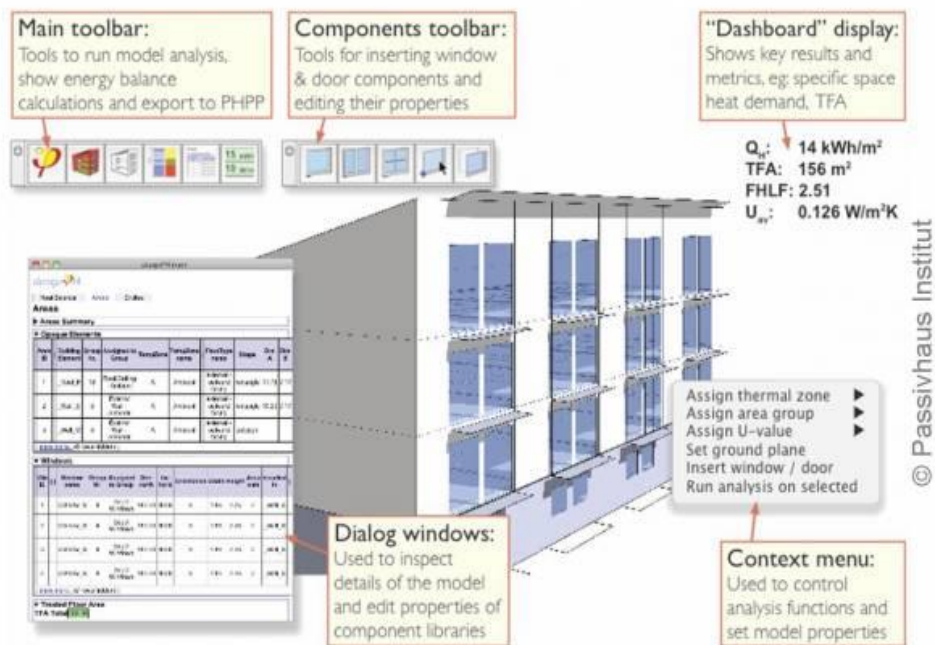
Μελέτη της ASHRAE για την αξιοπιστία του λογισμικού έδειξε ότι το λογισμικό είναι αξιόπιστο, με μοναδικό σημείο απόκλισης (9,8%) την επίδραση της όποιας προεξοχής άνωθι των κουφωμάτων στη νότια πλευρά του κτιρίου.

Το πιο σημαντικό όμως είναι η εμπειρία από τις ήδη υπάρχουσες κατασκευές παγκοσμίως, οι οποίες έχουν μελετηθεί με το PHPP και τα αποτελέσματα είναι εξαιρετικά.

Εν κατακλείδι, το PHPP είναι ένα εργαλείο σχεδιασμού που επιτρέπει στους αρχιτέκτονες και τους μηχανικούς να σχεδιάσουν και να βελτιστοποιήσουν το σχεδιασμό ενός ΠΚ. Το PHPP περιλαμβάνει εργαλεία διαστασιολόγησης για τα παράθυρα (όσον αφορά τη βέλτιστη θερμική άνεση), τον αερισμό (όσον αφορά τη βέλτιστη ποιότητα αέρα με επαρκή υγρασία αέρα) και την τεχνολογία των κτιρίων, ενώ αντιμετωπίζει ολόκληρο το κτίριο ως μία μονάδα, συμπεριλαμβανομένου του συστήματος αερισμού και άλλων μηχανικών συστημάτων. Συνεπώς δεν υπάγεται αυστηρά σε θεωρήσεις και τοπικούς κανονισμούς (π.χ. απαίτηση για μόνωση 5 εκατοστών του ΚΘΚ/ΚΕΝΑΚ), αλλά δίνει τη δυνατότητα στο σχεδιαστή να καθορίσει τις τιμές των επιμέρους τμημάτων του κτιρίου ανάλογα με την απαίτηση για θέρμανση και ψύξη.

## “DesignPH” – plugin for Trimble Sketchup

Το εργαλείο “DesignPH” αναπτύχθηκε από το Passive House Institute με σκοπό την παροχή ενός τρισδιάστατου μοντέλου ικανό να παρουσιάσει και να εισάγει δεδομένα στο PHPP. Υπάγεται στην πλατφόρμα του σχεδιαστικού προγράμματος Sketchup και χρησιμοποιείται, κυρίως από αρχιτέκτονες, στη φάση του σχεδιασμού. Τα οφέλη του συγκεκριμένου εργαλείου είναι, ότι απλοποιεί την εισαγωγή δεδομένων στο PHPP (γεωμετρία κτιρίου, σκιάσεις, κ.λπ.) και ότι παρέχει μια αρχική ανάλυση απόδοσης του κτιρίου εντός του Sketchup. Η γεωμετρία του μοντέλου επισημαίνεται με θερμικές ιδιότητες, με τη βοήθεια ορισμένων λειτουργιών αυτόματης ανάλυσης. Το εργαλείο χρησιμοποιεί έναν ευρετικό αλγόριθμο για να συναγάγει τους τύπους στοιχείων, τις ζώνες θερμοκρασίας και τις ομάδες περιοχών, προκειμένου να εξοικονομήσει χρόνο εισόδου, αν και αυτές μπορούν να αντικατασταθούν από τον χρήστη εάν απαιτείται. Οι εξωτερικές περιοχές απώλειας θερμότητας και η θερμαινόμενη επιφάνεια δαπέδου συλλέγονται και διαμορφώνονται για εξαγωγή σε PHPP. Κάθε παράθυρο αναλύεται ως προς τον εντοπισμό εξωτερικών αντικειμένων σκίασης και αυτά εξάγονται ως παράμετροι εισόδου για καθέναν από τους τρεις βασικούς τύπους σκίασης στο PHPP (λαμπάς, προεξοχή και οριζόντια αντικείμενα). Τέλος, λόγω του ότι το “Performacne Gap” είναι πολύ μικρό, γίνονται προσπάθειες ώστε να απλοποιηθούν οι μέθοδοι εισαγωγής δεδομένων και να εξοικονομηθεί χρόνος.



Εικόνα 4.9: Λειτουργία του designPH [9]

Συνοψίζοντας, το PHI έχει, πλέον, επιτύχει τη μετατροπή δεδομένων από πλειάδα σχεδιαστικών προγραμμάτων όπως το Revit ή το Archicad, μέσω της πλατφόρμας του BIM, ώστε να εισάγονται απευθείας στο PHPP.

#### 4.4 Οικονομική σκοπιμότητα κατασκευής παθητικών κτιρίων

Είναι εμφανές, ότι η ενσωμάτωση των ΠΚ στο κτιριακό απόθεμα κάθε χώρας είναι μείζονος σημασίας στην υιοθέτηση μια ουσιαστικής και αποδοτικής ενεργειακής πολιτικής κατασκευής κτιρίων. Παρ' όλα αυτά υπάρχει μια έντονη ανησυχία επενδυτών-ιδιοκτητών σχετικά με την οικονομική σκοπιμότητα της επένδυσης σε ένα ΠΚ και στο κατά πόσο αυτά τα κτίρια μπορούν να είναι οικονομικά βιώσιμα. Ουσιαστικά, οι ενδιαφερόμενοι επενδυτές νεόδμητων κτιρίων ή ανακαίνισης υφιστάμενων σε παθητικά εκφράζουν τις επιφυλάξεις τους για το επιπρόσθετο κόστος μελέτης και κατασκευής, σε σχέση με ένα συμβατικό κτίριο και κατά πόσο αυτή η διαφορά κόστους μπορεί να αποσβεστεί με την πάροδο του χρόνου.

Είναι λοιπόν αναγκαίο να αποδειχθεί πως η επένδυση σε ένα ΠΚ ενέχει ελάχιστο οικονομικό ρίσκο, παρά την πληθώρα παραγόντων που επιδρούν και οι τιμές των οποίων μπορεί να είναι μεταβαλλόμενες. Σε αυτό το πλαίσιο, παρατίθεται μια μελέτη κόστους-οφέλους της κατασκευής ενός κτιρίου ως παθητικό, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε κάθε κτιριακή μονάδα. Επίσης, δίνονται παραδείγματα από διάφορες εφαρμογές παθητικών κτιρίων, όπου παρατίθεται η οικονομική ανάλυση της επένδυσης.

##### **Ανάλυση Κόστους-Οφέλους**

Με βάση την κατασκευαστική πείρα πάνω στα ΠΚ παγκοσμίως, το επιπλέον κόστος κατασκευής κυμαίνεται από 0% έως 10% συγκριτικά με ένα αντίστοιχο συμβατικό κτίριο. Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων εκφράζεται στις μελέτες κόστους μέσω του EPR (Energy Performance Rating), το οποίο λαμβάνει υπ' όψιν του την προβλεπόμενη ετήσια ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων βάσει της ενεργειακής θωράκισης τους, των κλιματικών συνθηκών και της μέσης συμπεριφοράς των χρηστών. Παρ' όλα αυτά, η χρήση των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης από τους χρήστες και επιθυμητή θερμική άνεση που επιδιώκουν, δεν εναρμονίζεται πάντα με τις ανάγκες του κτιρίου. Παραδείγματος χάριν, η αύξηση της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου κατά 1°C μέσω των ενεργητικών συστημάτων θέρμανσης μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση στην ετήσια κατανάλωση ενέργειας ενός κτιρίου. Κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα, η τελική ενεργειακή κατανάλωση να καταλήγει συνήθως μεγαλύτερη της πρωτογενούς-μοντελοποιημένης και να οδηγεί σε επιμήκυνση της απαιτούμενης περιόδου απόσβεσης. Η αποπληρωμή της επένδυσης σε ένα ΠΚ λαμβάνει χώρα τη χρονική στιγμή, την οποία η συνολική διαφορά της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου, σε σχέση με το συμβατικό, που έχει συσσωρευτεί από το πέρασμα των χρόνων, εξισώνει το πρόσθετο κόστος κατασκευής του κτιρίου ως παθητικό.

Επιπλέον, στη συγκεκριμένη προσέγγιση, ο ίδιος ο επενδυτής έχει ενεργό ρόλο στην κοστολόγηση και αποπεράτωση του έργου, καθώς έχει τη δυνατότητα να καθορίσει τις μεταβολές των μεγεθών που καθορίζουν την οικονομική σκοπιμότητα της επένδυσης.

### Σύγκριση Παθητικών και Συμβατικών κτιρίων

Εκτός από τη βελτίωση της ποιότητας ζωής, τη θερμική άνεση και την ποιότητα του αέρα υπάρχει και άλλο ένα σημαντικό μέγεθος, το οποίο μπορεί να τεθεί σε σύγκριση μεταξύ συμβατικών και παθητικών κτιρίων, η οικονομική αποδοτικότητα. Έρευνες και μελέτες έχουν δείξει ότι ένα συμβατικό κτίριο στην Ελλάδα καταναλώνει περίπου 150 kWh/m<sup>2</sup>annual για θέρμανση ή ψύξη. Η απαίτηση του ΠΚ για θέρμανση ή ψύξη είναι μικρότερη από 15 kWh/m<sup>2</sup>annual, δηλαδή 10 φορές χαμηλότερη.

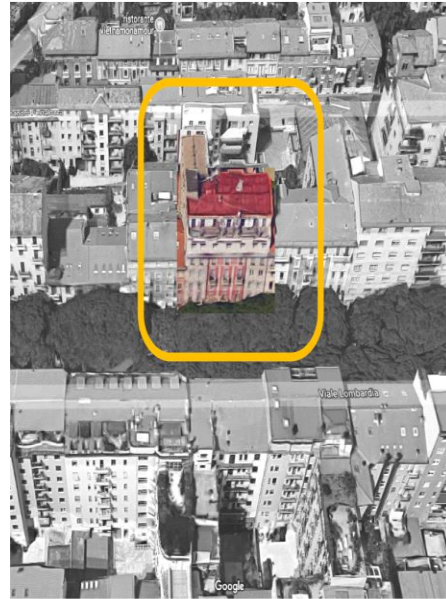
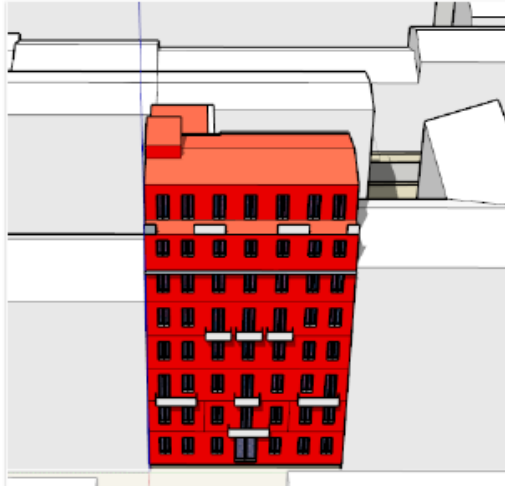
Οι τρόποι θέρμανσης και ψύξης ποικίλλουν: το ηλεκτρικό ρεύμα, το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο και η καύση ξύλου ή pellet, είναι κάποιοι από αυτούς. Σημαντικός, επίσης, είναι ο καθορισμός των μέσων, όπως για παράδειγμα η χρησιμοποίηση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω μιας αντλίας θερμότητας ή μιας κλιματιστικής μονάδας. Άρα, γνωρίζοντας τις απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη του ΠΚ και του ΣΚ αλλά και τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν είναι εύκολο να κοστολογήσουμε και να αξιολογήσουμε την επένδυση. Αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου θα δούμε στο παρακάτω παράδειγμα.

### 4.5 Παράδειγμα οικονομικής ανάλυσης

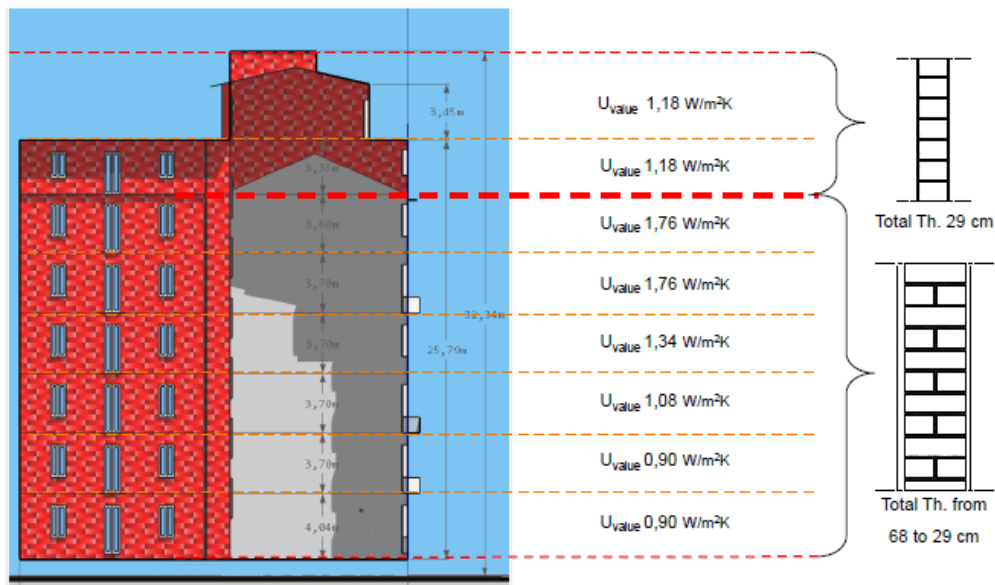
Μια ενδιαφέρουσα μελέτη αφορά μια ενεργειακή αναβάθμιση ενός ιστορικού κτιρίου στο κέντρο του Μιλάνο. Η μελέτη περιγράφει τη συσχέτιση μεταξύ της ενεργειακής αναβάθμισης και του κόστους επένδυσης και μακροχρόνιας λειτουργίας του κτιρίου. Το υπάρχον κτίριο είναι μια κατασκευή του 1930, χωρίς μόνωση, με κακό προσανατολισμό και με τη δημόσια νομοθεσία να μην επιτρέπει τροποποίηση των όψεων λόγω της ιστορικότητας του κέντρου της πόλης. Για τη μελέτη του κτιρίου χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία: PHPP, PHeco και DesignPH. Είναι μια κατασκευή 8 ορόφων, όπου οι 2 τελευταίοι κατασκευάστηκαν μετά το 1970, ενώ υπάρχει μεταβλητότητα στο πάχος της τοιχοποιίας από 68cm στον πρώτο όροφο σε 29cm στον έκτο όροφο, η οποία είναι από τούβλο. Η συνολική επιφάνεια θερμαινόμενου χώρου είναι 1560,25 m<sup>2</sup> και χωρίζεται σε 19 διαμερίσματα. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U[9] της εξωτερικής τοιχοποιίας υπολογίστηκε σε 0,901 W/m<sup>2</sup>k και της οροφής σε 1,559 W/m<sup>2</sup>k, ενώ τα κουφώματα είχαν ένα μέσο συντελεστή U<sub>winst</sub> 4,55 W/m<sup>2</sup>k. Το έργο πραγματοποιήθηκε ως “**Step by Step Retrofit**”, δηλαδή μια μελέτη με 7 επί μέρους τροποποιήσεις, ενώ υπολογίστηκε το ποσοστό επιρροής κάθε μιας στην

επένδυση, οικονομικά και ενεργειακά.

**Existing building data \_ Orientation**  
**East view**  
**Historical façade**



Εικόνα 4.10, 4.11: Ανατολική όψη στο DesignPH και το Google maps αντίστοιχα. [60]



Εικόνα 4.12: Συντελεστής θερμοπερατότητας U της εξωτερικής τοιχοποιίας κάθε ορόφου

Υφιστάμενη κατάσταση:

Ενέργεια:

Απαίτηση θέρμανσης = 151,4 kWh/m<sup>2</sup>annual

Θερμική ισχύς = 69,6 W/m<sup>2</sup>

Κόστη:

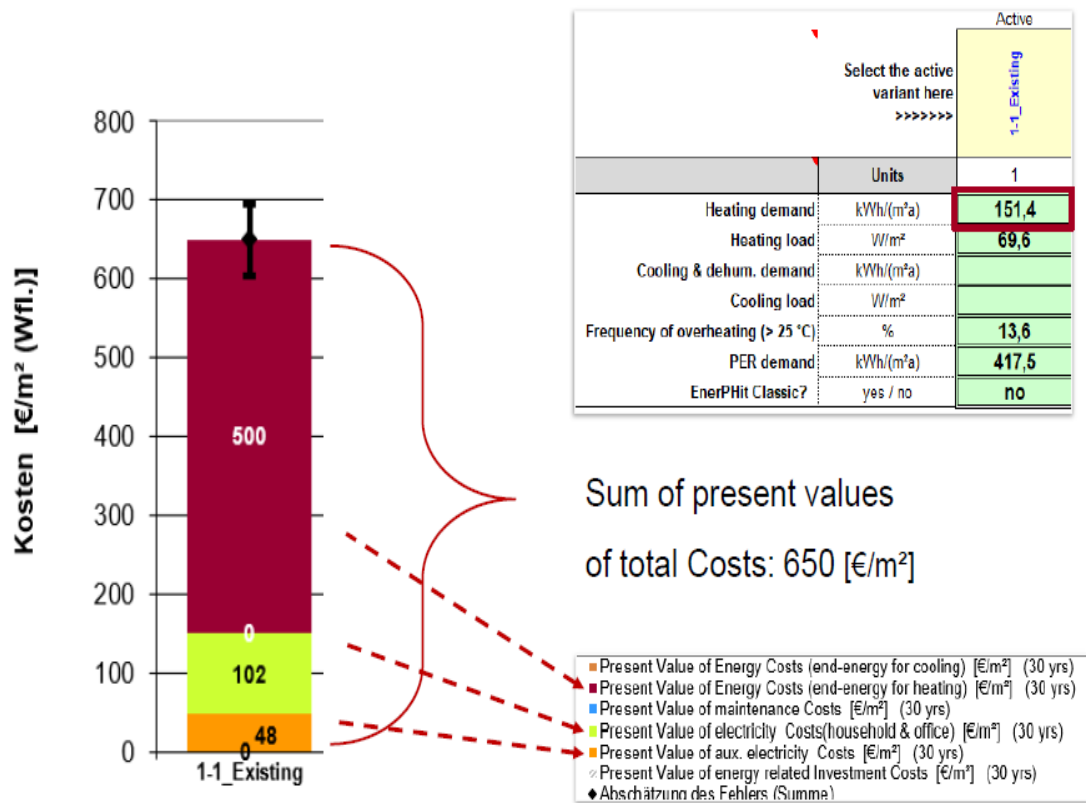
Present Value επιπλέον ηλεκτρικών συσκευών = 48 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value ηλεκτρικού ρεύματος = 102 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value κόστους ενέργειας για θέρμανση = 500 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value συνολικού κόστους = 650 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Όπου η Present Value είναι η παρούσα αξία κόστους σε ορίζοντα 30 ετών για την επένδυση και το λειτουργικό κόστος του κτιρίου σε σημερινές τιμές.



Εικόνα 4.13: Υπολογισμός συνολικού κόστους και απαιτήσεων ενέργειας για την υφιστάμενη κατάσταση

- Πρώτη τροποποίηση

Προσθέτουμε εσωτερική θερμομόνωση 10 εκατοστών με  $\lambda=0,042$  W/mK στην πλευρά της ανατολικής όψης.

Ενέργεια:

Απαίτηση θέρμανσης = 145,7 kWh/m<sup>2</sup>annual

Θερμική ισχύς = 66,9 W/m<sup>2</sup>

Κόστη:

Present Value επιπλέον ηλεκτρικών συσκευών = 48 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value ηλεκτρικού ρεύματος = 103 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

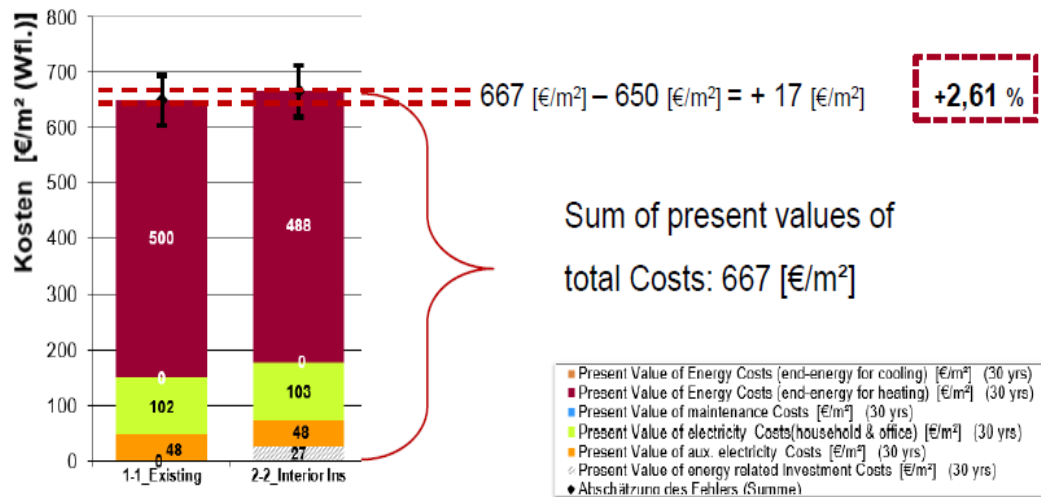
Present Value κόστους ενέργειας για θέρμανση = 488 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value επένδυσης = 27 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value συνολικού κόστους = 667 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Έχουμε ενεργειακή βελτίωση της τάξεως του 3,8% και αύξηση του κόστους κατά 2,61%.





Εικόνα 4.14: Υπολογισμός κόστους και απαιτήσεων ενέργειας μετά το πέρας της 1<sup>ης</sup> μετατροπής.

- Δεύτερη τροποποίηση

Προσθέτουμε εξωτερική γραφιτούχα θερμομόνωση 16 εκατοστών με  $\lambda=0,034$  W/mK σε όλη την εξωτερική τοιχοποιία του κτιρίου.

Ενέργεια:

Απαίτηση θέρμανσης = 99,8 kWh/m<sup>2</sup>annual

Θερμική ισχύς = 49,7 W/m<sup>2</sup>

Κόστη:

Present Value επιπλέον ηλεκτρικών συσκευών = 47 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

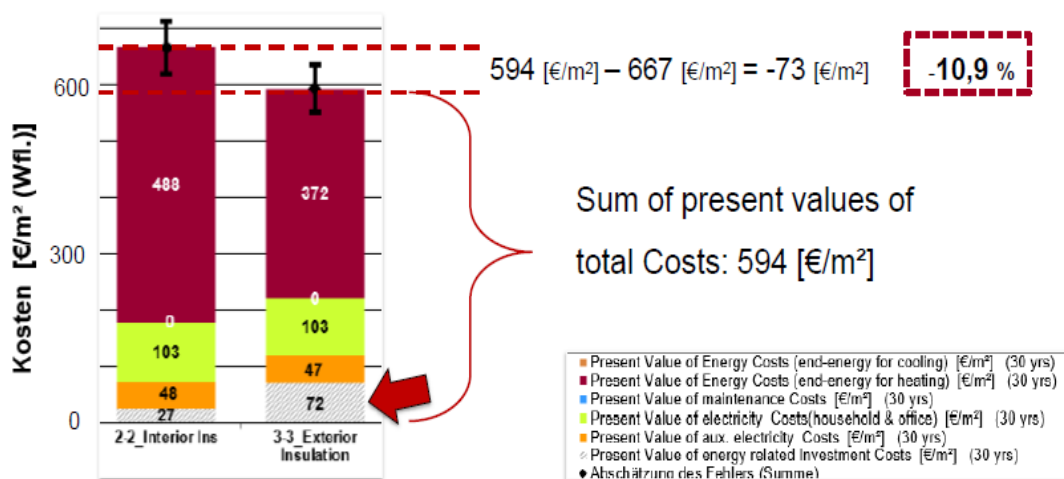
Present Value ηλεκτρικού ρεύματος = 103 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value κόστους ενέργειας για θέρμανση = 372 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value επένδυσης = 72 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value συνολικού κόστους = 594 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Έχουμε ενεργειακή βελτίωση της τάξεως του 34,1% και μείωση του κόστους κατά 10,9%.





Εικόνα 4.15: Υπολογισμός κόστους και απαιτήσεων ενέργειας μετά το πέρας της 2<sup>ης</sup> μετατροπής

- Τρίτη τροποποίηση

Προσθέτουμε εξωτερική μόνωση 30 εκατοστών και  $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$  στην κεκλιμένη οροφή, 20 εκατοστών στην επίπεδη στέγη, 3 εκατοστών στη βεράντα και 15 εκατοστών στο υπόγειο. Οι παραπάνω ενέργειες μας δημιουργούν ένα πολύ καλά μονωμένο κέλυφος κτιρίου.

Ενέργεια:

Απαίτηση θέρμανσης = 99,8 kWh/m<sup>2</sup>annual

Θερμική ισχύς = 49,7 W/m<sup>2</sup>

Κόστη:

Present Value επιπλέον ηλεκτρικών συσκευών = 47 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

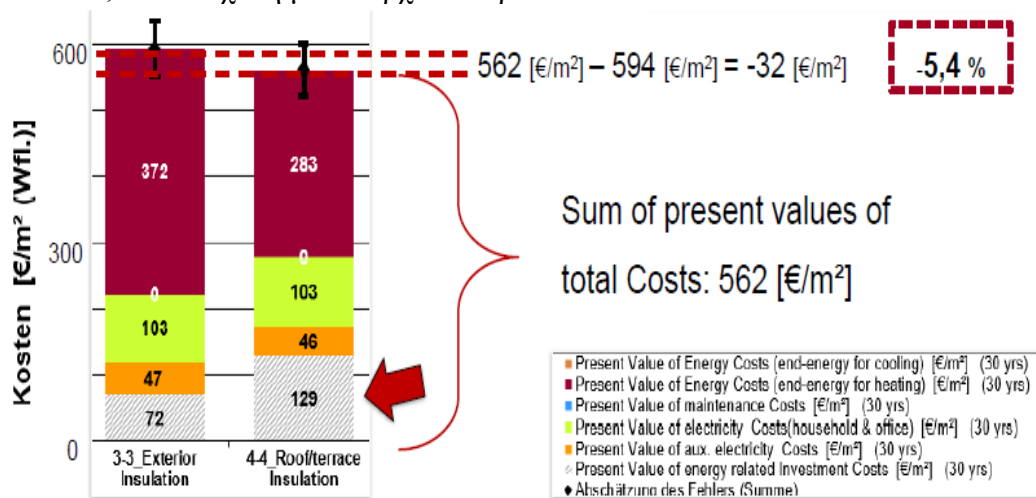
Present Value ηλεκτρικού ρεύματος = 103 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value κόστους ενέργειας για θέρμανση = 372 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value επένδυσης = 72 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value συνολικού κόστους = 594 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Έχουμε ενεργειακή βελτίωση της τάξεως του 46,1% και μείωση του κόστους κατά 14,6% σε σχέση με το αρχικό κτίριο



Εικόνα 4.16: Υπολογισμός κόστους και απαιτήσεων ενέργειας μετά το πέρας της 3<sup>ης</sup> μετατροπής.

- Τέταρτη τροποποίηση

Αλλάζουμε όλα τα κουφώματα του κτιρίου με ενεργειακά τα οποία έχουν  $U_{\text{frame}} = 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_g = 0,58 \text{ W/m}^2\text{K}$  και  $g_{\text{value}} = 0,51$ . Επίσης βελτιώθηκε η αεροστεγανότητα του κτιρίου από 7,3 αλλαγές/ώρα σε 1 αλλαγή/ώρα, ενώ προστέθηκαν σκίαστρα στα νέα κουφώματα.

Ενέργεια:

Απαίτηση θέρμανσης = 33,4 kWh/m<sup>2</sup>annual

Θερμική ισχύς = 17,9 W/m<sup>2</sup>

Κόστη:

Present Value επιπλέον ηλεκτρικών συσκευών = 44 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value ηλεκτρικού ρεύματος = 103 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

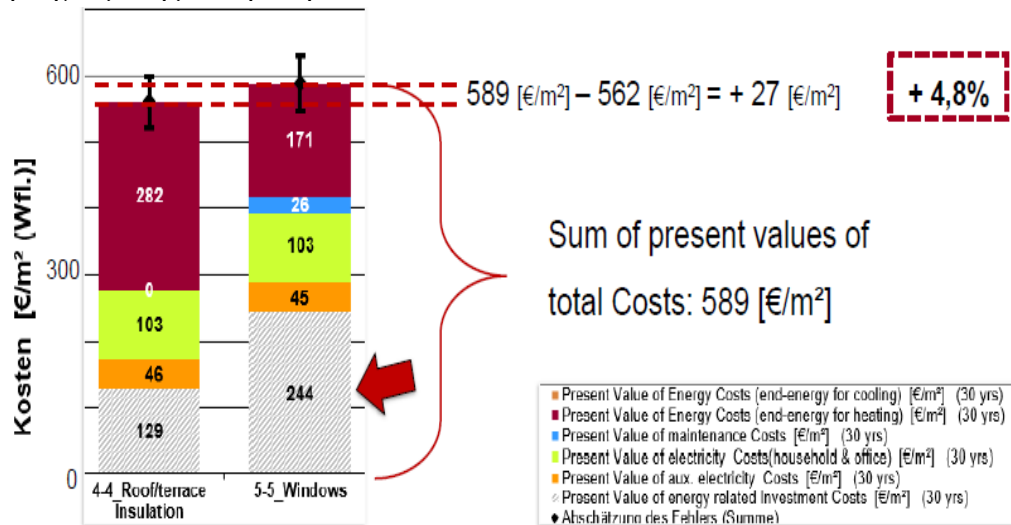
Present Value κόστους ενέργειας για θέρμανση = 171 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value επένδυσης = 244 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value συντήρησης = 26 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value συνολικού κόστους = 589 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Έχουμε ενεργειακή βελτίωση της τάξεως του 78% και μείωση του κόστους κατά 9,8% σε σχέση με το υφιστάμενο κτίριο και αύξηση 4,8% σε σχέση με την προηγούμενη μετατροπή.



Εικόνα 4.17: Υπολογισμός κόστους και απαιτήσεων ενέργειας μετά το πέρας της 4<sup>ης</sup> μετατροπής.

- Πέμπτη τροποποίηση

Προστέθηκαν 19 μονάδες μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας 85%.

Ενέργεια:

Απαίτηση θέρμανσης = 15,9 kWh/m<sup>2</sup>annual

Θερμική ισχύς = 11,3 W/m<sup>2</sup>

Κόστη:

Present Value επιπλέον ηλεκτρικών συσκευών = 69 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value ηλεκτρικού ρεύματος = 103 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

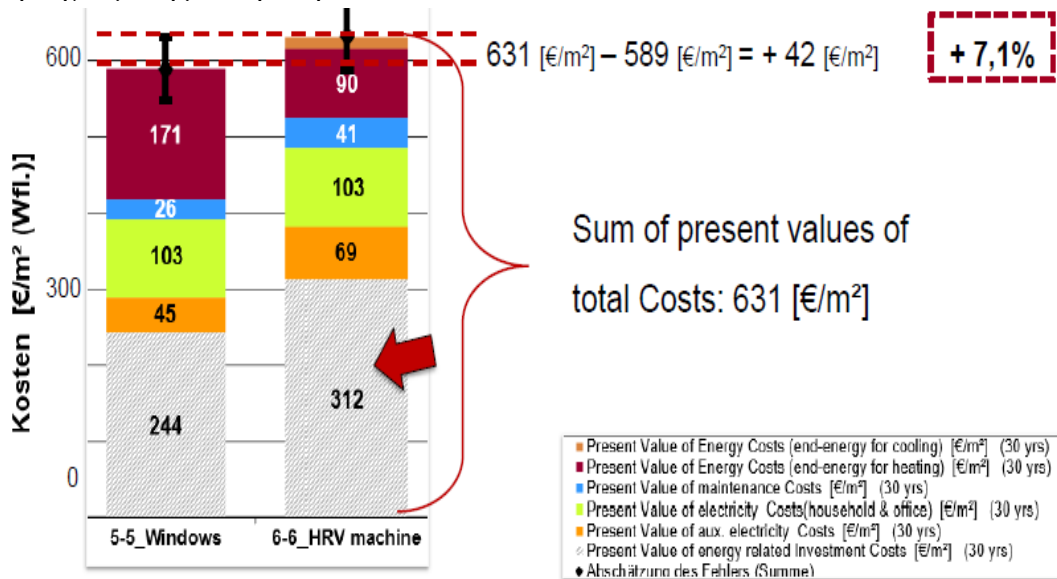
Present Value κόστους ενέργειας για θέρμανση = 90 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value επένδυσης = 312 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value συντήρησης = 41 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value συνολικού κόστους = 631 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Έχουμε ενεργειακή βελτίωση της τάξεως του 89,5% και μείωση του κόστους κατά 2,8% σε σχέση με το υφιστάμενο κτίριο και αύξηση 7,1% σε σχέση με την προηγούμενη μετατροπή.



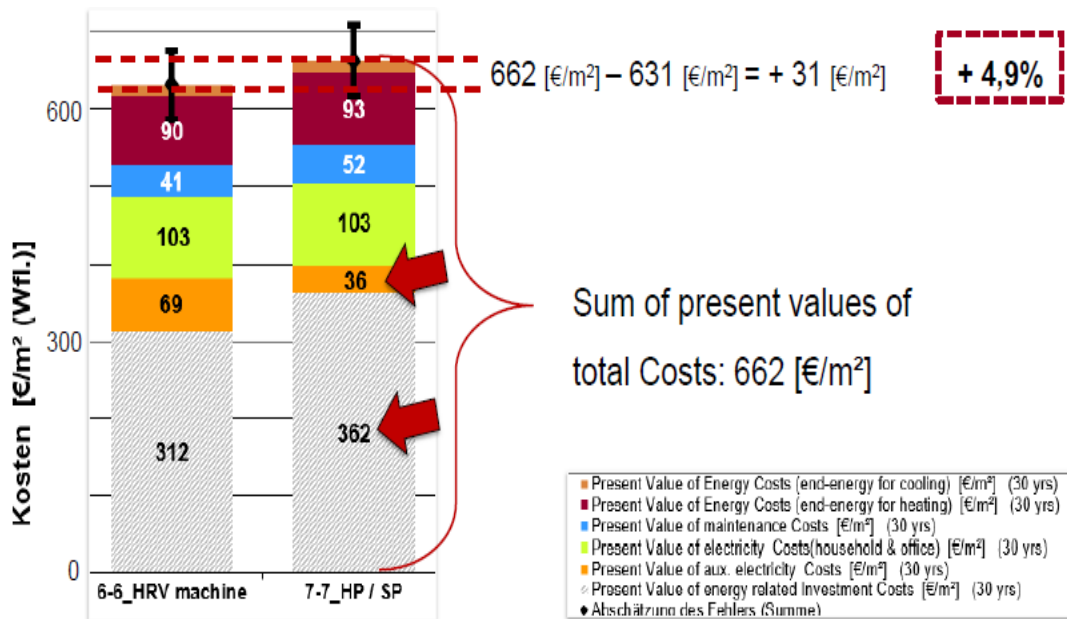
Εικόνα 4.18: Υπολογισμός κόστους και απαιτήσεων ενέργειας μετά το πέρας της 5<sup>ης</sup> μετατροπής.

- Έκτη τροποποίηση

Προστέθηκαν δυο αντλίες θερμότητας και ένα αποθηκευτικό δοχείο για θέρμανση και ZNX, ενώ αντικαταστάθηκαν οι σωληνώσεις ανακυκλοφορίας σε ολόκληρο το κτίριο.

Ενεργειακά η μόνη αλλαγή είναι στην απαίτηση πρωτεύουσας ενέργειας (PER), όπου από 414,4 kWh/m<sup>2</sup>annual έγινε 53,1 kWh/m<sup>2</sup>annual.

Το συνολικό παρόν κόστος επένδυσης αυξήθηκε κατά 50 €/m<sup>2</sup>, άρα έχουμε αύξηση του κόστους κατά 1,8% σε σχέση με το υφιστάμενο κτίριο και 4,9% σε σχέση με την προηγούμενη μετατροπή.



Εικόνα 4.19: Υπολογισμός κόστους και απαιτήσεων ενέργειας μετά το πέρας της 6<sup>ης</sup> μετατροπής.

- Έβδομη τροποποίηση

Προστέθηκαν φωτοβολταϊκά πανέλα με μονοκρυσταλλικούς συλλέκτες της τάξεως των 24,9 kWp στη στέγη του κτιρίου. Συνολικά από τους συλλέκτες που τοποθετήθηκαν παράχθηκε συνολικό ηλεκτρικό ρεύμα 23.522 kWh/a, το οποίο είναι ικανό να εξαλείψει το λειτουργικό κόστος των αντλιών θερμότητας.

Κόστη:

Present Value επιπλέον ηλεκτρικών συσκευών = 36 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value ηλεκτρικού ρεύματος = 0 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

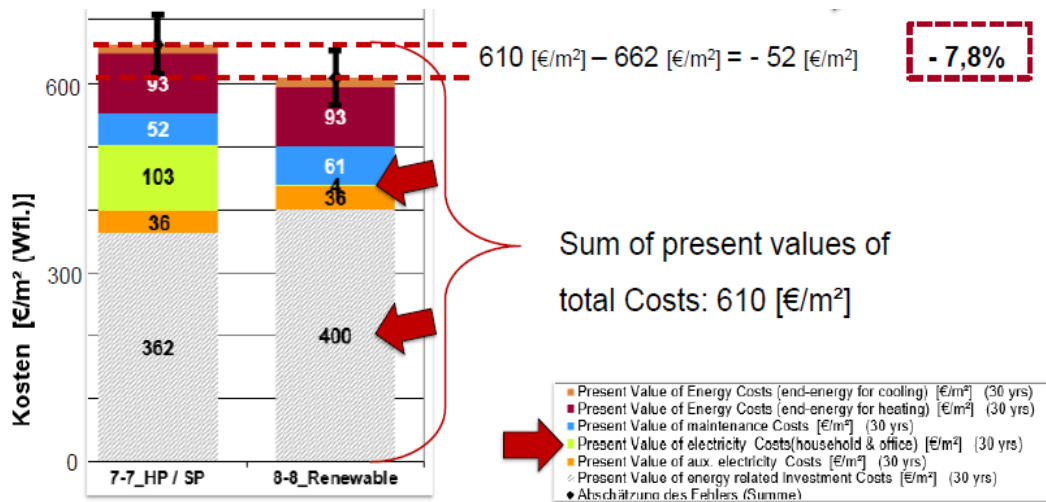
Present Value κόστους ενέργειας για θέρμανση = 93 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value επένδυσης = 400 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value συντήρησης = 61 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Present Value συνολικού κόστους = 610 €/m<sup>2</sup> (30 yrs)

Το συνολικό παρόν κόστος επένδυσης μειώθηκε κατά 6,2% σε σχέση με το υφιστάμενο κτίριο και 7,8% σε σχέση με την προηγούμενη επένδυση.



Εικόνα 4.20: Υπολογισμός κόστους και απαιτήσεων ενέργειας μετά το πέρας της 7ης μετατροπής.

- Σύνοψη

Μετά από 8 μετατροπές βήμα προς βήμα ως προς την ανακαίνιση-ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου, το πρότυπο του παθητικού κτιρίου έχει επιτύχει μείωση της απαίτησης για θέρμανση από **151,4 kWh/m<sup>2</sup>annual** σε **15,9 kWh/m<sup>2</sup>annual** και όφελος επένδυσης από 650 €/m<sup>2</sup> σε 610 €/m<sup>2</sup> σε ορίζοντα 30 ετών. Μάλιστα στη μελέτη δε λάβαμε υπ' όψιν: 1) Χορηγίες, 2) Χρηματοδότηση από το δήμο-κράτος, 3) Εκπτώσεις υλικών

Το κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης ανέρχεται σε **614.729,00 €**, κάτι που αντιστοιχεί σε **32.354,15 € / διαμέρισμα** ή **393,85 € / τετραγωνικό μέτρο** θερμαινόμενης επιφάνειας (TFA). Τα οικονομικά δεδομένα που λήφθηκαν υπ' όψιν παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Data for Cost Calculation		default values
Annual Rate of Credit p		2,00%
Annual Rate Factor q=1+p		1,020
Calculation Time of credit		30
1/Calculation Time		0,0333
Factor for annual payment		0,0446
Factor for Present Value of annual payment		22,3965
Factor for final Value		40,57
<b>Lifetime of Component</b>		<b>30</b>
Factor for annual payment (Lifetime)		0,0446
Factor for Present Value of annual payment (Lifetime)		22,396
Factor for Residual Value at End of Calculation period	1/0 1	0,0000
Factor for final Value		40,57
price for end energy (average future) [€/kWh]		0,100
price for electrical energy (average future) [€/kWh]		0,290

Εικόνα 4.21: Οικονομικά δεδομένα επένδυσης.

Η παραπάνω μελέτη παρουσιάστηκε στο παγκόσμιο συνέδριο παθητικών κτιρίων το 2018 από τον Prof. Roberto Iannetti εκ μέρους του PHI.

## Κεφάλαιο 5

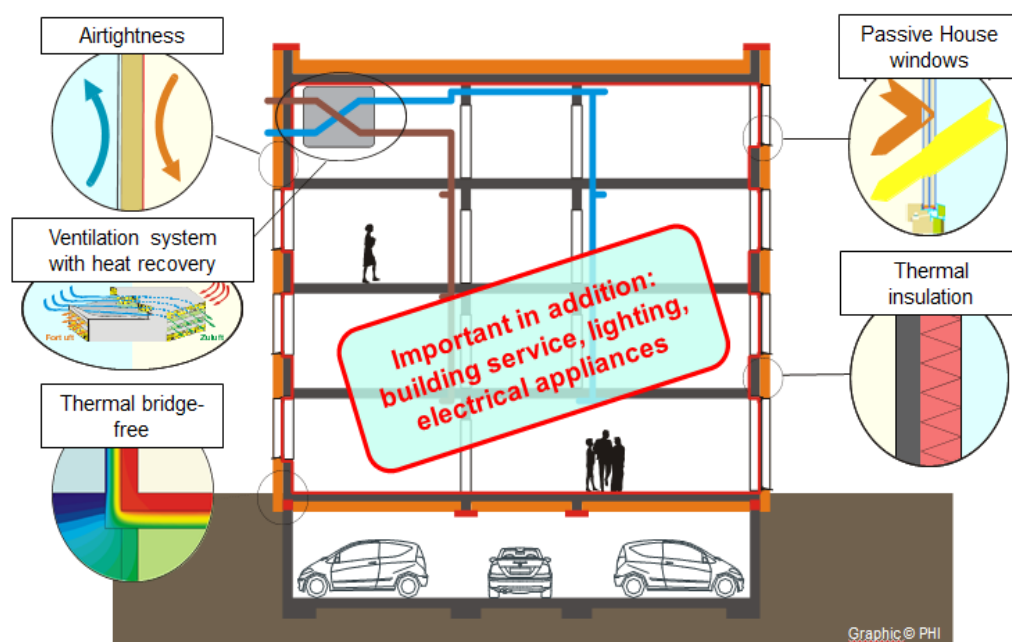
### Σχεδιασμός Παθητικού Κτιρίου

#### Εισαγωγή

Το σημαντικότερο κομμάτι στην υλοποίηση ενός Παθητικού Κτιρίου είναι ο σχεδιασμός του. Είναι μια χρονοβόρα διαδικασία, η οποία παρ' όλα αυτά εγγυάται το αποτέλεσμα το οποίο σχεδιάστηκε. Για την υλοποίηση ενός παθητικού κτιρίου απαιτούνται **πέντε βασικές αρχές**:

1. Η θερμομόνωση του κελύφους.
2. Κουφώματα με συγκεκριμένες απαιτήσεις.
3. Αεροστεγανότητα του κελύφους.
4. Επίλυση θερμογεφυρών.
5. Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας.

Τα στάδια του σχεδιασμού είναι αρκετά και απαιτούν τη συνεργασία μηχανικών διαφορετικών ειδικοτήτων. Θα παρουσιαστούν αναλυτικά παρακάτω.



© PHI

Εικόνα 5.0: Οι 5 βασικές αρχές ενός ΠΚ [5]

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι το πρότυπο του ΠΚ μπορεί να εφαρμοστεί και έχει εφαρμοστεί σε όλο το μήκος και πλάτος του πλανήτη.

## 5.1 Αρχιτεκτονική

Όπως είδαμε και στα παραπάνω, ο τομέας των κτιρίων στην Ευρώπη παράγει σήμερα το 55% περίπου των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Είναι, λοιπόν, προφανές ότι υπάρχει ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Ένας τρόπος να κινηθούμε προς αυτή την κατεύθυνση και να βελτιώσουμε τις υπάρχουσες συνθήκες είναι ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των κτιρίων και κατ' επέκταση των πόλεων.

Η βιοκλιματική φιλοσοφία ουσιαστικά προάγει την εναρμόνιση των κτιρίων με το κλίμα και το περιβάλλον, διασφαλίζοντας παράλληλα την άνετη και υγιεινή διαβίωση του χρήστη στον εσωτερικό αλλά και εξωτερικό χώρο. Οι τρεις βασικοί στόχοι είναι οι εξής:

- 1) Απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα
- 2) Εξοικονόμηση ενέργειας και χρήματος
- 3) Προστασία του περιβάλλοντος

Με την έννοια του βιοκλιματικού σχεδιασμού ορίζεται ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός ενός κτιρίου, το οποίο λαμβάνει υπ' όψιν τα τοπικά κλιματικά δεδομένα (ανάγλυφο εδάφους, ηλιακή ακτινοβολία, άνεμο, θερμοκρασία, προσανατολισμό, σχετική υγρασία [18], βροχή κ.α.) και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά κατά τρόπο, που αφενός να περιορίζει τις επιπτώσεις από την επίδρασή τους στο κέλυφος του κτιρίου και αφετέρου να τα αξιοποιεί στην επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης και υγιεινής διαβίωσης στο εσωτερικό του.

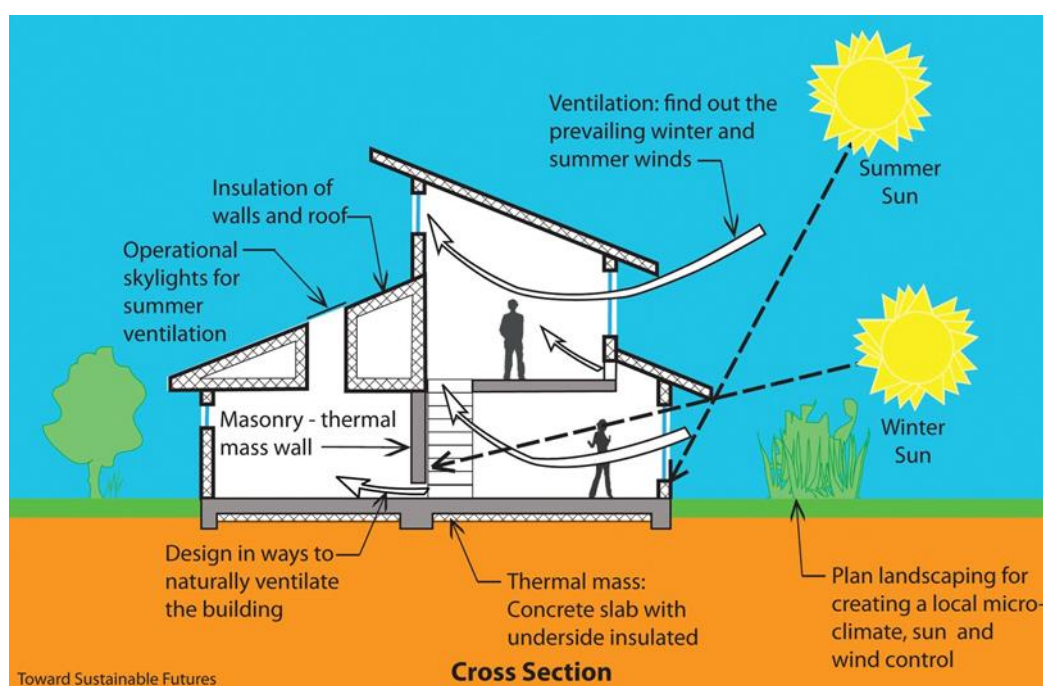
Πρακτικά, επιδιώκεται στο μεγαλύτερο βαθμό η δέσμευση φυσικής ενέργειας που παράγεται από ήπιες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η οποίες θεωρούνται ανεξάντλητες, όπως ο ήλιος. Η δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη χειμερινή περίοδο και η μετατροπή της σε θερμότητα για τη θέρμανση του κτιρίου, όπως και αντίστοιχα η αξιοποίηση του ανέμου κατά τη θερινή περίοδο που θα συμβάλλει στο δροσισμό του κτιρίου, παίζουν μείζονα ρόλο στη βιοκλιματική αρχιτεκτονική. Επίσης, εξίσου σημαντική είναι και η προστασία του κτιρίου από την υπερθέρμανση το καλοκαίρι και τους ισχυρούς ανέμους το χειμώνα.

### 5.1.1 Βιοκλιματικός σχεδιασμός ανά κλίμα

Για να επιτευχθεί η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη χειμερινή περίοδο, θα πρέπει αφενός να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες του κτιρίου (απώλειες με αγωγιμότητα και απώλειες αερισμού) και αφετέρου να μεγιστοποιηθούν τα θερμικά κέρδη. Επιπλέον, τη θερινή περίοδο είναι φυσικό, ότι θα πρέπει να επιδιώκεται ο φυσικός δροσισμός του κτιρίου παράλληλα με την ελαχιστοποίηση των θερμικών κερδών και η θερμική αποφόρτιση του κτιρίου μέσω του αερισμού και



άλλων μέτρων. Το βέλτιστο αποτέλεσμα είναι ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός κτιρίου, στο οποίο η διαφορά θερμικών απωλειών – θερμικών κερδών είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού κάποια βασικά ζητήματα του μελετητή είναι: ο προσανατολισμός, η σκίαση, η χωροθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο, η μορφή του κτιρίου, η κατασκευή των δομικών στοιχείων με τις κατάλληλες μονώσεις, η θερμοχωρητικότητα[7] των δομικών στοιχείων, η αεροστεγανότητα του κελύφους, η εξάλειψη των θερμογεφυρών κ.α. Σημαντικό επίσης μέτρο για το σωστό σχεδιασμό του κτιρίου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι ο φυσικός φωτισμός, που υιοθετείται για όλο το χρόνο ανάλογα με το κλίμα και τη λειτουργία του κτιρίου. Ο φυσικός φωτισμός των κτιρίων είναι απαραίτητος για πρακτικούς, αισθητικούς και ψυχολογικούς λόγους και έχει υψηλά ενεργειακά οφέλη.



Εικόνα 5.0: Λειτουργία βιοκλιματικού κτιρίου [61]

Το ελληνικό κλίμα, επηρεάζεται από τρεις βασικές παραμέτρους: 1) Το γεωγραφικό πλάτος (από 35° μέχρι 42°), 2) Η μορφολογία του εδάφους 3) Η γειτνίαση με τη θάλασσα.

Εξετάζοντας αναλυτικά το ελληνικό κλίμα, συμπεραίνουμε ότι η επίδραση των παραπάνω παραγόντων οδηγεί σε βαθμιαία αλλαγή του ελληνικού κλίματος από το βορρά προς το νότο, από ηπειρώτικο σε εύκρατο και ακόμα και σε θερμό. Τα σημαντικότερα κλιματικά δεδομένα είναι η ηλιοφάνεια, η θερμοκρασία, οι άνεμοι και η υγρασία. Η θερμοκρασία μεταβάλλεται αναλόγως το γεωγραφικό πλάτος και οι διακυμάνσεις της αποτελούν μια απόδειξη για την ποικιλία των κλιμάτων που επικρατούν στον ελλαδικό χώρο. Όσον αφορά τους ανέμους, το καλοκαίρι είναι κυρίως βόρειοι και έχουν νότια ή νοτιοανατολική διεύθυνση. Το χειμώνα, είναι και πάλι βόρειοι, άλλοτε εξαιτίας του σιβηρικού αντικυκλώνα που δημιουργείται τη συγκεκριμένη εποχή και άλλοτε εξαιτίας του σταθερού ατλαντικού αντικυκλώνα.

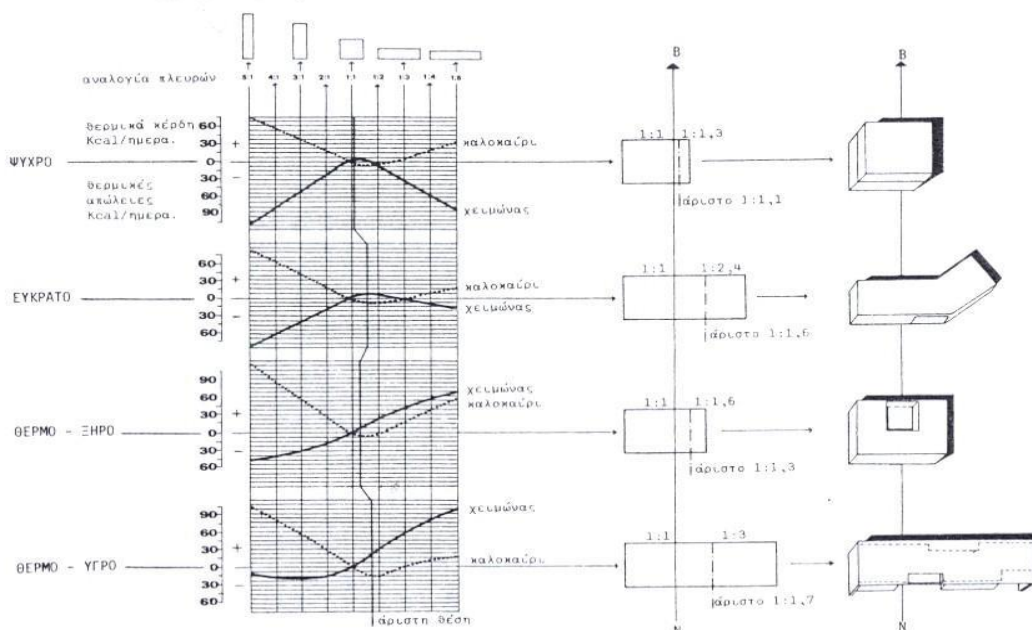


Από πλευράς βροχών, η Ελλάδα βρίσκεται ανάμεσα σε δυο περιοχές με εντελώς διαφορετικές συνθήκες. Από τη μια, στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη επικρατούν πλούσιες και ομοιόμορφα κατανομημένες βροχοπτώσεις λόγω των δυτικών ωκεάνιων ανέμων. Από την άλλη, υπάρχει η έρημος της Σαχάρας, όπου φυσικά σχεδόν όλο το χρόνο ο ξηρός άνεμος Passat, με αποτέλεσμα την πλήρη σχεδόν ξηρασία. Επιπρόσθετα, υπάρχει και η οροσειρά της Πίνδου η οποία χωρίζει την ηπειρωτική χώρα κατά γεωγραφικό μήκος και ορίζει σε μεγάλο βαθμό τις βροχοπτώσεις της ανατολικής και δυτικής Ελλάδας. Έτσι διακρίνονται δυο περίοδοι: 1) Η καλοκαιρινή, η οποία χαρακτηρίζεται από ανυπαρξία βροχών και αυξημένη ξηρασία 2) Η χειμερινή, η οποία είναι πλούσια σε βροχές. Τέλος, αν αναλύσουμε και τις τέσσερις εποχές του έτους θα διαπιστώσουμε ότι τα φαινόμενα διαφέρουν αρκετά και θα πρέπει να λάβουμε αρκετές παραμέτρους υπ' όψιν στο σχεδιασμό ενός κτιρίου.

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ., η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομημέρες θέρμανσης.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
<b>ΖΩΝΗ Α</b>	Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Λασιθί, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Σάμος, Μεσσηνία, Λακωνία, Αργολίδα, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη
<b>ΖΩΝΗ Β</b>	Κορινθία, Ηλεία, Αχαΐα, Αιτωλοακαρνανία, Φθιώτιδα, Φωκίδα, Βοιωτία, Αττική, Εύβοια, Μαγνησία, Σποράδες, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Θεσπρωτία, Πρέβεζα, Άρτα
<b>ΖΩΝΗ Γ</b>	Αρκαδία, Ευρυτανία, Ιωάννινα, Λάρισα, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Πιερία, Ημαθία, Πέλλα, Θεσσαλονίκη, Κιλκίς, Χαλκιδική, Σέρρες, Καβάλα, Δράμα, Θάσος, Σαμοθράκη, Ξάνθη, Ροδόπη, Έβρος
<b>ΖΩΝΗ Δ</b>	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα

Εικόνα 5.1 Κλιματικές ζώνες της ελληνικής επικράτειας [62]



Εικόνα 5.2: Βέλτιστο σχήμα κτιρίου ανά κλίμα [36]

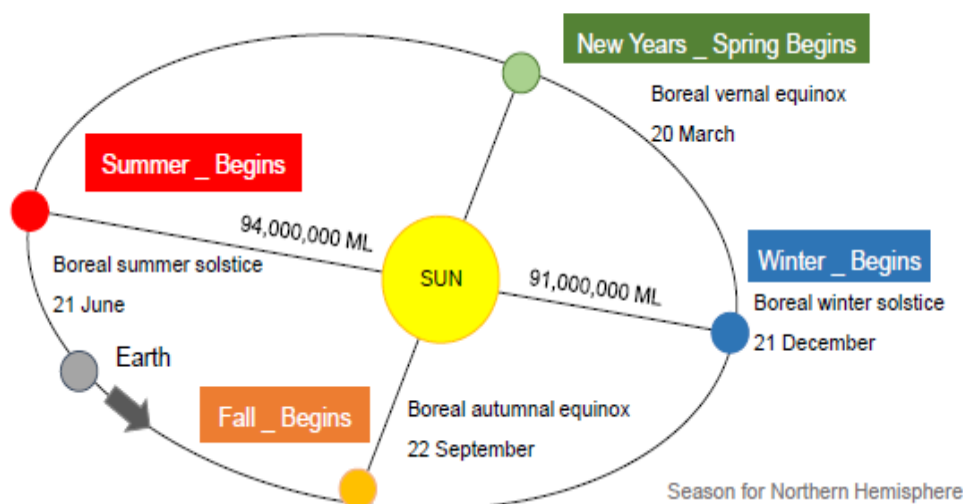
### 5.1.2 Χωροθέτηση κτιρίου και διάταξη εσωτερικών χώρων

Σημαντικός παράγοντας ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η κατάλληλη χωροθέτηση του κτιρίου. Θα πρέπει να λειτουργεί ως φυσικός ηλιακός συλλέκτης, αποθήκη θερμότητας το χειμώνα και αντίστοιχα ως παγίδα φυσικού δροσισμού και ψύξης το καλοκαίρι, ώστε να καλύπτονται στο μέγιστο βαθμό οι ανάγκες για ψύξη και θέρμανση. Για να επιτευχθεί αυτό είναι πολύ σημαντικό να γίνει διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες. Το κύριο μέλημα για την ορθή τοποθέτηση ενός κτιρίου σε ένα χώρο, είναι η εξασφάλιση επαρκούς ηλιασμού στο διάστημα **9:00 - 15:00** καθημερινά, κατά τη διάρκεια του **χειμώνα**. Το κτίριο συνίσταται να τοποθετείται προς τη βορεινή πλευρά ενός οικοπέδου και για την ακριβή του θέση χρησιμοποιούνται ηλιακοί ή ενεργειακοί χάρτες που απεικονίζουν την τροχιά του ηλίου και προσδιορίζουν επαρκώς τη διάρκεια ηλιασμού και την ένταση της θερμικής ακτινοβολίας. Με βάση τους χάρτες, λοιπόν, μπορούμε να εξάγουμε στοιχεία για ένα οικόπεδο, όπως ο σκιασμός από τον περιβάλλοντα χώρο και καθ' αυτόν τον τρόπο καθορίζεται η ιδανική τοποθέτηση του κτιρίου. Στη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας κυρίαρχο ρόλο παίζουν οι νότιες προσόψεις. Το σχήμα ενός κτιρίου είναι ανάλογο με τις ανάγκες του για θέρμανση και ψύξη. Ένα κτίριο κύβος δεν αποτελεί πάντοτε το κατάλληλο σχήμα για οποιοδήποτε τόπο. Με βάση πρόσφατες έρευνες, ένα επιμήκες κτίριο στον άξονα ανατολής – δύσης με διαφορετικές αναλογίες στις διαστάσεις του προσφέρει μεγαλύτερη επιφάνεια προς το νότο για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα και αποτελεί συνήθως τη βέλτιστη λύση. Για τα μεσογειακά κλίματα η άριστη αναλογία στις διαστάσεις του κτιρίου είναι 1:1:8.

Ο προσανατολισμός του κτιρίου θα πρέπει να εξασφαλίζει τον πλήρη ηλιασμό του κατά τη διάρκεια του χειμώνα και το μέγιστο δυνατό σκιασμό το καλοκαίρι. Το πρόβλημα του προσανατολισμού είναι αρκετά σύνθετο, καθώς επηρεάζεται από την τοπογραφία της περιοχής, το φυσικό τοπίο, τις απαιτήσεις ιδιωτικότητας, τη μείωση του θορύβου και άλλες κλιματικές παραμέτρους. Έχει αποδειχτεί, ότι για την εύκρατη ζώνη (γεωγραφικό πλάτος 40°), ο ιδανικότερος προσανατολισμός είναι ο νότιος, διότι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι σχεδόν τριπλάσια σε σχέση με το δυτικό και τον ανατολικό για την περίοδο του χειμώνα και μειώνεται σχεδόν στο μισό το καλοκαίρι. Σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, οι νότιες επιφάνειες έχουν ακόμα μεγαλύτερο ηλιακό κέρδος το χειμώνα, ενώ οι ανατολικές και οι δυτικές είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένες αφού δέχονται 2-3 φορές περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία. Για να διασφαλιστεί ο ηλιασμός όλου του εσωτερικού χώρου από τα ανοίγματα της νότιας όψης, θα πρέπει το βάθος του κτιρίου να μην είναι μεγαλύτερο από 2.5 φορές το ύψος του παραθύρου με αφετηρία το δάπεδο, γεγονός που εξασφαλίζει ταυτόχρονα και τον επαρκή φωτισμό του χώρου.

Ένα κτίριο χαρακτηρίζεται ως κλειστό, όταν η επιφάνεια των αδιαφανών στοιχείων του κελύφους είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα διαφανή. Αντιθέτως, στις περιπτώσεις όπου οι επιφάνειες των αδιαφανών και διαφανών στοιχείων είναι συγκρίσιμες, το κτίριο χαρακτηρίζεται ως

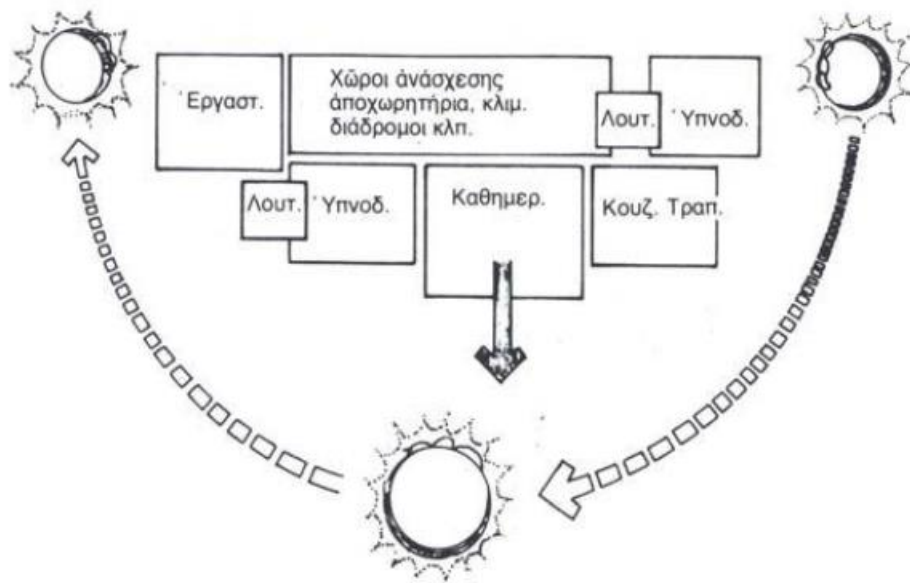
ανοιχτό. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει νότιος ή νοτιοανατολικός προσανατολισμός, συνίσταται να κατασκευάζονται ανοιχτά κτίρια, ώστε να αξιοποιούνται τα ηλιακά θερμικά κέρδη. Τέλος, τα κτίρια που είναι ελεύθερα από όλες τις πλευρές τους έχουν μεγαλύτερες θερμικές απώλειες σε σχέση με αυτά που έχουν μικρότερη επιφάνεια σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, τα κτίρια που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος έχουν πολύ καλύτερη θερμική συμπεριφορά σε σχέση με τα κτίρια που έχουν πυλωτή.



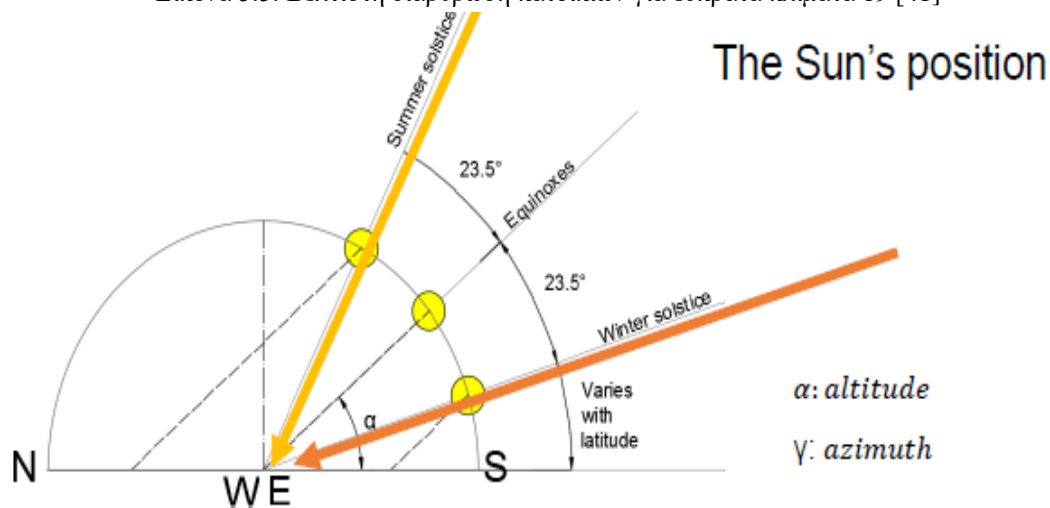
Εικόνα 5.4:Θέση του ηλίου στο βόρειο ημισφαίριο [63]

Ένα επίσης σημαντικό κεφάλαιο στο βιοκλιματικό σχεδιασμό, είναι η διάταξη των εσωτερικών χώρων, η οποία προσδιορίζεται, κυρίως, από τις μικροκλιματικές συνθήκες που επικρατούν κατά το χειμώνα. Η βόρεια πλευρά είναι η πιο ψυχρή, καθώς δε δέχεται άμεσα ηλιακή ακτινοβολία, ενώ η νότια παραμένει πιο ζεστή και φωτεινή, διότι δέχεται ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Η ανατολική και η δυτική δέχονται ίση περίπου ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας. Συνεπώς, οι χώροι κύριας χρήσης, που έχουν την ανάγκη επαρκούς φωτισμού και θέρμανσης συνίσταται να τοποθετούνται στο νότο. Αντιθέτως, χώροι με μικρές απαιτήσεις σε φωτισμό, όπως το γκαράζ, το κελάρι ή οι αποθηκευτικοί χώροι συνίσταται να τοποθετούνται στο βορρά<sup>6</sup>. Στη δυτική πλευρά καλό είναι να μην τοποθετηθούν υπνοδωμάτια, εκτός αν προβλεφθεί επαρκής νυχτερινός αερισμός. Τα μπάνια, οι χώροι εργασίας και ακόμα και η κουζίνα μπορούν να διαρρυθμιστούν μεταξύ του θερμού δυτικού τοίχου και των υπνοδωματίων.

<sup>6</sup> Πρακτική η οποία εφαρμοζόταν παλαιότερα ώστε να δημιουργείται ένας ενδιάμεσος χώρος ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου και τον κύριο χώρο λειτουργίας. Πλέον, στα ΠΚ ο στόχος είναι να υπάρχει η ίδια θερμοκρασία σε όλο τον εσωτερικό θερμαινόμενο χώρο.



Εικόνα 5.5: Βέλτιστη διάρθρωση κατοικιών για εύκρατα κλίματα 19 [41]



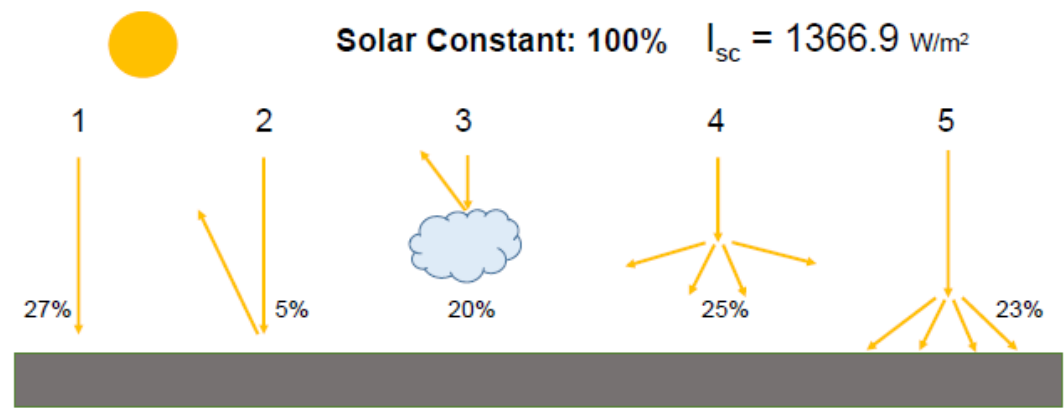
Εικόνα 5.6: Η ηλιακή ακτινοβολία στο βόρειο ημισφαίριο [63]

### 5.1.3 Προστασία από τον ήλιο και σκιασμός

Στις χώρες της νότιας Ευρώπης, αλλά και παγκοσμίως σε χώρες με εφάμιλλο ή θερμότερο κλίμα, η ανάγκη για ψύξη των κτιρίων το καλοκαίρι είναι αρκετά πιο έντονη απ' ό,τι η ανάγκη για θέρμανση το χειμώνα. Τα ηλιακά κέρδη που προκύπτουν από τα παράθυρα ενός κτιρίου και επιζητούνται τη χειμερινή περίοδο, χρειάζονται απαραίτητως ηλιοπροστασία την καλοκαιρινή περίοδο. Η μελέτη της προστασίας από την ηλιακή ακτινοβολία, καλείται να περιλαμβάνει την επαρκή σκίαση των ανοιγμάτων κατά το θέρος, αλλά να μην περιορίζει το ηλιακό θερμικό κέρδος το χειμώνα και να λαμβάνει υπ' όψιν τις ανάγκες σε φυσικό φωτισμό.

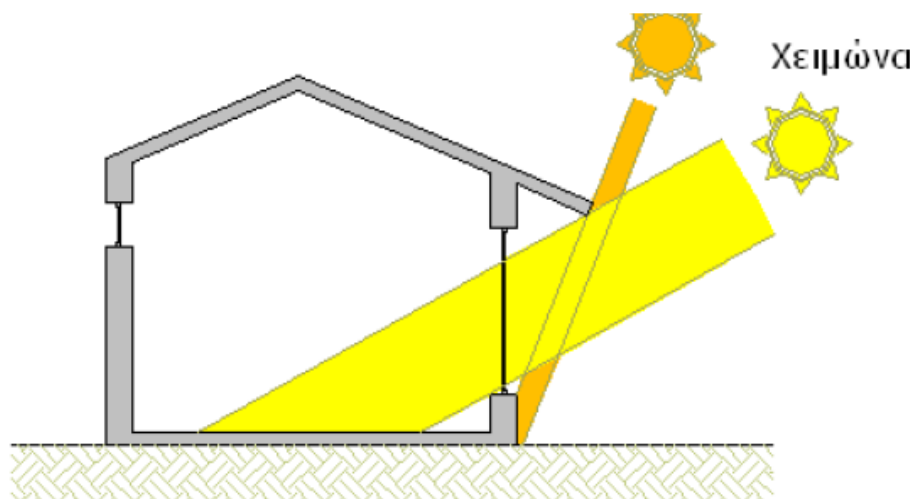
Γενικότερα, η ένταση της ακτινοβολίας, μετριάζεται καθώς διαπερνά τα στρώματα της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος της διαχέεται, από τα μόρια του ατμοσφαιρικού αέρα, προς όλες τις κατευθύνσεις και ένα μέρος της απορροφάται από τα ίδια τα μόρια και επανεκπέμπεται ως υπέρυθη ακτινοβολία. Η ακτινοβολία,

λοιπόν: 1) Διακόπτεται 2) Απορροφάται 3) Ανακλάται. Το μέρος της ακτινοβολίας που φτάνει άμεσα στο έδαφος αποτελεί την άμεση ακτινοβολία, ενώ το υπόλοιπο μέρος αποτελεί την έμμεση ακτινοβολία. Σε αυτά θα πρέπει να προστεθεί και η ανακλώμενη ακτινοβολία ή λευκαύγεια (albedo), που αποτελεί το ποσοστό της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία που ανακλάται από το έδαφος ή από τις επιφάνειες γύρω από το χώρο μελέτης. Η λευκαύγεια μεταβάλλεται αρκετά σε σχέση με το χρώμα, τη δομή και την υγρασία της επιφάνειας. Οι χαμηλότερες τιμές έχουν καταγραφεί σε οργωμένο και υγρό μαυρόχωμα, ενώ οι υψηλότερες σε λευκή άμμο. Ακόμα, τα σύννεφα μετριάζουν αρκετά την ηλιακή ακτινοβολία και η συχνότητά τους στις περιοχές πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψιν.



Εικόνα 5.7: Περιπτώσεις ηλιακής ακτινοβολίας [63]

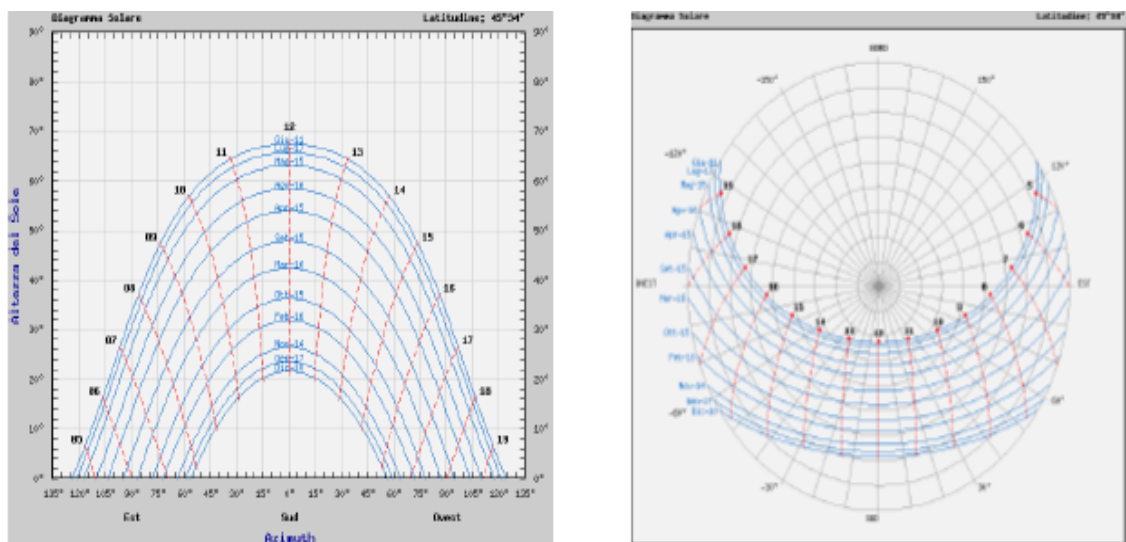
Η σκίαση είναι περισσότερο αποδοτική όταν είναι εξωτερική, κάτι το οποίο σημαίνει ότι η ηλιακή ακτινοβολία εμποδίζεται να εισέλθει και να εγκλωβιστεί μέσω των υαλοπινάκων στους χώρους, ενώ μπορεί να μειώσει κατά και 80% τα ηλιακά κέρδη.



Εικόνα 5.8: Παράδειγμα σωστής διαχείρισης της ηλιακής ακτινοβολίας στην πιο απλή μορφή. [62]

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα του σχεδιασμού μας σε ένα κτίριο. **Πώς όμως το επιτυγχάνουμε αυτό?**

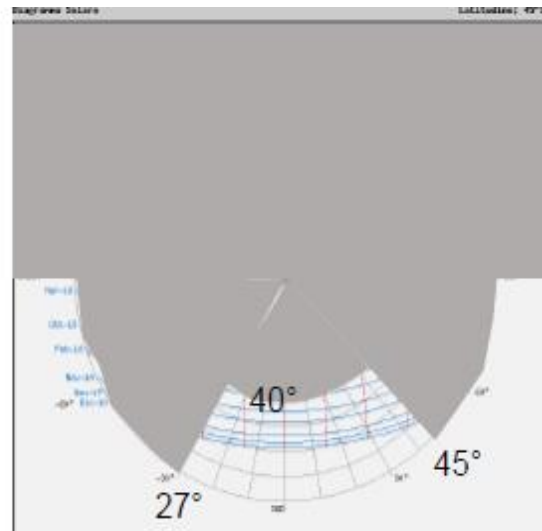
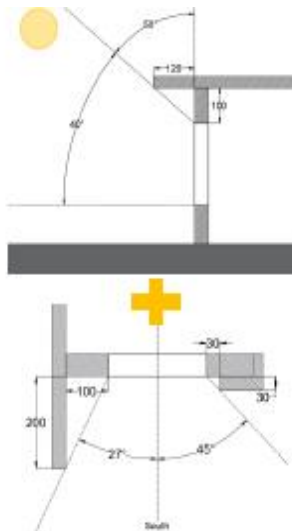
Ένας τρόπος είναι μελετώντας τους ηλιακούς χάρτες και τα διαγράμματα πορείας του ηλίου, όπως είπαμε παραπάνω. Αρχικά με βάση τον ηλιακό χάρτη της υπό έρευνα περιοχής, βρίσκουμε τη θέση του ηλίου καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, του μήνα και του χρόνου, μέσω των δυο γωνιών του ύψους και του αζιμούθιου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



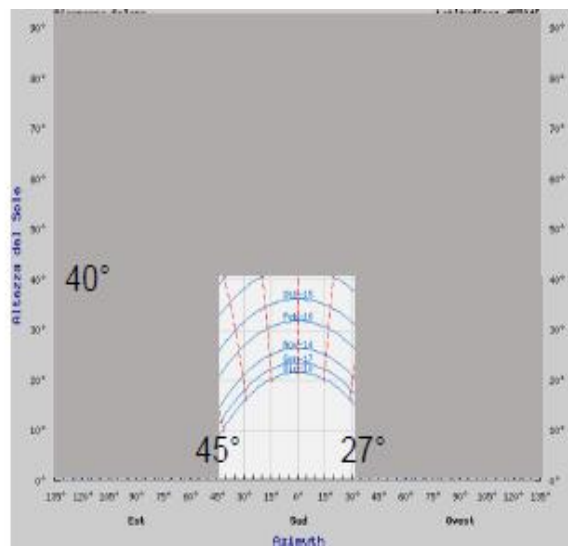
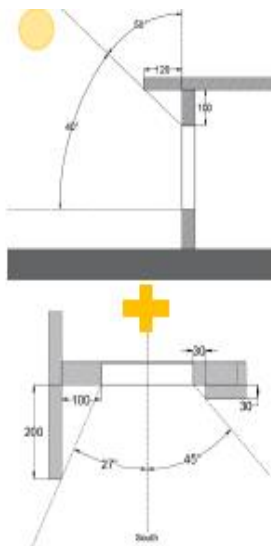
Εικόνα 5.9: Αριστερά φαίνεται το κάθετο διάγραμμα ηλιακής ακτινοβολίας και δεξιά το οριζόντιο διάγραμμα ως συναρτήσεις του ύψους και του αζιμούθιου του ηλίου [64]

Βλέποντας τις κοίλες και κυρτές καμπύλες στα δύο διαγράμματα, υπάρχει ένα πλέγμα οριζόντιων γραμμών υψομέτρου και κάθετων γραμμών αζιμούθιου, ακριβώς όπως η γη έχει γραμμές γεωγραφικού μήκους και πλάτους. Υπάρχει, λοιπόν, η αναπαράσταση της πορείας του ηλίου σε δυο διαστάσεις σε διάφορες περιόδους του έτους. Αυτά λοιπόν τα διαγράμματα, τα οποία υπάρχουν για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος της γης, μπορούν να αναπαρασταθούν σε πολικές ή καρτεσιανές συντεταγμένες. Είναι προφανές, ότι στο βόρειο ημισφαίριο η πορεία του ηλίου είναι μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, φτάνει στο μέγιστο ύψος και καλύπτει τη μεγαλύτερη γωνία αζιμούθιου. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, παρατηρούμε το ελάχιστο ύψος στην πορεία του ηλίου και την ελάχιστη γωνία στο αζιμούθιο.

Πρέπει, λοιπόν, να κατασκευάσουμε διαγράμματα πάνω στους ηλιακούς χάρτες, ώστε να προσδιορίσουμε τις οριζόντιες και κατακόρυφες σκιάσεις. Στο διάγραμμα πολικών συντεταγμένων, η σφαίρα που παρατηρούμαι διαιρείται σε μια διπλή σειρά μεσημβρινών, κάθετα η μία στην άλλη, στην οποία παρουσιάζονται οι περιοχές που παρεμποδίζονται από την οριζόντια προεξοχή. Όπως θα δούμε και στις εικόνες παρακάτω, υπολογίζονται οι γωνίες της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με τις σκιάσεις και εξάγουμε το ποσοστό σκίασης ανά περίοδο. Στο παρακάτω παράδειγμα βλέπουμε σε πολικές συντεταγμένες τις οριζόντιες και κατακόρυφες σκιάσεις.



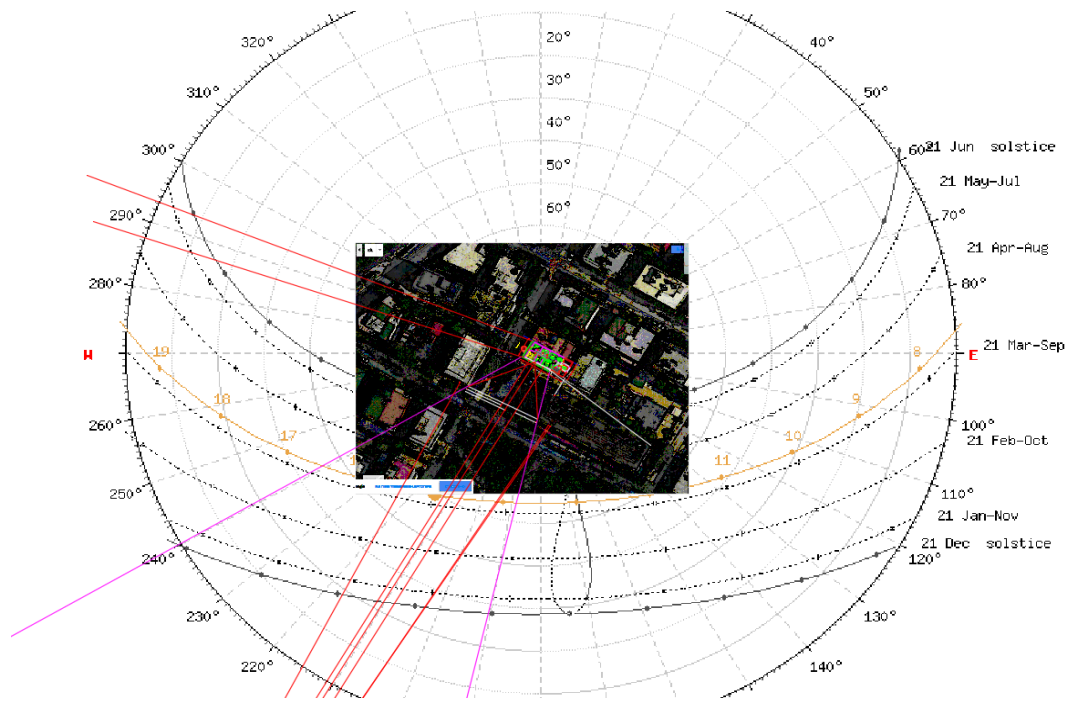
Εικόνα 5.10: Συνδυασμός κατακόρυφης και οριζόντιας σκίασης σε πολικές συντεταγμένες



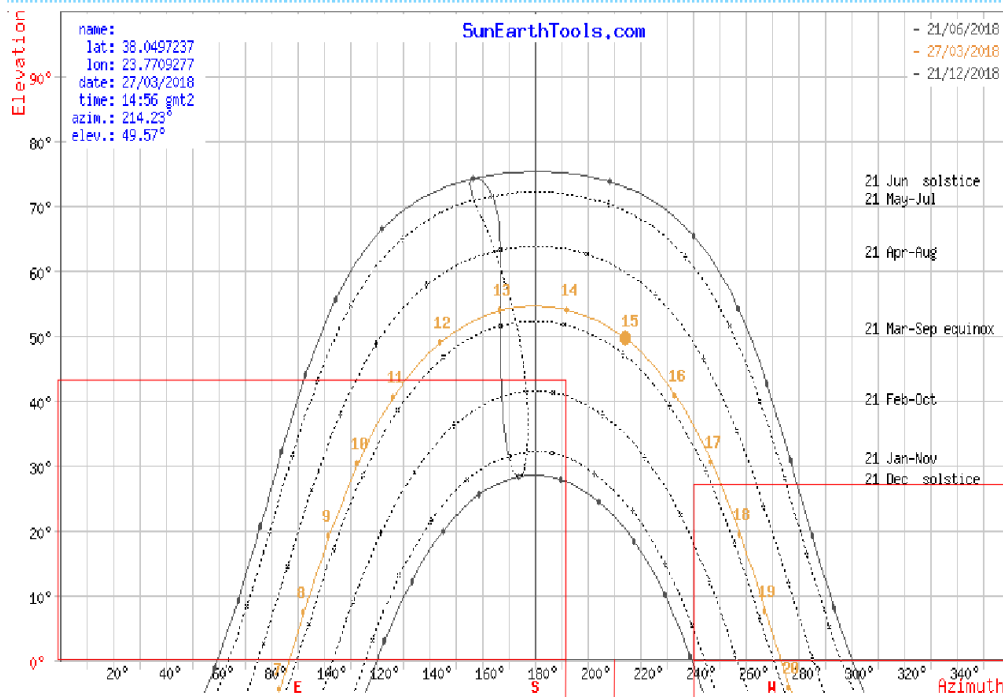
Εικόνα 5.11: Συνδυασμός κατακόρυφης και οριζόντιας σκίασης σε καρτεσιανές συντεταγμένες

Η ενεργειακή μελέτη - μοντελοποίηση ενός κτιρίου μπορεί να γίνει με διάφορα προγράμματα. Παρ' όλα αυτά ο σκιασμός από τον περίγυρο, για κάθε πλευρά του κτιρίου, μπορεί να επαληθευτεί μέσω των ηλιακών χαρτών, ενός σχεδιαστικού προγράμματος δύο διαστάσεων και της γεωμετρίας. Για παράδειγμα, στις παρακάτω φωτογραφίες θα δούμε την επαλήθευση της οριζόντιας σκίασης της νότιας πλευράς ενός κτιρίου από τα περιβάλλοντα κτίρια στην περιοχή του Νέου Ηρακλείου. Χρησιμοποιήθηκε το **sunearthtool** και το **autocad**.



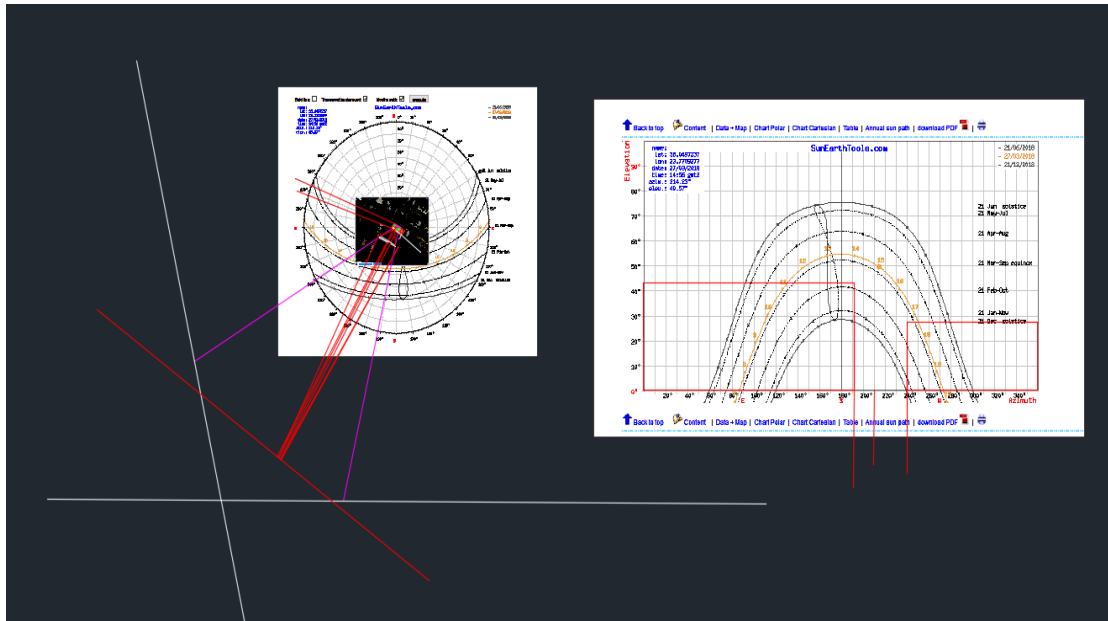


Εικόνα 5.12: Η κάτοψη του κτιρίου μέσω googlemaps και ο ηλιακός χάρτης σε πολικές συντεταγμένες



Εικόνα 5.13: Το ύψος και η θέση των δυο κτιρίων που σκιάζουν το υπό μελέτη





Εικόνα 5.14: Η μελέτη στο AutoCAD <sup>7</sup>

Αν παρατηρήσουμε λεπτομερώς τις παραπάνω εικόνες, βλέπουμε ότι τα μωβ ευθύγραμμα τμήματα δημιουργούν τη γωνία, όπου η ηλιακή ακτινοβολία δεν διακόπτεται από κάποιο κτίριο κατά τη διάρκεια όλου του έτους (το κενό κομμάτι στην εικόνα 5.13 των καρτεσιανών συντεταγμένων). Ξέροντας τα πραγματικά ύψη των κτιρίων και τοποθετώντας τα στον ηλιακό χάρτη καρτεσιανών συντεταγμένων (εικόνα 5.13), μπορούμε να έχουμε μια γενική εικόνα για τις ώρες που σκιάζεται το κτίριο μας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Συμπερασματικά, η ηλιακή ακτινοβολία είναι ένας παράγοντας που χρήζει αναλυτικής μελέτης σε μια χώρα σαν την Ελλάδα, καθώς μπορεί να δημιουργήσει πολλά οφέλη στη θέρμανση των κτιρίων κατά τη χειμερινή περίοδο, αλλά και πολλά προβλήματα υπερθέρμανσης τη χειμερινή. Απαιτεί τεχνικές γνώσεις και συνεχή παρακολούθηση στην εξέλιξη των τεχνολογιών, αλλά πάνω απ' όλα την κατανόηση της αισθητικής και ανάγκης των ανθρώπων που δραστηριοποιούνται στο χώρο.

#### 5.1.4 Φωτισμός

Ο τρόπος με τον οποίο ένα κτίριο φωτίζεται έχει σημαντική επίδραση στη διαμόρφωση της ψυχολογίας, της διάθεσης και των συναισθημάτων των ανθρώπων και πρέπει να μελετάται αναλυτικά κατά το σχεδιασμό. Ο σχεδιασμός φωτισμού είναι αποτέλεσμα συνδυασμού επιστήμης και τέχνης. Αποτελεί επίσης σημαντική παράμετρο για την εξασφάλιση της οπτικής άνεσης στους χώρους των κτιρίων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της παροχής της απαιτούμενης ποσότητας φωτισμού, η οποία καθορίζεται από διεθνή και εθνική πρότυπα με βάση τις λειτουργικές ανάγκες κάθε χώρου. Επίσης, η ποιότητα φωτισμού εξασφαλίζεται από διάφορους παράγοντες,

<sup>7</sup> Ενεργειακή μελέτη: Δ. Παλλαντζάς, Enerphit project, Χαράς 38, Νέο Ηράκλειο

όπως η σωστή και ισορροπημένη κατανομή των τιμών λαμπρότητας των επιφανειών στο χώρο, η αποφυγή θαμβώσεων, η κατάλληλη επιλογή χρωμάτων, η δημιουργία αντιθέσεων και η ανάδειξη των αρχιτεκτονικών στοιχείων του χώρου. Η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό αποτελεί σημαντικό ποσοστό της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου. Αξίζει να αναφερθεί ότι στον κύκλο ζωής μιας τυπικής εγκατάστασης φωτισμού, το 3% των εξόδων αποτελούν το κόστος της αρχικής επένδυσης, ενώ το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας αποτελεί το 86%. Παρ' όλα αυτά με την υιοθέτηση κατάλληλων μέτρων και τεχνικών είναι εφικτή η εξοικονόμηση ενέργειας σε ποσοστό 30-50%. Ενδεικτικά αναφέρουμε: 1) Η βέλτιστη αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού 2) Η σωστή διαστασιολόγηση του τεχνητού φωτισμού 3) Η χρήση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης και χαμηλής κατανάλωσης 4) Ο χρόνο-προγραμματισμός των συστημάτων φωτισμού 5) Η εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου και αυτοματισμών

Φυσικά, το ποσοστό της εξοικονόμησης ενέργειας λόγω φωτισμού έγκειται και στον εκάστοτε χρήστη. Ωστόσο, ο αρχιτέκτονας είναι υπεύθυνος να αξιοποιήσει όσο καλύτερα γίνεται το φυσικό φωτισμό και να διαστασιολογήσει σωστά τον τεχνητό.

## 5.2 Θερμομόνωση – Κουφώματα

Με το πέρας της αρχικής αρχιτεκτονικής μελέτης του κτιρίου, ο σχεδιαστής καλείται να επιλέξει κατάλληλα τα υλικά, το πάχος και την τοποθέτηση της θερμομόνωσης, αλλά και τα κατάλληλα κουφώματα. Η θερμομόνωση του κτιρίου επιδιώκεται, ώστε να μειωθεί η ταχύτητα ανταλλαγής θερμότητας μέσα από τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου. Στόχος είναι να ελαχιστοποιήσουμε τις θερμικές απώλειες από το κέλυφος του κτιρίου.

**Ορισμός κατά ISO 9229:2007:** Θερμομονωτικό Υλικό είναι το υλικό που μειώνει τη μεταφορά θερμότητας και το οποίο αντλεί τις μονωτικές του ιδιότητες από τη χημική φύση του ή / και τη φυσική δομή του.

### 5.2.1 Ιστορικά στοιχεία και εθνικός κανονισμός

Εφάμιλλη με την ιστορική αναδρομή των παθητικών κτιρίων, είναι και αυτή της θερμομόνωσης. Ο άνθρωπος, στην πορεία της εξέλιξης του ερχόταν αντιμέτωπος με τη ζέστη, το κρύο και τα προβλήματα που αυτά προκαλούσαν. Οι αγρότες, αρχικά ενσωμάτωναν στο βόρειο τμήμα του κτιρίου έναν επιπλέον χώρο (π.χ. αποθήκη ή στάβλο), που λειτουργούσε ως φράγμα στην εισβολή του κρύου στους κύριους χώρους του κτιρίου. Ως προς τη ζέστη, η αντιμετώπιση ήταν αντίστοιχη και συνοδευόμενη από τη χρήση ιδιοκατασκευών, όπως αιολικές καμινάδες, σκίαστρα,

στέγαστρα και άλλα. Σε θερμά, λοιπόν, κλίματα κατασκευάστηκαν κτίρια υπερυψωμένα από το έδαφος, ώστε να εκμεταλλεύονται τον άνεμο. Σε κλίματα θερμά και ξηρά όπου είχε να αντιμετωπίσει μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές μεταξύ μέρας και νύχτας κατασκευάστηκαν κτίρια με μεγάλη θερμική μάζα ώστε να εξομαλυνθούν αυτές τις διαφορές και να προστατευτούν από τις ακραίες θερμοκρασίες. Τέλος σε κλίματα ψυχρά χρησιμοποιήθηκε ξύλο και αρκετά οργανικά μονωτικά υλικά του κάθε τύπου, περιορίστηκαν οι εκτεθειμένες επιφάνειες και αξιοποιήθηκε ο προσανατολισμός. Μετά το τέλος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, άρχισε η μαζική αστικοποίηση και μετά την πετρελαϊκή κρίση το 1973 ήρθε στο προσκήνιο η έννοια της εξοικονόμησης ενέργειας λόγω της εξάντλησης των πλουτοπαραγωγικών πόρων της γης. Οι πρώτοι κανονισμοί θερμομόνωσης στην Ευρώπη εμφανίστηκαν το 1974 σε Γαλλία και Γερμανία, ενώ στην Ελλάδα το 1979 επιβλήθηκε η θερμομόνωση όλων των νέων κτιρίων.

### **Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ)**

Θεσμοθετήθηκε το 1979 (ΦΕΚ 362Δ/1979) και αποτέλεσε το θεσμικό πλαίσιο, το οποίο πραγματεύεται τη θερμική προστασία των κτιρίων και έχει ισχύ μέχρι και σήμερα. Ο ΚΘΚ καθορίζει τις απαιτήσεις για τη θερμική προστασία των κατασκευών, επιβάλλει τη σύνταξη σχετικής μελέτης θερμομόνωσης για κάθε νέο κτίριο που κατασκευάζεται και στοχεύει στον περιορισμό των θερμικών απωλειών και της κατανάλωσης ενέργειας. Καθίσταται λοιπόν, υποχρεωτική η χρήση των θερμομονωτικών υλικών και μέσω του ΚΘΚ υπολογίζεται η ελάχιστη απαιτούμενη θερμομόνωση ως συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου, με αποτέλεσμα ο κατασκευαστής να επιλέγει ο ίδιος τον τρόπο της θερμομόνωσης. Σύμφωνα με τον πρώτο κανονισμό θερμομόνωσης η Ελλάδα χωρίστηκε βάσει των θερμομονωτικών απαιτήσεων σε τρεις κλιματικές ζώνες (Α, Β, Γ) και χωρίς να γίνεται διάκριση σχετικά με τη χρήση του κτιρίου. Ο κανονισμός αυτός απαιτεί τιμή μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτιρίου (υπολογίζοντας όλες τις θερμικές απώλειες του κελύφους), μικρότερη από αυτόν που ορίζεται ως μέγιστος επιτρεπόμενος συναρτήσει της ζώνης στην οποία ανήκει η περιοχή και του λόγου  $F/V$ . Όπου  $F$  η εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου μέσω της οποίας μεταδίδεται η θερμότητα και  $V$  ο όγκος της κατασκευής. Έπειτα από τριάντα χρόνια ο αναθεωρημένος Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων, πλέον Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ), ορίζει πως για την εκπόνηση μιας μελέτης ενεργειακής απόδοσης, η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμοημέρες θέρμανσης. Ο κανονισμός αυτός απαιτεί τιμή μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτιρίου μικρότερη από εκείνον που ορίζεται ως μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας. Ο τελευταίος προκύπτει από σχετικά διαγράμματα και είναι συνάρτηση της ζώνης στην οποία ανήκει η περιοχή, αλλά και του λόγου  $F/V$ .

F/V (m <sup>-1</sup> )	Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής (U <sub>m</sub> ) σε [W/m <sup>2</sup> .K]			
	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
≤ 0,2	1,26	1,14	1,05	0,96
0,3	1,20	1,09	1,00	0,92
0,4	1,15	1,03	0,95	0,87
0,5	1,09	0,98	0,90	0,83
0,6	1,03	0,93	0,86	0,78
0,7	0,98	0,88	0,81	0,73
0,8	0,92	0,83	0,76	0,69
0,9	0,86	0,78	0,71	0,64
≥ 1,0	0,81	0,73	0,66	0,60

Εικόνα 5.15: Επιτρεπτές τιμές για το συντελεστή θερμοπερατότητας στις τέσσερις κλιματικές ζώνες [62]

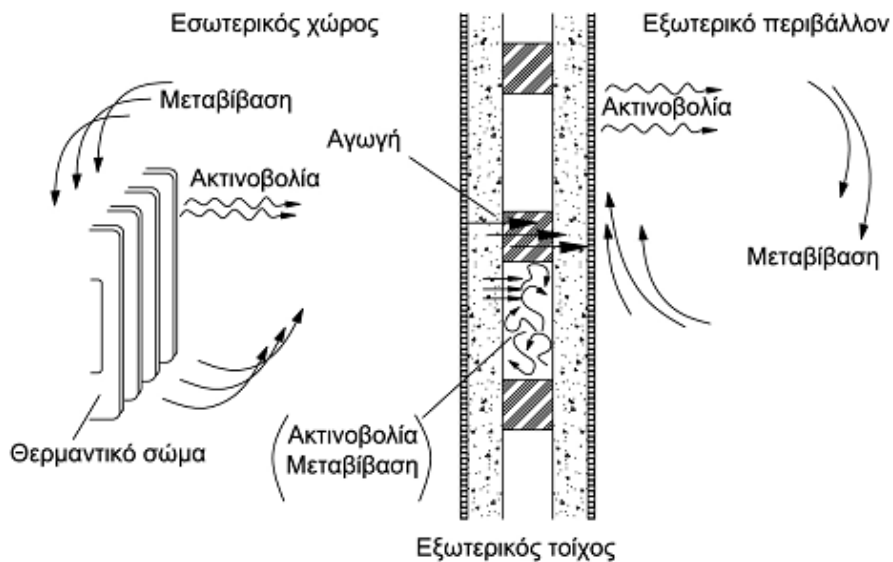
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή).
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.

Εικόνα 5.15: Κλιματικές ζώνες κατά ΚΕΝΑΚ 2010 [62]

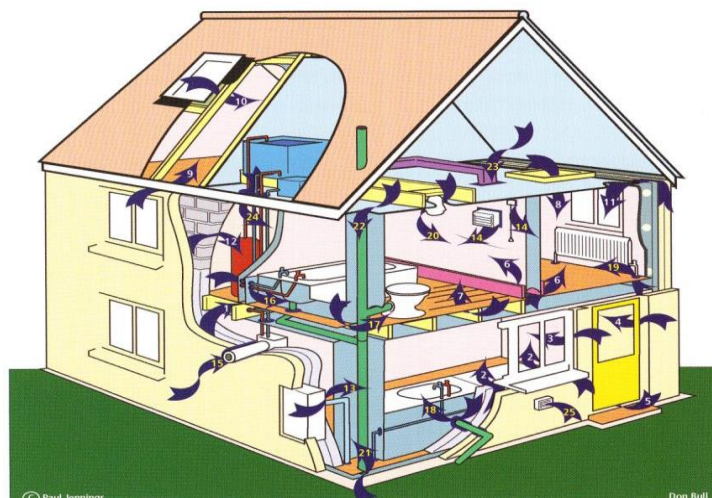
## 5.2.2 Απώλειες Θερμότητας

Η θερμότητα διαδίδεται στο χώρο με τρεις τρόπους: 1) Με αγωγή 2) Με μεταβίβαση 3) Με ακτινοβολία. Θερμικές απώλειες προκαλούνται από τη μετάδοση της θερμότητας του αέρα ενός εσωτερικού χώρου προς την ατμόσφαιρα ή προς ψυχρότερους γειτονικούς χώρους και αντίστροφα. Είναι γνωστό ότι, ανάμεσα σε δυο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες προκαλείται μια συνεχής ροής θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο. Έτσι, ως θερμικές απώλειες εννοείται η απώλεια ζέστης ενός χώρου το χειμώνα, αλλά αντίστοιχα και της δροσιάς το καλοκαίρι. Η ροή θερμότητας είναι αδύνατο να περιοριστεί τελείως, αλλά μπορεί να περιοριστεί ως προς την ένταση και τη διάρκειά της. Οι θερμικές απώλειες πραγματοποιούνται από το σύνολο της εξωτερική επιφάνειας του κτιρίου. Κάθε

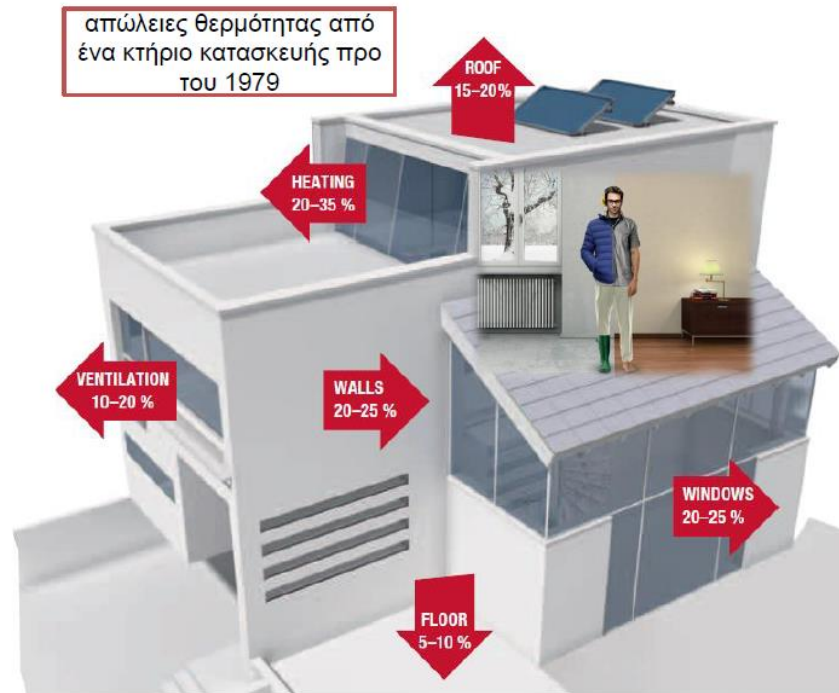
στοιχείο του κελύφους έχει μερίδιο ευθύνης και αν μπορούν να καταταχθούν με σειρά μειούμενης σπουδαιότητας ως εξής: 1) Κουφώματα 2) Στέγη 3) Κατακόρυφες παρειές 4) Επιφάνειες σε επαφή με το έδαφος. Τα κουφώματα ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος των απωλειών στα κτίρια (γι' αυτό και η τοποθέτηση των καλοριφέρ σε κοντινή απόσταση διαχρονικά), γεγονός που εκπίπτει από τη χαμηλή θερμική αντίσταση [10] των συμβατικών υαλοπινάκων και τη διείσδυση του αέρα λόγω έλλειψης επαρκούς αεροστεγανότητας. Η στέγη συνεισφέρει στις θερμικές απώλειες μέσω **αγωγής** [2]. Το χειμώνα, ο θερμός αέρας του εσωτερικού κτιρίου τείνει να ανεβαίνει προς την οροφή, η οποία εάν είναι ψυχρή ή ελαττωματικά μονωμένη, ψύχει τον αέρα, ο οποίος στη συνέχεια κατέρχεται, δημιουργώντας ένα κύκλο απωλειών θερμότητας. Οι τοίχοι με τη σειρά τους φέρουν μερίδιο ευθύνης ως προς τις θερμικές απώλειες, ωστόσο αυτό το μερίδιο μπορεί να συρρικνωθεί σημαντικά με τη σωστή τοποθέτηση μόνωσης. Τέλος, όσον αφορά τις ζώνες που εφάπτονται με το έδαφος, οι απώλειες σημειώνονται στα σημεία επαφής δια της αγωγής. Ειδικότερα, μέσω των θεμελίων περιμετρικά του κτιρίου.



Εικόνα 5.16: Τρόποι μετάδοσης της θερμότητας στο χώρο. Έννοιες: γα[2][3][4]



Εικόνα 5.17: Συνήθη σημεία διείσδυσης του αέρα στο κτίριο



Εικόνα 5.18: Απώλειες σε ένα κτήριο χωρίς καθόλου μόνωση [39]

Η μόνωση τοποθετείται στα δομικά στοιχεία των κτιρίων τα οποία έχουν ένα συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$ . Η τιμή  $U$  ενός δομικού στοιχείου που αποτελείται από ομοιογενή στρώματα υλικών υπολογίζεται από τον τύπο:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}}$$

$R_{si}, R_{se}$ : Θερμική αντίσταση σε εσωτερική ή εξωτερική επιφάνεια συνυφασμένη με το ISO 6946.

$R_1 \dots R_n$ : Θερμική αντίσταση για κάθε ξεχωριστό στρώμα της κατασκευής,  $1 \dots n$

### 5.2.3 Βασικές αρχές θερμομόνωσης

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η θερμομόνωση ενός παθητικού κτιρίου είναι μπορεί να είναι αυτονόητη και αναγκαία, αλλά δεν είναι προσχεδιασμένη. Είναι ευθύνη του σχεδιαστή να επιλέξει τον κατάλληλο τύπο και το κατάλληλο πάχος μόνωσης, η οποία θα προκύψει μέσω της μελέτης PHPP και θα επιλεγεί αξιολογώντας διάφορες παραμέτρους (π.χ. οικονομικές, κλιματικές, αρχιτεκτονικές, διαθεσιμότητας κ.α.). Οι βασικές αρχές της θερμομόνωσης, από τις οποίες εξαρτάται η μελέτη και η σωστή εφαρμογή στο κτίριο, είναι:

- Η θερμομονωτική ικανότητα, δηλαδή η αντίσταση θερμοδιαφυγής των στοιχείων κατασκευής. Αυτή εξαρτάται από τις ιδιότητες των βασικών υλικών που συνθέτουν μια θερμομονωτική κατασκευή, δηλαδή: 1) Τη θερμική αγωγιμότητα (συντελεστής λ)[13] 2) Την περιεκτικότητα τους σε υγρασία 3) Το πάχος τους
- Ο βαθμός διαπερατότητας του αέρα των στοιχείων κατασκευής, ο οποίος εξαρτάται από το είδος της κατασκευής που διαμορφώνει το περίβλημα ενός χώρου και την επιφάνεια των κουφωμάτων και τον τρόπο συναρμογής τους.
- Η θερμοχωρητικότητα (Q) των στοιχείων της κατασκευής, που συμβάλλει στον περιορισμό της ταχύτητας μεταβολής της αρχικής κατάστασης της θερμοκρασίας. Οι τοίχοι ενεργούν ως συσσωρευτές θερμότητας, όταν η μόνωση τοποθετείται εξωτερικά. Αν η μόνωση τοποθετηθεί εσωτερικά, τότε οι τοίχοι λειτουργούν ως φράγμα προστασίας. Συνίσταται εξωτερική θερμομόνωση, καθώς κατά την τοποθέτηση εσωτερικής θερμομόνωσης, ειδικά σε υφιστάμενα κτίρια, είναι αυξημένος ο κίνδυνος υγρασιών.
- Οι τιμές των συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας και αντίστασης θερμοδιαφυγής των διαφόρων υλικών που συγκροτούν μια κατασκευή, οι οποίες είναι παγκόσμια αποδεκτές και έχουν καθοριστεί από το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO).

Κατά το σχεδιασμό ενός ΠΚ συνηθίζεται να τοποθετείται εξωτερική θερμομόνωση, παρ' όλα αυτά υπάρχουν και άλλοι υλοποιήσιμοι τρόποι, οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν το ίδιο αποτελεσματικά, ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες. Παρακάτω θα παρουσιαστούν αναλυτικά κάποιες από αυτές:

1. **Εξωτερική θερμομόνωση:** Χρησιμοποιείται στο 90% των περιπτώσεων. Βασικό πλεονέκτημα της είναι ότι διατηρείται το κέλυφος του κτιρίου και εξαλείφονται σε μεγάλο βαθμό οι θερμογέφυρες. Επιπλέον, οι εξωτερικές επιφάνειες προστατεύονται έναντι συστολοδιαστολών, ενώ δε μειώνεται ο ωφέλιμος κατοικήσιμος χώρος. Μειονεκτεί σε εργασίες κατασκευής σε πολύωροφα κτίρια, καθώς απαιτούνται σκαλωσιές και γενικότερα μια δυσκολότερη διαδικασία ειδικότερα σε υφιστάμενα κτίρια.
2. **Εσωτερική θερμομόνωση:** Χρησιμοποιείται ελάχιστα, κυρίως σε ιστορικά κτίρια στα οποία απαγορεύεται η τροποποίηση των όψεων ή σε ανακαινίσεις διαμερισμάτων στους τελευταίους ορόφους, στα οποία δε μπορεί να τοποθετηθεί σκαλωσιά. Αποτελεί μια απλή και οικονομική κατασκευή, ενώ αποδίδει άμεσα στο χώρο. Παρ' όλα αυτά απαιτείται δυναμική ανάλυση των δομικών στοιχείων καθώς υπάρχει κίνδυνος υγρασιών. Ενδεικτικά



προγράμματα υγραυθερμικής ανάλυσης είναι τα: Wufi, Mold, HTFlux, Flixo κ.α.

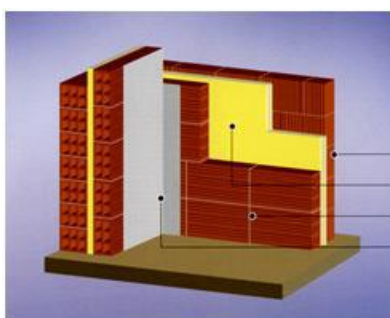
Οι πρώτες δυο τεχνικές είναι οι κύριες για τα ΠΚ. Ωστόσο υπάρχουν και κάποιοι άλλοι τρόποι, οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν στην Ελλάδα και θα τους αναφέρουμε ενδεικτικά.

3. **Θερμομόνωση με χρήση ειδικών τούβλων:** Ο τρόπος κατασκευής τους, το σχήμα τους, οι διαστάσεις τους, καθώς και ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας είναι σύμφωνος με τον ΚΘΚ. Συστάθηκε ως μια από τις βέλτιστες τεχνικές μόνωσης στην Ελλάδα, καθώς εξοικονομείται χρόνος και χρήμα, ενώ ελαχιστοποιούνται φαινόμενα υγρασίας. Παρ' όλα αυτά η μόνωση για ένα ΠΚ κυμαίνεται από 10-15 εκατοστά και η χρήση ειδικών τούβλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο συμπληρωματικά.



Εικόνα 5.19: Παράδειγμα ειδικού θερμομονωτικού τούβλου

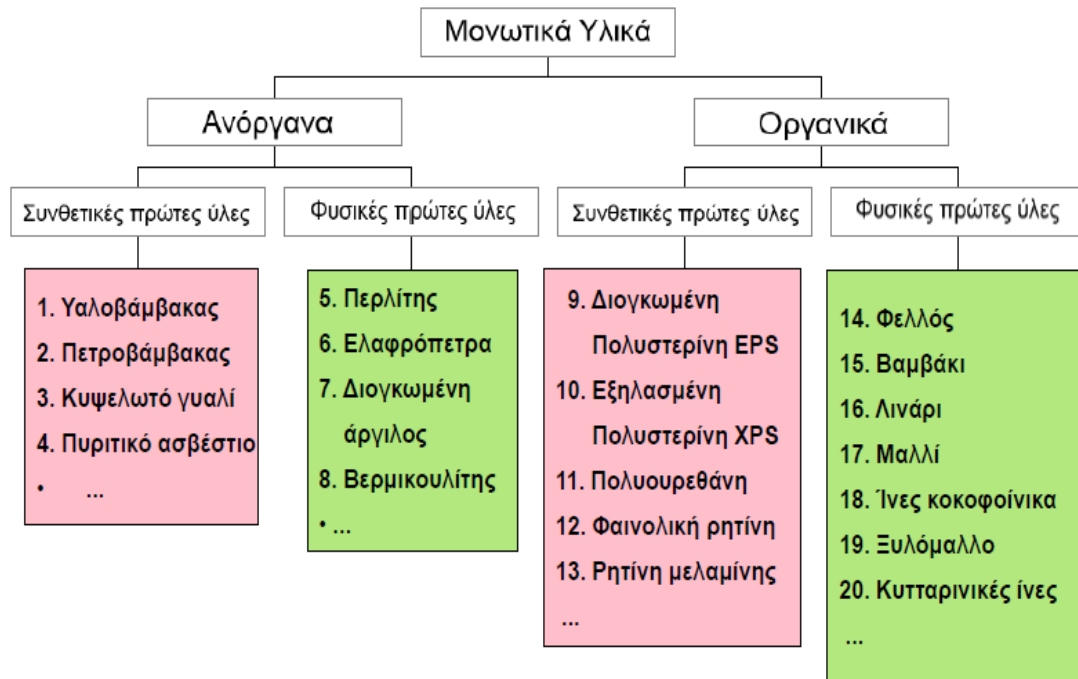
4. **Θερμομόνωση στον πυρήνα μεταξύ δυο τοίχων:** Η δημοφιλέστερη μέθοδος στην Ελλάδα μετά την εφαρμογή του ΚΘΚ το 1979. Το μονωτικό υλικό τοποθετείται μεταξύ των δυο δρομικών τοίχων. Η μόνωση που τοποθετείται είναι συνήθως 3-5 εκατοστά, η οποία δεν επαρκεί για τις ανάγκες ενός ΠΚ.



Εικόνα 5.20: Παράδειγμα θερμομόνωσης σε διπλό δρομικό τοίχο

Υπάρχει πλειάδα θερμομονωτικών υλικών, τα οποία χωρίζονται σε Οργανικά και Ανόργανα, τα οποία χωρίζονται και τα δυο σε Συνθετικές και Φυσικές πρώτες ύλες, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα.

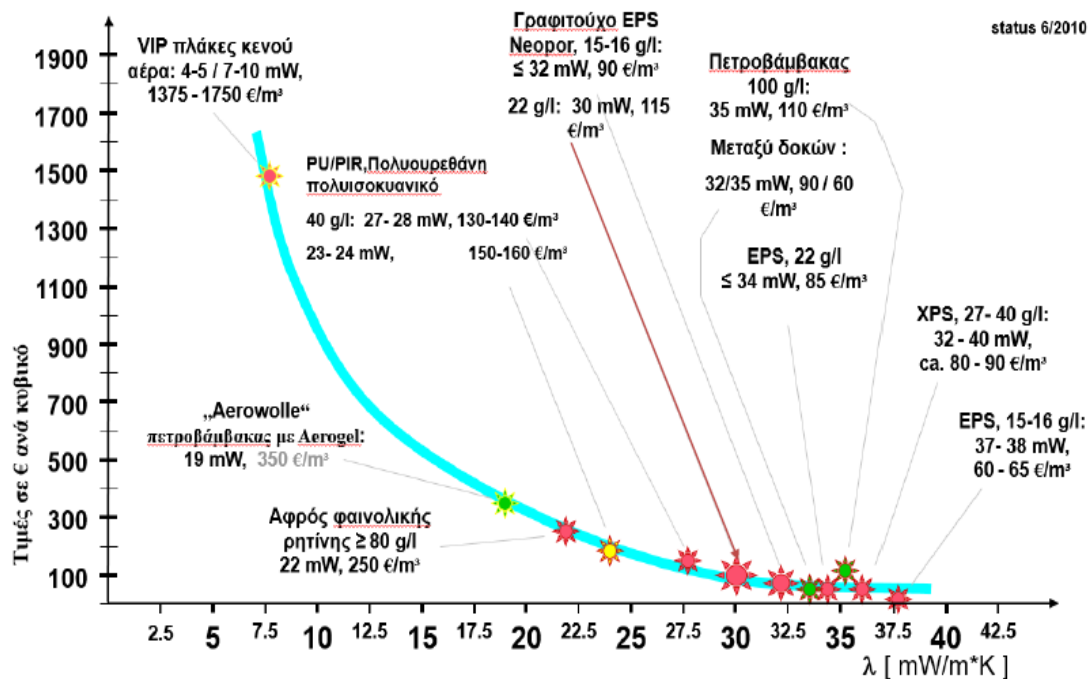




Εικόνα 5.21: Πίνακας προϊόντων θερμομονωτικών υλικών [39]

Σύμφωνα με την οδηγία 89/106/ΕΟΚ για τα Προϊόντα των Δομικών Κατασκευών, καθώς και σύμφωνα με τους Περί των Βασικών Απαιτήσεων Νόμους, πρέπει να πληρούνται καθορισμένες – τυποποιημένες κατηγορίες προϊόντων. Τα προϊόντα δομικών κατασκευών για τα οποία υπάρχει εναρμονισμένο πρότυπο και η περίοδος συνύπαρξης του με αντίστοιχο εθνικό πρότυπο έχει λήξει, μπορούν να διατίθενται στην αγορά μόνο εάν φέρουν τη Σήμανση Συμμόρφωσης CE. Με βάση τα παραπάνω, για τους υπολογισμούς, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι δηλωμένες τιμές που αναγράφονται στη Σήμανση Συμμόρφωσης CE. Τα συνηθέστερα θερμομονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται αυτή την περίοδο είναι: 1) Εξηλασμένη πολυστερίνη 2) Πολυουρεθάνη 3) Υαλοβάμβακας – Πετροβάμβακας 4) Περλίτης 5) Ηερακλίτη 6) Διογκωμένος φελλός

Αποδεκτές τιμές θερμικής αγωγιμότητας των υλικών στα ΠΚ είναι από  $\lambda=0,030$  W/mK έως  $\lambda=0,040$  W/mK. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο παρακάτω συγκριτικός πίνακας του συντελεστή  $\lambda$  και του κόστους.



Εικόνα 5.22: Σύγκριση κόστους – απόδοσης θερμομονωτικών υλικών [39]

### Εναλλακτικά και ανακυκλώσιμα μονωτικά υλικά

Στον τομέα της θερμομόνωσης, τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί πολυάριθμα **εναλλακτικά μονωτικά υλικά**, τα οποία είτε προέρχονται από φυσικές πρώτες ύλες με χαμηλά επίπεδα επεξεργασίας, είτε παρασκευάζονται με την ανακύκλωση διαφόρων υλών. Και στις δυο περιπτώσεις τα υλικά προέρχονται από ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Όλο και περισσότερα εναλλακτικά υλικά εμφανίζονται στην αγορά, το καθένα με τις δικές του ιδιότητες και εφαρμογές, είναι όμως διαθέσιμα σε σχετικά μικρής κλίμακας κανάλια διανομής.

- Φελλός:** Ο φελλός αποτελεί ένα φυσικό υλικό που προέρχεται από το φλοιό ορισμένων δένδρων (π.χ. από τη φυλλοβόλο δρυ), τα οποία καλλιεργούνται σε φυτείες κυρίως στην Ιβηρική Χερσόνησο. Ως μονωτικό υλικό, ο φελλός είναι αδιάβροχος και έχει θερμική αγωγιμότητα  $\lambda = 0,043 - 0,063 \text{ W/mK}$ . Οι πλάκες του βρίσκουν εφαρμογή στη θερμική και ακουστική μόνωση οροφών, αλλά και κατακόρυφων στοιχείων του κελυφους. Παρασκευάζονται από θρύμματα φελλού που υποβάλλονται σε μεγάλες θερμοκρασίες και κατόπιν συμπιέζονται. Το μονωτικό υλικό μπορεί να παραχθεί από καινούριο φυσικό ή και από ανακυκλωμένο φελλό. Η συγκόλληση στην πρώτη περίπτωση γίνεται μέσω φυσικών συστατικών του υλικού. Ωστόσο, σε περιπτώσεις που ο φελλός είναι ανακυκλωμένος, η συγκόλληση μπορεί να γίνει και με συνθετικές κόλλες. Τέτοιες πλάκες πρέπει να αποφεύγονται, διότι περιέχουν τοξικές ουσίες.

- **Κυτταρίνη:** Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες οι ίνες κυτταρίνης είναι διαδεδομένο ανανεώσιμο μονωτικό υλικό. Το υλικό παρασκευάζεται από απορρίμματα χαρτιού και είναι διαθέσιμο σε πλάκες διαφορετικών παχών και σε μορφή χαλαρά συνδεδεμένου υλικού, σε σάκους για εφαρμογές γεμίσματος σε σοφίτες. Υπάρχει η δυνατότητα να ψεκάσται ακόμα και σε κατασκευές από ξύλο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου υλικού είναι η μόνωση που παράγεται από ανακυκλωμένες εφημερίδες, η οποία έχει θερμική αγωγιμότητα  $\lambda=0,040 \text{ W/mK}$ ,
- **Λινάρι:** Η κύρια χρήση του λιναριού είναι για την παραγωγή λαδιού λιναρόσπορου, αλλά ορισμένες εταιρίες που ειδικεύονται στον κλάδο χρησιμοποιούν τις κοντές ίνες του φυτού ως μονωτικό υλικό. Η μόνωση από λινάρι παρέχεται σε μορφή ρολών και πετασμάτων σε ποικιλία μεγεθών. Το προϊόν έχει θερμική αγωγιμότητα  $\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$  και βρίσκει εφαρμογή σε τοίχους, δάπεδα, οροφές και στέγες.
- **Κάνναβη:** Η κάνναβη θεωρείται ένα υλικό με πολλές προοπτικές στην αγορά. Προσφέρεται στην αγορά σε μορφή ρολών αλλά και στρωμάτων, τα οποία μπορούν να κοπούν στο επιθυμητό μέγεθος και είναι κατάλληλο για τη θερμομόνωση οροφών, τοίχων και πατωμάτων. Χάρη στη χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του ( $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$ ) και στην ικανότητά του να αποθηκεύει θερμότητα, το υλικό θεωρείται κατάλληλο για πολλές εφαρμογές.
- **Βαμβάκι:** Το βαμβάκι είναι μια πρώτη ύλη που έχει ικανοποιητικές θερμομονωτικές ιδιότητες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μονωτικό υλικό. Ωστόσο, επειδή η καλλιέργεια βαμβακιού είναι μια άκρως εντατική διαδικασία που χρησιμοποιεί παρασιτοκτόνα, λιπάσματα και μεγάλα ποσά νερού, η χρήση καινούριου βαμβακιού δε συνιστάται. Οι ανακυκλωμένες ίνες βαμβακιού χρησιμοποιούνται στην παρασκευή μονωτικών υλικών και παρέχουν θερμική αγωγιμότητα της τάξης του  $\lambda = 0,030 \text{ W/mK}$ .
- **Καλαμπόκι:** Ένα άλλο παράδειγμα θερμομονωτικού υλικού που παράγεται αποκλειστικά από οργανικές πρώτες ύλες είναι και το βιοπολυμερές από ίνες κόκκων καλαμποκιού. Το υλικό είναι 100% βιοδιασπώμενο και διατίθεται σε πλάκες διαφόρων παχών. Παράγεται μέσα από τη διαδικασία ελεγχόμενης ζύμωσης κόκκων καλαμποκιού και δεν είναι εύφλεκτο.

Παρακάτω βλέπουμε αναλυτικά τον πίνακα αξιολόγησης της περιβαλλοντικής απόδοσης των υλικών.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΟΥΣ		
ΥΛΙΚΟ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
Πλάκες φελλού	120 kg/m <sup>3</sup>	A
Ανακυκλωμένη μόνωση κυτταρίνης	24 kg/m <sup>3</sup>	A+
Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS)	15 kg/m <sup>3</sup>	A+
Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS)	20 kg/m <sup>3</sup>	A+
Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS)	25 kg/m <sup>3</sup>	A+
Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS)	30 kg/m <sup>3</sup>	A+
Εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS) (με χρήση HFC)	35 kg/m <sup>3</sup>	E
Υαλοβάμβακας	10 kg/m <sup>3</sup>	A+
Υαλοβάμβακας	12 kg/m <sup>3</sup>	A+
Υαλοβάμβακας	24 kg/m <sup>3</sup>	A+
Υαλοβάμβακας	32 kg/m <sup>3</sup>	A+
Υαλοβάμβακας	48 kg/m <sup>3</sup>	A+
Υαλοβάμβακας	80 kg/m <sup>3</sup>	A
Άκαμπτη πολουρεθάνη (με χρήση πεντανίου)	32 kg/m <sup>3</sup>	A
Μαλλί προβάτου	25 kg/m <sup>3</sup>	A
Πετροβάμβακας	33 kg/m <sup>3</sup>	A
Πετροβάμβακας	45 kg/m <sup>3</sup>	B
Πετροβάμβακας	60 kg/m <sup>3</sup>	B
Πετροβάμβακας	80 kg/m <sup>3</sup>	C
Πετροβάμβακας	100 kg/m <sup>3</sup>	A+
Πετροβάμβακας	128 kg/m <sup>3</sup>	A+
Πετροβάμβακας	140 kg/m <sup>3</sup>	A+
Πετροβάμβακας	160 kg/m <sup>3</sup>	A
Μόνωση από άχυρα		A
Πλάκες από άχυρο (420 kg/m <sup>3</sup> )		C

Τα μονωτικά υλικά είναι γενικά χαμηλής πυκνότητας υλικά με υψηλά επίπεδα θερμικής αντίστασης. Ωστόσο, καθώς τα πρότυπα δόμησης βελτιώνονται και οι χαμηλοί συντελεστές θερμοπερατότητας γίνονται κανόνας, οι περιβαλλοντικές επιδράσεις των μονωτικών υλικών σε σύγκριση με το δομικό στοιχεία στο οποίο εφαρμόζονται έχουν αυξηθεί.  
(????:Jane Anderson, David Shiers and Kristian Steele (2009), The Green Guide to Specification,

**A+ = βέλτιστη περιβαλλοντική απόδοση, E = χειρίστη περιβαλλοντική απόδοση**

Εικόνα 5.23: Αξιολόγηση περιβαλλοντικής απόδοσης υλικών ανάλογα με την πυκνότητά τους [62]

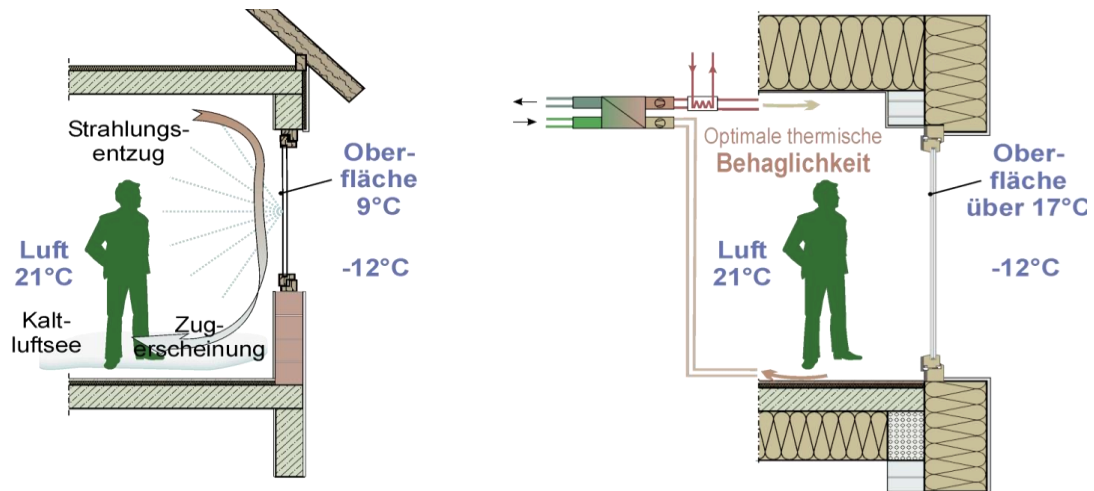
**Ανακύκλωση μονωτικών υλικών:** Η παραγωγή των συμβατικών μονωτικών υλικών (πολυστερίνης, αφρού πολουρεθάνης) βασίζεται στην πετροχημική βιομηχανία και απαιτεί την εντατική χρήση πρώτων υλών που λαμβάνονται από την επεξεργασία ορυκτών καυσίμων. Ακόμα, η παραγωγή του πετροβάμβακα και του υαλοβάμβακα αποτελεί εξαιρετικά ενεργοβόρα διαδικασία. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, η σημασία της ανακύκλωσης στην περιβαλλοντική διαχείριση του κλάδου των μονωτικών υλικών είναι πολύ μεγάλη, χωρίς όμως να είναι επιθυμητή σε όλες τις περιπτώσεις, αφού πολλές διαδικασίες ανακύκλωσης μπορεί να απαιτούν εκτεταμένη θέρμανση του προϊόντος, προκειμένου αυτό να λιώσει και επομένως να καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Ενώ πολλά μονωτικά υλικά είναι ανακυκλώσιμα, η δυσκολία επεξεργασίας τους, ιδιαίτερα στην περίπτωση του υαλοβάμβακα και της πολουρεθάνης, αποτελεί έναν ανασταλτικό παράγοντα για την ευρεία ανακύκλωσή τους. Ως επιπρόσθετος περιορισμός έχει, επίσης, αναφερθεί και το χαμηλό κόστος της μόνωσης και ο μικρός αριθμός εγκαταστάσεων ανακύκλωσης γι' αυτά τα υλικά. Ένα άλλο πρόβλημα που εμφανίζεται κατά την ανακύκλωση των

συμβατικών μονωτικών υλικών είναι η περιεκτικότητα υδροχλωροφθορανθράκων (HCFC) στη σύστασή τους. Αν και από το 2004 έχει απαγορευτεί η χρήση υλικών με υψηλό δείκτη καταστροφής του όζοντος (Ozone Depleting Potential – ODP), όπως τα CFC και τα HCFC, τα μονωτικά υλικά που παρήχθησαν πριν το 2004 είναι πιθανό να περιέχουν αυτές τις ουσίες και θα πρέπει να αποστέλλονται για επεξεργασία σε ειδικές εγκαταστάσεις. Όσον αφορά στα συμβατικά μονωτικά υλικά, η διογκωμένη πολυστερίνη είναι ανακυκλώσιμη είτε μέσα από διεργασίες ανάπλασης, οπότε και χρησιμοποιείται έναντι πρωτογενών πολυμερών στην παραγωγή νέας διογκωμένης πολυστερίνης, είτε με το «άλεσμά» της και τη μείξη της με τσιμέντο, οπότε χρησιμοποιείται ξανά ως μονωτικό υλικό. Η διογκωμένη πολυστερίνη μπορεί, επίσης, να ανακυκλωθεί για την παρασκευή άλλων ειδών προϊόντων, όπως επίπλων και κορνιζών. Η εξηλασμένη πολυστερίνη μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί, εφόσον βρίσκεται σε καλή κατάσταση, αλλά δεν ανακυκλώνεται λόγω της σύστασής της. Η πολυουρεθάνη και αυτή δεν ανακυκλώνεται, αν και αναφέρονται περιπτώσεις κατά τις οποίες το υλικό λιώνει και επεξεργάζεται για την παραγωγή άλλων μορφοποιημένων προϊόντων. Τέλος, τα ινώδη συμβατικά μονωτικά υλικά, δηλαδή ο πετροβάμβακας και ο υαλοβάμβακας είναι ανακυκλώσιμα. Στην περίπτωση των φυσικών μονωτικών υλικών, η ανακύκλωση είναι εφικτή, καθώς γενικά ισχύει ο κανόνας ότι τα υλικά που έχουν απλές διαδικασίες βιομηχανικής παραγωγής ανακυκλώνονται εύκολα. Πρωτοβουλίες για την ανακύκλωση τέτοιων μονωτικών υλικών βρίσκουν εφαρμογή κυρίως μετά από την εκδήλωση ενδιαφέροντος από τους ίδιους τους παρασκευαστές.

#### 5.2.4 Επιλογή κουφωμάτων

Τα ανοίγματα ενός κτιρίου αποτελούν την κύρια πηγή απωλειών θερμότητας, αλλά και την κύρια πηγή κέρδους. Μέσω των ανοιγμάτων επιτυγχάνεται ο φωτισμός του κτιρίου, η θέρμανση από τον ήλιο, η εναλλαγή αέρα και γενικότερα η φυσική και ψυχική υγεία. Οι αρνητικές επιπτώσεις που οφείλονται στα συμβατικά κουφώματα είναι η έλλειψη αεροστεγανότητας, η υψηλός συντελεστής θερμοπερατότητας και η χαμηλές θερμοκρασίες των επιφανειών τους. Ο σχεδιασμός των κουφωμάτων πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά και να ληφθούν υπ' όψιν όλες οι περιπτώσεις κατά τη διάρκεια του έτους. Ο σχεδιαστής είναι υπεύθυνος να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες, να μεγιστοποιήσει τα κέρδη (όταν χρειάζεται) και να προφυλάξει το κτίριο από υπερθέρμανση.

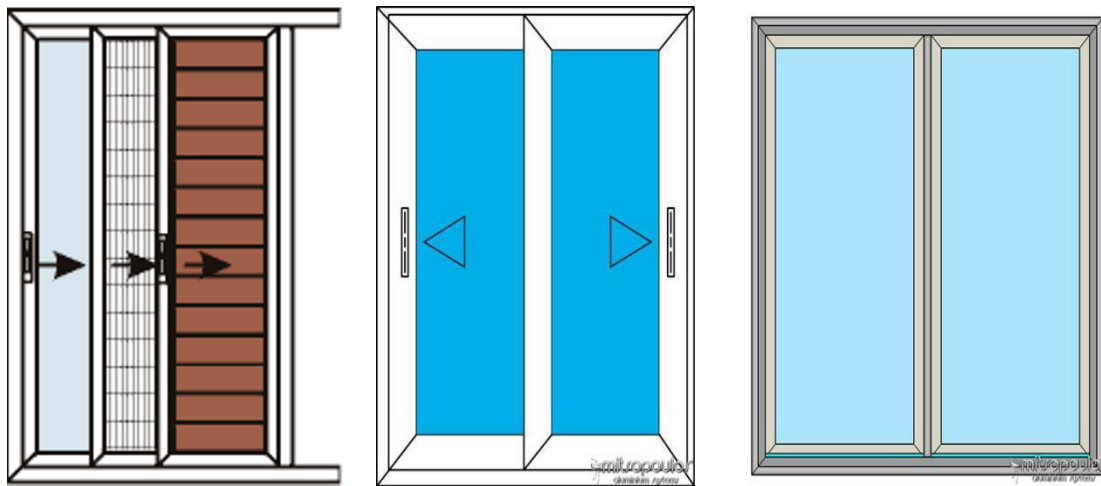
Η παροχή της εσωτερικής θερμικής άνεσης είναι μείζονος σημασίας για τα ΠΚ. Σε αυτό το πλαίσιο είναι σημαντικό να περιοριστεί η διαφορά της εσωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας των επιφανειών που περικλείουν το χώρο. Όσο η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δυο αυτών θερμοκρασιών δεν είναι μεγαλύτερη από 4,2 K [Feist 1998], δε θα προκύψει ούτε δυσάρεστη στέρηση θερμότητας στο χώρο ούτε το φαινόμενο των κρύων ποδιών (cool feet effect).



Εικόνα 5.24: Διαφορά μεταξύ ενός συμβατικού και ενός ενεργειακού κουφώματος και κατασκευής [2]

Στην Ελλάδα, τα περισσότερα κουφώματα είναι χωνευτά<sup>8</sup>. Στα ΠΚ συνιστώνται ανοιγόμενα ή επάλληλα κουφώματα, ώστε:

- 1) Να μη διακόπτεται η μόνωση στα δομικά στοιχεία
- 2) Να επιτευχθεί η αεροστεγανότητα του κτιρίου μέσω της εξάλειψης του αθέλητου αερισμού
- 3) Να μειωθούν οι θερμογέφυρες του θερμικού φακέλου.



Εικόνα 5.25: Από αριστερά προς τα δεξιά. 1) Χωνευτό 2) Επάλληλο 3) Ανοιγόμενο κούφωμα

Για να εκτιμήσουμε την **ποιότητα** του κουφώματος, πρέπει να εξετάσουμε κάποια στοιχεία του. Αυτά είναι:

<sup>8</sup> **Χωνευτά:** Ονομάζονται τα κουφώματα τα οποία «χωνεύονται» στα δομικά στοιχεία του κτιρίου με στόχο να διευρύνουν το άνοιγμα στο μέγιστο βαθμό.

- 1) Ο συντελεστής θερμοπερατότητας  $U$  του υαλοπίνακα ( $U_g$ ) και του πλαισίου ( $U_f$ )
- 2) Η θερμογέφυρα μεταξύ τζαμιού και πλαισίου  $\Psi_g$ .

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κουφώματος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

Όπου:

$A_g$  = Η επιφάνεια του υαλοπίνακα

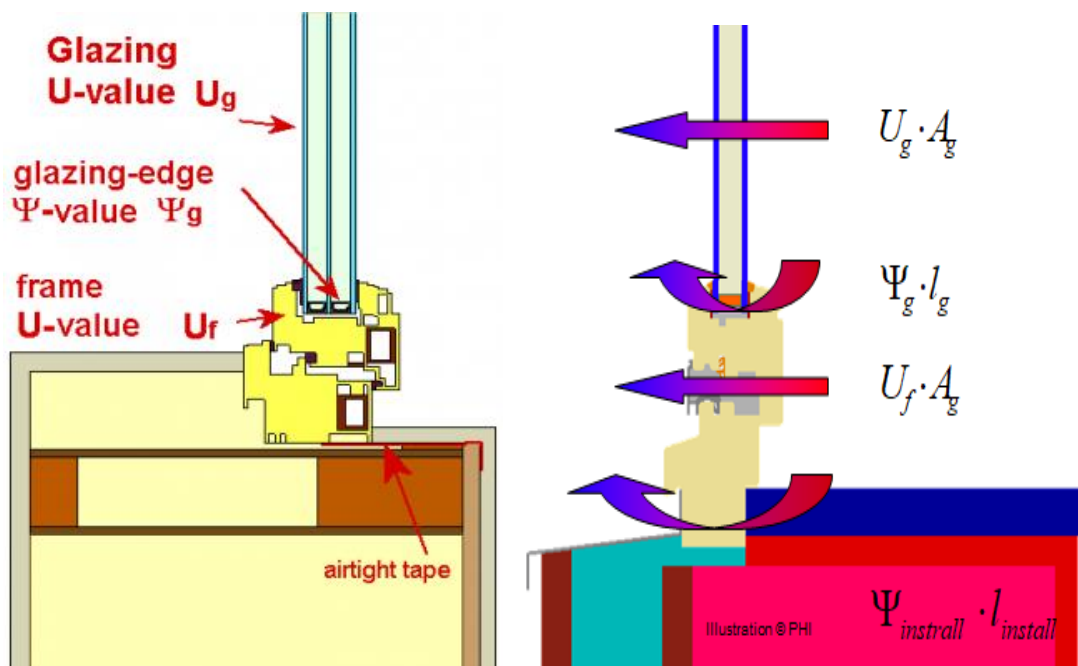
$A_f$  = Η επιφάνεια του πλαισίου

$U_g$  = Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα

$U_f$  = Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου

$\Psi_g$  = Η τιμή της γραμμικής θερμογέφυρας εξαιτίας των θερμικών φαινομένων μεταξύ υαλοπίνακα, αποστάτη και πλαισίου

$l_g$  = Το μήκος της γραμμικής θερμογέφυρας



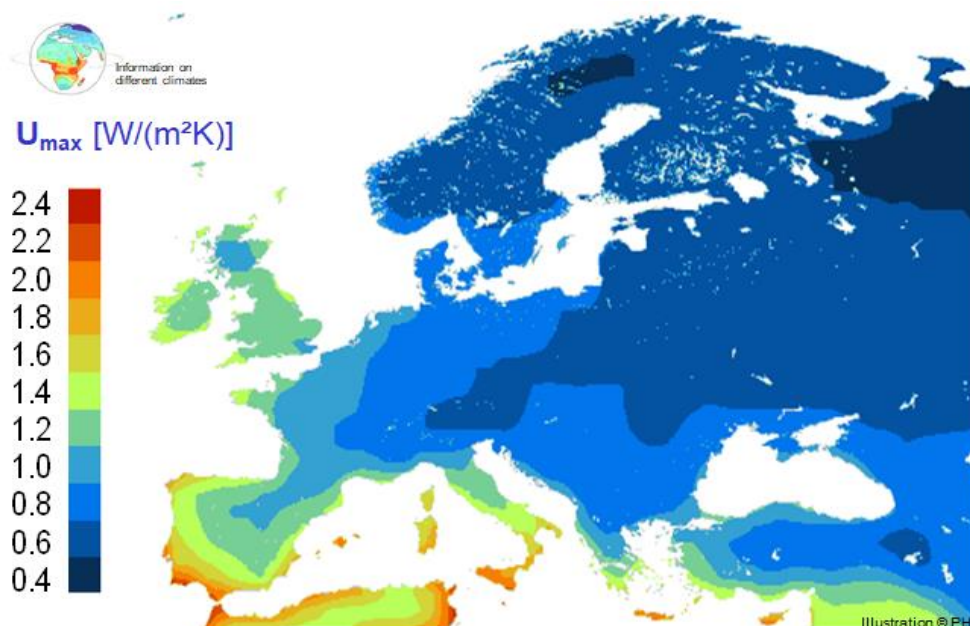
Εικόνα 5.26: Χαρακτηριστικά και απώλειες ενός κουφώματος [2]

Αν η λειτουργική εσωτερική θερμοκρασία  $\theta_{op}$  θεωρηθεί στους  $22\text{ }^\circ\text{C}$  και η εξωτερική θερμοκρασία  $\theta_a$   $16\text{ }^\circ\text{C}$  για εσωτερική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας  $R_{si}^9 = 0,13\text{ m}^2\text{K} / \text{W}$ , το αποτέλεσμα της τιμής του συντελεστή θερμοπερατότητας για

<sup>9</sup>  $R_{si}$ ,  $R_{se}$  : Θερμική αντίσταση σε εσωτερική ή εξωτερική επιφάνεια συνυφασμένη με το ISO 6946 [11],[12]



να ικανοποιείται το κριτήριο άνεσης ενός ΠΚ είναι  $U_w \leq 0,85 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ . Μελέτη η οποία έγινε το 2005 για κρύα και εύκρατα κλίματα στην Ευρώπη.



Εικόνα 5.27: Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των κουφωμάτων στην Ευρώπη, ώστε να επιτυγχάνεται η θερμική άνεση στα κτίρια [2]

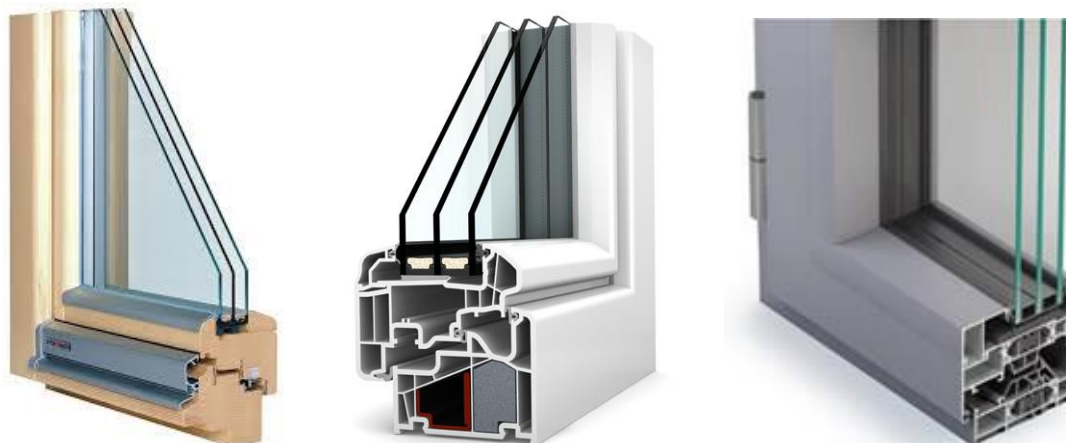
**Συντελεστής g:** Ένας, επίσης, σημαντικός συντελεστής του υαλοπίνακα ενός κουφώματος είναι ο συντελεστής **g-value**. Η τιμή του g προσδιορίζει το ποσοστό της επιτρεπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται από ένα κούφωμα.

Παραδείγματος χάρη για συντελεστή  $g=0.42$ , γνωρίζουμε ότι το 42% της ηλιακής ακτινοβολίας διαπερνά τον υαλοπίνακα και εισέρχεται στο κτίριο, με το υπόλοιπο να ανακλάται.

**Πλαίσια:** Οι τιμές  $U_f$  των πλαισίων στα ΠΚ κυμαίνονται από  $0,6 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$  έως  $0,9 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ , ενώ σχεδιαστικά τείνουν να ελαχιστοποιούνται οι διαστάσεις τους, ώστε να αυξάνεται η επιφάνεια του υαλοπίνακα, η οποία προσφέρει τα θερμικά κέρδη.

Μπορούν να είναι διαφόρων τύπων, οι πιο συνηθισμένοι είναι: 1) Ξύλινα 2) PVC 3) Αλουμινίου με θερμοδιακοπή και πρέπει να τηρούν τις προδιαγραφές που απαιτούνται από το PHPP. Τέλος, η ποιότητα των πλαισίων παίζει κυρίαρχο ρόλο στις απώλειες του θερμικού φακέλου και την αεροστεγανότητα του κελύφους.



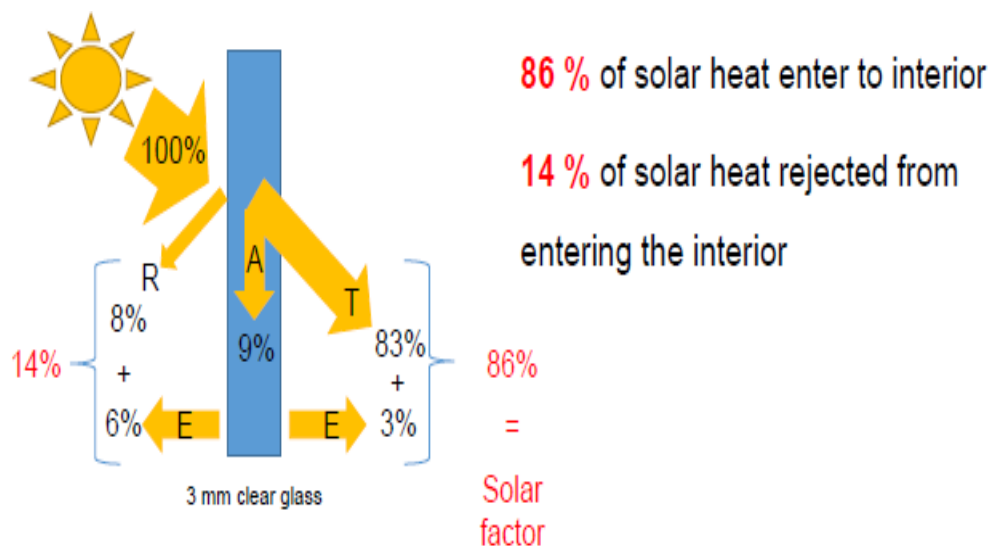


Εικόνα 5.28: Από αριστερά προς τα δεξιά τα πλαίσια: 1) Ξύλινα 2) PVC 3) Αλουμινίου

**Υαλοπίνακες:** Είναι η κύρια πηγή θερμικού κέρδους για το κτίριο. Κατά την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στον υαλοπίνακα, ένα μέρος της **ανακλάται**, ένα **διαθλάται** και ένα **απορροφάται**.

Η ανάκλαση εξαρτάται: Από το υλικό του υαλοπίνακα και την ποιότητα της επιφάνειας του, από την παρουσία επικαλύψεων και από τη γωνία πρόσπτωσης του ηλίου.

Ενδεικτικά για ένα παράδειγμα υαλοπίνακα τριών εκατοστών πάχους έχουμε ανάκλαση σε ποσοστό 8%, διάθλαση 83% και απορρόφηση 9% από τα οποία το 3% κατευθύνεται στο εσωτερικό του κτιρίου και το 6% στο εξωτερικό, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.29: Παράδειγμα πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας σε υαλοπίνακα με πάχος 3 εκατοστά [2]

Τα χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα (συντελεστές  $U_g$  και g-value) εξαρτώνται από τον τύπο του και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν.

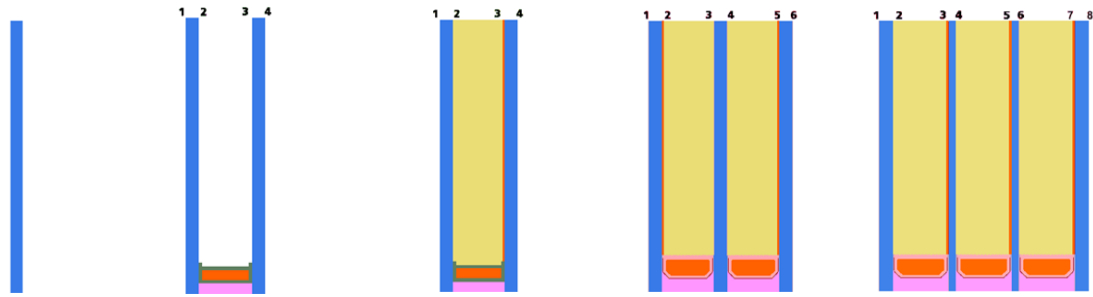
Διακρίνονται 5 κύριοι τύποι υαλοπίνακα:

- 1) **Απλός μονός:** Ο πιο απλός τύπος υαλοπίνακα. Ενδεικτικές τιμές:
- $U_g = 5,8 \text{ W / m}^2\text{K}$
  - Θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας <sup>10</sup> =  $-2,6 \text{ }^\circ\text{C}$
  - $g - \text{value} = 0.87$
- 2) **Απλός διπλός με αέρα ενδιάμεσα:** Η εξέλιξη του απλού υαλοπίνακα, Ενδεικτικές τιμές:
- $U_g = 2,7 \text{ W / m}^2\text{K}$
  - Θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας =  $9,5 \text{ }^\circ\text{C}$
  - $g - \text{value} = 0.78$
- 3) **Διπλός με αέριο ενδιάμεσα:** Τοποθετείται ειδικό αέριο ανάμεσα στη διπλή υάλωση με στόχο τη μεγαλύτερη απορρόφηση της θερμοκρασίας εντός του υαλοπίνακα. Ενδεικτικές τιμές:
- $U_g = 1,1 - 1,3 \text{ W / m}^2\text{K}$
  - Θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας =  $14,9 - 15,7 \text{ }^\circ\text{C}$
  - $g - \text{value}^{11} = 0,62 - 0,71$
  - Κόστος =  $55 \text{ €/m}^2$
- 4) **Τριπλός με αέριο ενδιάμεσα:** Συνίστανται κυρίως σε κλίματα που βρίσκονται σε δυσμενέστερη κατάσταση το χειμώνα παρά το καλοκαίρι. Ενδεικτικές τιμές:
- $U_g = 0,53 - 0,75 \text{ W / m}^2\text{K}$
  - Θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας =  $17,1 - 17,9 \text{ }^\circ\text{C}$
  - $g - \text{value} = 0,49 - 0,60$
  - Κόστος =  $75 \text{ €/m}^2$
- 5) **Τετραπλός με αέριο ενδιάμεσα:** Εφαρμόζεται σπάνια και αποκλειστικά σε χώρες με ακραία καιρικά φαινόμενα. Ενδεικτικές τιμές:
- $U_g = 0,35 - 0,44 \text{ W / m}^2\text{K}$
  - Θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας =  $18,3 - 18,6 \text{ }^\circ\text{C}$
  - $g - \text{value} = 0,43 - 0,57$
  - Κόστος =  $150 \text{ €/m}^2$

Στην παρακάτω εικόνα διακρίνουμε τους 5 αυτούς τύπους υάλωσης.

<sup>10</sup> Υπολογισμένη για εξωτερική θερμοκρασία  $-10^\circ\text{C}$  και εσωτερική θερμοκρασία  $20^\circ\text{C}$

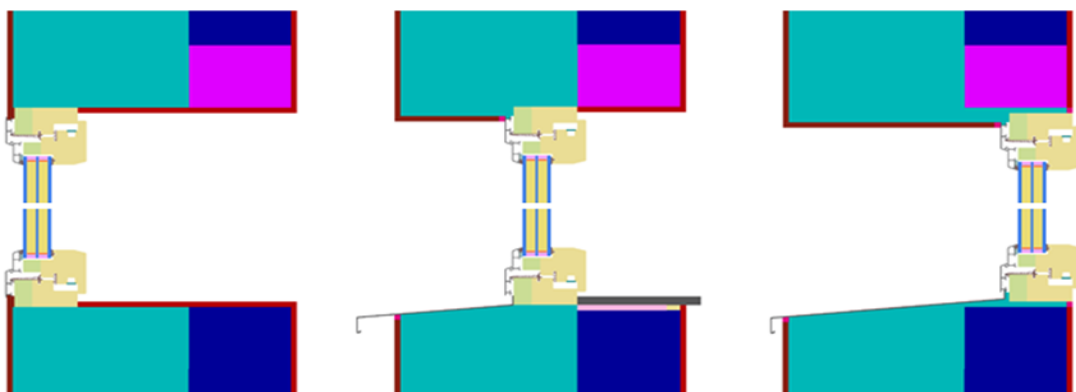
<sup>11</sup> Οι τιμές του  $g$  είναι για τη μέγιστη δυνατή ηλιακή ακτινοβολία που μπορεί να διαπεράσει τον υαλοπίνακα. Στα θερμά κλίματα η χαμηλότερη δυνατή τιμή, δίχως να αλλάζει το χρώμα του υαλοπίνακα σε πιο σκούρο, είναι  $0,37$  και επιλέγεται συχνά σε έργα.



Εικόνα 5.30: Τύποι υάλωσης κουφωμάτων

Υπάρχουν δυο βασικές επιλογές αερίων που περιέχονται εντός της υάλωσης και είναι τα: Αργό (Ar)<sup>12</sup> ή Κρυπτό (Kr)<sup>13</sup>. Είναι αδρανή, μη τοξικά αέρια και μειώνουν σημαντικά τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού χώρου. Το Αργό είναι η πιο οικονομική επιλογή και η τιμή της θερμικής του αγωγιμότητας είναι τα 2/3 της τιμής του αέρα. Το Κρυπτό είναι μια πιο ακριβή επιλογή, αλλά έχει καλύτερες μονωτικές ιδιότητες και μειώνει καλύτερα τη μεταφορά θερμότητας στα ενεργειακά κουφώματα. Υπεραπλουστευμένα, τα σωματίδια Ar αντιστοιχούν σε μπάλες μπάσκετ και τα σωματίδια Kr σε μπάλες τέννις, συνεπώς χρειάζονται πολύ περισσότερα Kr για την πλήρωση ενός υαλοπίνακα, αλλά έχουν καλύτερη εφαρμογή μεταξύ τους σε σχέση με τα σωματίδια Ar.

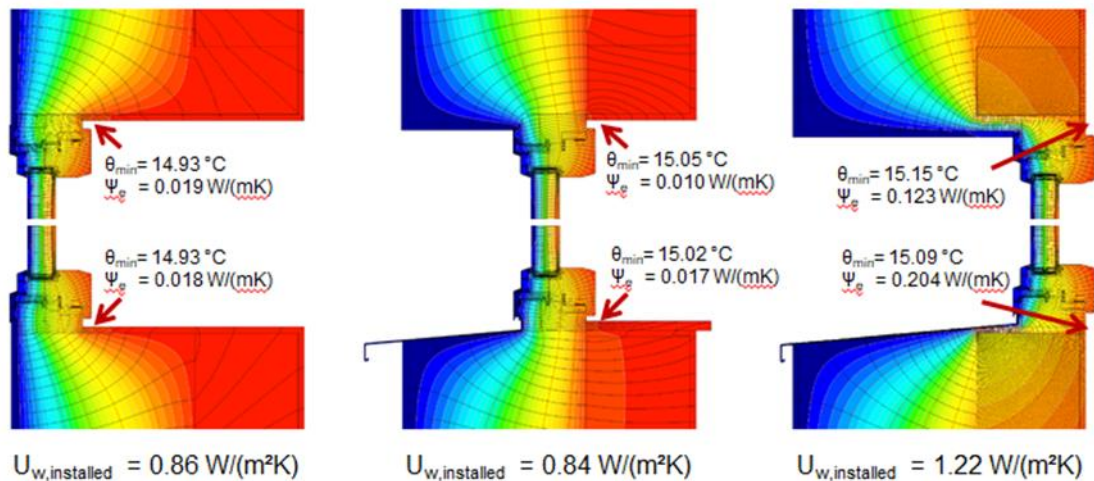
Εξίσου σημαντικό βήμα στην απόδοση των κουφωμάτων ενός κτιρίου είναι το βήμα της σωστής τοποθέτησης τους. Όσο καλό και αν είναι το κούφωμα αν δεν τοποθετηθεί σωστά στο δομικό στοιχείο θα δημιουργηθούν θερμογέφυρες, δηλαδή απώλειες. Στα παθητικά κτίρια, συνιστάται η τοποθέτηση του κουφώματος να γίνεται στο εσωτερικό κομμάτι της μόνωσης, όπως θα δούμε και στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 5.31: Διαφορετικές τοποθετήσεις ενός κουφώματος. Το εσωτερικό του κτιρίου είναι στη δεξιά πλευρά και η μόνωση συμβολίζεται με το γαλάζιο χρώμα [1,2]

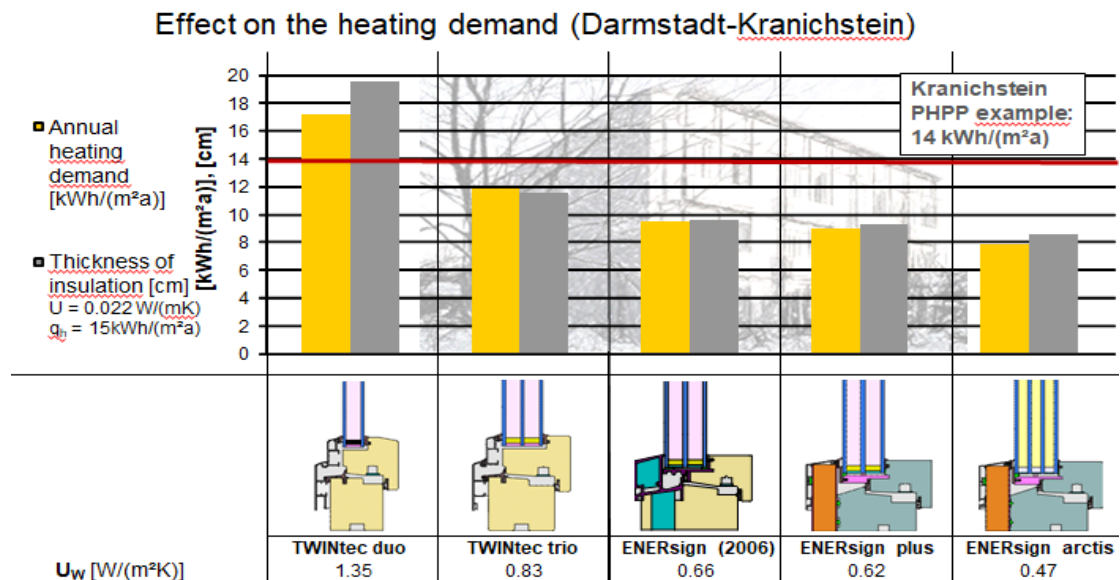
<sup>12</sup> Το χημικό στοιχείο **Αργό (Argon)** είναι ένα άχρωμο ευγενές αέριο με ατομικό αριθμό 18 και ατομικό βάρος 38,948.

<sup>13</sup> Το χημικό στοιχείο **Κρυπτό (Krypton)** είναι ένα ευγενές αέριο με ατομικό αριθμό 36 και ατομικό βάρος 83,80.

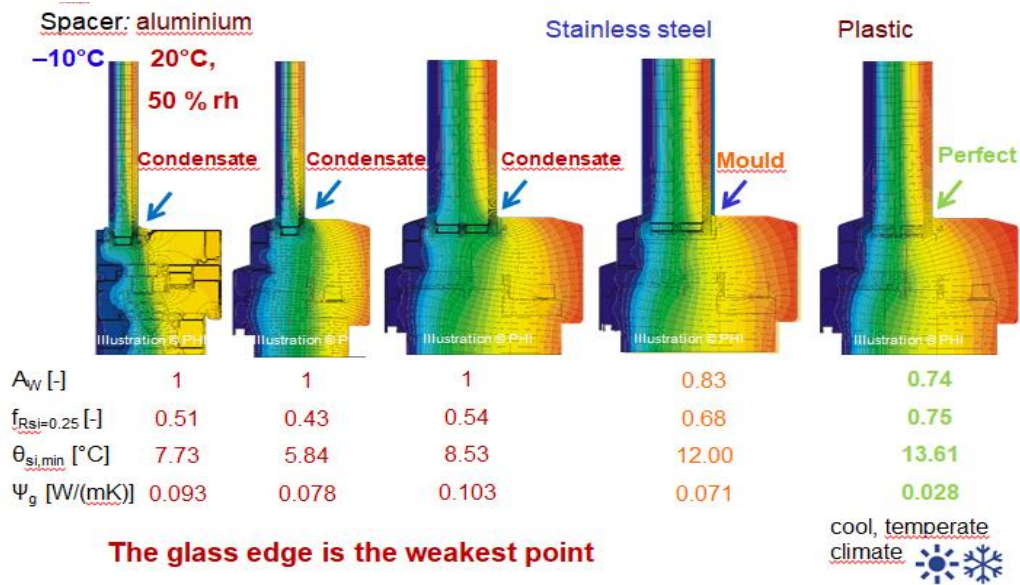


Εικόνα 5.32: Επαλήθευση της βέλτιστης τοποθέτησης του κουφώματος μέσω προγράμματος δυναμικής ανάλυσης [1,2]

Συμπερασματικά, τα θερμικά κέρδη από κουφώματα παίζουν το σημαντικότερο ρόλο στην απαίτηση για θέρμανση ενός κτιρίου και έναν πολύ σημαντικό ρόλο στις συνολικές απώλειες του. Παρακάτω παρατίθεται το παράδειγμα του πιλοτικού κτιρίου στο Kranichstein της Γερμανίας από τον Dr. Wolfgang Feist και οι μεταβολές στην απαίτηση θέρμανσης ανάλογα με τις αλλαγές κουφωμάτων ανά τα χρόνια.



Εικόνα 5.33: Ετήσια απαίτηση για θέρμανση και παχος μόνωσης ανάλογα με το κούφωμα σε πιλοτικό παθητικό κτίριο στο Kranichstein, Darmstadt, Germany [2]



Εικόνα 5.34: Δυναμική ανάλυση στα διαφορετικά είδη κουφωμάτων [2]

### 5.3 Θερμογέφυρες – Αεροστεγανότητα

Συνεχίζοντας να αναλύουμε τα βασικά συστατικά στοιχεία για το πρότυπο του ΠΚ θα αναλύσουμε τις θερμογέφυρες ενός κτιρίου και τη αεροστεγανότητά του. Στοιχεία, τα οποία δεν είναι προφανή και ορατά δια γυμνού οφθαλμού και πρέπει να προβλέπονται σε νεόδμητα κτίρια και να ελέγχονται σε ανακαινίσεις.

#### 5.3.1 Ανάλυση θερμογεφυρών

**Ορισμός:**<sup>14</sup> Ως θερμογέφυρα, ορίζεται το τμήμα εκείνο του περιβλήματος του κτιρίου, στο οποίο η θερμική του αντίσταση εμφανίζεται μειωμένη συγκριτικά με τη θερμική αντίσταση στο υπόλοιπο κέλυφος [62]

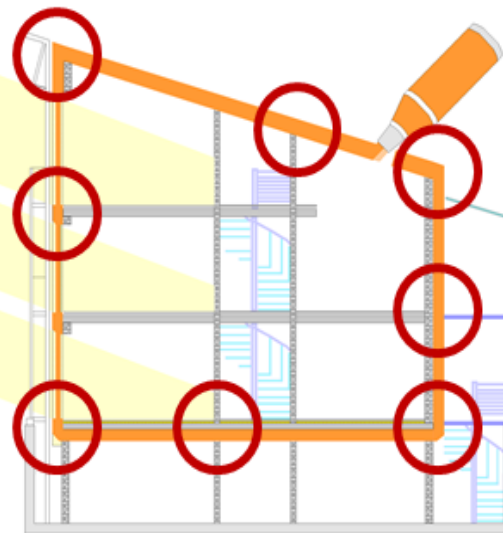
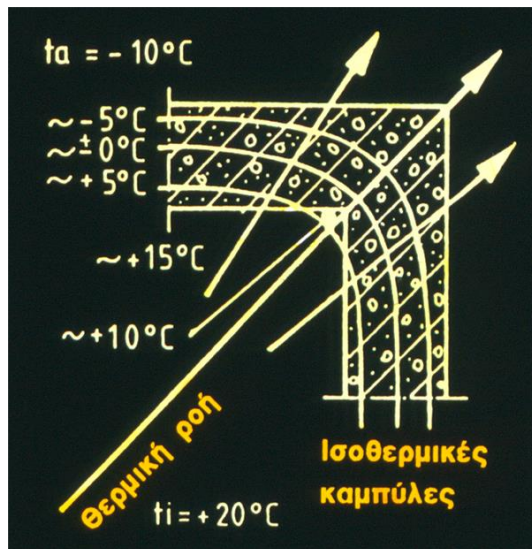
<sup>14</sup> Ορισμός που έχει δοθεί από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.





Εικόνα 5.35: Ο ορισμός της θερμογέφυρας σε εικόνα [2,6]

Η επίδραση των θερμογεφυρών στις συνολικές απώλειες, μπορεί σε συγκεκριμένες περιπτώσεις να είναι αρκετά σημαντικές. Κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή των παθητικών κτιρίων είναι σημαντικό να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι απώλειες που προκαλούνται από τις θερμογέφυρες (thermal bridge free design). Στα νεόδμητα κτίρια, με σωστό σχεδιασμό από τον αρχιτέκτονα είναι εύκολο να αποφευχθούν οι πιο σημαντικές. Στις ανακαινίσεις σε υφιστάμενα κτίρια πρέπει να υπολογιστούν με ακρίβεια. Μαθηματικά, οι καθαρά γεωμετρικές θερμογέφυρες δεν επηρεάζουν αρνητικά το ενεργειακό ισοζύγιο. Αν για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται οι εξωτερικές διαστάσεις του κελύφους, τότε σε πολλές περιπτώσεις, αν δε ληφθούν υπ' όψιν οι θερμογέφυρες, τότε η υπολογιζόμενη απώλεια θα είναι μεγαλύτερη από την πραγματική. Αυτό σημαίνει πρακτικά ότι σε πολλά σημεία του κτιρίου, λόγω γεωμετρίας και επικαλύψεων από τη μόνωση έχουμε θερμογέφυρες με θετικό πρόσημο. Η τιμή  $\Psi$  της κάθε θερμογέφυρας πρέπει να εισάγεται στο PHPP μαζί με το μήκος της, ώστε να υπολογιστούν οι απώλειες. Στη θέση της θερμογέφυρας το δομικό στοιχείο εμφανίζει αύξηση των θερμικών απωλειών και μείωση του αισθήματος θερμικής άνεσης, ενώ είναι πιθανά τα φαινόμενα συμπύκνωσης.

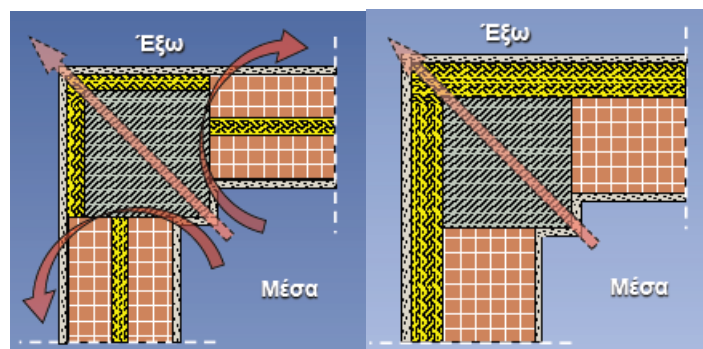


Εικόνα 5.36: Θερμική ροή μέσω δομικού στοιχείου σε ορθή γωνία κελύφους[62]

Εικόνα 5.37: Συνήθη σημεία θερμογεφυρών σε ένα κτίριο [62]

Υπάρχουν δυο είδη θερμογεφυρών:

1. **Κατασκευαστικές:** Οφείλονται σε διακοπή της συνέχειας της θερμομονωτικής στρώσης και η έντασή της εξαρτάται από το δημιουργούμενο άλμα της ασυνέχειας.
2. **Γεωμετρικές:** Οφείλονται στη γεωμετρία του κτιρίου, χωρίς να υπάρχει διακοπή της συνέχειας της θερμομονωτικής στρώσης και η έντασή της εξαρτάται από τη διαφορά μεγέθους της εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας.



Εικόνα 5.38: Αριστερά βλέπουμε μια κατασκευαστική θερμογέφυρα και δεξιά μια γεωμετρική [62]

Κατά **KENAK**, οι θερμογέφυρες χωρίζονται σε γραμμικές και σημειακές, όπου η γραμμικές ορίζονται από το γινόμενο  $\Psi \times l$  και οι σημειακές θεωρούνται αμελητέες. Στο **RHPP**, χωρίζονται ανάλογα με τη θερμοκρασιακή ζώνη σε περιμετρικές, προς εξωτερικό περιβάλλον και προς έδαφος ή υπόγειο. Και στα δυο η τιμή  $\Psi$  υπολογίζεται με τη βοήθεια υπολογιστικών προγραμμάτων δισδιάστατης ροής

θερμότητας. Η γραμμική Ψ-τιμή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις εξωτερικές διαστάσεις με τη χρήση του τύπου:

$$\Psi = \frac{Q_{2Dim} - Q_{1Dim}}{\ell \cdot \Delta\theta}$$

Όπου,

$$Q_{1Dim} = \sum A_i \cdot U_i \cdot \Delta\theta_i$$

$Q_{2Dim}$ : Ροή θερμότητας, υπολογισμένη με την χρήση αριθμητικής μεθόδου

$\Delta\theta$ : Θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος

$U_i$ : U-τιμές των κτιριακών μονάδων

$A_i$ : Κτιριακό στοιχείο με αριθμό επιφάνειας “i”, (με χρήση αναφοράς εξωτερικών διαστάσεων)

$\Delta\theta_i$ : Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών διαστάσεων του δομικού στοιχείου “i”

Στο **PHPP**, ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών για τις θερμογέφυρες υπολογίζεται αυτόματα από το εργαλείο με χρήση του τύπου:

$$Q_T = \ell \cdot \Psi \cdot f_T \cdot G_i$$

Όπου,

$\ell$ : Μήκος θερμικής γέφυρας

$\Psi$ : Γραμμικός συντελεστής θερμικής μετάδοσης (αξιολογείται με την χρήση εξωτερικών διαστάσεων)

$f_T$ : Μειωτικός συντελεστής<sup>15</sup>

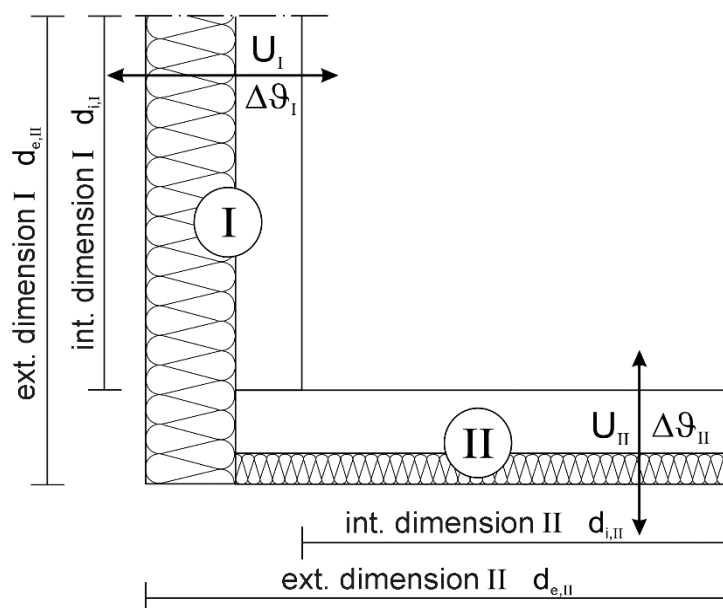
$G_i$ : Χρονικό ολοκλήρωμα της θερμοκρασιακής διαφοράς (βαθμοί ωρών θέρμανσης)

---

<sup>15</sup> Για τον υπολογισμό της ροής της θερμότητας στα δομικά στοιχεία με ποικίλες θερμοκρασιακές διαφορές, χρησιμοποιούνται κατάλληλοι μειωτικοί συντελεστές. Γενικά, λόγω της εξαιρετικής μόνωσης των εξωτερικών κτιριακών στοιχείων σε ένα Παθητικό Κτίριο, ο καθορισμός των μειωτικών συντελεστών δεν έχει νόημα σε αυτές τις περιπτώσεις. Συμπερασματικά, για τέτοια κτιριακά στοιχεία, ο μειωτικός συντελεστής είναι  $f_T = 1$ .



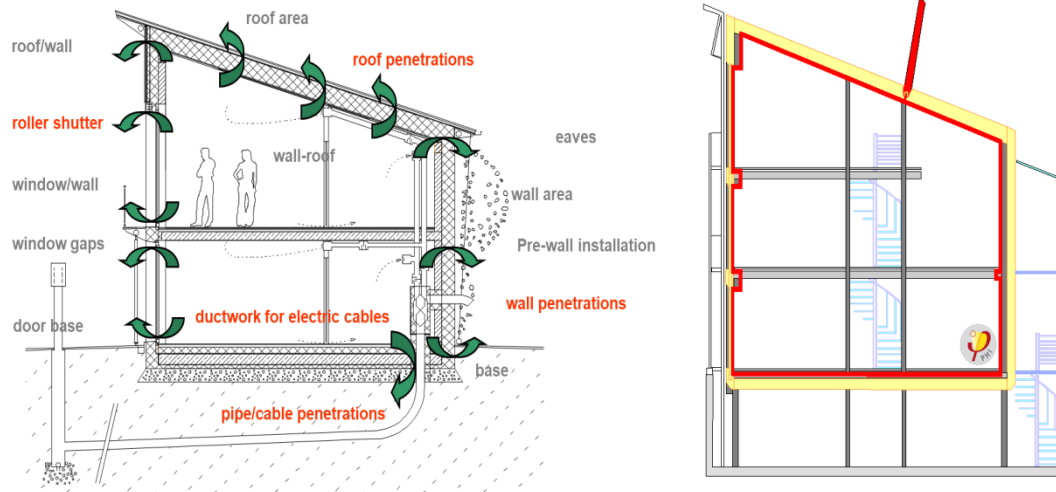
Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τα μεγέθη με τα οποία υπολογίζουμε τις θερμογέφυρες.



Εικόνα 5.39: Υπολογισμός εξωτερικών διαστάσεων για την επίλυση θερμογεφυρών [15]

### 5.3.2 Ανάλυση αεροστεγανότητας

Τα ΠΚ σχεδιάζονται με τρόπο ώστε να αποφεύγονται οι διαρροές αέρα στο κτιριακό κέλυφος, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση και να εμποδίζεται η εμφάνιση ρευμάτων αέρα και φθορών από την υγρασία. Για την επίτευξη του αναγκαίου επιπέδου αεροστεγανότητας απαιτείται όλες οι εσωτερικές επιφάνειες του κελύφους – οριζόντιες και κατακόρυφες – να είναι αεροστεγείς, καθώς και οι ενώσεις αυτών. Ο αεροστεγής φάκελος περικλείει όλο το θερμαινόμενο όγκο ως συνεχή επιφάνεια και η αεροστεγή στρώση τοποθετείται, συνήθως, στην εσωτερική πλευρά της μόνωσης. Συνεπώς, εκπληρώνει ταυτόχρονα τις απαιτήσεις ενός φράγματος υδρατμών. Ταυτόχρονα, ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην τοποθέτηση των εξωτερικών κουφωμάτων και σε όλες τις ηλεκτρολογικές και υδραυλικές εγκαταστάσεις που διαπερνούν το επίπεδο της αεροστεγανότητας. Στα σημεία αυτά, τοποθετούνται ειδικές μεμβράνες, ταινίες και κολάρα αεροστεγανότητας.



Εικόνα 5.40: Επίπεδο αεροστεγανότητας (κόκκινη γραμμή) και πιθανά σημεία διαρροών [2]



Εικόνα 5.41: Ειδικά κολάρα, τοποθετημένα σε σπές στους τοίχους [65]



Εικόνα 5.42: Η αεροστεγανότητα κλείνει στο επίπεδο του δαπέδου το θερμικό φάκελο [65]



Εικόνα 5.43: Ειδικές αεροστεγείς ταινίες, οι οποίες τοποθετούνται περιμετρικά των κουφωμάτων, πριν αυτά τοποθετηθούν [65]

Το κριτήριο για την αεροστεγανότητα ενός νέου παθητικού κτιρίου είναι οι 0,6 ή λιγότερες αλλαγές αέρα ανά ώρα, δηλαδή  $n_{50} \leq 0,60 \text{ h}^{-1}$  και για μια ανακαίνιση κτιρίου πρέπει να ισχύει  $n_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$ , σε υποπίεση ή υπερπίεση 50 Pascal. Το αποτέλεσμα ελέγχεται με το τεστ αεροστεγανότητας (Blowerdoor Test).



Εικόνα 5.44: Παράδειγμα χρήσης του τεστ αεροστεγανότητας σε ανακαίνιση και ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίου [65]

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι οι εναλλαγές αέρα σε ένα συμβατικό κτίριο είναι της τάξεως των 7 ACH<sup>16</sup>, πράγμα το οποίο δημιουργεί αθέλητο αερισμό. Διαχρονικά, ο αθέλητος αερισμός ήταν κάτι θετικό για τα κτίρια καθώς με αυτό τον τρόπο το κτίριο «αναπνέει», ενώ αν μειωθεί τόσο πολύ η αεροστεγανότητα «πολλοί θα πουν», ότι το κλίμα του εσωτερικού χώρου θα γίνει εξαιρετικά ξηρό και ανθυγιεινό. Όντως, λοιπόν, είναι ένα αρκετά πιθανό σενάριο και γι' αυτό το λόγο στα ΠΚ εγκαθίσταται ένα μηχανικό σύστημα αερισμού, το οποίο θα αναλύσουμε στην επόμενη ενότητα.

---

<sup>16</sup> ACH = Air Changes per Hour

## 5.4 Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση ενέργειας

Ο μηχανικός αερισμός αποτελεί μια από τις πέντε βασικές αρχές στην κατασκευή του παθητικού κτιρίου. Η αναγκαιότητα για το μηχανικό αερισμό, δημιουργείται λόγω της τοποθέτησης παχύτερων στρωμάτων μόνωσης και αεροστεγών κουφωμάτων. Αυτό, όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα, έχει ως αποτέλεσμα μια αεροστεγή κατασκευή, όπου αποτρέπεται η φυσική «αναπνοή» του κτιρίου, γεγονός που μεταφράζεται σε «φτωχή» ποιότητα εσωτερικού αέρα και πιθανότητα ανάπτυξης μούχλας. Το κτίριο θα πρέπει να αερίζεται, χωρίς όμως να χάνεται η ζέστη το χειμώνα και η δροσιά το καλοκαίρι, προσφέροντας παράλληλα την απαραίτητη ποιότητα εσωτερικού αέρα (IAQ).

### 5.4.1 Ποιότητα εσωτερικού αέρα

Η ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον (IAQ – Indoor Air Quality) αποτελεί μια παράμετρο, η οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την υγεία των χρηστών του εκάστοτε κτιρίου. Διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν το επίπεδο της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, όπως οι συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, η λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης/αερισμού, η συμπεριφορά και οι δραστηριότητες των χρηστών του κτιρίου κ.ο.κ.. Στα ΠΚ, την ευθύνη της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, έχει το σύστημα αερισμού, η λειτουργία του οποίου έχει ως κύριο μέλημα τη συνεχή ανανέωση του εσωτερικού αέρα, ο οποίος φιλτράρεται και συνεπώς συμβάλλει στη μείωση των ρύπων στο εσωτερικό του κτιρίου. Ο αερισμός των χώρων μπορεί να γίνει είτε μηχανικά, είτε με φυσικό τρόπο, στρατηγική κατά την οποία δεν καταναλώνεται ενέργεια αφενός, αφετέρου όμως δεν είναι δυνατόν να εξασφαλιστεί σταθερή παροχή αέρα καθ' όλη την περίοδο λειτουργίας του κτιρίου. Συνολικά, το ζήτημα της ποιότητας του εσωτερικού αέρα στα κτίρια θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με προσοχή, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις ιδιαιτερότητες που εμφανίζει το εκάστοτε κτίριο, τόσο στα υλικά με τα οποία έχει κατασκευαστεί, όσο και τις συνθήκες λειτουργίας και τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό περιβάλλον.





Εικόνα 5.45: Ασθενές έναντι υγιούς κτιρίου [11]

**Επιπτώσεις στην υγεία:** Η αναζήτηση των αιτιών που προκαλούν δυσφορία ή ασθένεια σε χρήστες κτιρίων λόγω κακής ποιότητας εσωτερικού αέρα είναι συχνά μια πολύπλοκη διαδικασία. Τα σχετικά πρότυπα και οι οδηγίες (π.χ. το πρότυπο 62<sup>17</sup> της ASHRAE<sup>18</sup>) που υπάρχουν, είναι περιορισμένα και σχετίζονται μόνο με τις απαιτήσεις αερισμού των υπό μελέτη χώρων. Γενικότερα, η ύπαρξη πολλών παραμέτρων σε σχέση με την έκθεση των ατόμων στους ρύπους και τις επιδράσεις στην υγεία τους δεν επιτρέπουν τον αναλυτικό καθορισμό του προβλήματος. Σχετικά με τον προσδιορισμό των συνεπειών στην υγεία λόγω χαμηλών επιπέδων ποιότητας αέρα, έχουν προσδιοριστεί δυο γενικές κατηγορίες ασθενειών: οι σχετικές με το κτίριο ασθένειες (BRI – Building Related Illnesses) και το σύνδρομο ασθενούς κτιρίου (SBS – Sick Building Syndrome).

**BRI:** Τα συμπτώματα σχετίζονται με διαγνώσιμη ασθένεια και μπορούν να αποδοθούν σε ρύπους του αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Το BRI μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις ομάδες: αερομεταφερόμενες μεταδοτικές νόσους, νόσους υπερευαισθησίας και νόσους που σχετίζονται με τοξικές αντιδράσεις. Οι BRI αφορούν κυρίως τα ακόλουθα σημεία:

- Οι χρήστες του κτιρίου παραπονιούνται για συμπτώματα όπως βήχας, σφίξιμο στο στήθος, πυρετό, κρυολόγημα και πόνους στους μύες.
- Τα συμπτώματα που μπορούν να καθοριστούν κλινικά και έχουν συγκεκριμένα αίτια.

<sup>17</sup> «Αέρας στον οποίον δεν περιέχονται γνωστού ρυπογόνοι παράγοντες σε συγκεντρώσεις οι οποίες κρίνονται ως βλαπτικές από Αρμόδιες Αρχές και όπου η ισχυρή πλειονότητα των εκτεθειμένων προσώπων (τουλάχιστον 80%) δεν εκφράζει δυσαρέσκεια.»

<sup>18</sup> ASHRAE = American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

- Οι ασθενείς μπορεί να χρειαστούν παρατεταμένα διαστήματα προκειμένου να αποκατασταθεί η υγεία τους μετά την αποχώρηση τους από το κτίριο.

Το BRI διαφέρει από το σύνδρομο του ασθενούς κτιρίου SBS στο γεγονός, ότι τα συμπτώματα του BRI δεν εκλείπουν όταν τα άτομα που έχουν προσβληθεί αποχωρούν από το κτίριο. Επιπλέον, μπορεί να διαγνωστεί σε ένα άτομο το BRI, χωρίς να είναι γνωστή η κατάσταση της υγείας των υπόλοιπων χρηστών του κτιρίου, γεγονός που δεν ισχύει στην περίπτωση της διάγνωσης του SBS.

Σύνδρομο του ασθενούς κτιρίου SBS: Αφορά καταστάσεις κατά τις οποίες οι χρήστες του κτιρίου εμφανίζουν έντονα προβλήματα υγείας ή δυσφορίας, τα οποία καταφανώς σχετίζονται με το χρόνο που περνούν στο κτίριο και δεν είναι δυνατόν να αποδοθούν σε συγκεκριμένη ασθένεια ή αιτία. Τα συγκεκριμένα προβλήματα μπορεί να σχετίζονται με συγκεκριμένα δώματα ή χώρους του κτιρίου ή μπορεί να σχετίζονται ακόμα και με το σύνολο του κτιρίου. Τα πιο βασικά σημεία του συνδρόμου του ασθενούς κτιρίου SBS είναι:

- Οι χρήστες του κτιρίου έχουν προβλήματα υπνηλίας, πονοκεφάλους, δυσκολία στη συγκέντρωση, κατάθλιψη, συνάχι, ξηρό λαιμό, ερεθισμό στα μάτια, ζαλάδες και ναυτία.
- Η αιτία των συμπτωμάτων είναι άγνωστη.
- Τα συμπτώματα συχνά εξαφανίζονται μετά την αποχώρηση από το κτίριο.

Σε περιπτώσεις κτιρίων στα οποία παρουσιάζονται έντονα προβλήματα που σχετίζονται με το σύνδρομο του ασθενούς κτιρίου, ο αριθμός των ρύπων συχνά είναι ιδιαίτερα υψηλός, ωστόσο σε σχετικά μικρές συγκεντρώσεις. Η μόλυνση μπορεί να προέρχεται από βιολογική αιτία (μικροοργανισμούς, γύρη, κ.τ.λ.), τον καπνό τσιγάρων τις VOCs (Volatile Organic Compounds – Πτητικές Οργανικές Ενώσεις) ενώσεις που εκπέμπονται από τα υλικά κατασκευής του κτιρίου. [7]



Εικόνα 5.46: Γελοιογραφία ασθενούς κτιρίου [7]

Οι βασικές αιτίες, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν στο σύνδρομο του ασθενούς κτιρίου, είναι οι εξής:

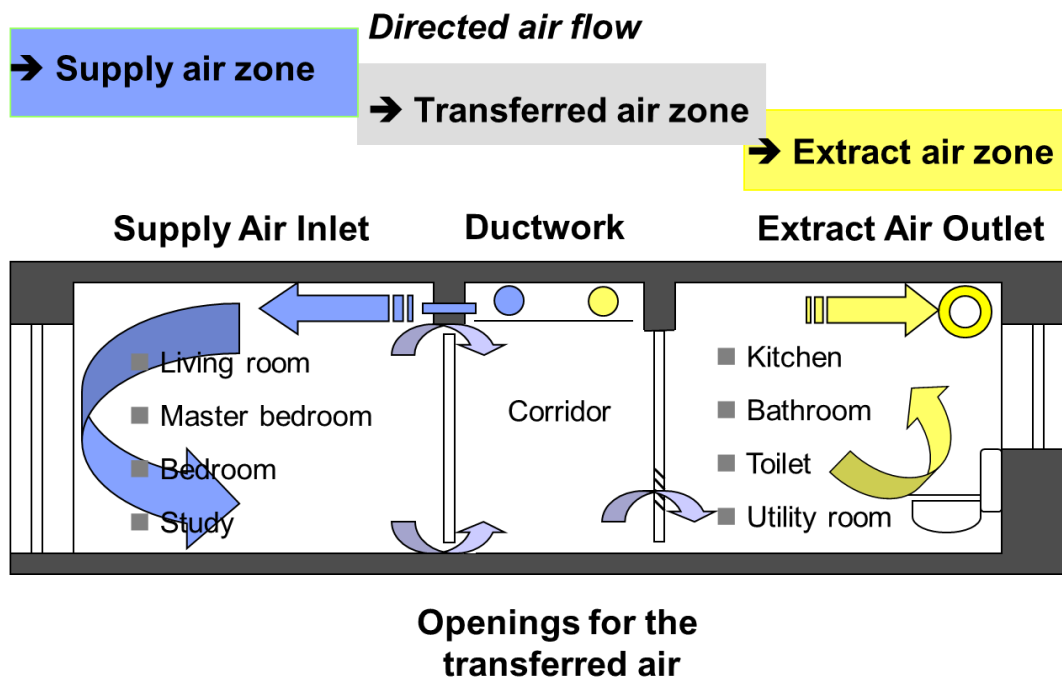
1. Πυκνότητα πληθυσμού των χρηστών του κτιρίου μεγαλύτερη από αυτή για την οποία σχεδιάστηκε το κτίριο και τα συστήματά του.
2. Χαμηλή απόδοση του συστήματος αερισμού.
3. Χρήση υλικών και προϊόντων, τα οποία αποτελούν σημαντικές πηγές ρύπων κατά την ανακαίνιση του κτιρίου.
4. Ανεπαρκής συντήρηση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης/αερισμού
5. Συμπύκνωση ή διαρροή νερού.
6. Αδιαφορία από τους χρήστες του κτιρίου ακόμα και ως προς την αναγνώριση των προβλημάτων που σχετίζονται με την ποιότητα του αέρα.

#### 5.4.2 Κεντρικό και μη-κεντρικό σύστημα αερισμού

Η λύση για τα παραπάνω προβλήματα, σε μεγάλο βαθμό, είναι η εγκατάσταση στα κτίρια ενός συστήματος μηχανικού αερισμού με ανάκτηση ενέργειας. Τα συστήματα αυτά στα ΠΚ, παρέχουν φρέσκο, καθαρό αέρα, με μέγιστη ενεργειακή απόδοση μέσω της ανάκτησης θερμότητας, επιτυγχάνοντας έτσι εξοικονόμηση στη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Η ανάκτηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί φτάνει μέχρι και 90% και δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη του 75%, ενώ η καταναλισκόμενη ισχύς των ανεμιστήρων περιορίζεται στα 0,45 Wh / m<sup>3</sup>.

Ο αερισμός των χώρων βασίζεται στις διαφορές πίεσης του αέρα. Το κτίριο, από την οπτική γωνία του αερισμού, αποτελείται από **3 ζώνες**: Τις ζώνες **απαγωγής αέρα**, τις ζώνες **εισερχόμενου φρέσκου αέρα** και τις **ενδιάμεσες ζώνες μεταφοράς αέρα**. Ως ζώνες απαγωγής αέρα επιλέγονται δωμάτια με αυξημένα επίπεδα οσμών, υγρασίας και άλλων εκπομπών που δεν πρέπει να εξαπλώνονται σε άλλους χώρους. Τέτοια δωμάτια είναι συνήθως η κουζίνα, τα μπάνια ή βοηθητικά δωμάτια. Οι ζώνες εισερχόμενου αέρα είναι συνήθως δωμάτια με καθημερινή χρήση όπως το καθιστικό ή τα υπνοδωμάτια. Ενώ οι χώροι ανάμεσα στις παραπάνω ζώνες (διάδρομοι, προθάλαμοι) λειτουργούν ως ζώνες μεταφοράς αέρα λόγω της διαφοράς πίεσης.

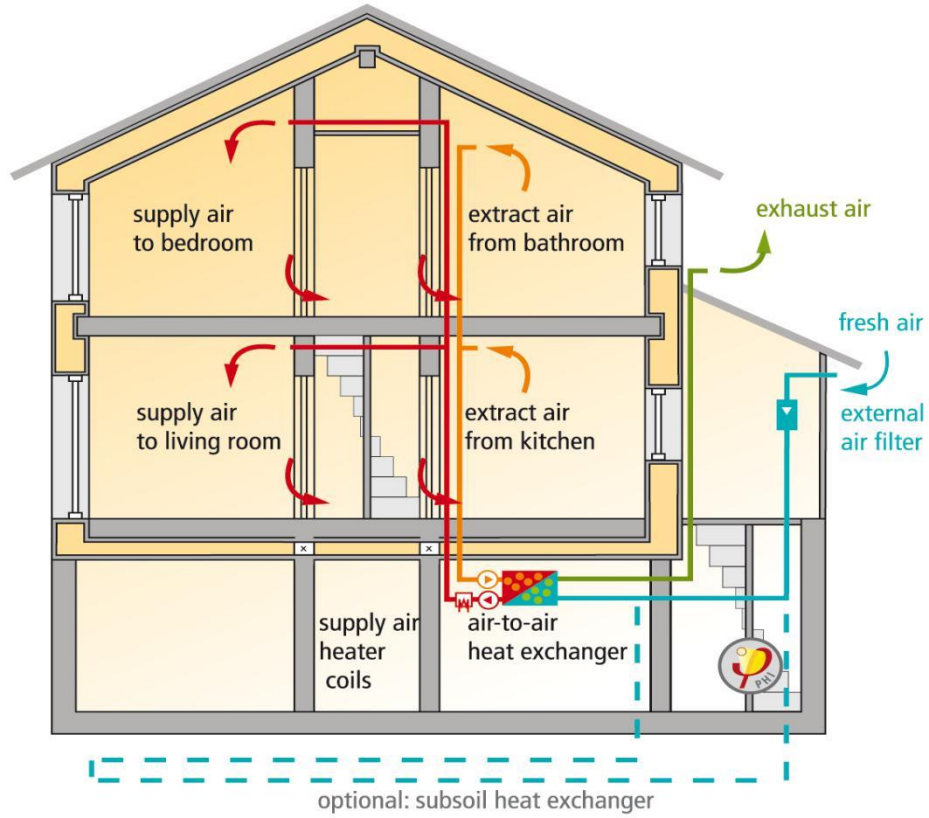




Εικόνα 5.47: Σύστημα αερισμού σε ΠΚ [2]

Το σύστημα του μηχανικού αερισμού σε ένα κτίριο μπορεί να σχεδιαστεί με ένα κεντρικό σύστημα, το οποίο διαθέτει κεντρική μονάδα και η διανομή αέρα γίνεται μέσω σωληνώσεων ή με μη-κεντρικά συστήματα τα οποία δρουν ανά ζεύγη σε δωμάτια.

**Κεντρικό σύστημα:** Η μονάδα μηχανικού αερισμού αποτελείται από τον ανεμιστήρα απαγωγής αέρα, τον ανεμιστήρα προσαγωγής φρέσκου αέρα, τον εναλλάκτη εναλλαγής θερμότητας, τα φίλτρα αέρος και το κέλυφος. Η μονάδα με τον ανεμιστήρα απαγωγής αποβάλλει τον αέρα από τις εξερχόμενες ζώνες (κουζίνα, μπάνια) μέσω του δικτύου αεραγωγών απαγωγής και ανακτά το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής του ενέργειας μέσω της διέλευσης του από τον εναλλάκτη εναλλαγής θερμότητας, προτού απορριφθεί στο εξωτερικό περιβάλλον. Παράλληλα, γίνεται η λήψη φρέσκου αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον και αφού φιλτραριστεί και διέλθει από τον εναλλάκτη, θα ανακτήσει το φορτίο που άφησε ο απορριπτόμενος αέρας και θα οδηγηθεί μέσω του δικτύου αεραγωγών στις ζώνες προσαγωγής αέρα. Από εκεί, μέσω των ανοιγμάτων (χαραμάδες εσωτερικών θυρών) ο αέρας διασχίζει διαδρόμους και προθαλάμους και καταλήγει στην κουζίνα και το μπάνιο απ' όπου και απάγεται στο σύστημα. Με αυτό τον τρόπο οι δυο τύποι αέρα (εισερχόμενος – εξερχόμενος) δεν αναμιγνύονται στο χώρο.



Εικόνα 5.49: Ενδεικτικό σύστημα μηχανικού αερισμού σε κτίριο [18]



Εικόνα 5.49: Κεντρική μονάδα συστήματος αερισμού [18]

Η μέση παροχή ογκομετρικού αέρα καθορίζεται από τον αριθμό των χρηστών του κτιρίου. Από την εμπειρία των χρηστών η παροχή αέρα στους χώρους προσαγωγής της τάξεως 20-30 m<sup>3</sup> / h ανά άτομο είναι παραπάνω από αρκετή. Τις κρύες και ξηρές χειμερινές ημέρες είναι σημαντικό να αποφεύγεται ο υψηλός ρυθμός εναλλαγής εξωτερικού αέρα, ώστε να διατηρείται ένα ελάχιστο επίπεδο υγρασίας στα δωμάτια. Ασφαλώς, υπάρχει η δυνατότητα για το χρήστη να μειώσει την παροχή αέρα, μέσω του συστήματος ελέγχου αερισμού. Επίσης, η προσαγωγή ή η απαγωγή αέρα από τα εκάστοτε δωμάτια εξαρτάται και από τον όγκο τους και πρέπει να είναι τέτοια, ώστε ο ρυθμός εναλλαγής αέρα να μην είναι μικρότερος από 0,3 ACH. Οι παροχές αέρα καθορίζονται από το πρότυπο EN 13779, ενώ για τυπικές συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> για φρέσκο εξωτερικό αέρα περίπου 400-500 ppm<sup>19</sup>, η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στους εσωτερικούς χώρους δε θα πρέπει να ξεπερνά τα 1500 ppm.

Η απόδοση του συστήματος αερισμού με ανάκτηση θερμότητας υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\eta_{HR} = \frac{\dot{Q}_{ETA} - \dot{Q}_{EHA} + P_{el} / (\dot{m}c_p)}{\dot{Q}_{ETA} - \dot{Q}_{ODA}}$$

Όπου,

ODA = Outdoor Air. (Φρέσκος αέρας που εισέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον)

SUP = Supply Air. (Αέρας προσαγωγής στους χώρους του κτιρίου)

ETA = Extract Air. (Αέρας απαγωγής από τους χώρους του κτιρίου)

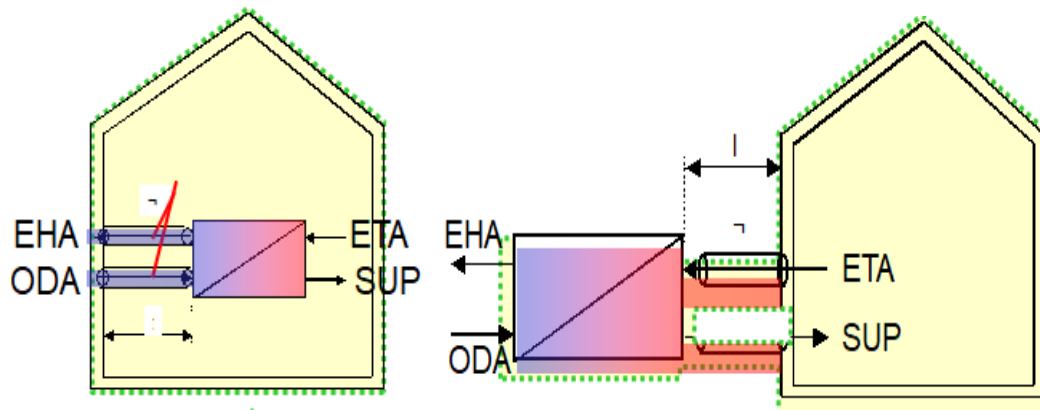
EHA = Exhaust Air. (Αέρας που εξέρχεται από το εσωτερικό του κτιρίου)

$\eta_{HR}$  = Heat recovery rate of ventilation device. (Ποσοστό ανάκτησης θερμότητας του συστήματος αερισμού)

Το κεντρικό σύστημα αερισμού μπορεί να τοποθετηθεί εντός και εκτός θερμικού φακέλου. Αν τοποθετηθεί εκτός, τότε θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο θερμικό φάκελο και να μονωθούν καλά όλα τα στοιχεία που βρίσκονται στο εξωτερικό περιβάλλον. Γενικότερα, συνίσταται να τοποθετείται εντός θερμικού φακέλου, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ασφάλεια στην αποδοτικότητά του.

---

<sup>19</sup> Ppm = parts per milion



Εικόνα 5.50: Κεντρική μονάδα συστήματος αερισμού εντός και εκτός θερμικού φακέλου 4. [4]

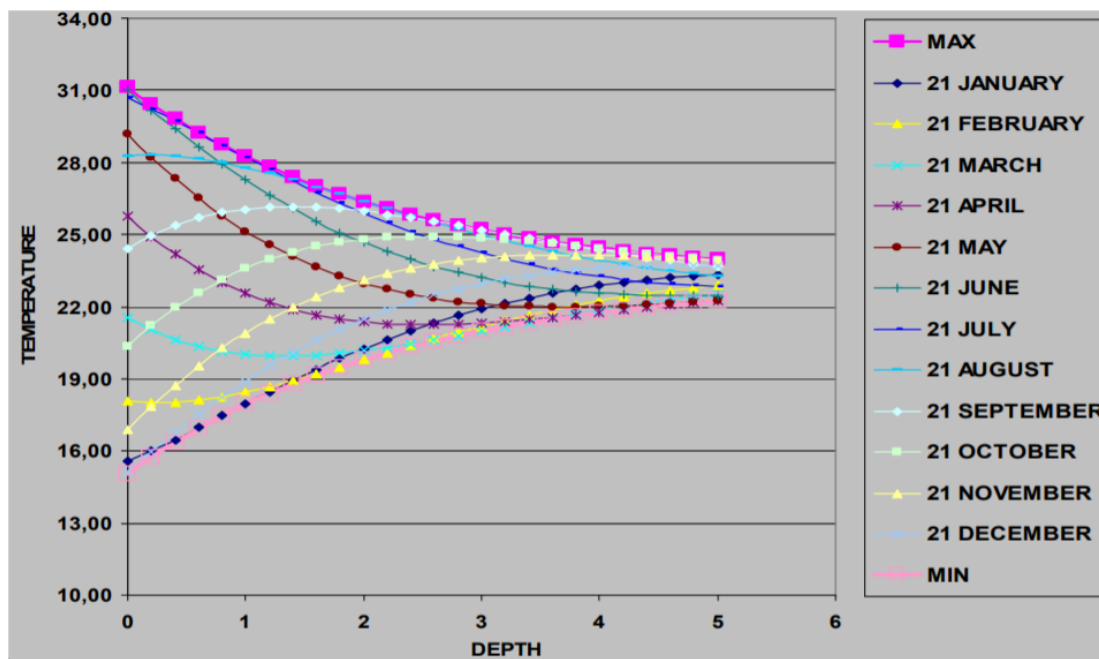
**Μη-κεντρικό σύστημα:** Η πιο πρόσφατη τεχνολογία, όσον αφορά το μηχανικό αερισμό με ανάκτηση ενέργειας. Πρόκειται για ένα σύστημα πολύ μικρού όγκου, το οποίο τοποθετείται απλά σε μια οπή της εξωτερική επιφάνειας του τοίχου και η εγκατάστασή του είναι πολύ πιο εύκολη από το κεντρικό σύστημα. Συνίσταται κυρίως σε ανακαινίσεις διαμερισμάτων.

Τρόπος λειτουργίας: Ανά 70 δευτερόλεπτα γίνεται προσαγωγή και απαγωγή αέρα, ο οποίος διαπερνά έναν κεραμικό εναλλάκτη, μέσω του οποίου γίνεται ανάκτηση θερμότητας έως και 75%, που είναι το κατώτατο όριο για ένα ΠΚ. Το συγκεκριμένο σύστημα δεν έχει πιστοποιηθεί ακόμα από το Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου, παρ' όλα αυτά έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε ΠΚ στην Ελλάδα. Συνδυάζονται ανά ζεύγη σε κάθε δωμάτιο, ώστε να υπάρχει ροή αέρα στο χώρο.



Εικόνα 5.51: Μη-κεντρικό σύστημα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση ενέργειας

Τέλος, συχνά για την προθέρμανση ή την πρόψυξη του αέρα που εισέρχεται στο σύστημα αερισμού μπορεί να τοποθετηθεί γεωθερμικός εναλλάκτης, ο οποίος είναι ένας φυσικός τρόπος μεταβολής της θερμοκρασίας κατά τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο. Σύμφωνα με μετρήσεις, ένα ιδανικό βάθος γεωθερμίας είναι τα τρία μέτρα κάτω από τη γη, καθώς από το βάθος αυτό και κάτω οι μεταβολές στη θερμοκρασία είναι μικρές.



Εικόνα 5.52: Καμπύλες μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας υπεδάφους αναλόγως του βάθους (μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα 23°C) [11]

Η μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μέσα στον εναλλάκτη εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Τη θερμοκρασία του εδάφους στο βάθος στο οποίο έχει τοποθετηθεί ο εναλλάκτης
- Τις διαστάσεις του εναλλάκτη
- Την ταχύτητα του αέρα μέσα στον εναλλάκτη
- Τη θερμική αγωγιμότητα του εναλλάκτη και το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους
- Τη θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του εναλλάκτη
- Την απόσταση των γειτονικών σωλήνων στην περίπτωση που το σύστημα αποτελείται από περισσότερους από έναν παράλληλους εναλλάκτες

Το σύστημα αυτό συνδυάζεται αρμονικά με το σύστημα αερισμού, καθώς και ενδεχομένως με το σύστημα κλιματισμού, συντελώντας στην εξοικονόμηση ενέργειας για την ψύξη και τη θέρμανση του κτιρίου, καθώς μέσω της μείωσης της θερμοκρασιακής διαφοράς εισερχόμενου – εξερχόμενου αέρα από το σύστημα, μειώνεται και η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος του κτιρίου.

## 5.5 Παθητικά ηλιακά συστήματα – Φυσικός δροσισμός

Στις μεσογειακές χώρες και γενικότερα στις χώρες με πλούσια ηλιοφάνεια και υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι απαιτείται αφενός η αποθήκευση και εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας τους χειμερινούς μήνες και αφετέρου η προστασία από αυτή και την υπερθέρμανση που μπορεί να προκληθεί τους καλοκαιρινούς μήνες. Απώροια, είναι η δημιουργία παθητικών ηλιακών συστημάτων, η πρόβλεψη για φυσικό δροσισμό και επαρκή σκίαση (αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 5.1).

### 5.5.1 Ανάλυση παθητικών ηλιακών συστημάτων

Είναι συστήματα ενταγμένα στο κέλυφος του κτιρίου και εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία χωρίς να κάνουν χρήση υψηλής τεχνολογίας και μηχανικών μέσων. Βασίζονται στη φυσική ροή της θερμικής ενέργειας, εκμεταλλεύονται τις φυσικές ιδιότητες των υλικών και χρησιμοποιούν για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και την αποθήκευση της θερμότητας τα δομικά στοιχεία του κελύφους. Ταξινομούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο θερμικής λειτουργίας:

- Συστήματα **άμεσου ηλιακού κέρδους** (π.χ. ανοίγματα προσανατολισμένα στο νότο)
- Συστήματα **έμμεσου ηλιακού κέρδους** (π.χ. ηλιακοί τοίχοι, τοίχοι θερμικής αποθήκευσης)
- Συστήματα **απομονωμένου ηλιακού κέρδους** (π.χ. θερμοκήπια, υβριδικά συστήματα)

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 οφείλει να είναι τέτοια, ώστε να επιφέρει τη μέγιστη δυνατή συλλογή της ηλιακής ενέργειας, τη δυνατότητα αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας και τις ελάχιστες θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον. Επιπλέον, για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας βασίζεται στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου», για την αποθήκευση της θερμότητας βασίζεται στη θερμοχωρητικότητα των υλικών και για τη μεταφορά της θερμότητας από τον ένα χώρο στον άλλο στους βασικούς νόμους της θερμοδυναμικής.

Το πιο γνωστό σύστημα **άμεσου ηλιακού κέρδους** είναι η αξιοποίηση του προσανατολισμού και των διαφανών ανοιγμάτων. Στο βόρειο ημισφαίριο, κατάλληλος προσανατολισμός θεωρείται ο νότιος, διότι στόχος είναι η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα. Για τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα απαιτείται η κατάλληλη θερμομόνωση της τοιχοποιίας και η απαιτούμενη θερμική μάζα, η οποία αποθηκεύει



και αποδίδει θερμότητα στο χώρο κατά τρόπο, με τον οποίο διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία στο κτίριο όλο το εικοσιτετράωρο. Η θερμική μάζα εμφανίζεται υπό μορφή μόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας ή του δαπέδου. Με αυτό τον τρόπο η ενέργεια που εκπέμπει ο ήλιος αποθηκεύεται στη θερμική μάζα και επιτυγχάνονται διακυμάνσεις στη θερμοκρασία των κατώτερων στρωμάτων του αέρα. Η θερμότητα αποθηκεύεται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και επανεκπέμπεται τη νύχτα. Η κλίση των ανοιγμάτων ως προς τον ορίζοντα συνιστάται να είναι κατακόρυφη, καθώς με αυτόν τον τρόπο δέχεται μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα και προστατεύεται πιο εύκολα το καλοκαίρι. Επιπρόσθετα, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει το μέγεθος και η θέση του ανοίγματος, καθώς το μέγεθος σχετίζεται με το κλίμα της περιοχής και διαφοροποιείται ανάλογα με το βαθμό θερμομόνωσης του κελύφους, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα. Η θέση σχετίζεται με το βάθος του χώρου και ο στόχος είναι η επίτευξη μιας ομοιόμορφης κατανομής θερμότητας στο χώρο. Τέλος, προϋπόθεση για την καλή απόδοση ενός συστήματος, είναι η επιλογή των υλικών της τοιχοποιίας και του υαλοπίνακα, στα οποία θα αναφερθούμε αναλυτικότερα παρακάτω.

<b>Μέγεθος νότιων ανοιγμάτων για διαφορετικές κλιματικές συνθήκες</b>	
<b>Μέση εξωτερική θερμοκρασία το χειμώνα C°</b>	<b>Εμβαδόν απαιτούμενου ανοίγματος για τη μοναδιαία επιφάνεια του χώρου κάτοψης m<sup>2</sup></b>
<b>Κλίμα ψυχρό</b>	
-9,4	0,27 – 0,42 (με νυκτερινή μόνωση)
-6,7	0,24 – 0,38 (με νυκτερινή μόνωση)
-3,9	0,21 – 0,33
-1,1	0,19 – 0,29
<b>Κλίμα εύκρατο</b>	
+1,7	0,16 – 0,25
+4,5	0,13 – 0,21
+7,2	0,11 – 0,17

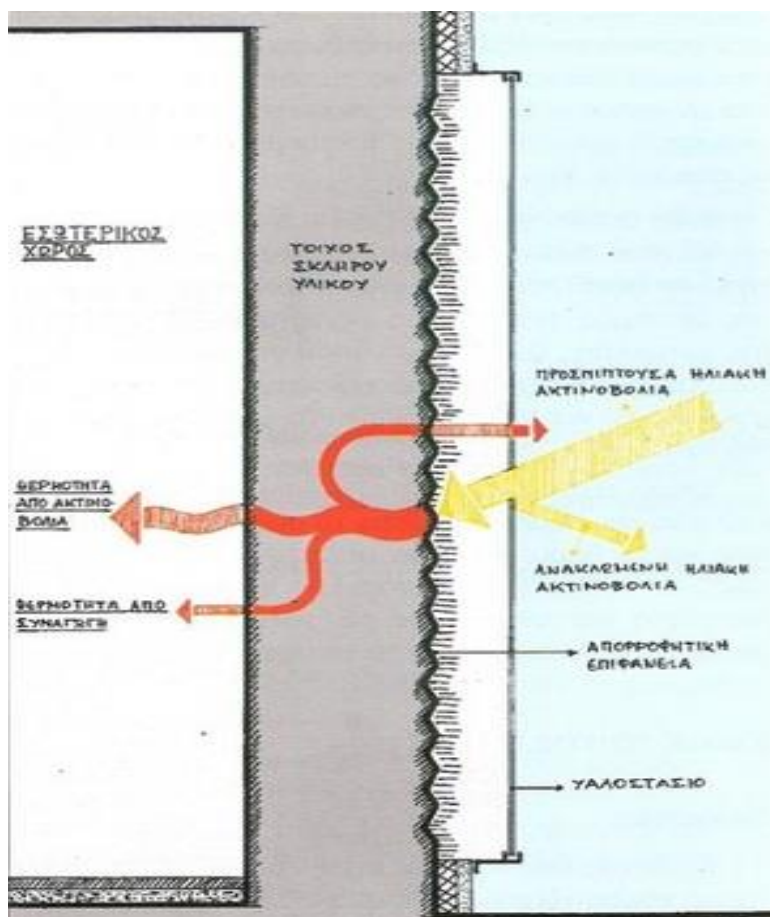
Εικόνα 5.53: Μέγεθος νότιων ανοιγμάτων για διάφορα κλίματα

Το σύνολο των δομικών στοιχείων και υλικών ενός κτιρίου με την ικανότητα να αποθηκεύουν θερμότητα, αποτελεί τη **θερμική μάζα** του κτιρίου. Η μάζα αυτή, εφόσον αξιοποιηθεί σωστά έχει τη δυνατότητα να συνεισφέρει στη μείωση των απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη και να έχει ευεργετική επίδραση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Για τη συγκρότηση θερμικής μάζας προτιμούνται υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας, δηλαδή ικανά να αποθηκεύουν μεγάλο ποσοστό θερμότητας. Τέτοια υλικά είναι συμπαγή, όπως η πέτρα, το τούβλο, το μπετό, οι κεραμικές πλάκες και άλλα, τα οποία επιλέγονται παραδοσιακά για μέρη του κτιρίου όπου απαιτείται επαρκής θερμική αποθήκευση. Έχουν την ιδιότητα να συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας και να την αποβάλλουν όταν το περιβάλλον γίνει ψυχρότερο. Η σωστή χρήση της θερμικής μάζας ενός κτιρίου εξαρτάται, φυσικά, από τις κλιματικές συνθήκες και τις αντίστοιχες ανάγκες για θέρμανση και ψύξη. Η ηλιακή

ενέργεια, αφού εισέλθει στο εσωτερικό του κτιρίου, παγιδεύεται και μεταφέρεται στα δομικά υλικά. Κατά τη χειμερινή περίοδο, η περίσσεια ηλιακή ενέργεια αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία του κτιρίου τις ώρες της ημέρας, ενώ τη νύχτα, που η θερμοκρασία πέφτει, απελευθερώνεται σταδιακά προς τον εσωτερικό χώρο, μειώνοντας τις ανάγκες σε βοηθητική θέρμανση. Την καλοκαιρινή περίοδο, 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. Η θερμότητα αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία του κτιρίου λόγω του ηλιασμού και τη νύχτα, με εφαρμογή νυχτερινού αερισμού, αποβάλλεται προς τον εξωτερικό χώρο. Το σημείο όπου η θερμική μάζα επηρεάζει περισσότερο την κατασκευή είναι η οροφή. Αυτό συμβαίνει, διότι τα θερμότερα στρώματα αέρα συγκεντρώνονται στα ανώτερα σημεία των εσωτερικών χώρων. Έτσι, η επίτευξη υψηλής θερμικής μάζας στην οροφή του κτιρίου, έχει ως αποτέλεσμα την άμεση απορρόφηση των θερμικών κερδών, τα οποία θα διοχετεύσει ξανά στο εσωτερικό της κατασκευής με χρονική καθυστέρηση. Τέλος, για την επιλογή και δημιουργία της κατάλληλης θερμικής μάζας, εκτός από τα κλιματικά δεδομένα της εκάστοτε περιοχής, πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και άλλοι παράγοντες. Παράγοντες που αφορούν τις ώρες λειτουργίας του κτιρίου και τη χρήση του. Την περίοδο του καλοκαιριού, η επίτευξη της κατάλληλης θερμικής μάζας σε ένα κτίριο γραφείων μπορεί να δημιουργήσει την απαραίτητη χρονική καθυστέρηση, καθιστώντας τη χρήση των κλιματιστικών μονάδων περιττή ή μειωμένη, οδηγώντας την αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας, και επομένως την ανάγκη λειτουργίας τους, εκτός του ωραρίου λειτουργίας του κτιρίου.

Τα συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους βασίζονται στην ακόλουθη ροή ενέργειας: Η ακτινοβολία του ήλιου φθάνει στη γυάλινη επιφάνεια, συλλέγεται, αποθηκεύεται ως θερμική μάζα και θερμαίνει τον εσωτερικό τοίχο. Οι ηλιακοί τοίχοι μάζας συνδέονται άμεσα με γυάλινα ανοίγματα προσανατολισμένα στο νότο. Ο αέρας ανάμεσα στο γυαλί και στον τοίχο θερμαίνεται και στη συνέχεια η θερμότητα απορροφάται αρχικά από την εξωτερική επιφάνεια του τοίχου και στη συνέχεια από την υπόλοιπη μάζα του. Η αποθήκευση της ηλιακής θερμότητας γίνεται στη μάζα του τοίχου μέσω αγωγιμότητας. Χαρακτηριστική ιδιότητα αποτελεί η θερμοχωρητικότητα του τοίχου, η οποία εξασφαλίζει την αποθήκευση μεγάλης ποσότητας θερμότητας. Πρέπει να γίνει κατάλληλη επιλογή των υλικών και του πάχους της τοιχοποιίας, ώστε να εξασφαλίζεται μια χρονική υστέρηση 6-8 ωρών.



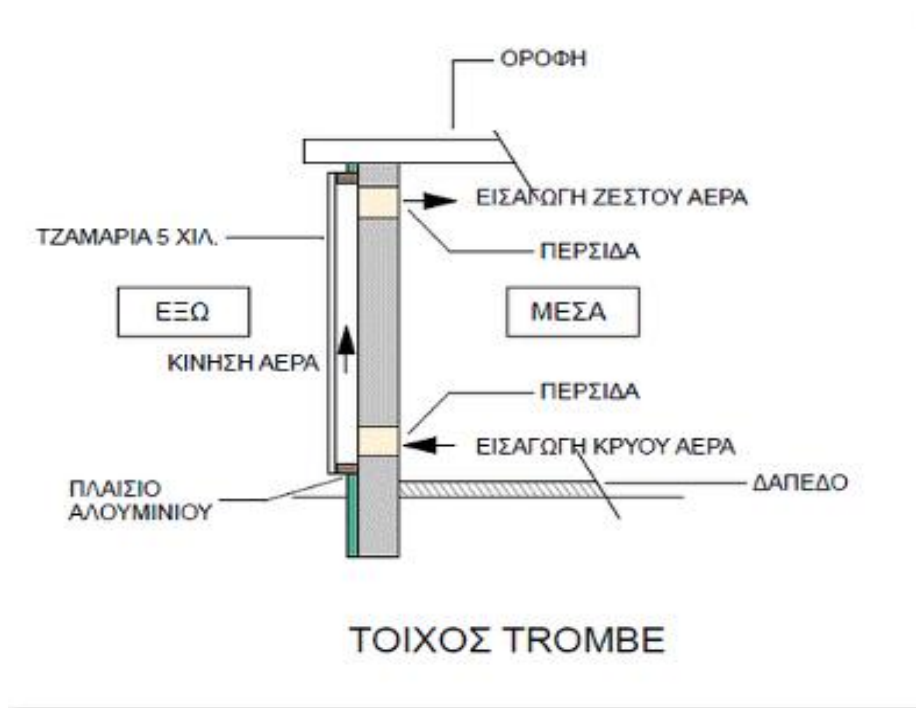


Εικόνα 5.54: Τοίχος θερμικής μάζας

Το σύστημα ενός τοίχου Trombe αποτελείται από ένα τοίχο μάζας, ο οποίος συνδυάζεται με μια γυάλινη επιφάνεια σε απόσταση περίπου 4 εκατοστών και με θυρίδες στο πάνω και το κάτω μέρος του, οι οποίες διευκολύνουν την είσοδο του ψυχρού αέρα από κάτω και την έξοδο του ζεστού από πάνω. Η ονομασία του προέρχεται από τον καθηγητή του F. Trombe, του ερευνητικού κέντρου CNRS της Γαλλίας, ο οποίος μελέτησε και εφήρμοσε το σύστημα αυτό στα πρώτα ηλιακά κτίρια, που κατασκευάστηκαν στο Odeillo της Γαλλίας το 1967. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού και πραγματοποιείται με την κυκλοφορία του αέρα στο χώρο ανάμεσα στο γυαλί και τον τοίχο εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας που προκύπτει.

**Λειτουργία:** Την ημέρα, λόγω της πρόσπτωσης του ηλίου στο γυαλί, ο αέρας που βρίσκεται ανάμεσα στο γυαλί και τον τοίχο θερμαίνεται με αποτέλεσμα να κινείται προς τα πάνω και να φεύγει από την πάνω θυρίδα προς τον εσωτερικό χώρο. Το κενό που δημιουργείται, καλύπτεται από τον ψυχρότερο αέρα που μπαίνει από την κάτω θυρίδα και ακολουθεί την ίδια διαδικασία. Ακόμα, μέρος της θερμότητας αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία της τοιχοποιίας. Τη νύχτα, η λειτουργία του τοίχου αντιστρέφεται. Ως εκ τούτου, επιβάλλεται το κλείσιμο των θυρίδων, ώστε η θέρμανση του εσωτερικού χώρου να συνεχίζεται μέσω της ακτινοβολούμενης θερμότητας από το θερμό τοίχο.

Το συγκεκριμένο σύστημα παρέχει πλεονεκτήματα, τα οποία πηγάζουν από τον απλό τρόπο κατασκευής και τη μεγάλη απόδοσή του. Έχει τη δυνατότητα να θερμαίνει άμεσα το χώρο κατά τις κρύες πρωινές ώρες της ημέρας, ενώ παράλληλα είναι αποτελεσματικό ως προς την αποθήκευση θερμότητας. Μειονέκτημά του είναι ότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα υπερθέρμανσης του χώρου και γι' αυτό δεν συνίσταται στις χώρες του ευρωπαϊκού νότου. Σ' αυτή την περίπτωση η είσοδος του αέρα μέσω των θυρίδων στον εσωτερικό χώρο μπορεί να προκαλέσει μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Επιπλέον, ένα σημαντικό μειονέκτημα έγκειται στο γεγονός ότι δεν επιτρέπει τη διείσδυση του φωτός, τον αερισμό και την οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Την καλοκαιρινή περίοδο, η λειτουργία του τοίχου Trombe αντιστρέφεται. Η πάνω θυρίδα πρέπει να κλείνει, ενώ τμήμα του υαλοστασίου πρέπει να ανοίγει, ώστε να απομακρύνεται ο ζεστός αέρας προς τα έξω. Τέλος, για την αποφυγή της υπερθέρμανσης του τοίχου είναι απαραίτητη η ηλιοπροστασία του. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.55: Τοίχος Trombe14 [36]

### 5.5.2 Φυσικός δροσισμός

Ο φυσικός δροσισμός στοχεύει στην αποτροπή της υπερθέρμανσης του κτιρίου και στην εξασφάλιση θερμικής άνεσης, ιδιαίτερα κατά τους ζεστούς καλοκαιρινούς μήνες, με χρήση απλών και φυσικών μέσων, ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση ενέργειας από κλιματιστικές μονάδες και συστήματα. Κατ' αρχάς, επιδιώκεται η προστασία του κτιρίου και συγκεκριμένα των ανοιγμάτων του από την

πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Επόμενο βήμα είναι η απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το εξωτερικό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας τον αέρα. Κίνηση του αέρα είναι δυνατόν να προκληθεί από φυσικές δυνάμεις (άνεμος και φαινόμενο καπνοδόχου) ή από μηχανικά μέσα (π.χ. ανεμιστήρες οροφής). Ο αέρας κινείται από περιοχές υψηλής πίεσης σε περιοχές χαμηλής πίεσης. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία αέρα είναι χαμηλότερη από την εσωτερική, ο αερισμός του κτιρίου μπορεί να αποβάλλει προς τον εξωτερικό χώρο τα θερμικά ή ηλιακά κέρδη που συσσωρεύτηκαν κατά τη διάρκεια της ημέρας, εξασφαλίζοντας στο κτίριο δροσερό αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας.

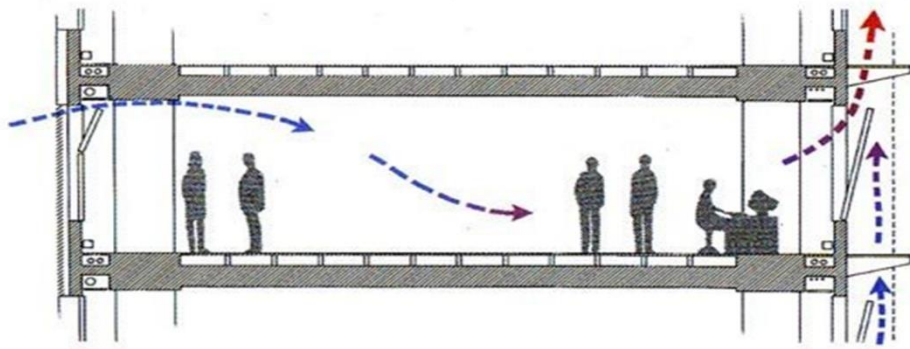
Γενικά, με το φυσικό αερισμό επιτυγχάνονται τρία πράγματα:

- Απομακρύνεται η θερμότητα από το κτίριο προς το εξωτερικό περιβάλλον, όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες το επιτρέπουν
- Απομακρύνεται η αποθηκευμένη θερμότητα από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου (όταν αυτά αποτελούνται από επαρκή θερμική μάζα)
- Απομακρύνεται θερμότητα από το ανθρώπινο σώμα, με αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου θερμικής άνεσης ενός χώρου, ακόμα και σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες.

Ο φυσικός αερισμός των κτιρίων μπορεί να εξοικονομήσει μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Από μετρήσεις, ενεργειακές καταγραφές και προσομοιώσεις σε κατοικίες στην Ελλάδα, προκύπτει μείωση της τάξης του 75% του ψυκτικού φορτίου λόγω του αερισμού (εφόσον εφαρμόζεται επαρκής ηλιοπροστασία), γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να υποκαταστήσει, σε κάποιο βαθμό και αναλόγως τα κλιματικά δεδομένα, ένα κλιματιστικό σύστημα καθώς δημιουργούνται συνθήκες θερμικής άνεσης. Τέλος, κάποια από τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκληθούν μέσω του φυσικού αερισμού, αφορούν την ασφάλεια, τη δημιουργία σκόνης, την εισχώρηση εντόμων στο εσωτερικό του κτιρίου και τη δημιουργία σκόνης και θορύβου.

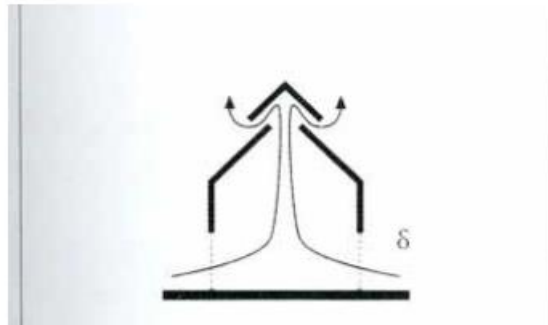
### **Βασικοί τύποι και τεχνικές φυσικού αερισμού**

**Μονόπλευρος αερισμός με ανοίγματα στο ίδιο ύψος:** Όταν η εσωτερική θερμοκρασία είναι ψηλότερη από την εξωτερική, ψυχρότερος αέρας εισέρχεται από το χαμηλότερο τμήμα του ανοίγματος, ενώ ο θερμός αέρας διαφεύγει μέσω του ψηλότερου τμήματος του ανοίγματος. Οι παράμετροι που καθορίζουν τα επίπεδα της ροής του αέρα είναι, κυρίως, η επιφάνεια των ανοιγμάτων, η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον και το κατακόρυφο ύψος των ανοιγμάτων.



Εικόνα 5.56: Ροή αέρα μεταξύ ανοιγμάτων στο ίδιο επίπεδο

**Αερισμός με ανοίγματα σε διαφορετικά επίπεδα:** Οι κυριότερες παράμετροι που καθορίζουν τη διαδικασία του φυσικού αερισμού όταν έχουμε δυο ανοίγματα σε διαφορετικά επίπεδα είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μέσα και έξω από το κτίριο, η κατακόρυφη απόσταση των δυο ανοιγμάτων και οι επιφάνειές τους.



Εικόνα 5.57: Αερισμός διαφορετικών επιπέδων λόγω άνωσης (buoyancy-driven stack ventilation)

**Φαινόμενο καμινάδας:** Παρατηρείται όταν η μείωση της θερμοκρασίας από το κατώτερο προς τα ανώτερα επίπεδα ενός κτιρίου και το ψυχρότερο εξωτερικό περιβάλλον, προκαλεί την ανοδική ροή του θερμού αέρα και την έξοδο του από ανοίγματα στην οροφή με ταυτόχρονη εισροή ψυχρότερου αέρα από τα πλευρικά ανοίγματα σε κάθε επίπεδο. Το φαινόμενο της καμινάδας πραγματοποιείται σε ψηλά κτίρια και ιδιαίτερα σε θέσεις με κατακόρυφα ανοίγματα, όπως οι ανελκυστήρες και οι σκάλες.

Η πιο διαδεδομένη και αποδοτική μέθοδος, η οποία συνδυάζει και τις παραπάνω, είναι ο **νυχτερινός αερισμός**. Κατά τη διάρκεια της νύχτας που η θερμοκρασία είναι χαμηλή, ο εξωτερικός αέρας εισέρχεται στο χώρο και απάγει τη 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 η 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 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.

Συμπερασματικά, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός παθητικού κτιρίου βασίζεται σε πολύ απλές αρχές, αλλά είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί συγκεκριμένα βήματα και πολλή καλή προεργασία πριν το κάθε βήμα.

## 5.6 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

*«Ένα κτίριο, που παράγει περισσότερη ενέργεια από όση καταναλώνει, δεν είναι απλά δυνατό, είναι συχνά και πολύ λογικό.» Prof. Dr. Wolfgang Feist.*

Μια φράση η οποία εκπίπτει αφενός από την πολύ χαμηλή κατανάλωση των παθητικών κτιρίων και αφετέρου από τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προς όφελος του κτιρίου. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, είναι η ενέργεια που προέρχεται από φυσικούς πόρους, όπως το φως του ηλίου, ο αέρας, η βροχή, η γεωθερμική ενέργεια και άλλα. Συνδυάζεται αρμονικά με το πρότυπο του ΠΚ και με τα ΚΣΜΚΕ, αλλά δε φτάνει να καλύψει τις ανάγκες ενός συμβατικού κτιρίου, το οποίο δεν έχει επενδύσει στην εξοικονόμηση ενέργειας. Σε συνδυασμό με τα πρότυπα ΠΚ και ΚΣΜΚΕ, τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καλύπτουν σχεδόν πάντα τις απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις μπορούν να γίνουν και επικερδή. Κάποια από αυτά είναι:

### 5.6.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Πρόκειται για συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι πρώτες εφαρμογές τους αναπτύχθηκαν μόλις τη δεκαετία του 1950, με σκοπό την ηλεκτροδότηση των δορυφόρων. Η μαζική παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων άρχισε ωστόσο στις αρχές της δεκαετίας του 70, όταν η πρώτη πετρελαϊκή κρίση έφερε στο προσκήνιο την ανάγκη για απεξάρτηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Πλέον, είναι μια τεχνολογία ταχέως εξελισσόμενη και παράλληλα ευρέως διαδεδομένη στην Ευρώπη. Στην Ελλάδα, η προοπτική ανάπτυξης και εφαρμογής των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τεράστια, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας.

Τα Φ/Β συστήματα, έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell), το οποίο είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός λεπτού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας, δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Τα ηλιακά Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα Φ/Β πλαίσια ή ηλιογεννήτριες, τυπικής ισχύος από 10W έως 300W. Οι Φ/Β γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι Φ/Β συστοιχίες.


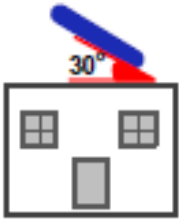

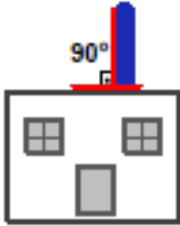
Τα βασικά πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων είναι:

- Έχουν μηδενικό κόστος λειτουργίας, καθώς δεν καταναλώνουν κάποια πρώτη ύλη.
- Μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική.
- Δεν παράγουν υποπροϊόντα και δε μολύνουν το περιβάλλον, βρίσκονται σε πλήρη αρμονία με το περιβάλλον.
- Δεν προκαλούν ηχορύπανση και είναι εύχρηστα.
- Δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον και μπορούν να εγκατασταθούν μέσα σε πόλεις.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας.
- Επεκτείνονται εύκολα και ανά πάσα στιγμή, για να καλύψουν οποιαδήποτε αύξηση των ενεργειακών αναγκών των χρηστών.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλη αξιοπιστία.
- Έχουν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης.
- Παρέχουν πλήρη ενεργειακή ανεξαρτησία στο χρήστη, όπου και αν είναι αυτός.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα αποκεντρωμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 5.58: Εικόνα τοποθέτησης Φ/Β συστήματος σε ανακαίνιση ΠΚ, το οποίο καταναλώνει όση ενέργεια καταναλώνει ένα πιστολάκι μαλλιών. [65]

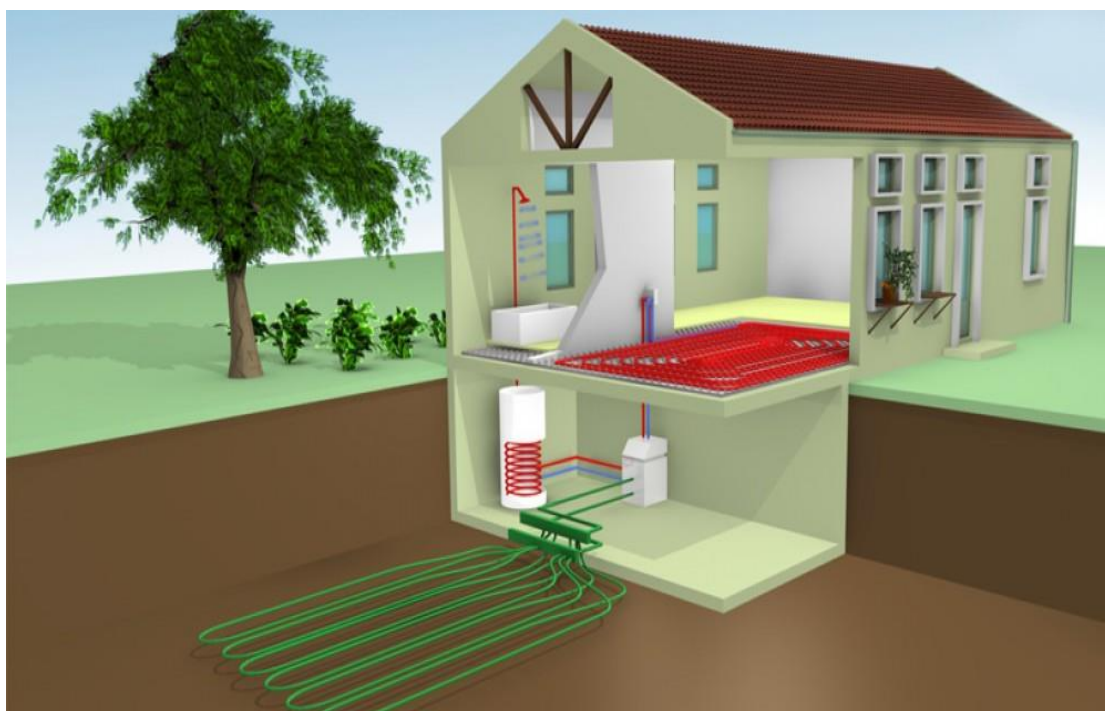


 Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	 30°	 0°	 90°
Ανατολικός - Δυτικός	85% kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	50% kWh <sub>(max)</sub>
Νότιοανατολικός - Δυτικός	95% kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	60% kWh <sub>(max)</sub>
Νότιος	kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	60% kWh <sub>(max)</sub>
Βόρειοανατολικός - Δυτικός	95% kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	30% kWh <sub>(max)</sub>
Βόρειος	60% kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	20% kWh <sub>(max)</sub>

Εικόνα 5.59: Επίδραση της κλίσης και του προσανατολισμού στην ηλεκτροπαραγωγική ικανότητα ενός Φ/Β συστήματος σε ποσοστό % [23]

## 5.6.2 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Τα γεωθερμικά συστήματα αξιοποιούν τη σταθερή θερμοκρασία, η οποία υπάρχει στο έδαφος, αντικαθιστώντας πλήρως τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Η λειτουργία των γεωθερμικών συστημάτων βασίζεται στη μεταφορά ενεργειακών φορτίων από το έδαφος ή τα υπόγεια ύδατα στον κλιματιζόμενο χώρο και αντίστροφα. Το σύστημα ΓΑΘ λειτουργεί σαν αναστρέψιμη ψυκτική διάταξη με λήψη θερμότητας από ένα χώρο και απόθεσή της σε έναν άλλο χώρο, το οποίο σημαίνει ότι κατά τη χειμερινή περίοδο η θερμότητα λαμβάνεται από το έδαφος και αποτίθεται στον εσωτερικό χώρο (θέρμανση) και το καλοκαίρι συμβαίνει το αντίθετο (ψύξη). Με λίγα λόγια, το σύστημα ΓΑΘ πραγματοποιεί μια εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του εδάφους και των εσωτερικών χώρων. Ένα σωστά σχεδιασμένο και κατασκευασμένο σύστημα ΓΑΘ καταναλώνει γύρω στο 25% της ενέργειας που αποδίδει. Βέβαια, μια πιο οικονομική λύση και αρκετά αποδοτική ενεργειακά είναι αντί θερμότητας αέρα – αέρα, η οποία καταναλώνει περίπου το 35% της ενέργειας που αποδίδει.



Εικόνα 5.60: Παράδειγμα ΓΑΘ [66]



### 5.6.3 Βιομάζα

Ως βιομάζα, ορίζεται η ύλη, η οποία έχει οργανική προέλευση. Πρακτικά, ο όρος εμπεριέχει οποιοδήποτε υλικό έχει άμεσα ή έμμεσα φυτική προέλευση, όπως: φυτική ύλη που προέρχεται είτε από φυσικό οικοσύστημα, είτε από ενεργειακές καλλιέργειες. Η βιομάζα είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και μπορεί να καεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Μπορεί επίσης, με φυσική, θερμοχημική ή βιομηχανική μετατροπή να μετατραπεί σε βιοκαύσιμα. Χρησιμοποιείται σε ακατέργαστη ή κατεργασμένη μορφή σε τυπικά τζάκια με απόδοση 20-30%, ενεργειακά τζάκια με απόδοση 80-85%, σόμπες ξύλου ή pellets με απόδοση 90% και λέβητες ξύλου ή pellets για κεντρική θέρμανση με απόδοση 70-90%. Οι εφαρμογές της θέρμανσης με βιομάζα, είναι επενδύσεις έντασης κεφαλαίου λόγω του υψηλού απαιτούμενου αρχικού κεφαλαίου και συνίστανται σε περιοχές αγροτικής παραγωγής της περιφέρειας.

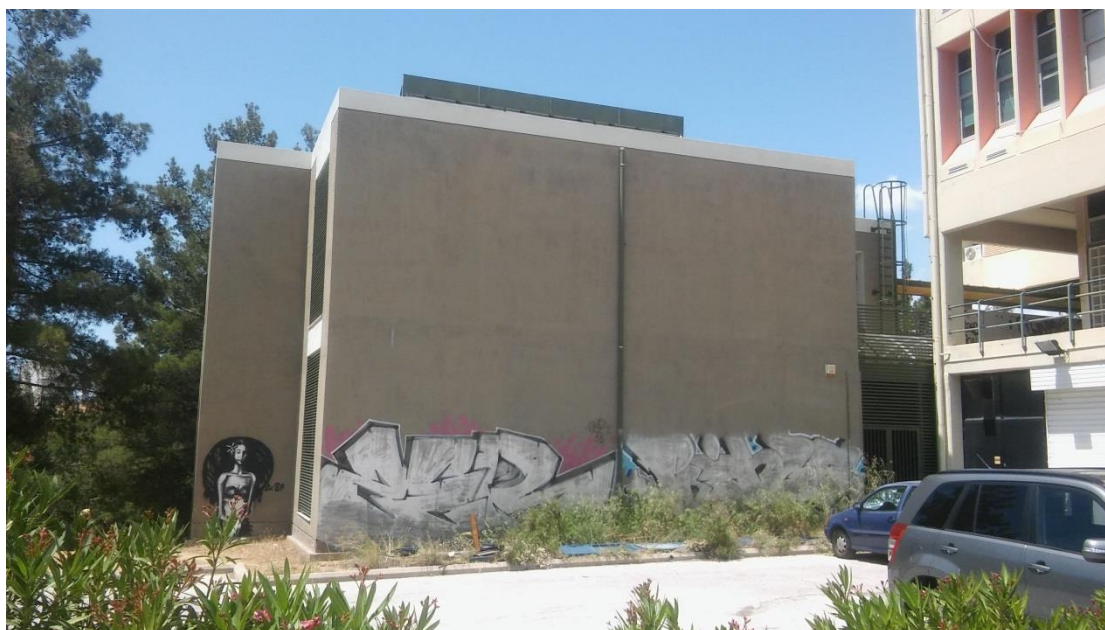


Εικόνα 5.61: Καύση βιομάζας

# Μέρος Β΄: Εφαρμογή του προτύπου Παθητικού Κτιρίου

## Κεφάλαιο 6

Κτίριο ορυκτολογίας Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου



### Εισαγωγή

Το πειραματικό μέρος της εργασίας αφορά τη μελέτη του κτιρίου ορυκτολογίας του ΕΜΠ και τη μοντελοποίηση του σε παθητικό. Το πρότυπο, όπως αναφέραμε, μπορεί να εφαρμοστεί σε όλων των ειδών τα κτίρια (οικιακής χρήσης, δημόσια κτίρια, νοσοκομεία κ.α.) σε παγκόσμια κλίμακα (οποιοσδήποτε κλιματικές συνθήκες). Ωστόσο, ακόμα και δυο κτίρια του ίδιου οικοδομικού τετραγώνου μπορεί, εξαιτίας των πολυπαραγοντικών μεταβλητών, να διαφέρουν αρκετά στην προσέγγιση της ενεργειακής μελέτης (π.χ. το ένα κτίριο να χρειάζεται 15cm εξωτερικής θερμομόνωσης και το άλλο 5cm). Τέτοιες μεταβλητές είναι: ο προσανατολισμός, η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει και διαχέεται στο κτίριο, η αρχιτεκτονική, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη, τα τετραγωνικά θερμαινόμενης επιφάνειας δαπέδου, η επαφή με άλλα κτίρια και άλλα. Στο **Μέρος Β΄**, θα γίνει η ενεργειακή μελέτη της υφιστάμενης κατάστασης του κτιρίου, αλλά και η προσομοίωση του στα πλαίσια του προτύπου ΠΚ. Η μελέτη έγινε με τη χρήση των λογισμικών PHPP και DesignPH.

## 6.1 Περιγραφή υφιστάμενης κατάστασης

**Ορυκτολογικό μουσείο Γάιο-Όραμα:** Η Σχολή ΜΜΜ, διαθέτει, ήδη από τη δεκαετία του '40, μία πλούσια συλλογή μοναδικών γεωεκθεμάτων (ορυκτών, πετρωμάτων, μεταλλευμάτων, απολιθωμάτων) τόσο από τον ελληνικό χώρο όσο και από πολλά σημεία του πλανήτη μας γνωστά για τον ορυκτό πλούτο τους (π.χ. Αφρική, Νότια Αμερική, Κίνα, Κεντρική και Νότια Ευρώπη). Ο αριθμητικός και ποιοτικός πλούτος της συλλογής αυτής και η σπανιότητα ορισμένων εκθεμάτων την είχαν κάνει, στο παρελθόν, σημείο αναφοράς τόσο των γεωεπιστημόνων της Ελλάδας όσο και ορυκτολόγων του εξωτερικού.

Τα τελευταία χρόνια, η Σχολή ΜΜΜ, μέσα από συντονισμένες δράσεις και ενέργειες, στοχεύει στην ανάδειξη, προβολή και αξιοποίηση του εκπαιδευτικού, τεχνολογικού και πολιτισμικού αποθέματος που διαθέτει. Στο πλαίσιο αυτό, προχώρησε στην ανέγερση νέου διώροφου κτηρίου, για τη στέγαση του φυσικού εκθεσιακού χώρου των γεωεκθεμάτων, του γαιο-ΟΡΑΜΑΤΟΣ, με 4 κύριους εσωτερικούς εκθεσιακούς χώρους συνολικής επιφάνειας 300 τ.μ. και 1 εξωτερικό εκθεσιακό χώρο, η οποία ολοκληρώθηκε το 2010.

Το γαιο-Όραμα είναι ένας δυναμικός χώρος εκπαίδευσης και έρευνας, συνδυάζοντας μεγάλη ποικιλία στατικών εκθεμάτων και σύγχρονο ψηφιακό εξοπλισμό. Τα γεωεκθέματα έχουν ταξινομηθεί ανά κατηγορίες σε υψηλής αισθητικής προθήκες και αναδειχθεί με κατάλληλο φωτισμό. Σύγχρονα οπτικά ψηφιακά μέσα αποτελούν τον υπάρχοντα ψηφιακό εξοπλισμό του γαιο-ΟΡΑΜΑΤΟΣ. Σε συνδυασμό με την ανάπτυξη κατάλληλου ψηφιακού υλικού και εφαρμογών, στοχεύει στη δυναμική παρουσίαση των γεωεκθεμάτων, στην ενεργή δια- και αλληλεπιδραστική σχέση μεταξύ επισκέπτη/χρήστη και αντικειμένου παρατήρησης/μελέτης/προβολής και στη διαρκή ενεργοποίηση του ενδιαφέροντος του επισκέπτη/χρήστη.

Ο φυσικός χώρος έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι **πλήρως προσβάσιμος και επισκέψιμος από Α.Μ.Ε.Α.** (εξωτερική ράμπα, εσωτερικός ανελκυστήρας, άνετοι χώροι, φαρδείς διάδρομοι, κατάλληλη σήμανση, πάρκινγκ έξω από το κτίριο). [67]



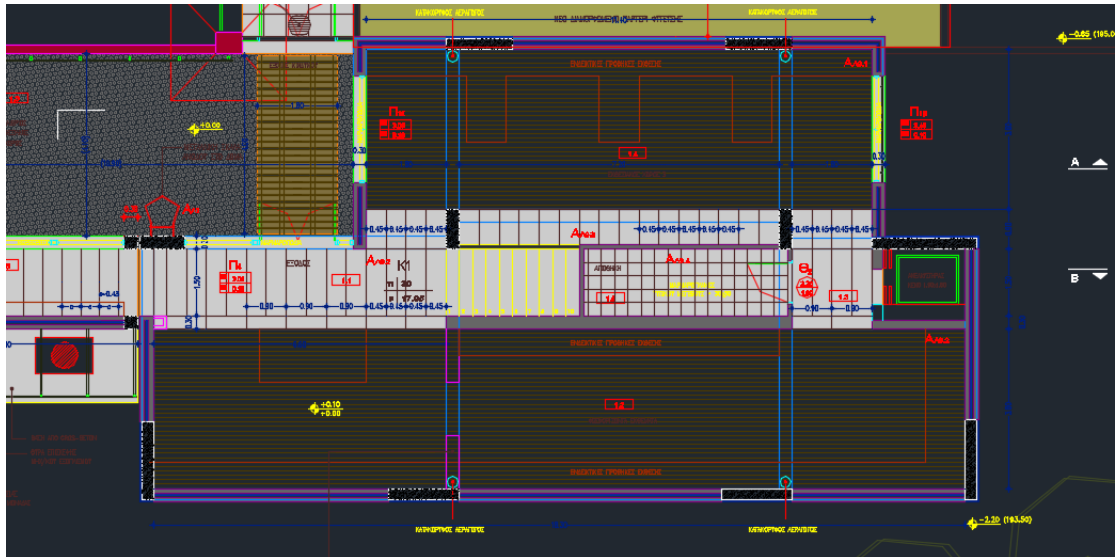
Εικόνα 6.1: Εκθέματα του μουσείου [67]

Συνεπώς, αναφερόμαστε σε ένα δημόσιο κτίριο, στο οποίο θα θεωρήσουμε ότι εργάζονται μόνιμα 5 έως 10 άτομα, ενώ το επισκέπτονται 10 άτομα κατά μέσο όρο την ημέρα. Οι ώρες λειτουργίας του κτιρίου είναι 9.00 με 17.00, ενώ παραμένει κλειστό την περίοδο 20 Ιουλίου – 1 Σεπτεμβρίου. Κάτι το οποίο ευνοεί το φυσικό δροσισμό του κτιρίου, καθώς δε λειτουργεί την πιο ζεστή περίοδο του χρόνου, ενώ με το ότι κλείνει στις 17.00 ευδοκιμεί ο νυχτερινός αερισμός.

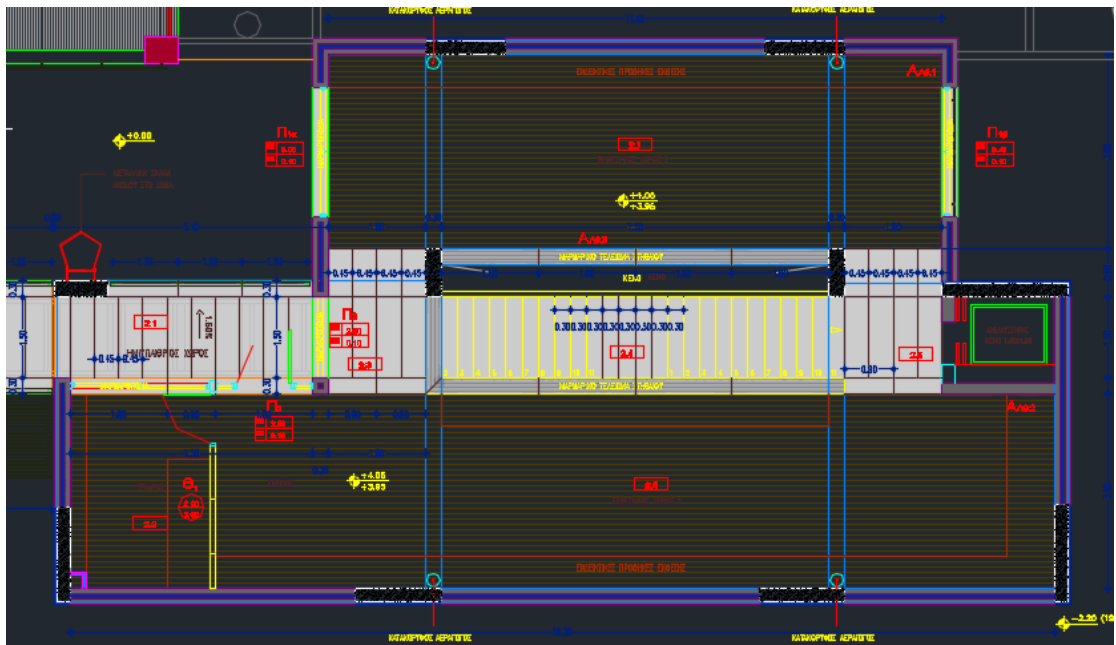
Η κατασκευή του κτιρίου, έγινε μετά το 1979 και γι' αυτό διαθέτει θερμομόνωση 5 εκατοστών ή οποία βρίσκεται εντός του διπλού δρομικού τούβλινου τοίχου. Όπως φαίνεται και στις κατόψεις, πρόκειται για μια κατασκευή δυο επιπέδων με απλή γεωμετρία και το κτίριο διαθέτει 268m<sup>2</sup> θερμαινόμενη επιφάνεια δαπέδου (TFA)<sup>20</sup>. Ακόμα, στο κέντρο του κτιρίου μας υπάρχει ένα κατακόρυφο άνοιγμα, το οποίο επιτρέπει τη διάχυση φωτός από τα παράθυρα της οροφής. Τέλος, οι χώροι εσωτερικής χρήσης είναι, κατά κύριο λόγο, εκθεσιακοί και, κατά δευτερεύοντα, γραφεία και μπάνια (δεν υπάρχει κουζίνα).

---

<sup>20</sup> TFA= Treated Floor Area



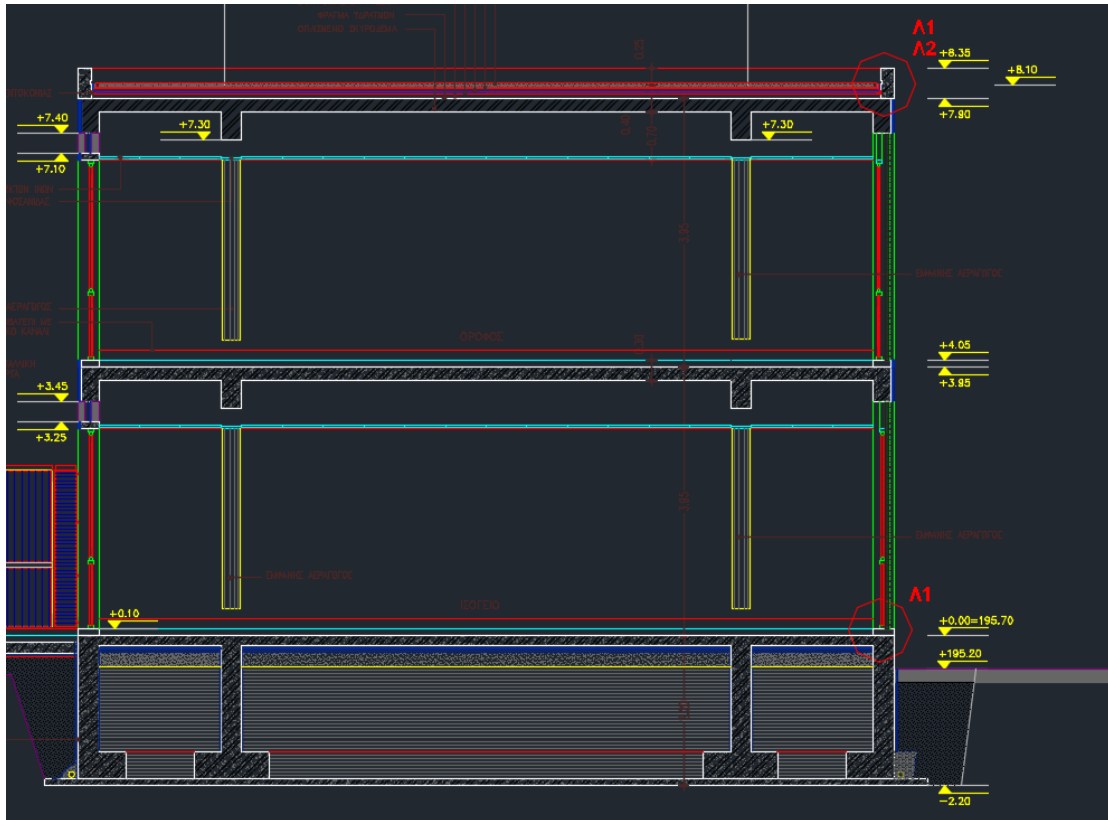
Εικόνα 6.2: Κατόψη ισογείου



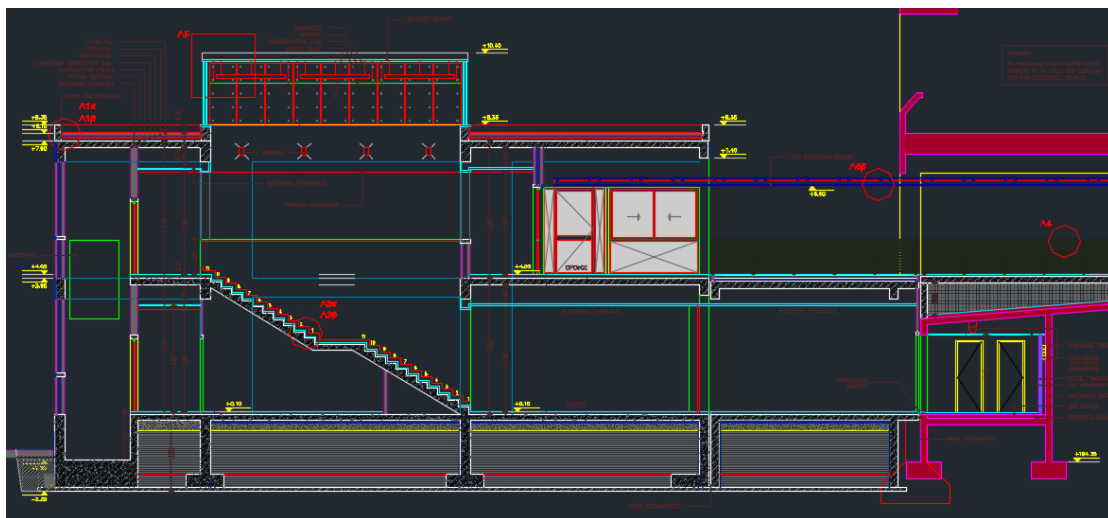
Εικόνα 6.3: Κατόψη 1<sup>ου</sup> ορόφου

Όπως βλέπουμε στις κατόψεις, η γεωμετρία του κτιρίου είναι ένα σχήμα «Γ», ενώ υπάρχουν πολύ λίγα ανοίγματα (κίτρινο χρώμα στην εξωτερική τοιχοποιία).





Εικόνα 6.4: Τομή A-A'



Εικόνα 6.5: Τομή B-B'

Στις τομές, μπορούμε να διακρίνουμε τη διακοπή στα δύο επίπεδα, η οποία δημιουργεί το φυσικό φωτισμό μέσω της οροφής και τη διακρίνουμε πάνω από το κλιμακοστάσιο. Από τις τομές και τις κατόψεις εξήχθησαν τα δεδομένα για τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, τα οποία είναι ευδιάκριτα στο AutoCAD.

## 6.2 Προσανατολισμός και κλιματικά δεδομένα



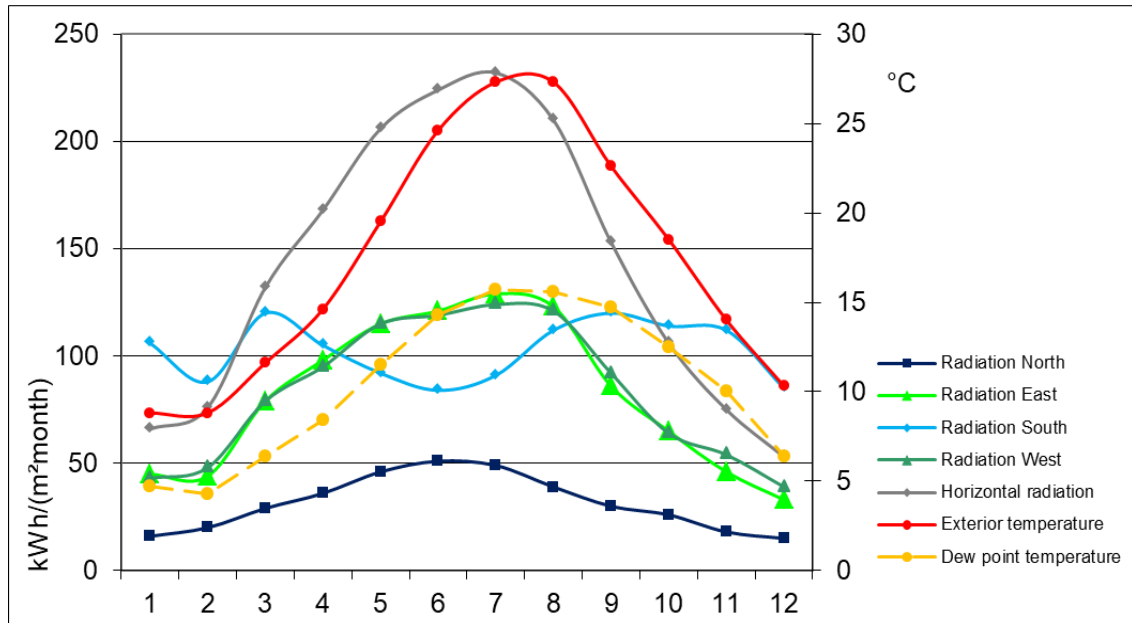
Εικόνα 6.6: Εικόνα από το googlemaps με κατεύθυνση το βορρά προς τα πάνω

Το κτίριο μας είναι προσανατολισμένο δυο μοίρες πιο δεξιά από τον ορίζοντα του βορρά και ουσιαστικά έχει ξεκάθαρο προσανατολισμό Βορράς – Νότος. Η Βόρεια πλευρά έχει κάποια κουφώματα, αλλά δεν είναι εκτεθειμένη, λόγω του κεντρικού κτιρίου των μεταλλειολόγων. Η Ανατολική πλευρά στον τοίχο που είναι η βάση του «Τ» δεν έχει κανένα κούφωμα και έχει το φωταγωγό οροφής και τα κουφώματα στο εσωτερικό της πάνω εσοχής. Η δυτική πλευρά, προς το δάσος, δεν έχει κανένα κούφωμα, κάτι το οποίο ευνοεί τις συνθήκες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ στο νότο έχουμε δυο μεγάλα κουφώματα σε κάθε όροφο, από τα οποία αντλούμε θερμικά κέρδη το χειμώνα, αλλά πρέπει να σκιάζουμε το καλοκαίρι. Τέλος, η παρουσία του αριθμού των δέντρων και η θέση τους είναι εξαιρετικά χρηστική, σε σχέση με την πορεία του ηλίου το καλοκαίρι, ως προς τη φυσική σκίαση των κουφωμάτων στη νότια πλευρά.

### **Κλιματικά δεδομένα**

Όσον αφορά τα κλιματικά δεδομένα, το ΡΗΡΡ διαθέτει ένα πρόσθετο εργαλείο με το οποίο μπορούμε να αποκτήσουμε σαφή εικόνα ως προς τα δεδομένα της κάθε περιοχής. Εξετάζονται η πιο ζεστή, η πιο κρύα, η πιο ηλιόλουστη και η πιο νεφελώδης μέρα του έτους και παρατηρούνται μεγάλες διαφορές, τόσο στα μεγέθη, όσο και στα χρονικά σημεία που σημειώνονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές.





Εικόνα 6.7: Καμπύλες ακτινοβολίας, Εξωτερικής θερμοκρασίας και σημείο δρόσου ανά μήνα.

Οι καμπύλες αυτές προκύπτουν από μελέτες μετεωρολογικών σταθμών σε συνδυασμό με το υψόμετρο του κτιρίου (195 μέτρα) και η ακρίβειά τους είναι μείζονος σημασίας για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της ενεργειακής μελέτης.

### 6.3 Επιλογή κατάλληλης στρατηγικής

Η στρατηγική για την ενεργειακή αναβάθμιση ενός συμβατικού κτιρίου σε ΠΚ, ξεκινά από πέντε βασικούς πυλώνες:

1. Θερμομόνωση του κελύφους
2. Επιλογή ενεργειακά αποδοτικών κουφωμάτων
3. Επίτευξη αεροστεγανότητας
4. Επίλυση θερμογεφυρών
5. Μηχανικός αερισμός

Αφού καλυφθούν οι ανάγκες και των πέντε, τότε ο σχεδιαστής καλείται να επιλέξει το είδος των υλικών, την ποσότητα τους και τις ιδιότητες τους και με βάση τις οικονομικές παραμέτρους του έργου. Σε όλες τις περιπτώσεις γίνεται μια οικονομοτεχνική μελέτη (κεφάλαιο 4.5) και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του PHPP επιλέγονται τα επί μέρους κομμάτια του κτιρίου.

Μετά το πέρας της ενεργειακής μελέτης και της επιλογής των υλικών, είναι πολύ σημαντικό να προγραμματιστούν συγκεκριμένες ημερομηνίες για τα διάφορων ειδών συνεργεία (ηλεκτρολογικά, μηχανολογικά κ.λπ.), τα οποία θα πρέπει να λειτουργήσουν αρμονικά και κατά συγκεκριμένη σειρά, ώστε να αποφευχθούν κατασκευαστικά προβλήματα. Τέτοια μπορεί να είναι η δημιουργία πολλών οπών στο

«μανδύα» της αεροστεγανότητας του κελύφους ή η μη πρόβλεψη επαρκούς χώρου για το σύστημα αερισμού.

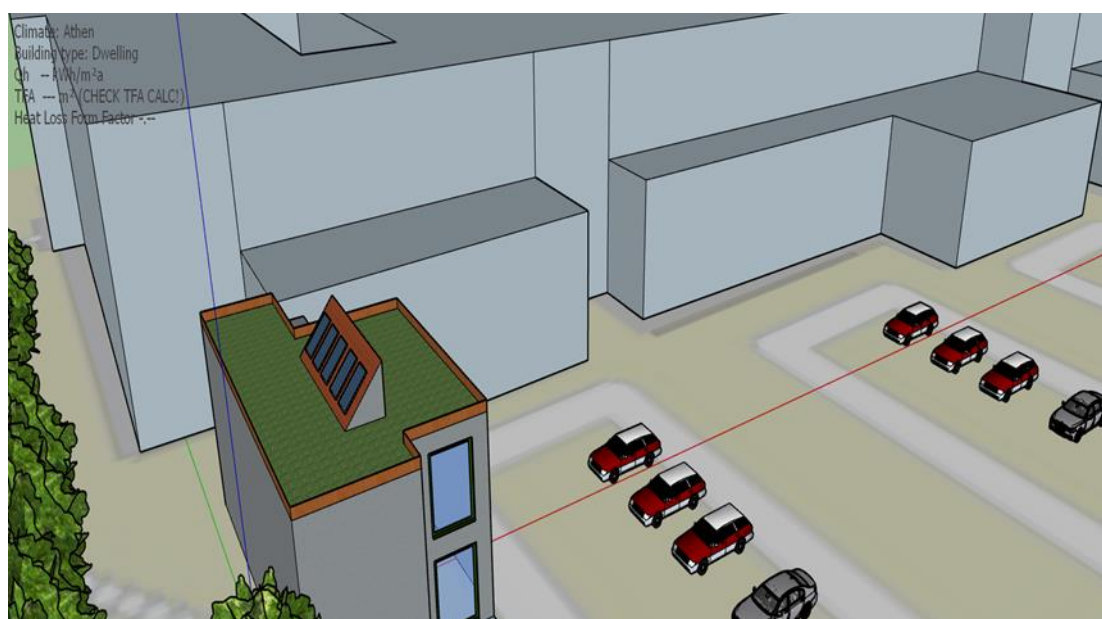
Συμπερασματικά, το πρότυπο του ΠΚ είναι αρκετά απλό, αλλά για επιτευχθεί προαπαιτεί αρκετή προεργασία στη μοντελοποίηση και τήρηση των προδιαγραφών του μοντέλου στο 100%.

## Κεφάλαιο 7

### Μελέτη ενεργειακής απόδοσης με χρήση των PHPP- DesignPH

#### Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό 3-D πρόγραμμα DesignPH, το οποίο μας βοήθησε στη γεωμετρία του κτιρίου, καθώς και στις θερμογέφυρες και το PHPP, με το οποίο υπολογίστηκε το τελικό θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου. Τα δυο μοντέλα του κτιρίου ήταν αυτό της υφιστάμενης κατάστασης και αυτό της επικείμενης, στα πλαίσια του ΠΚ.



Εικόνα 7.1: Εικόνα του κτιρίου και του περιβάλλοντα χώρου στο DesignPH

#### 7.1 Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης

Η υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου, είναι μια τυπική κατάσταση δημόσιου κτιρίου. Συμβατική κατασκευή, η οποία ψύχεται με κλιματιστικές μονάδες και θερμαίνεται με κεντρική θέρμανση πετρελαίου/φυσικού αερίου. Τα κουφώματα είναι αλουμινίου, χωρίς θερμοδιακοπή και το επίπεδο της αεροστεγανότητας n50 είναι στις 8 ACH. Ας τα δούμε αναλυτικά. Τέλος, θεωρήσαμε ότι το κτίριο φιλοξενεί 15 χρήστες σε καθημερινή βάση.

## Γενική Εικόνα

Μετρήθηκε το κτίριο μας και διαθέτει 268,7 m<sup>2</sup> θερμαινόμενη επιφάνεια δαπέδου με το επίπεδο θερμικής άνεσης να έχει καθοριστεί από 20 έως 25 βαθμούς κελσίου. Η θέρμανση και η ψύξη του κτιρίου, στο PHPP, μπορεί να καθοριστεί είτε με την **Απαίτηση** του κτιρίου, σε ενέργεια για θέρμανση και ψύξη, είτε με τη διαθέσιμη **Θερμική ισχύ**. Όπως θα δούμε και στην παρακάτω εικόνα, η απαίτηση του κτιρίου για θέρμανση είναι **149 kWh/m<sup>2</sup>a** και για ψύξη **38 kWh/m<sup>2</sup>a**, ενώ το όριο για ένα ΠΚ είναι κάτω από **15 kWh/m<sup>2</sup>a**. Η συχνότητα της **υπερβολικά υψηλής υγρασίας** είναι **10%**, όσο και το όριο για ένα παθητικό κτίριο, ενώ η **αεροστεγανότητα** του κτιρίου στα 50Pascal είναι στις **8 αλλαγές ανά ώρα**. Να τονίσουμε ότι η αεροστεγανότητα, στην παρούσα εργασία, δε μετρήθηκε με το blowerdoor test, αλλά είναι ένας μέσος αριθμός αλλαγών με βάση μετρήσεις, που έχουν πραγματοποιηθεί σε δημόσια κτίρια στην Ελλάδα. Τέλος, η απαίτηση για πρωτογενή ενέργεια είναι **363 kWh/m<sup>2</sup>a**, ενώ το επιτρεπτό όριο για το αντίστοιχο ΠΚ είναι **120 kWh/m<sup>2</sup>a**. Το σύνολο της απαίτησης για θέρμανση/ψύξη σε κιλοβατώρες για όλο το χρόνο είναι:  $(149 + 38) \text{ kWh/m}^2\text{a} \times 268\text{m}^2 = \mathbf{50.116 \text{ kWh το χρόνο}}$ .

Year of construction:		Interior temperature winter [°C]:	20,0	Interior temp. summer [°C]:	25,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m <sup>2</sup> ]:	3,5	IHG cooling case [W/m <sup>2</sup> ]:	3,5
No. of occupants:	15,0	Specific capacity [Wh/K per m <sup>2</sup> TFA]:	60	Mechanical cooling:	x

Specific building characteristics with reference to the treated floor area				Criteria	Alternative criteria	Fullfilled? <sup>2</sup>
Space heating	Treated floor area m <sup>2</sup>	268,7				
	Heating demand kWh/(m <sup>2</sup> a)	149	≤	15	-	no
	Heating load W/m <sup>2</sup>	84	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand kWh/(m <sup>2</sup> a)	38	≤	16	16	no
	Cooling load W/m <sup>2</sup>	43	≤	-	11	
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	-	≤	-	-	-
	Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %	10	≤	10	-	yes
Airtightness	Pressurization test result n <sub>50</sub> 1/h	8,0	≤	0,6	-	no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m <sup>2</sup> a)	363	≤	120	-	no
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand kWh/(m <sup>2</sup> a)	219	≤	-	-	
	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area) kWh/(m <sup>2</sup> a)	0	≥	-	-	-

Εικόνα 7.2: Φύλλο εργασίας σύνοψης αποτελεσμάτων του PHPP

## Κλιματικά δεδομένα

Επιλέχθηκαν τα κλιματικά δεδομένα από την Αθήνα, τα οποία έχουν ελεγχθεί από το ΡΗΙ και εμπεριέχονται στη βιβλιοθήκη κλιματικών δεδομένων του προγράμματος. Η Αθήνα συγκαταλέγεται στην πέμπτη κλιματική ζώνη, θερμού κλίματος (warm). Τα δεδομένα αυτά εμπεριέχουν το υψόμετρο του κτιρίου και το υψόμετρο του μετεωρολογικού σταθμού. Περιέχουν πληροφορίες για: 1) Τη μέση εξωτερική θερμοκρασία ανά μήνα, 2) Την εκπομπή ακτινοβολίας σε όλο το μήκος και πλάτος, 3) Το σημείο δρόσου ανά μήνα, 4) Τις θερμοκρασίες αέρα και εδάφους ανά μήνα. Ακόμα, σημαντικά κλιματικά στοιχεία είναι ο προσδιορισμός της πιο

συννεφιασμένης μέρας του χειμώνα και της πιο ηλιόλουστης καλοκαιρινής. Ενδεικτικά στοιχεία από τη βιβλιοθήκη του PHPP φαίνονται στην παρακάτω εικόνα, όπου παρουσιάζονται στοιχεία από τα κλιματικά δεδομένα στην Αθήνα.

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
GRO002b-Athen	Latitude °	37,9	Longitude °	23,7	Altitude [m]	15	Daily temperature swing Summer [K]			8,4		
Exterior temperature	8,8	8,8	11,6	14,6	19,5	24,6	27,3	27,3	22,6	18,5	14,0	10,3
Radiation North	16	20	29	36	46	51	49	39	30	26	18	15
Radiation East	45	44	79	98	115	121	129	123	86	65	46	33
Radiation South	106	88	120	105	92	84	91	112	120	114	112	85
Radiation West	43	48	79	95	115	119	124	121	92	64	54	39
Horizontal radiation	66	76	132	168	206	224	232	210	153	106	75	53
Dew point temperature	4,7	4,3	6,4	8,4	11,5	14,3	15,7	15,6	14,7	12,5	10,0	6,4
Sky temperature	-2,3	-1,7	0,1	2,2	6,5	10,4	12,6	11,1	10,5	8,1	3,9	0,0
Ground temperature	20,5	20,3	20,4	20,8	21,4	22,0	22,5	22,7	22,6	22,2	21,6	20,9
Comment:	Source: Meteornorm V7 (Hellenion, new period). Load data by PHI.											

Εικόνα 7.3: Κλιματικά δεδομένα Αθήνας, PHPP

### Συντελεστής θερμοπερατότητας U των δομικών στοιχείων

Στο PHPP, ο σχεδιαστής έχει την ευθύνη για την ακρίβεια των διαστάσεων και των χαρακτηριστικών των υλικών των δομικών στοιχείων του κτιρίου μας. Στο υφιστάμενο κτίριο τα δομικά στοιχεία χωρίζονται σε: 1) Τοιχοποιία προς εξωτερικό περιβάλλον 2) Στέγη του φωταγωγού οροφής 3) Πλάκα εδάφους 4) Εξωτερική τοιχοποιία προς έδαφος 5) Στέγη. Για κάθε δομικό στοιχείο, καθορίζεται η προσανατολισμός του (έδαφος, στέγη, τοίχος) και η εφραπτόμενη εξωτερική επιφάνεια (εξωτερικό περιβάλλον, κλειστός χώρος, έδαφος), ώστε να οριστούν σωστά τα  $R_{se}$  και  $R_{si}$ , για τα οποία έχουμε αναφερθεί πιο πάνω. Για κάθε ξεχωριστό υλικό πρέπει να εισάγουμε τις τιμές της θερμικής αγωγιμότητας και τις ακριβείς διαστάσεις του.

- **Τοιχοποιία προς εξωτερικό περιβάλλον:** Διπλός δομικός τοίχος με τούβλο(25 εκατ.), ανάμεσα μόνωση (5 εκατ.) και μπετόν στις κολώνες. Επίσης υπάρχουν τρία εκατοστά εσωτερικού και εξωτερικού σοβά συνολικό πάχος 31 εκατοστά. Τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας,  $U = 1,987 \text{ W/m}^2\text{K}$
- **Στέγη φωταγωγού οροφής:** Πρόκειται για μια ξύλινη κατασκευή, σοβατισμένη εξωτερικά και εσωτερικά, ενώ επικαλύπτεται μια μία λεπτή πλάκα αλουμινίου. Τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας,  $U = 1,256 \text{ W/m}^2\text{K}$
- **Πλάκα εδάφους:** Αποτελείται από 25 εκατοστά μπετό, 10 πόντους τσιμεντοκονίαμα και 5 πόντους μάρμαρο δαπέδου. Τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας,  $U = 3,167 \text{ W/m}^2\text{K}$
- **Τοιχοποιία προς έδαφος:** Ίδια δομή τοιχοποιίας, όπως παραπάνω. Παρ' όλα αυτά το U μεταβάλλεται, καθώς οι απώλειες είναι προς το έδαφος. Τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας,  $U = 2,573 \text{ W/m}^2\text{K}$

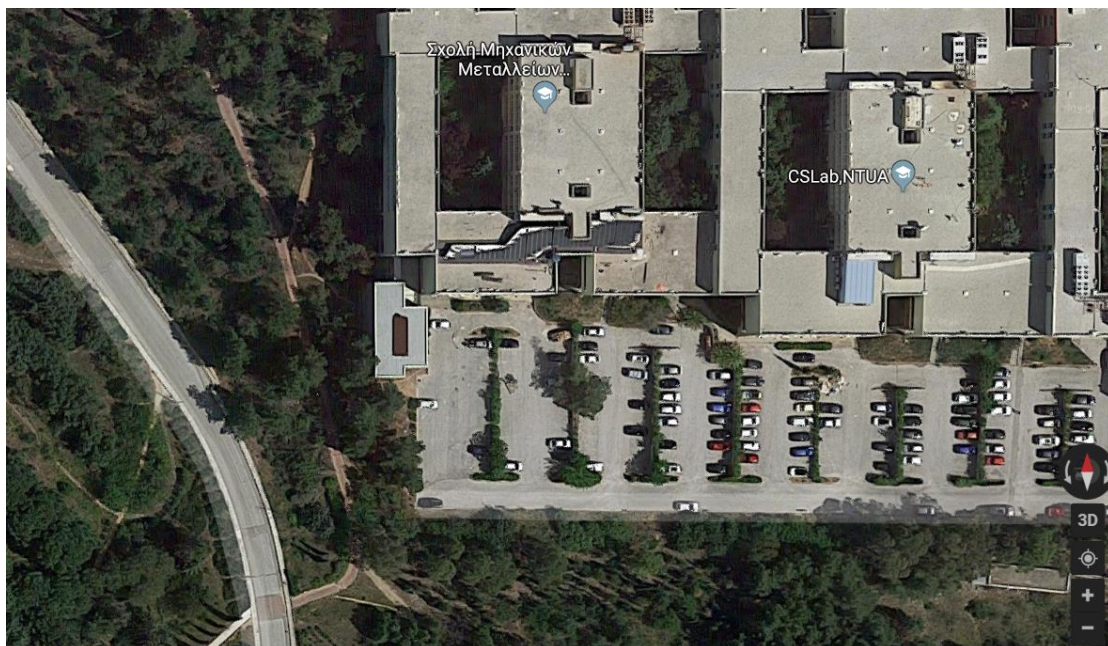
- **Στέγη:** Αποτελείται από: εσωτερικό σοβά, 25 εκατοστά μπετόν, 5 εκατοστά μόνωση και 10 εκατοστά τσιμεντοκονίαμα. Τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας,  $U = 0,503 \text{ W/m}^2\text{K}$

Assembly no.	Building assembly description			Interior insulation?			
01ud	External Wall Air						
Orientation of building element	Heat transmission resistance [m <sup>2</sup> K/W]						
2-Wall	interior R <sub>si</sub> 0,13						
Adjacent to	exterior R <sub>se</sub> 0,04						
1-Outdoor air							
Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Thickness [mm]	
Plaster	0,850					30	
Brick	0,800	Concrete	2,500			200	
Plaster	0,850					30	
				XPS 100	0,040	50	
Percentage of sec. 1	20%	Percentage of sec. 2	30,0%	Percentage of sec. 3	50,0%	Total	31,0 cm
U-value supplement		U-value	1,987 W/(m <sup>2</sup> K)				

Εικόνα 7.4: Συντελεστής θερμοπερατότητας της εξωτερικής τοιχοποιίας και εισαγωγή δεδομένων στο PHPP

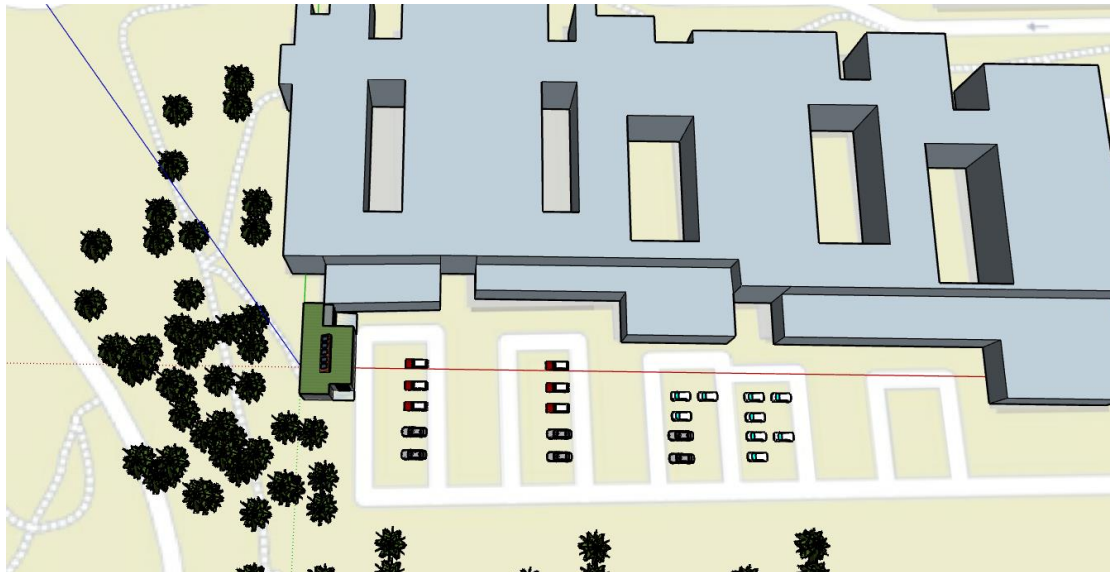
## Γεωμετρία κτιρίου

Η γεωμετρία του υπό ανάλυση κτιρίου μετρήθηκε στα αρχιτεκτονικά σχέδια του autoCAD και στη συνέχεια μοντελοποιήθηκε μέσω του DesignPH. Το ίδιο συνέβει και για τις σκιάσεις και τον περιβάλλοντα χώρο, ο οποίος μοντελοποιήθηκε επίσης με το DesignPH.



Εικόνα 7.5: Εικόνα του περιβάλλοντα χώρου. Google maps





Εικόνα 7.6: Αποτύπωση του περιβάλλοντα χώρου στο DesignPH

## Κουφώματα

Ακριβή χαρακτηριστικά για τα υπάρχοντα κουφώματα δε βρέθηκαν και εισήχθησαν τυπικές τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας, θερμογεφυρών και επιτρεπόμενης διάχυσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Τιμές: **g-value = 0.77**, **U<sub>g</sub>-value = 2,9 W/m<sup>2</sup>K**, **U<sub>frame</sub>-value = 1,8 W/m<sup>2</sup>K**

Τέλος, ο αερισμός γίνεται μέσω των κουφωμάτων με φυσικό τρόπο, η ψύξη μέσω κλιματιστικών μονάδων και η θέρμανση μέσω λέβητα πετρελαίου/φυσικού αερίου.

Συμπερασματικά, αναλύθηκε ένα συμβατικό δημόσιο κτίριο, στην κατασκευή του οποίου δεν υπάρχει κάποιο φοβερό σφάλμα (σε σχέση με την κατασκευή συμβατικών κτιρίων) και ενεργειακά είναι 10 φορές πιο ενεργοβόρο από ένα ΠΚ (συνηθισμένη τιμή).

## 7.2 Μοντελοποίηση σε Παθητικό Κτίριο

Η μελέτη του κτιρίου περιλαμβάνει πολλές παραμέτρους και μεταβλητές. Οι μεταβλητές καθορίζονται από τον σχεδιαστή, ανάλογα με τα υπάρχοντα δεδομένα. Στην παρούσα εργασία μπορεί να μην πραγματοποιήθηκε οικονομοτεχνική μελέτη, παρ' όλα αυτά τα υλικά και η ποσότητα των υλικών που επιλέχθηκε έγινε με τέτοιο τρόπο, ώστε να συνάδει με την πραγματικότητα (δηλ. δεν τοποθετήθηκαν 50 εκατοστά θερμομόνωση ή τα καλύτερα κουφώματα).



## Γενική εικόνα

Όπως είδαμε νωρίτερα, έχουμε 268m<sup>2</sup> θερμαινόμενη επιφάνεια δαπέδου για 15 χρήστες ανά μέρα. Η απαίτηση του κτιρίου για θέρμανση είναι **14 kWh/m<sup>2</sup>a**, ενώ το κριτήριο για ψύξη (όταν δεν υπάρχει ενεργητική ψύξη) είναι η πιθανότητα υπερθέρμανσης του κτιρίου. Αν το κτίριο μας λειτουργούσε καθ' όλη τη διάρκεια του έτους τότε η περίπτωση υπερθέρμανσης είναι 13,74% κάτι που υπερβαίνει το όριο υπερθέρμανσης, το οποίο απαιτείται να μην ξεπερνά το 10% . Στην περίπτωσή μας όμως το κτίριο δε χρησιμοποιείται από τις 15 Ιουλίου έως την 1 Σεπτεμβρίου, περίοδο κατά την οποία εστιάζεται ο κίνδυνος της υπερθέρμανσης. Επομένως αφαιρώντας τις συγκεκριμένες ημερομηνίες, ο κίνδυνος υπερθέρμανσης του κτιρίου πέφτει στο **1,85%** (κίτρινο κουτάκι). Η συχνότητα της **υπερβολικά υψηλής υγρασίας** είναι **1,3%** (κίτρινο κουτάκι), ενώ η **αεροστεγανότητα** του κτιρίου είναι στις **0,6 αλλαγές ανά ώρα**. Να τονίσουμε, ότι η αεροστεγανότητα στην παρούσα εργασία, δε μετρήθηκε με το blowerdoor test, αλλά είναι ο στόχος ο οποίος πρέπει να επιτευχθεί και υπολογίζεται μετά την τοποθέτηση των κουφωμάτων και του μανδύα αεροστεγανότητα του κελύφους. Τέλος, η απαίτηση για πρωτογενή ενέργεια είναι **63 kWh/m<sup>2</sup>a**, ενώ το επιτρεπτό όριο είναι **120 kWh/m<sup>2</sup>a**. Το σύνολο της απαίτησης σε κιλοβατώρες για όλο το χρόνο είναι: 14 kWh/m<sup>2</sup>a × 268m<sup>2</sup> = **3.752 kWh το χρόνο**.

The screenshot shows the PHPP software interface with the following data:

- Building type:** Non-residential building
- Internal heat gains:** Office / Admin. building, Standard
- Occupancy:** 15 users determined
- Interior temperature winter:** 20.0 °C
- Interior temperature summer:** 25.0 °C
- Internal heat gains (IHG) heating case:** 3.5 W/m<sup>2</sup>
- IHG cooling case:** 3.5 W/m<sup>2</sup>
- Mechanical cooling:** 204 W/m<sup>2</sup>
- Specific building characteristics with reference to the treated floor area:**

Criteria	Value	Limit	Alternative criteria	Fulfilled?
Treated floor area [m <sup>2</sup> ]	268,7	-	-	-
Space heating Heating demand [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	14	≤ 15	-	yes
Heating load [W/m <sup>2</sup> ]	11	≤ -	10	-
Space cooling Cooling & dehum. demand [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	≤ -	-	-
Cooling load [W/m <sup>2</sup> ]	-	≤ -	-	-
Frequency of overheating (> 25 °C) [%]	13,74	≤ 10	-	no
Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) [%]	3	≤ 20	-	yes
Airtightness Pressurization test result n <sub>50</sub> [1/h]	0,6	≤ 0,6	-	yes
Non-renewable Primary Energy (PE) PE demand [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	63	≤ 120	-	yes
PER demand [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	30	≤ -	-	-
Primary Energy Renewable (PER) Generation of renewable energy [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	20	≥ -	-	-

Additional notes from the interface:

- Without half July&August
- Cooling & dehum. demand [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- Frequency of overheating (> 25 °C) [%]
- Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) [%]
- Non-renewable Primary Energy (PE) [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- PE-Faktoren (nicht regenerativ) PHI Zertifizierung
- Gewählte Primärenergiefaktoren für die Ermittlung des PE-Bedarfs
- Primary Energy Renewable (PER) [kWh/(m<sup>2</sup>a)]

Εικόνα 7.6: Φύλλο Επαλήθευσης στο PHPP

Τα κλιματικά δεδομένα είναι ακριβώς ίδια με αυτά που παρουσιάστηκαν νωρίτερα.

## Συντελεστής θερμοπερατότητας U των δομικών στοιχείων

Όπως είδαμε και νωρίτερα, το υφιστάμενο κτίριο τα δομικά στοιχεία χωρίζονται σε: 1) Τοιχοποιία προς εξωτερικό περιβάλλον 2) Στέγη του φωταγωγού οροφής 3) Πλάκα εδάφους 4) Εξωτερική τοιχοποιία προς έδαφος 5) Στέγη. Για κάθε δομικό

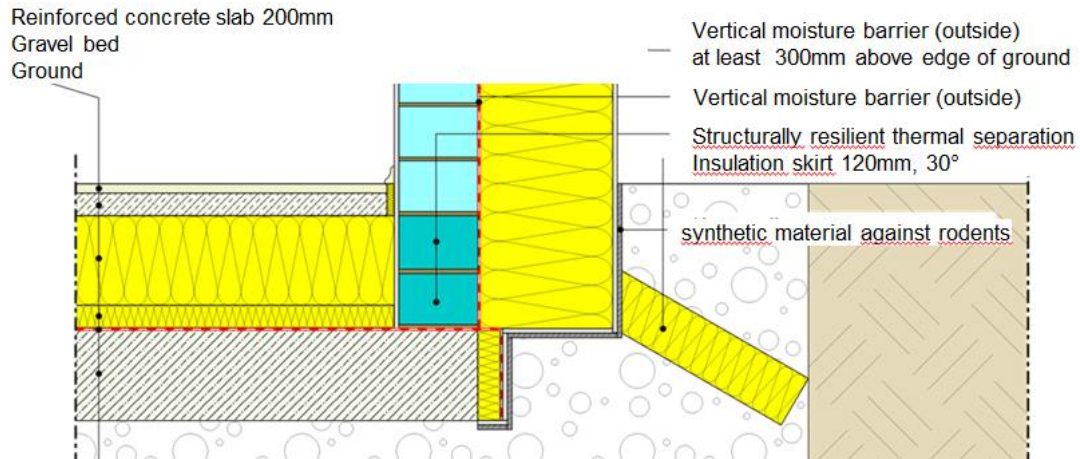
στοιχείο, καθορίζεται η προσανατολισμός του (έδαφος, στέγη, τοίχος) και η επαπτόμενη εξωτερική επιφάνεια (εξωτερικό περιβάλλον, κλειστός χώρος, έδαφος), ώστε να οριστούν σωστά τα  $R_{se}$  και  $R_{si}$ , για τα οποία έχουμε αναφερθεί πιο πάνω. Στο ΡΗΡΡ, ο σχεδιαστής έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει συνεχώς τα υλικά που θα τοποθετηθούν στα ήδη υπάρχοντα δομικά στοιχεία (π.χ. εξωτερική θερμομόνωση), με στόχο να επιτύχει τον καλύτερο συνδυασμό κόστους-οφέλους για την ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου και για το αν πληρούνται τα κριτήρια του ΠΚ. Η μεταβολή των τιμών στο φύλλο εργασίας των τιμών  $U$  φαίνεται αμέσως στο φύλλο γενικής εικόνας. Για κάθε ξεχωριστό υλικό πρέπει να εισάγουμε τις τιμές της θερμικής αγωγιμότητας και τις ακριβείς διαστάσεις του.

- **Τοιχοποιία προς εξωτερικό περιβάλλον:** Διπλός δρομικός τοίχος με τούβλο(25 εκατ.), ανάμεσα μόνωση (5 εκατ.) και μπετόν στις κολώνες. Επίσης υπάρχουν τρία εκατοστά εσωτερικού και εξωτερικού σοβά συνολικό πάχος 31 εκατοστά. Προστέθηκαν 12 εκατοστά διογκωμένης πολυστερίνης EPS 80 με  $\lambda = 0,031\text{W/mK}$ . Τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας,  $U = 0,219\text{ W/m}^2\text{K}$
- **Στέγη φωταγωγού οροφής:** Πρόκειται για μια ξύλινη κατασκευή, σοβατισμένη εξωτερικά και εσωτερικά. Αφαιρέθηκε η σιδερένια στέγη και προστέθηκαν 5 εκατοστά διογκωμένης πολυστερίνης EPS 200 με  $\lambda = 0,030\text{W/mK}$ . Τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας,  $U = 0,238\text{ W/m}^2\text{K}$
- **Πλάκα εδάφους:** Έμεινε ως έχει. Αποτελείται από 25 εκατοστά μπετό, 10 πόντους τσιμεντοκονίαμα και 5 πόντους μάρμαρο δαπέδου. Τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας,  $U = 3,167\text{ W/m}^2\text{K}$
- **Τοιχοποιία προς έδαφος:** Ίδια δομή τοιχοποιίας, όπως παραπάνω. Παρ' όλα αυτά το  $U$  μεταβάλλεται, καθώς οι απώλειες είναι προς το έδαφος. Τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας,  $U = 0,230\text{ W/m}^2\text{K}$
- **Στέγη:** Αποτελείται από: εσωτερικό σοβά, 25 εκατοστά μπετόν, 5 εκατοστά μόνωση και 10 εκατοστά τσιμεντοκονίαμα. Προστέθηκαν 20 εκατοστά διογκωμένης πολυστερίνης EPS 200 με  $\lambda = 0,030\text{W/mK}$ , 4 χιλιοστά επίστρωμα πλαστικού και 15 εκατοστά χώμα, ώστε να φυτρώσει γρασίδι. Τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας,  $U = 0,142\text{ W/m}^2\text{K}$

## Έδαφος

Στο ΡΗΡΡ υπολογίζονται ξεχωριστά οι απώλειες μέσω του δαπέδου καθώς η μορφολογία διαφέρει από μέρος σε μέρος όταν υπάρχει άμεση επαφή με το έδαφος, ενώ υπάρχουν και διαφορετικές περιπτώσεις όπου υπάρχει θερμαινόμενο ή μη υπόγειο ή πυλωτή. Το αποτύπωμα του κτιρίου μας είναι  $167,4\text{ m}^2$  το μήκος της περιμέτρου  $58,8\text{m}$  και εφάπτεται με το έδαφος το οποίο έχει θερμική αγωγιμότητα  $\lambda$

= 2 W/mK. Στις γωνίες του κτιρίου, όπου και συναντούμε θερμογέφυρες τοποθετήσαμε ένα φύλλο διογκωμένης πολυστερίνης EPS 200 με  $\lambda = 0,030\text{W/mK}$ , μήκους 50 εκατοστών και πάχους 5 εκατοστών, ώστε να καθυστερεί τη διαφυγή της θερμότητας, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7.8: Παράδειγμα αντιμετώπισης θερμογέφυρας στη γωνία ενός κτιρίου

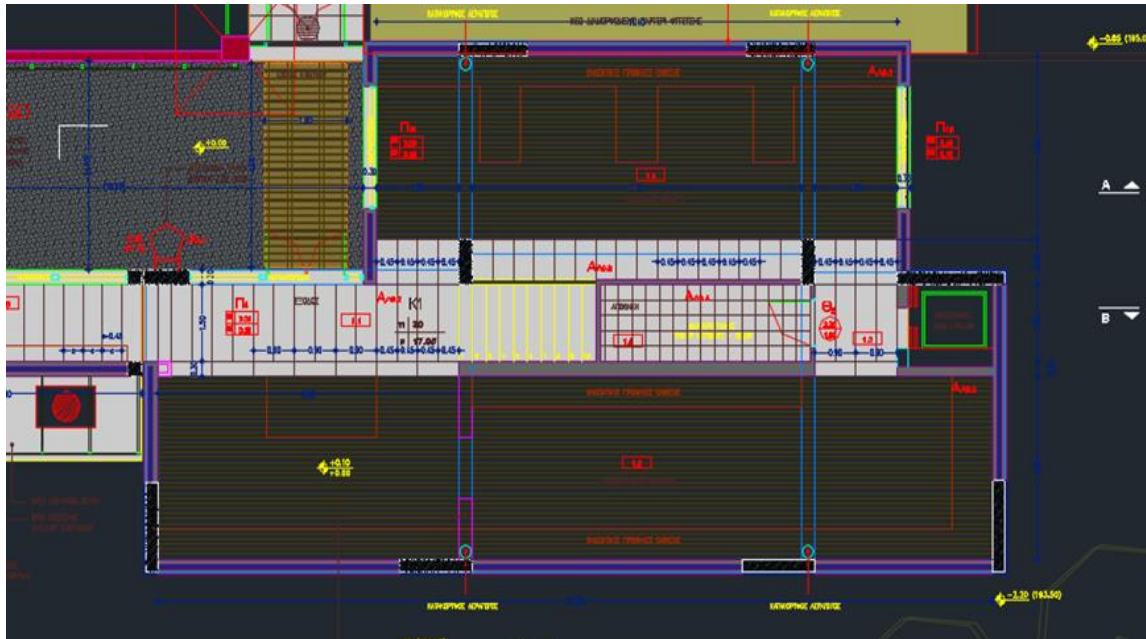
#### Building section 1

Ground characteristics				Climate data			
Thermal conductivity	$\lambda$	2,0	W/(mK)	Avg indoor temp. winter	$T_i$	20,0	°C
Heat capacity	$\rho c$	2,0	MJ/(m³K)	Avg indoor temp. summer	$T_i$	25,0	°C
Periodic penetration depth	$\delta$	3,17	m	Avg ground surface temperature	$T_{g,ave}$	18,3	°C
				Amplitude of $T_{g,ave}$	$T_{g,\Delta}$	9,3	°C
				Phase shifting of $T_{e,m}$	$\tau$	1,4	Months
				Length of the heating period	$n$	3,6	Months
				Heating degree hours - exterior	$G_e$	29,2	kKh/a
Building data				U-value floor slab/basement ceiling	$U_f$	3,167	W/(m²K)
Area of ground floor slab / basement A		167,4	m²	TBs floor slab / basement ceiling	$\Psi_B^*1$	4,00	W/K
Perimeter length	P	58,8	m	U-value floor slab / basement ceiling   $U_f'$		3,191	W/(m²K)
Charact. dimension of floor slab	$B'$	5,69	m	Equivalent thickness floor	$d_f$	0,63	m
Floor slab type (select only one)							
<input checked="" type="checkbox"/>	Slab on grade						
Perimeter insulation width/depth	D	0,50	m	Orientation of perimeter insulation	horizontal	<input type="checkbox"/>	
Perimeter insulation thickness	$d_n$	0,05	m	(check only one field)	vertical	<input checked="" type="checkbox"/>	
Conductivity perimeter insulation	$\lambda_n$	0,030	W/(mK)				

Εικόνα 7.9: Φύλλο εργασίας εδάφους του PHPP

## Γεωμετρία κτιρίου

Η γεωμετρία του υπό ανάλυση κτιρίου μετρήθηκε στα αρχιτεκτονικά σχέδια του autoCAD και στη συνέχεια μοντελοποιήθηκε μέσω του DesignPH. Το ίδιο συνέβη και για τις σκιάσεις και τον περιβάλλοντα χώρο, ο οποίος μοντελοποιήθηκε επίσης με το DesignPH. Από το DesignPH, τα δεδομένα μεταφέρθηκαν στο PHPP.



Εικόνα 7.10: Βήμα 1. Εξαγωγή δεδομένων από τις κατόψεις του AutoCAD

Orikology building LAST DesignPH Dimitris Pallantzis 160918 - SketchUp Make 2017

File Edit View Camera Draw Tools Window Help

Climate: Athen  
 Building type: Dwelling  
 Qh -- kWh/m<sup>2</sup>a  
 TFA --- m<sup>2</sup> (CHECK TFA CALC!)  
 Heat Loss Form Factor Inf

Select	Area ID	Building element desc.	Group no.	Assigned to group	Shape	Dim. A	Dim. B	Area check	Total area (m <sup>2</sup> )
1		Floor slab	11	Floor slab / Basement ceiling	rectangle	10.90	6.00		113.40
2		Floor slab	11	Floor slab / Basement ceiling	rectangle	12.00	4.50		54.00
									167.40

Select	Area ID	Building element desc.	Assigned to group	Orientation	Total area (m <sup>2</sup> )	Window areas (m <sup>2</sup> )	Qty. windows	Net area (m <sup>2</sup> )	Assem. no.	Assem. desc.
1		Ext. Wall West	External Wall - Ambient	W	157.81	0.00	0	157.81	01ud	Externa Wall Air
2		Ext. Wall North	External Wall - Ambient	N	35.07	0.00	0	35.07	01ud	Externa Wall Air
3		Ext. Wall East Grfloor	External Wall - Ambient	E	18.48	11.21	5	7.27	83ud	PH Externa wall
4		Ext. Wall North Grfloor	External Wall - Ambient	N	50.69	13.92	6	36.77	83ud	PH Externa wall
5		Ext. Wall East (no windows)	External Wall - Ambient	E	100.20	0.00	0	100.20	01ud	Externa Wall Air
6		Ext. Wall South Right side	External Wall - Ambient	S	37.58	15.71	2	21.86	01ud	Externa Wall Air
7		Ext. Wall East left side	External Wall - Ambient	E	17.54	0.00	0	17.54	01ud	Externa Wall Air
8		Ext. Wall South Left side	External Wall - Ambient	S	50.10	0.00	0	50.10	01ud	Externa Wall Air
9		[model]_Wall_412792_N	External Wall - Ambient	N	0.48	0.00	0	0.48	83ud	PH Externa wall
10		[model]_Wall_412694_E	External Wall - Ambient	E	0.96	0.00	0	0.96	83ud	PH Externa wall

Εικόνα 7.11: Βήμα 2. Εισαγωγή των δεδομένων στο 3-D πρόγραμμα DesignPH

Area input																
Area no.	Building assembly description	To group No.	Assigned to group	Quantity	x (	a [m]	x	b [m]	+	User determined [m²]	-	User subtraction [m²]	-	Subtraction window areas [m²]	) =	Area [m²]
	Projected building footprint	0	Projected building footprint	1	x (		x		+	167,40	-		-		) =	167,4
	Treated floor area	1	Treated floor area	1	x (		x		+	268,66	-		-		) =	268,7
	Exterior door	7	Exterior door		x (		x		+		-		-		) =	
1	Ext. Wall West	8	External wall - Ambient	1	x (	18,90	x	8,35	+		-		-	0,0	) =	157,8
2	Ext. Wall North	8	External wall - Ambient	1	x (	8,35	x	4,20	+	1,40	-		-	0,0	) =	36,5
3	Ext. Wall East Grfloor	8	External wall - Ambient	1	x (	4,80	x	3,85	+		-		-	11,2	) =	7,3
4	Ext. Wall North Grfloor	8	External wall - Ambient	1	x (		x		+	51,20	-		-	13,9	) =	37,3
5	Ext. Wall East (no windows)	8	External wall - Ambient	1	x (	12,00	x	8,35	+		-		-	0,0	) =	100,2
6	Ext. Wall South Right side	8	External wall - Ambient	1	x (	8,35	x	4,50	+		-		-	15,7	) =	21,9
7	Ext. Wall East left side	8	External wall - Ambient	1	x (	8,35	x	2,10	+		-		-	0,0	) =	17,5
8	Ext. Wall South Left side	8	External wall - Ambient	1	x (	8,35	x	6,00	+	5,00	-		-	0,0	) =	55,1
9					x (		x		+		-		-	0,0	) =	
10					x (		x		+		-		-	0,0	) =	
11	Ext. Wall East 1st Floor	8	External wall - Ambient	1	x (	4,80	x	2,55	+		-		-	9,0	) =	3,2
12					x (		x		+		-		-	0,0	) =	
13					x (		x		+		-		-	0,0	) =	
14	Ext Wall East	8	External wall - Ambient	1	x (	4,80	x	0,95	+		-		-	0,0	) =	4,6
15	Ext Wall north roof	8	External wall - Ambient	1	x (		x		+	2,17	-		-	0,0	) =	2,2
16	Ext. Wall East roof	8	External wall - Ambient	1	x (	7,60	x	2,07	+		-		-	11,4	) =	4,4
17	Ext. Wall South roof	8	External wall - Ambient	1	x (		x		+	2,17	-		-	0,0	) =	2,2
18	Wall to ground West	9	External wall - Ground	1	x (	18,90	x	0,92	+		-		-	0,0	) =	17,4
19	Wall to ground North	9	External wall - Ground	1	x (	6,00	x	0,92	+		-		-	0,0	) =	5,5
20	Wall to ground east	9	External wall - Ground	1	x (		x		+	14,03	-		-	0,0	) =	14,0
21	Wall to ground south	9	External wall - Ground	1	x (	6,00	x	0,92	+		-		-	0,0	) =	5,5
22	Wall to ground North	9	External wall - Ground	1	x (	4,50	x	0,28	+		-		-	0,0	) =	1,3
23	Wall to ground East	9	External wall - Ground	1	x (	12,00	x	0,28	+		-		-	0,0	) =	3,4
24	Wall to ground South	9	External wall - Ground	1	x (	4,50	x	0,28	+		-		-	0,0	) =	1,3
25	Roof	10	Roof/Ceiling - Ambient	1	x (		x		+	142,80	-		-	0,0	) =	142,8
26	Inclined roof	10	Roof/Ceiling - Ambient	1	x (	7,60	x	2,95	+		-		-	0,0	) =	22,4
27	Floor slab	11	Floor slab / Basement ceiling	1	x (	18,90	x	6,00	+		-		-	0,0	) =	113,4
28	Floor slab	11	Floor slab / Basement ceiling	1	x (	12,00	x	4,50	+		-		-	0,0	) =	54,0

Εικόνα 7.12: Βήμα 3. Εξαγωγή των δεδομένων του DesignPH στο PHPP

## Areas determination

Oryktology Building / Climate: Athen / TFA: 269 m<sup>2</sup> / Heating: 14 kWh/(m<sup>2</sup>a) / Freq. overheating: 14 % / PER: 26,7 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Summary					
Temp.-zone	Area group	Group no.	Area / Length	Unit	Comment
	Treated floor area	1	268,66	m <sup>2</sup>	Treated floor area according to PHPP manual
A	North windows	2	13,92	m <sup>2</sup>	Results come from the 'Windows' worksheet. Window areas are subtracted from individual opaque areas. which is displayed in the 'Windows' worksheet.
A	East windows	3	31,59	m <sup>2</sup>	
A	South windows	4	15,71	m <sup>2</sup>	
A	West windows	5	0,00	m <sup>2</sup>	
A	Horizontal windows	6	0,00	m <sup>2</sup>	
A	Exterior door	7	0,00	m <sup>2</sup>	
A	External wall - Ambient	8	450,03	m <sup>2</sup>	Temperature zone "A" is ambient air
B	External wall - Ground	9	48,34	m <sup>2</sup>	Temperature zone "B" is the ground
A	Roof/Ceiling - Ambient	10	165,21	m <sup>2</sup>	
B	Floor slab / Basement ceiling	11	167,40	m <sup>2</sup>	
		12	0,00	m <sup>2</sup>	Temperature zones "A", "B", "P" and "X" may be used. NOT "I"
		13	0,00	m <sup>2</sup>	Temperature zones "A", "B", "P" and "X" may be used. NOT "I" Factor for X
X		14	0,00	m <sup>2</sup>	Temperature zone "X": Please provide user-defined reduction factor (0 < ft < 1): <b>75%</b>
A	Thermal bridges Ambient	15	39,20	m	Units in m
P	Perimeter thermal bridges	16	0,00	m	Units in m; temperature zone "P" is perimeter (see 'Ground' worksheet)
B	Thermal bridges FS/BC	17	58,80	m	Units in m
I	Building element towards neigh	18	0,00	m <sup>2</sup>	No heat losses, only considered for the heating load calculation
Total thermal envelope			892,20	m <sup>2</sup>	

Εικόνα 7.13: Σύνοψη του κελύφους του κτιρίου

Τέλος, οι θερμογέφυρες υπολογίστηκαν από το DesignPH και για την αποφυγή τους ντύθηκε με θερμομόνωση και το μικρό μπαλκόνι του πρώτου ορόφου μιας και το κόστος δεν είναι μεγάλο σε σχέση με τις ενδεχόμενες απώλειες. Στο κτίριο μας έχει προβλεφθεί η εξάλειψη θερμογεφυρών ενώ σε πολλά σημεία υπάρχουν και θετικές τιμές θερμογεφυρών. Τονίζουμε, ότι οι υπολογισμοί



θερμογεφυρών γίνονται με προγράμματα θερμικής ανάλυσης δομικών στοιχείων όπως το HTFlux.

## Κουφώματα

Η επιλογή των κουφωμάτων δεν έχει σχέση με την εταιρία κατασκευής, τον τύπο (αλουμινίου, ξύλινα, PVC) ή οποιαδήποτε άλλη εμπορική πληροφορία, αλλά γίνεται με βάση τις απαιτήσεις με τις οποίες έχει σχεδιαστεί η ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Στη συγκεκριμένη, λοιπόν, μελέτη έχουμε επιλέξει υαλοπίνακα με τιμές:  $g\text{-value} = 0,4$  και  $U_g = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$  και πλαίσια με  $U_{\text{frame}} = 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$  και  $\Psi$  θερμογέφυρας τοποθέτησης  $0,040 \text{ W/mK}$ .

Αυτές τις τιμές απαιτούμε να έχει το πιστοποιητικό του κουφώματος, το οποίο θα τοποθετήσουμε. Παράλληλα, όπως είπαμε και σε προηγούμενη ενότητα, απαιτείται η σωστή τοποθέτηση του κουφώματος με ταινίες αεροστεγανότητας, ώστε να επιτύχουμε κάτω από  $0,6 \text{ ACH}$ .

Glazing		Glazing	
Recommended glazing type to start planning: Double thermally insulated glazing (Please consider the comfort criterion!)			
ID	Description	g-Value	$U_g$ -Value
			W/(m <sup>2</sup> K)
01ud	PH Glazing	0,40	0,60
02ud		0,00	0,00
03ud		0,00	0,00
04ud		0,00	0,00
05ud		0,00	0,00
06ud		0,00	0,00
07ud		0,00	0,00
08ud		0,00	0,00
09ud		0,00	0,00
10ud		0,00	0,00

Εικόνα 7.14: Εισαγωγή τιμών για τον υαλοπίνακα στο PHPP

Window frames									
ID	Description	U-Value				Frame width			
		left	right	bottom	above	left	right	bottom	above
		W/(m <sup>2</sup> K)	W/(m <sup>2</sup> K)	W/(m <sup>2</sup> K)	W/(m <sup>2</sup> K)	m	m	m	m
01ud	PH-RAHMEN: mittlere therm. Qualität	0,75	0,75	0,75	0,75	0,140	0,140	0,140	0,140
02ud	Small Frame	0,75	0,75	0,75	0,75	0,020	0,020	0,020	0,020
03ud	Double Frame	0,75	0,75	0,75	0,75	0,070	0,140	0,140	0,140
04ud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
05ud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
06ud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
07ud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
08ud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
09ud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
10ud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000

Εικόνα 7.15: Εισαγωγή τιμών πλαισίων στο PHPP

Το πρόγραμμα, αντιστοιχίζει το κάθε παράθυρο στο κάθε δομικό στοιχείο και υπολογίζει τα θερμικά κέρδη και τις θερμικές απώλειες του καθενός. Ενδεικτικά,

μπορούμε να δούμε την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε κάθε πλευρά του κτιρίου, την επιφάνεια τζαμιού και το συνολικό συντελεστή θερμοπερατότητας για τα κουφώματα κάθε πλευράς. Το βασικότερο όμως που διακρίνουμε είναι η σύγκριση των θερμικών κερδών και απωλειών του κάθε κουφώματος, αλλά της κάθε πλευράς του κτιρίου συνολικά.

## Windows

Oryktology Building / Climate: Athen / TFA: 269 m<sup>2</sup> / Heating: 14 kWh/(m<sup>2</sup>a) / Freq. overheating: 14 % / PER: 26,7 kWh/(m<sup>2</sup>a)

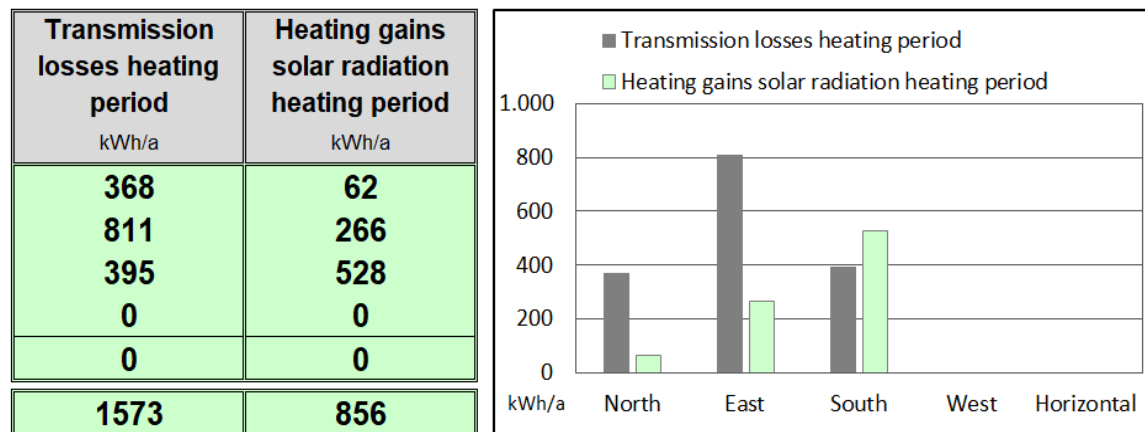
Window area orientation	Global radiation (main orientations) kWh/(m <sup>2</sup> a)	Shading	Dirt	Non-vertical radiation incidence	Glazing fraction	g-Value	Solar irradiation reduction factor	Window area m <sup>2</sup>	Window U-Value W/(m <sup>2</sup> K)	Glazing area m <sup>2</sup>	Average global radiation kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Standard values →		0,75	0,95	0,85								
North	65	0,31	0,95	0,85	0,68	0,40	0,17	13,92	0,80	9,47	65	North
East	162	0,32	0,95	0,85	0,64	0,31	0,17	31,59	0,81	20,10	166	East
South	328	0,39	0,95	0,85	0,81	0,40	0,26	15,71	0,74	12,69	328	South
West	169	1,00	0,95	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	169	West
Horizontal	264	1,00	0,95	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	264	Horizontal
Total or average value for all windows.						0,36	0,19	61,22	0,79	42,26		

Heating degree hours [KWh/a]: **29,2**

[Go to glazing list](#)   [Go to window frames list](#)

Quantity	Description	Deviation from north	Angle of inclination from the horizontal	Orientation	Window rough openings		Installed in	Glazing	Frame	g-Value	U-Value		Ψ Glazing edge (Avg.)
					Width	Height					Perpendicular radiation	Glazing	
					m	m	Selection from 'Areas' worksheet	Selection from 'Components' worksheet	Selection from 'Components' worksheet		W/(m <sup>2</sup> K)	W/(m <sup>2</sup> K)	W/(mK)
								1-Sorting: LIKE LIST	1-Sorting: LIKE LIST				
1	1st Floor Double Win North	1,7	90	North	1,200	1,900	4-Ext. Wall North Grfloor	01ud PH Glazing	03ud Double Frame	0,40	0,60	0,75	0,040
1	1st Floor Double Win. North	1,7	90	North	1,200	1,900	4-Ext. Wall North Grfloor	01ud PH Glazing	03ud Double Frame	0,40	0,60	0,75	0,040
1	1st Floor Win. North	1,7	90	North	2,400	1,000	4-Ext. Wall North Grfloor	01ud PH Glazing	01ud PH-RAHMEN: mittlere therm. Qualität	0,40	0,60	0,75	0,040
1	Grfloor Double Win. North	1,7	90	North	1,200	1,900	4-Ext. Wall North Grfloor	01ud PH Glazing	03ud Double Frame	0,40	0,60	0,75	0,040
1	Grfloor Double win. North	1,7	90	North	1,200	1,900	4-Ext. Wall North Grfloor	01ud PH Glazing	03ud Double Frame	0,40	0,60	0,75	0,040
1	Grfloor Win. North	1,7	90	North	2,400	1,000	4-Ext. Wall North Grfloor	01ud PH Glazing	01ud PH-RAHMEN: mittlere therm. Qualität	0,40	0,60	0,75	0,040
1	1st floor Door East	91,7	90	East	1,100	2,500	11-Ext. Wall East 1st Floor	0180ed03 Rehau - Entrance door GENE0 PHZ, with Gowa filling on one wing side	01ud PH-RAHMEN: mittlere therm. Qualität	0,00	0,36	0,75	0,040
1	1st floor Double Win. East	91,7	90	East	1,250	1,450	11-Ext. Wall East 1st Floor	01ud PH Glazing	03ud Double Frame	0,40	0,60	0,75	0,040

Εικόνα 7.16: Γενική εικόνα κουφωμάτων



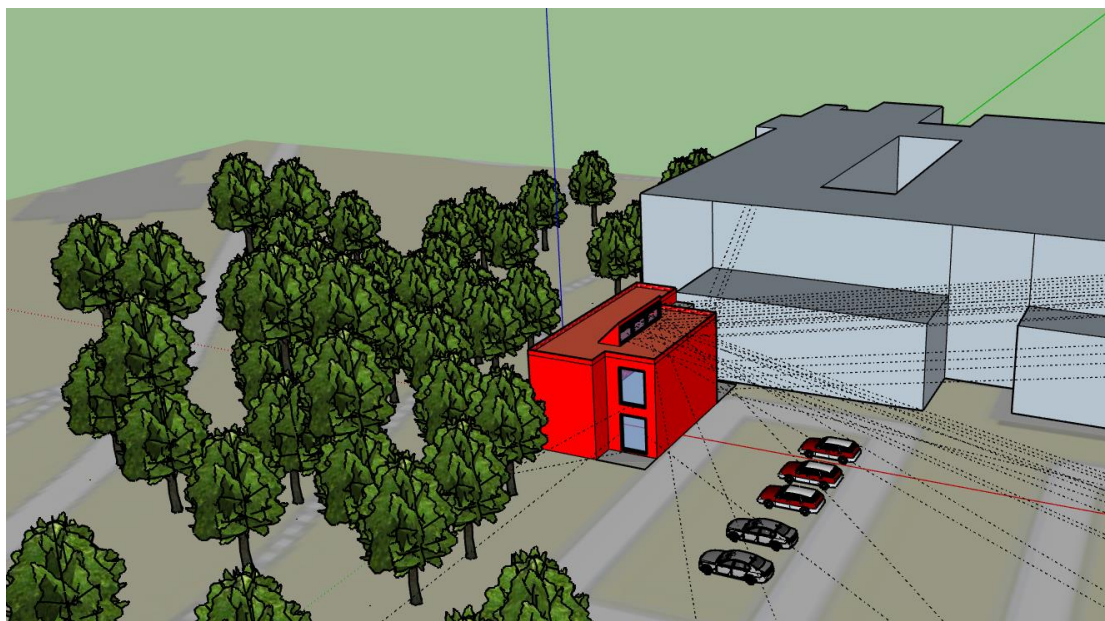
Εικόνα 7.17: Κέρδη vs Απώλειες

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε, οι απώλειες από τα κουφώματα του κτιρίου είναι διπλάσιες σχετικά με τα κέρδη που μας δίνουν. Όπως είναι λογικό, τα μόνα κουφώματα που παρουσιάζουν θετικό ενεργειακό ισοζύγιο είναι αυτά του Νότου.

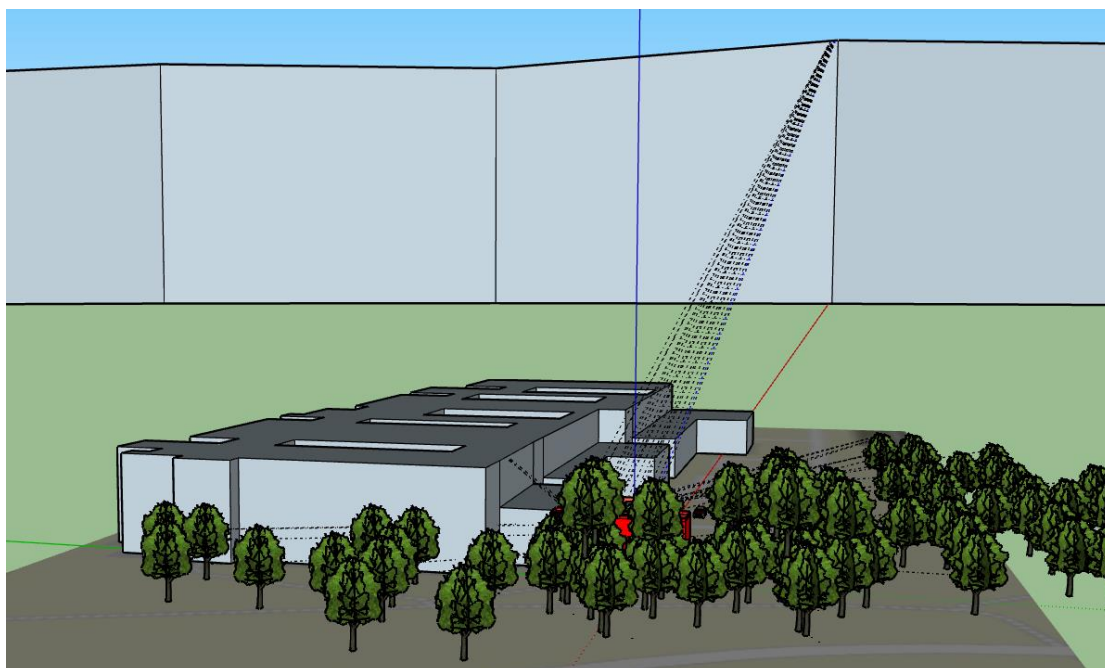


## Σκίαση

Υπολογίστηκε μέσω του DesignRH, καθώς σχεδιάστηκαν όλοι οι εξωτερικοί παράγοντες που επηρεάζουν το σκιασμό του κτιρίου. Αντίστοιχα με τα γεωμετρικά στοιχεία, μεταφέρθηκαν στο RHPP για τους απαραίτητους υπολογισμούς. Λόγω απουσίας ενεργητικής ψύξης ο σωστός σχεδιασμός της σκίασης είναι πολύ σημαντικός και γι αυτό τοποθετήθηκαν εξωτερικά ρολά σε όλα τα κουφώματα πλην του φωταγωγού της στέγης, τα οποία ρυθμίστηκαν με αυτοματισμό, ώστε να επιτρέπουν συγκεκριμένο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας, συγκεκριμένες ώρες.



Εικόνα 7.18: Σκίαση του κτιρίου από εξωτερικούς παράγοντες όπως κτίρια και δέντρα



Εικόνα 7.19: Σκίαση του κτιρίου από τον Υμηττό (βουνό)

## Calculation of shading coefficients

Onytkology Building / Climate: Athen / TFA: 269 m<sup>2</sup> / Heating: 13.9 kWh/(m<sup>2</sup>a) / Freq. overheating: 15 % / PER: 10 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Latitude:

Orientation	Glazing area [m <sup>2</sup> ]	Reduction factor winter $r_{f,w}$	Reduction factor cooling $r_{f,c}$	Reduction factor cooling $r_{f,z}$	Solar load [kWh/(m <sup>2</sup> year)]
North	9,47	31%	8%	5%	2
East	20,10	32%	35%	34%	31
South	12,69	39%	5%	3%	4
West	0,00	100%	100%	100%	0
Horizontal	0,00	100%	100%	100%	0

Quantity	Description	Deviation from North	Angle of inclination from the horizontal	Orientation	Glazing width	Glazing height	Glazing area	Height of the shading object	Horizon		Lateral reveal		Reveal / Overhang		Additional reduction factor winter shading
									Horizontal distance	Window reveal depth	Distance from glazing edge to reveal	Overhang depth	Distance from upper glazing edge to overhang		
		[Degree]	[Degree]		$w_g$ [m]	$h_g$ [m]	$A_g$ [m <sup>2</sup> ]	$h_{sobj}$ [m]	$d_{hor}$ [m]	$d_{lateral}$ [m]	$d_{reveal}$ [m]	$d_{over}$ [m]	$d_{over}$ [m]	$r_{shading}$ [%]	
1	1st Floor Double Win. North	2	90	North	0,99	1,62	1,6	10,05	13,40	28,64	11,380	0,13	0,15		
1	1st Floor Double Win. North	2	90	North	0,99	1,62	1,6	10,05	13,38	28,64	11,382	0,13	0,15		
1	1st Floor Win. North	2	90	North	2,12	0,72	1,5	11,05	13,39	28,62	10,850	0,13	0,14		
1	Grifloor Double Win. North	2	90	North	0,99	1,62	1,6	7,11	5,04	25,02	12,660	0,13	0,15		
1	Grifloor Double win. North	2	90	North	0,99	1,62	1,6	7,11	5,08	13,79	9,856	0,13	0,15		
1	Grifloor Win. North	2	90	North	2,12	0,72	1,5	8,11	5,06	13,82	9,282	0,13	0,14		
1	1st floor Door East	92	90	East	0,82	2,22	1,8								
1	1st floor Double Win. East	92	90	East	1,04	1,17	1,2	693,35	3527,41	49,65	21,379	1,92	0,19		
1	1st Floor Double Win. East	92	90	East	1,04	1,17	1,2	693,39	3527,58	49,65	21,377	1,92	0,19		
1	1st floor right window small East	92	90	East	2,22	0,77	1,7	694,49	3527,50	49,65	20,766	1,92	1,64		
1	Grifloor Door East	92	90	East	1,52	1,92	2,9								
1	Grifloor Over the door Win. East	92	90	East	1,52	0,47	0,7	696,42	3527,73	3,27	1,140	1,92	0,64		
1	Grifloor right window big East	92	90	East	1,27	1,82	2,3	697,87	3527,51	3,27	1,265	1,92	0,64		

Εικόνα 7.20: Αριθμητικά δεδομένα για τη σκίαση κάθε κουφώματος στο PHPP

## Αερισμός

Ο μηχανικός αερισμός αποτελεί μία από τις πέντε βασικές αρχές του Παθητικού Κτιρίου. Σε πολλές μελέτες που έχουν γίνει μέχρι τώρα σε συμβατικά κτίρια, έχει διαπιστωθεί ότι είναι πολύ δύσκολο να εξασφαλιστεί η ανανέωση του εσωτερικού αέρα με τρόπο επαρκή και ορθολογικό που να εξασφαλίζει άνεση στο χρήστη. Στο Παθητικό Κτίριο η καλή Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα (IAQ) και η θερμική άνεση εξασφαλίζονται από το σύστημα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας 24 ώρες το 24ώρο.

Ο αερισμός του κτιρίου γίνεται μηχανικά με ανάκτηση θερμότητας, η οποία θα ενισχύεται μέσω ενός γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος θα τοποθετηθεί 2,5 μέτρα κάτω από το έδαφος περιμετρικά του κτιρίου και θα αποδίδει 85%. Τα μηχανήματα αερισμού είναι αρκετά στην αγορά και επιλέγονται βάσει των προδιαγραφών που ζητούνται στο PHPP. Στο κτίριο μας θα τοποθετηθεί μηχανήματα αερισμού με **ανάκτηση θερμότητας 84%** για λειτουργία **από 110 έως 308 m<sup>3</sup>/h**. Για να δημιουργήσουμε τις σωστές συνθήκες πίεσης και να μεταφέρεται ο αέρας αρμονικά στο χώρο πρέπει να σχεδιάσουμε με ακρίβεια το σύστημα χώρο χώρο. Υπενθυμίζουμε από τη θεωρία, ότι στους κύριους χώρους χρήσεις γίνεται **προσαγωγή αέρα**, στους χώρους των μπάνιων και τους χώρους δευτερεύουσας χρήσης **απαγωγή αέρα** και στους ενδιάμεσους χώρους **μεταφορά αέρα**. Τέλος, θα γίνεται χρήση του μηχανήματος αερισμού στο προκαθορισμένο επίπεδο λειτουργίας για 16 ώρες, ενώ τις βραδινές 8 ώρες θα λειτουργεί στο ελάχιστο επίπεδο. Ταυτόχρονα, η λειτουργία θα γίνεται 5 μέρες τη βδομάδα και υπάρχει η δυνατότητα να κλείνει 15 μέρες το χρόνο σε περιόδους διακοπών για εξοικονόμηση ενέργειας.

Τέλος, ο αέρας φιλτράρεται με διαφόρων ειδών φίλτρα, τα οποία θα πρέπει να αλλάζονται από το χρήστη ανά 3-5 μήνες και ανάλογα το εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον.

### Dimensioning of air quantities

When dimensioning the air quantities, please consider the design recommendations given above.

The operation period of the ventilation can be determined on the basis of daily utilisation hours, including flushing phase if applicable. In addition, time periods with reduced ventilation (operation modes) can be taken into account by means of reduction factors.

Room no.	Amount a	Room name	Allocation to ventilation unit (No.)	Area A m <sup>2</sup>	Clear height h m	Room vol. A x h m <sup>3</sup>	V <sub>SUP</sub> m <sup>3</sup> /h	V <sub>ETA</sub> m <sup>3</sup> /h	V <sub>TRANS</sub> m <sup>3</sup> /h	Air chng. rt. per room n 1/h	Utilisation times h/d	d/week	Duration of holidays d
1	1	Gallery 1 West	1	66	3,65	240		300		1,25	24	5	15
2	1	Entrance Hall		15	3,45	51							
3	1	Gallery 2 East	1	47	3,45	163	300			1,84	24	5	15
4	1	Hall (Elevator)		5	3,45	17							
5	1	Storage	1	7	3,45	24		40		1,67	24	5	15
6	1	Stairs		3	3,45	10							
7		1st Floor											
8	1	Office	1	9	3,35	31	40			1,28	24	5	15
9	1	Gallery 3 West	1	56	3,35	188		300		1,59	24	5	15
10	1	Entrance Hall 2		5	3,35	16							
11	1	Gallery 4 East	1	43	3,35	146	300			2,06	24	5	15
12	1	Hall 2 (Elevator)		5	3,35	16							
13	1	Open Space		18	4,50	81							
14													
15													
16													
17													

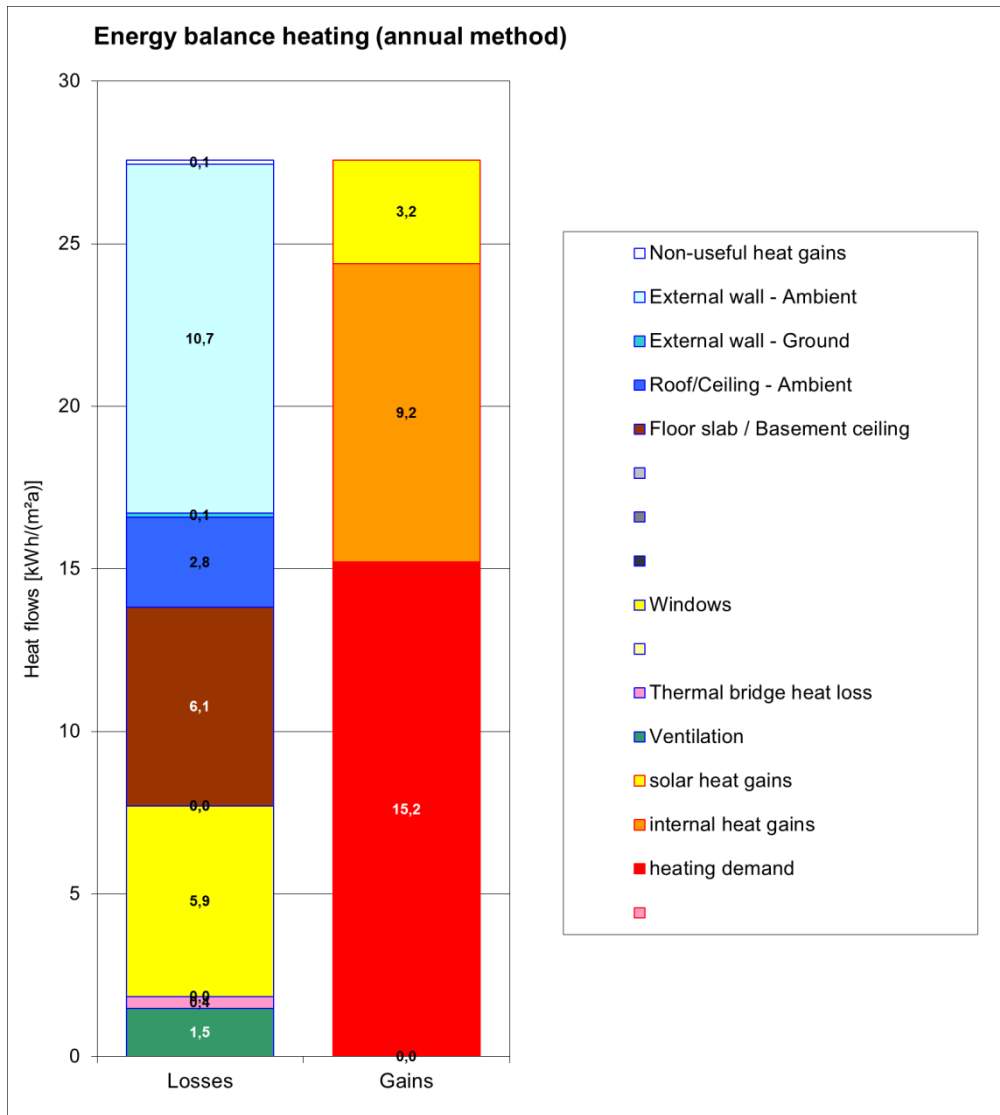
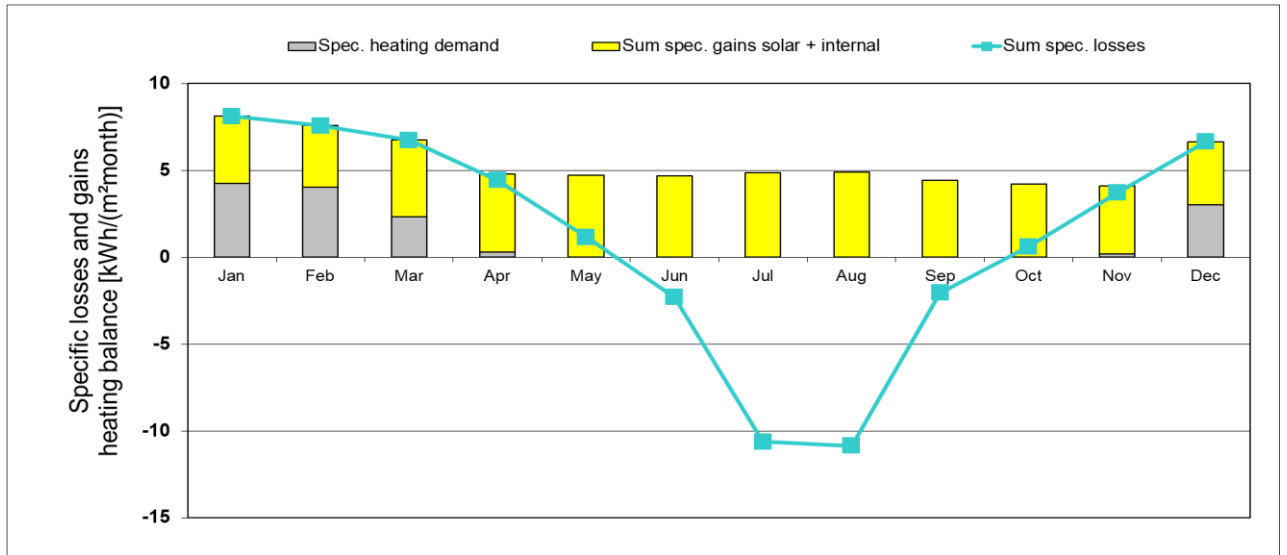
Εικόνα 7.21: Σχεδιασμός συστήματος αερισμού και διαστασιολόγηση παροχής αέρα ανά χώρο

Η κατανάλωση του συστήματος μηχανικού αερισμού ανέρχεται σε **1.244 kWh** το χρόνο.

### Ενεργειακό ισοζύγιο σε περίοδο θέρμανσης

Αφού εισάγουμε τα στοιχεία του κελύφους, μπορούμε να δούμε τα κέρδη και τις απώλειες και να αποκτήσουμε μια εικόνα για το τι θα πρέπει να βελτιωθεί. Στο κτίριο μας έχουμε απώλειες κυρίως από τρία σημεία: 1) Εξωτερική τοιχοποιία 2) Πλάκα εδάφους 3) Κουφώματα

Αντίθετα, θερμικά κέρδη έχουμε εξαιτίας των εσωτερικών δραστηριοτήτων και της απαίτησης για θέρμανση. Αναλυτικά μπορούμε να το δούμε στα παρακάτω γραφήματα. Τα γραφήματα παρουσιάζουν το ενεργειακό ισοζύγιο με ετήσια και μηνιαία μέθοδο.



Εικόνα 7.22,7.23: Ενεργειακό ισοζύγιο σε περίοδο θέρμανσης με τη μηνιαία και την ετήσια μέθοδο

## Φυσικός δροσισμός

Επιτυγχάνεται μέσω του διαμπερούς αερισμού του κτιρίου μεταξύ διαφορετικών επιπέδων. Η ικανότητα ψύξης του κτιρίου κατά τη διάρκεια της νύχτας ενισχύεται από τα αρκετά ανακλινόμενα παράθυρα, αλλά και από τον κενό χώρο μεταξύ ισογείου και φωταγωγού οροφής, ο οποίος επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση αέρα μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων.

Το ότι είναι δημόσιο κτίριο, που δε διαμένουν χρήστες, μας επιτρέπει να έχουμε αρκετά παράθυρα σε ανάκληση, Κάθε παράθυρο έχει διαφορετική γωνία ανάκλησης ανάλογα με τη θέση του, τον κίνδυνο από μικρά ζώα και την εισροή σκόνης. Στο RHPP, οι παραπάνω υπολογισμοί έγιναν με προσοχή και ακρίβεια για κάθε παράθυρο και έτσι κατά τη διάρκεια της νύχτας γίνονται **2,44 ACH**, με φυσικό τρόπο.

Θα τοποθετηθεί αυτοματισμός για συγκεκριμένες ώρες τις ημέρας και με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε το δροσισμό του κτιρίου κάθε μέρα ξεχωριστά.

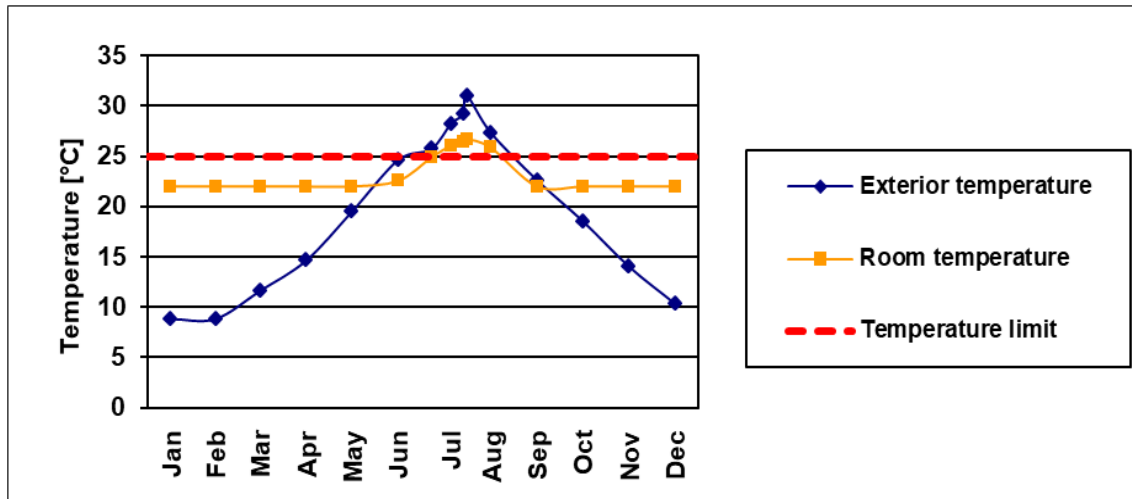
### Secondary calculation: Additional night ventilation for cooling

Air change value during additional window night ventilation

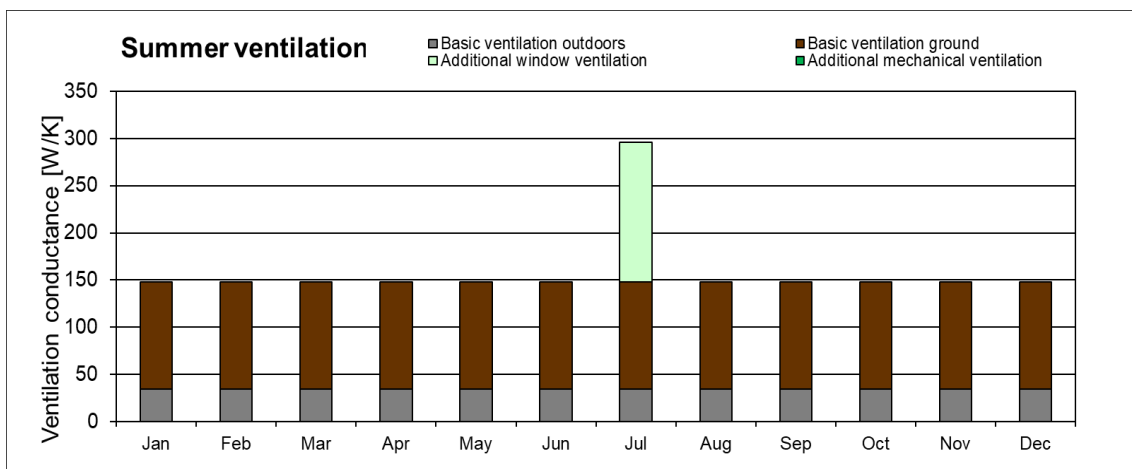
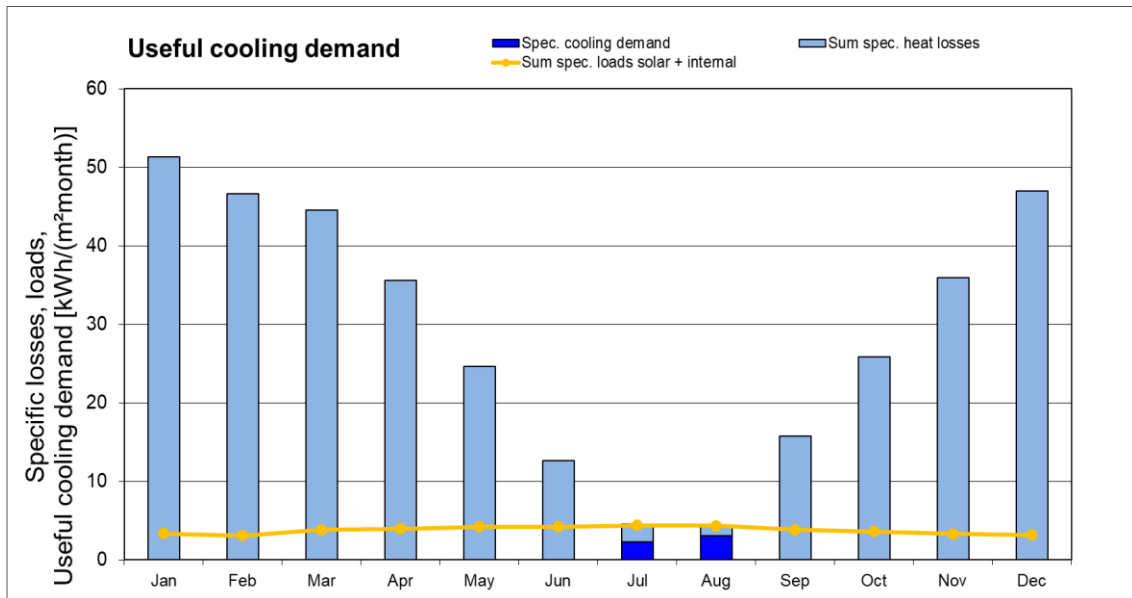
Description							
Reduction factor							
<b>Climate boundary conditions</b>							
Temperature diff interior - exterior	1	1	1	1	1	1	K
Wind velocity	0	0	0	0	0	0	m/s
<b>Window group 1</b>							
Quantity	9	1	2	1			
Clear width	0,85	2,40	1,20	2,40			m
Clear height	0,36	1,20	1,90	1,20			m
Tilting window (check if appropriate)	x	x	x	x			
Opening width (for tilting windows)	0,150	0,150	0,150	0,150			m
<b>Window group 2 (cross ventilation)</b>							
Quantity	1	1	2	1			
Clear width	1,80	2,40	1,20	2,40			m
Clear height	0,75	3,26	1,90	3,26			m
Tilting window (check if appropriate)	x	x	x	x			
Opening width (for tilting windows)	0,150	0,150	0,150	0,150			m
Difference in height to window 1	8,00	8,00	4,00	4,00			m
<b>Result: Night ventilation values</b>							<b>Total</b>
	0,59	0,70	0,66	0,49	0,00	0,00	<b>2,44</b> 1/h

Εικόνα 7.24: Αναλυτικός υπολογισμός νυχτερινού αερισμού

Να τονίσουμε ότι ο κίνδυνος υπερθέρμανσης του κτιρίου είναι κατά τη διάρκεια το Ιουλίου και του Αυγούστου, μήνες τους οποίους (από 15 Ιουλίου) το κτίριο δε λειτουργεί. Κάτι το οποίο διακρίνουμε στο παρακάτω γράφημα, στο οποίο φαίνεται ότι η θερμοκρασία του κτιρίου παραμένει σταθερή στα όρια της θερμικής άνεσης, εκτός από τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, όπου υπάρχει η πιθανότητα να ξεπεράσει τους 25°C.



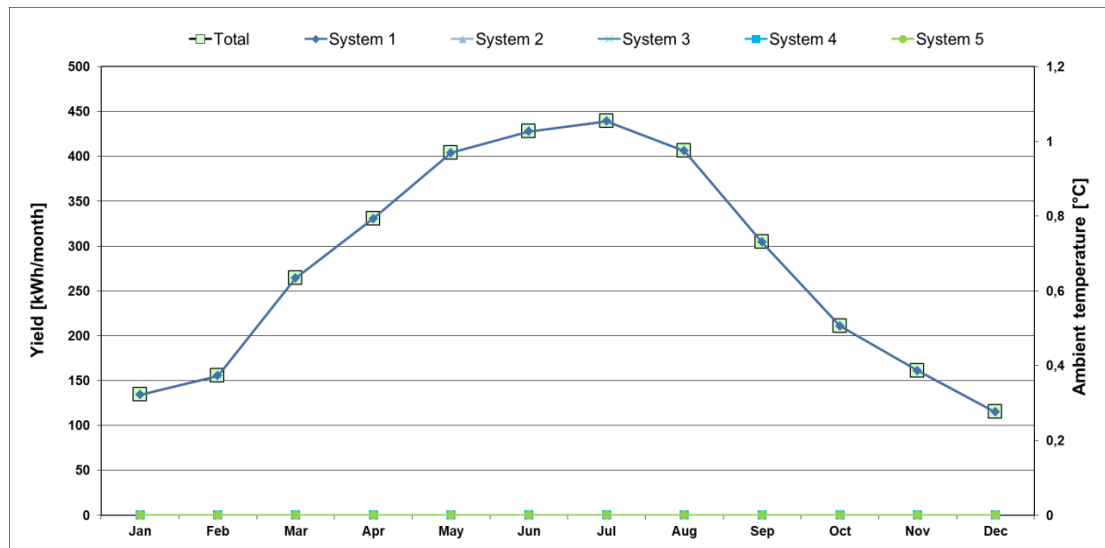
Εικόνα 7.25: Μηνιαίοι δείκτες εξωτερικής θερμοκρασίας και θερμοκρασίας δωματίου για το κτίριο ορυκτολογίας



Εικόνα 7.26 7.27: Απαίτηση για ψύξη τους καλοκαιρινούς μήνες

## A.Π.Ε.

Για να ελαχιστοποιήσουμε ακόμα περισσότερο το κόστος των καταναλώσεων θα τοποθετήσουμε μονοκρυσταλλικά πάνελα φωτοβολταϊκών 22 τ.μ. στην κεκλιμένη στέγη της οροφής, η οποία έχει νοτιοδυτικό προσανατολισμό. Κάτι το οποίο θα αποφέρει κέρδος **3.352 kWh το χρόνο**. Η απόδοση του συστήματος φαίνεται στο παρακάτω γράφημα.

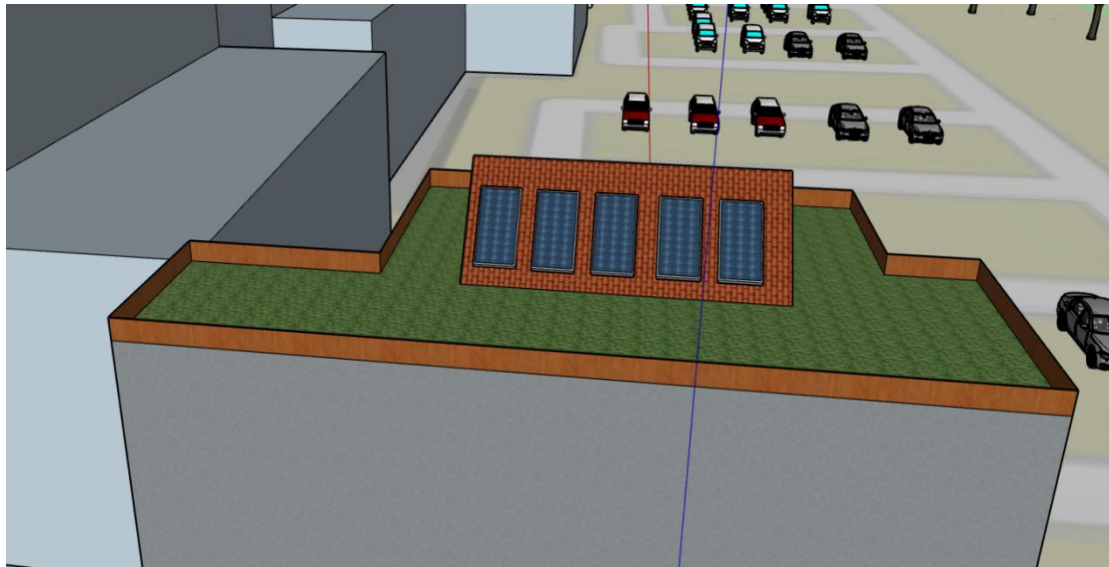


Εικόνα 7.28: Απόδοση Φ/Β ανά μήνα

Name of system	System 1	System 2	System 3	System 4	System 5	Reference PV syst
Location: Selection in 'Areas' worksheet	26-Inclined roof					
Size of selected area	22,4					m <sup>2</sup>
Deviation from North	271,7					°
Angle of inclination from horizontal	44,6					°
Alternative input: Deviation from North						°
Alternative input: Angle of inclination from the horizontal						°
<b>Information from the module data sheet</b>	4-Mono-Si					
Technology	4-Mono-Si					4-Mono-Si
Nominal current	7,71					7,71 A
Nominal voltage	30,50					30,50 V
Nominal power	235	0	0	0	0	235 Wp
Temperature coefficient short-circuit current	0,040					0,040 %/K
Temperature coefficient open-circuit voltage	-0,340					-0,340 %/K
Module dimensions: Height	1,658					1,658 m
Module dimensions: Width	0,994					0,994 m
						1,6 Module area [m <sup>2</sup> ]
<b>Further specifications</b>	12					
Number of modules	12					0,0
Height of module array	1,0					m
Height of horizon	0,0					m
Horizontal distance	1000,0					m
Additional reduction factor shading						
Efficiency of the inverter	95%					95%
<b>Results</b>	19,8					
Area of module field	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0 m <sup>2</sup>
Free area on the selected building element	2,6					m <sup>2</sup>
Allocation to building element	88%					
Annual losses due to shading	0					kWh
<b>Annual electricity yield after the inverter, absolute</b>	3352					3352 kWh/a
Related to projected building footprint area	20,0					20 kWh/m <sup>2</sup> A <sub>projected</sub> *a

Εικόνα 7.29: Λεπτομέρειες Φ/Β και εισαγωγή δεδομένων στο PHPP





Εικόνα 7.30: Εικόνα Φ/Β συστήματος

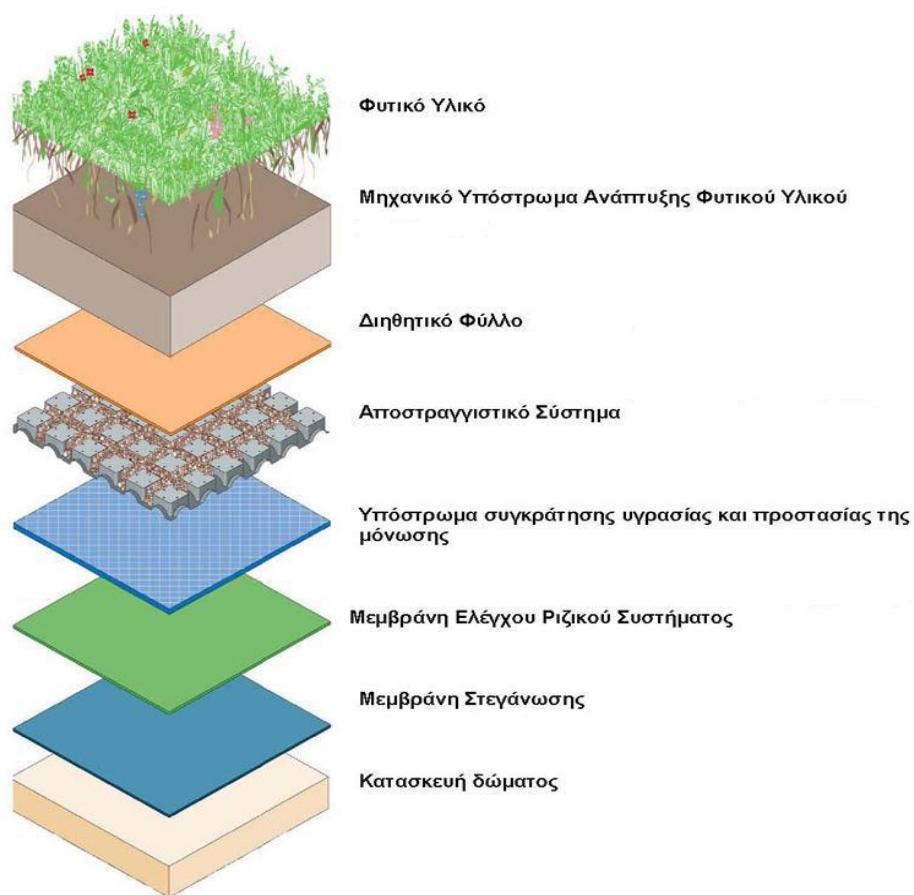
Επίσης προτείνεται να δημιουργηθεί στη στέγη του κτιρίου ένα πράσινο δώμα για λόγους δροσισμού και βελτίωσης του εξωτερικού περιβάλλοντος. Στη θερμοπερατότητα της στέγης δε συνεισφέρει σημαντικά.



Εικόνα 7.31: Εικόνα πράσινου δώματος

Η σημασία του φαινομένου του δροσισμού των φυτεμένων στεγών το καλοκαίρι, που εξασφαλίζει ένα ισορροπημένο εσωτερικό περιβάλλον, είναι μεγαλύτερη από αυτή της θερμομονωτικής λειτουργίας του χειμώνα. Επανελημμένα, διαπιστώθηκε ότι με μια εξωτερική θερμοκρασία αέρα άνω των 30°C, η θερμοκρασία κάτω από το χώμα του φυτεμένου δώματος δεν ξεπερνά τους 20°C. Αυτό οφείλεται αφενός στο ότι η ηλιακή ακτινοβολία δε θερμαίνει το χώμα λόγω του σκιασμού της βλάστησης και αφετέρου, στο ότι η ηλιακή ενέργεια καταναλώνεται διαρκώς λόγω της εξάτμισης του νερού, της ανάκλασης και της απορρόφησης για τη φωτοσύνθεση.

Η δομή της φυτεμένης στέγης παρουσιάζεται αναλυτικά στην παρακάτω εικόνα



Εικόνα 7.32: Δομή φυτεμένης στέγης [33]

## Καταναλώσεις

Οι καταναλώσεις για ηλεκτρικό ρεύμα (όχι για θέρμανση/ψύξη) υπολογίστηκαν από το RHPP με βάση τη γενική προσέγγιση, κατά την οποία το κτίριο λειτουργεί 9.00 – 17.00 και περιέχει: 6 υπολογιστές και οθόνες, 2 φωτοτυπικά, 1 σέρβερ και 2 ψυγεία, ενώ ο φωτισμός υπολογίστηκε να λειτουργεί κανονικά σε όλες τις ώρες λειτουργίας.

Office equipment	Room category		Quantity	Power consumption [W]	Utilisation hours per year [h/a]	Relative absenteeism	Duration of utilisation in energy saving mode [h/a]	Useful energy (kWh/a)
	Within the thermal envelope [1/0]	Existing [1/0]						
PC 1	1.	1	3	80	2000	0,5		240
PC in energy saving mode		1	3	2,0	2000	0,5		6
Monitor 1	1.	1	3	28	2000	0,5		84
Monitor in energy saving mode		1	3	2,0	2000	0,5		6
PC 2	2.	1	3	80	0	0		0
PC in energy saving mode		1	3	2,0	0	0		0
Monitor 2	2.	1	3	28	0	0		0
Monitor in energy saving mode		1	3	2,0	0	0		0
Copier	1.	1	1	400	2000		16	794
Copier in energy saving mode		1	1	30	16			0
Printer	2.	1	1	300	0		16	-5
Printer in energy saving mode		1	1	2	16			0
Server	1.	1	1	100	2000			200
Server in energy saving mode		1	1	2,0	8760		2000	14
Telephone system		1	1	94	8760			823
								0
								0
								0
								0

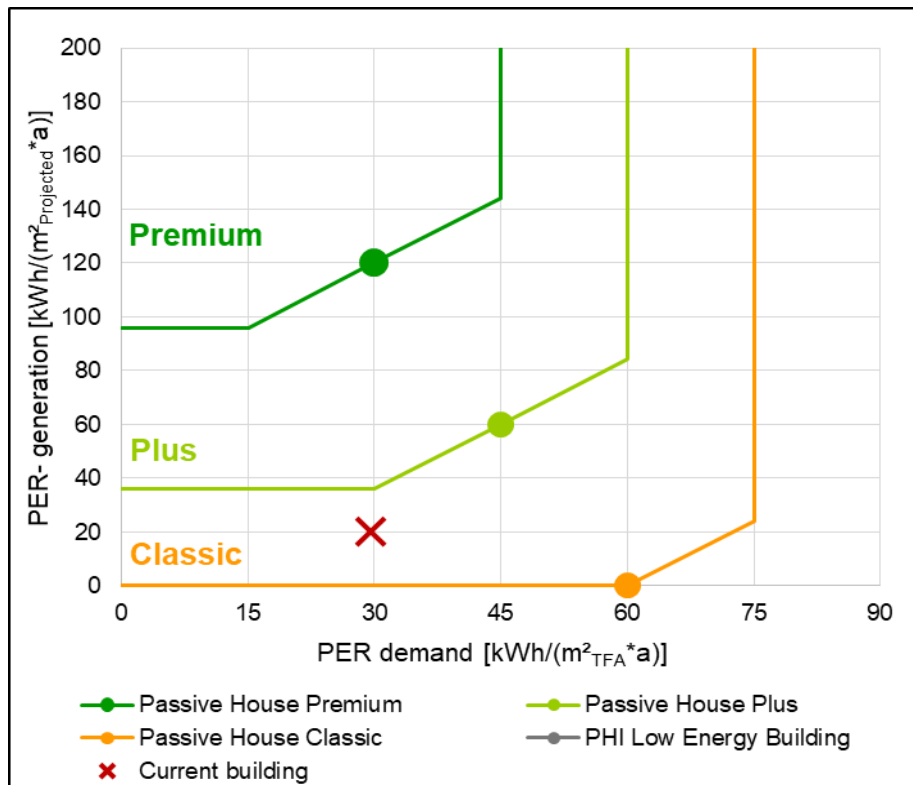
Εικόνα 7.33: Ηλεκτρικές συσκευές και αντίστοιχες καταναλώσεις

Συνολικά, το κτίριο μας καταναλώνει, βάσει των υποθέσεων μας, 6.548 kWh το χρόνο, ενώ παράγονται 3.352 kWh το χρόνο. Συνεπώς η τελική κατανάλωση είναι **3.196 kWh/a**.

Summary	Final energy	PER specific value	PE value	CO <sub>2</sub> eq emissions	CO <sub>2</sub> eq substitution balance
Though, from the scientific point of view, not entirely correct, different energy carriers will be added together here. This is done to meet the criteria of other energy standards.	MWh/a	MWh/a	1-PE factors (non-renewable) PHI Certification MWh/a	1-CO <sub>2</sub> factors GEMIS (Germany) kg/a	1-CO <sub>2</sub> factors GEMIS (Germany) kg/a
<b>Demand</b>	6,548	8,0	17,03	3484	3484
<b>Generation</b>	-3,352	-3,4	0,00	436	-1348
<b>Demand, cumulative generation (annual balance)</b>	3,196	4,60	17,03	3919	2136
<b>Demand w/o household electricity</b>	2,8	3,5	7,30	1494	1494
<b>Demand w/o household electricity, cum. generation</b>	-0,54	0,12	7,30	1929	146

Εικόνα 7.34: Τελικές καταναλώσεις στο φύλλο εργασίας PER

Η ενεργειακή κλάση του κτιρίου σχετικά με την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας είναι “Passive House Classic”. Θα μπορούσε να είναι και “Plus”, εάν προσθέταμε Φ/Β στη στέγη του κτιρίου. Ο λόγος που δεν προσθέσαμε είναι ότι ο στόχος της εργασίας είναι να δείξει ότι μόλις 20 τ.μ. Φ/Β πάνελ, μπορούν να καλύψουν το μισό της ανάγκης του κτιρίου για ενέργεια το χρόνο.



Εικόνα 7.35: Ενεργειακή κλάση του κτιρίου

Αν θέλουμε να μιλήσουμε με ευρώ, τότε η ετήσια κατανάλωση του κτιρίου μας κοστίζει:  $3.196 \text{ kWh} \times 0,18 \text{ € / kWh} = \mathbf{575,28 \text{ € το χρόνο}}$ .

### 7.3 Σύγκριση

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του συμβατικού και του παθητικού κτιρίου έχει εμφανή αποτελέσματα σε τρεις παραμέτρους: 1) Ενεργειακή απόδοση 2) Οικονομικό όφελος 3) Ποιότητα ζωής

#### 1. Ενεργειακή απόδοση

Η διαφορά στην ενεργειακή απόδοση είναι χαοτική, αν αναλογιστούμε τις απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη.

Συμβατικό Κτίριο (ΣΚ):

- Απαίτηση για θέρμανση και ψύξη: **50.116 kWh το χρόνο**
- Απαίτηση για πρωτογενή ενέργεια: **363 kWh/m<sup>2</sup> το χρόνο.**

Παθητικό Κτίριο (ΠΚ):

- Απαίτηση για θέρμανση και ψύξη: **3.752 kWh το χρόνο**
- Απαίτηση για πρωτογενή ενέργεια: **63 kWh/m<sup>2</sup> το χρόνο.**

Συνεπώς το ΠΚ καταναλώνει το 7,49% της ενέργειας κατανάλωσης του ΣΚ.



Εικόνα 7.36: Κατηγορίες ανάλογα με την ενεργειακή απόδοση

## 2. Οικονομικό όφελος

Το κόστος κατασκευής ενός νεόδμητου ΠΚ και ενός νεόδμητου ΣΚ σε πολλές περιπτώσεις είναι το ίδιο. Στη δική μας περίπτωση της ενεργειακής αναβάθμισης, έχουμε μια περίπτωση επένδυσης σε συνάρτηση με το χρόνο αποπεράτωσης της επένδυσής μας. Χωρίς να έχει γίνει οικονομοτεχνική ανάλυση, το συγκεκριμένο κτίριο λόγω γεωμετρίας και επιφάνειας κουφωμάτων δεν απαιτεί υψηλό κόστος. Παρ' όλα αυτά δε μπορούμε να καθορίσουμε συγκεκριμένο ποσό και χρόνο θεωρητικά. Θα παραθέσουμε, μόνο, ένα ενδεικτικό ετήσιο κόστος λειτουργίας των δυο κτιρίων.

Ετήσιο κόστος:

ΣΚ:  $52.916 \text{ kWh} \times 0,18 \text{ € / kWh} = \mathbf{9.524,88 \text{ € το χρόνο}}$

ΠΚ:  $3.196 \text{ kWh} \times 0,18 \text{ € / kWh} = \mathbf{575,28 \text{ € το χρόνο}}$

Συνεπώς το ΠΚ καταναλώνει το 6,04% του κόστους κατανάλωσης του ΣΚ.

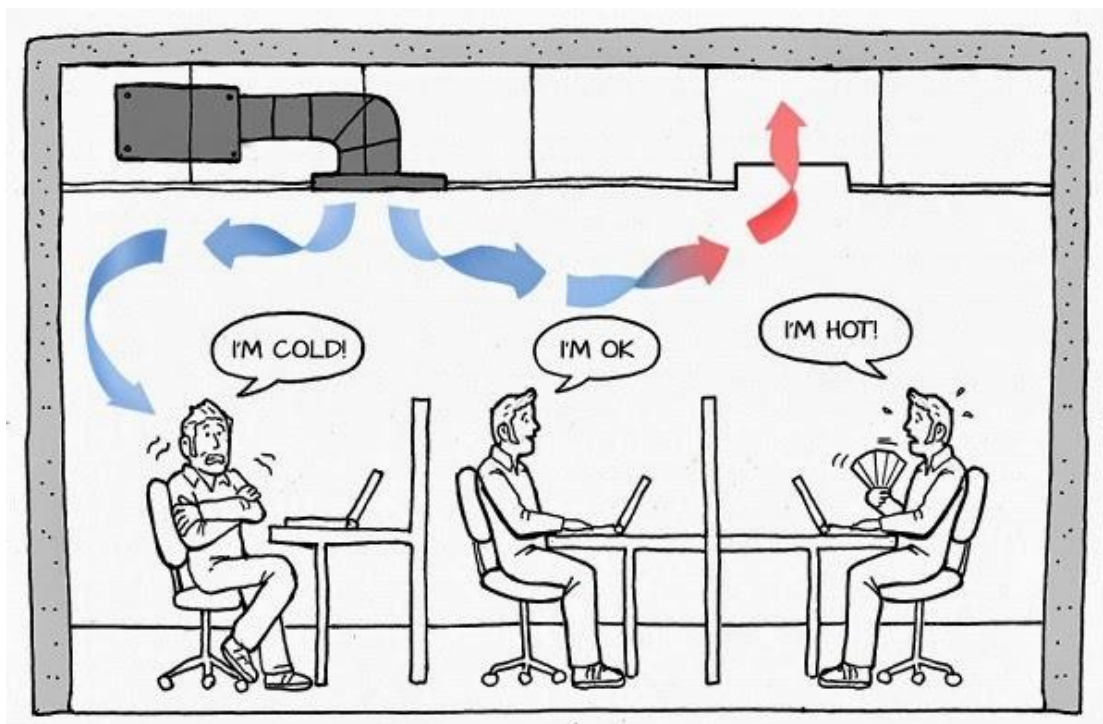




Εικόνα 7.37: Εξοικονόμηση χρημάτων

### 3. Ποιότητα ζωής

Βασικό χαρακτηριστικό είναι η θερμική άνεση. Το ΠΚ διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία ανάμεσα στους 20-25°C σε όλους τους χώρους του κτιρίου, σε αντίθεση με ένα συμβατικό στο οποίο θερμαίνονται ή ψύχονται («βίαια») μονομερώς οι χώροι λειτουργίας του. Η ποιότητα ζωής, μπορεί, επίσης, να μετρηθεί, μέσω των στοιχείων της ατμόσφαιρας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Παρ' όλα αυτά η ειδοποιός διαφορά θα φανεί μόνο σε χρήστες, στους οποίους το εσωτερικό περιβάλλον οποιουδήποτε ΣΚ θα τους φαίνεται τοξικό. Στο ΠΚ φαινόμενα όπως αυτά των κρύων ποδιών εξαλείφονται, καθώς όλα τα δομικά στοιχεία έχουν πολύ μικρές θερμοκρασιακές διαφορές.



Εικόνα 7.38: Σωστές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος

## Κεφάλαιο 8

### Σύνοψη αποτελεσμάτων

Η συγκεκριμένη μελέτη βελτιστοποίησης του υπάρχοντος κτιρίου, αναδείχθηκε από μια σειρά πιθανών λύσεων αναβάθμισης και προέκυψε έπειτα από αναλυτική επεξεργασία όλων των παραγόντων που συντελούν στο κτίριο, υπό το πρίσμα της ενεργειακής αποδοτικότητας. Ο σχεδιασμός της ριζικής ανακαίνισης του υφιστάμενου κτιρίου σε αυτά τα πρότυπα, απέφερε εξαιρετικά αποτελέσματα. Το συγκεκριμένο κτίριο, απέδειξε πως μπορεί να επιτευχθεί το πρότυπο του ΠΚ, με γνώμονα το λογισμικό PHPP & DesignPH, τη βέλτιστη σχέση κόστους – οφέλους και τη συνειδητή λειτουργία του από τους χρήστες. Η επίγνωση και η συνείδηση των χρηστών του υπό μελέτη κτιρίου αποτελεί σημαντική εγγύηση για τη συνεχή εξασφάλιση του προτύπου ΠΚ.

Κύριο μέλημα της μελέτης, ήταν η ελαχιστοποίηση της απαίτησης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη. Κάτι το οποίο επιτεύχθηκε με τη σωστή μόνωση και αεροστεγανότητα του κελύφους. Η πιο σημαντική παράμετρος για την ετήσια ζήτηση σε θέρμανση είναι η θερμική προστασία των αδιαφανών εξωτερικών δομικών στοιχείων. Συχνά θεωρείται, ότι η αύξηση του επιπέδου θερμικής προστασίας οδηγεί σε αυξημένα προβλήματα υπερθέρμανσης το καλοκαίρι. Κάτι το οποίο δεν ισχύει, καθώς η πιθανότητα υπερθέρμανσης οφείλεται κυρίως στα ηλιακά θερμικά κέρδη. Έτσι, επιλέχθηκαν υαλώσεις με χαμηλή τιμή g, ενώ τοποθετήθηκαν σκίαστρα τα οποία λειτουργούν τις ώρες αιχμής.

Ακόμα, το γεγονός αυτό εξηγείται από τη δυνατότητα του κελύφους να συγκρατεί τη θερμική μάζα εσωτερικά του κτιρίου κρατώντας την ψύξη λόγω του νυχτερινού αερισμού και ελαχιστοποιώντας τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Ένα τέτοιο κτίριο, μπορεί να διατηρηθεί δροσερό πιο εύκολα από άλλα κτίρια με λιγότερο πάχος μόνωσης. Με τη λογική συμπεριφορά των χρηστών, η καλύτερη θερμική προστασία συμβάλει στην κατακόρυφη βελτίωση της άνεσης τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι.

Μόνο χρησιμοποιώντας τις πέντε βασικές αρχές του ΠΚ και την τοποθέτηση 5 Φ/Β πάνελ, η κατανάλωση και το κόστος λειτουργίας σε σχέση με το ΣΚ μειώθηκαν κατά 93,3%.

Τέλος, στο κτίριο μας δε χρησιμοποιήθηκε κανένα ενεργητικό σύστημα ψύξης. Τοποθετήθηκε μια αντλία θερμότητας αέρος – αέρος για την θέρμανση, ενώ για την ψύξη έγινε πολύ καλός σχεδιασμός σκίασης και σωστός συνδυασμός νυχτερινού δροσισμού και μηχανικού αερισμού με τη βοήθεια γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας.



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία στόχευσε στην ανάδειξη των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας και των πλεονεκτημάτων τους στον τομέα της διαχείρισης της ενέργειας που καταναλώνεται στον κτιριακό τομέα. Η εργασία χωρίστηκε σε δύο μέρη, το θεωρητικό και το πρακτικό. Στο θεωρητικό παρουσιάστηκαν τα περιβαλλοντικά δεδομένα και προβλήματα που αντιμετωπίζουμε και η σημασία της ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων. Επίσης, αναλύθηκε ο σχεδιασμός των ΠΚ με βάση τον οποίο προχωρήσαμε στην υλοποίηση της μελέτης του δεύτερου μέρους. Στο πρακτικό μέρος, επιλέχθηκε το κτίριο ορυκτολογίας του ΕΜΠ, το οποίο μοντελοποιήθηκε στο πρότυπο του ΠΚ με χρήση των λογισμικών PHPP & DesignPH.

Αρχικά, συμπεραίνουμε ότι εν έτη 2019 το ελληνικό κράτος είναι πολύ πίσω ως προς τη μείωση της ενεργειακής φτώχειας, ως προς της πρακτικές για την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, αλλά βασικά ως προς τον σωστό ορισμό του ΚΣΜΚΕ (NZEB) ο οποίος είναι πολύ μακριά από τους στόχους για την ενέργεια του προτύπου ΠΚ και τους ορισμούς για τα ΚΣΜΚΕ άλλων χωρών. Από το 2019 υπάρχει ευρωπαϊκή οδηγία για την υποχρεωτική κατασκευή όλων των δημοσίων κτιρίων στο πρότυπο NZEB και από το 2021 ισχύει και για τα νεόδμητα ιδιωτικά κτίρια. Ακόμη, το λογισμικό ενεργειακής απόδοσης κτιρίων του ΚΕΝΑΚ είναι πλέον απαρχαιωμένο και δεν έχει καμία σχέση με εφάμιλλα λογισμικά άλλων χωρών τα οποία είναι στα πρότυπα του PHPP ή του EnergyPlus.

Παρ' όλα αυτά, σύμφωνα με έρευνες, το 85% των ήδη υπαρχόντων κτιρίων θα υπάρχει και το 2050 και αφού δε γίνεται να κατεδαφιστούν, θα πρέπει να βελτιωθούν ενεργειακά. Συνεπώς, ο κλάδος της κατασκευής, θα πρέπει να στραφεί στα υφιστάμενα κτίρια πρωτίστως.

Μέσα σε αυτές τις συνθήκες, η ελληνική πολιτεία έχει τη μεγαλύτερη ευθύνη για την εφαρμογή των απαραίτητων μεταρρυθμίσεων που θα επιτρέψουν στον παθητικό σχεδιασμό να αποτελέσει δυναμικό μέρος της αγοράς ενέργειας. Εκτός όμως από την ευθύνη της πολιτείας, είναι χρέος του συνόλου των μηχανικών και λοιπών επιστημόνων που ασχολούνται επαγγελματικά με τον ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίων, να καταρτίζονται συνεχώς σε εκείνες τις ιδέες που μπορούν να υλοποιήσουν το βέλτιστο ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίων, με εκμετάλλευση των αρχών του παθητικού σχεδιασμού. Αυτό απαιτεί αναθεώρηση και βελτίωση των προγραμμάτων σπουδών και των εξετάσεων πιστοποίησης που αφορούν τους ενεργειακούς επιθεωρητές, ώστε οι ενεργειακοί μηχανικοί που πιστοποιούνται, να διαθέτουν την επαρκή γνώση και κατάρτιση, να διενεργούν μελέτες και να σχεδιάζουν κτίρια με βάση τις σωστές αρχές ενεργειακού σχεδιασμού.

Τα πλεονεκτήματα που αποδείχθηκε πως προσφέρει ένα ΠΚ δεν αρκούν από μόνα τους για να εφαρμοστούν οι αρχές του. Είναι ανάγκη όλοι οι φορείς της αγοράς του δημοσίου και ιδιωτικού τομέα να συνεισφέρουν πρακτικά ώστε το πρότυπο του

ΠΚ και οι αρχές του να γίνουν ευρέως γνωστά στο αγοραστικό κοινό και να κερδίσουν πρόσφορο έδαφος στην αγορά ενέργειας. Η ενίσχυση και η ανάδειξη του ΠΚ σε μια από τις κυρίαρχες τάσεις της αγοράς απαιτεί την υπέρβαση των προβλημάτων που έχουν τεθεί με τις λύσεις που έχουν προταθεί και με την προσαρμογή των φορέων που ασχολούνται με τον ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίων στις ανάγκες της αγοράς και την αγοραστική δύναμη του καταναλωτικού κοινού.

Όσον αφορά το σχεδιασμό των Παθητικών Κτιρίων, είδαμε ότι δε βασίζεται σε ακριβά υλικά ή καινοτομίες της εποχής, αλλά στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική και στις αρχές της φυσικής των κτιρίων. Είναι ένα πρότυπο, το οποίο συνδυάζει αρμονικά τις έννοιες τις φυσικής και τις ιδιότητες των υλικών και επιτυγχάνει ένα εξαιρετικό αποτέλεσμα. Το επιπλέον κόστος έγκειται στον αναλυτικότερο σχεδιασμό του κτιρίου και όχι στα υλικά που θα χρησιμοποιήσουμε.

Τέλος, τονίζεται επίσης η αξία της βιοκλιματικής φιλοσοφίας και της γενικότερης οικολογικής αντίληψης. Η αγάπη για το περιβάλλον πρέπει να γίνει κτήμα και να υιοθετηθεί ως νοοτροπία και στάση ζωής. Βασικό ρόλο προς αυτή την κατεύθυνση παίζει, όπως προείπαμε, η σωστή ενημέρωση και εκπαίδευση του κοινού από τους αρμόδιους φορείς, ώστε ο κόσμος να εξοικειωθεί με τις παραμέτρους και τα πλεονεκτήματα της «πράσινης» αντίληψης. Τα οφέλη που προκύπτουν από μια τέτοια αντιμετώπιση είναι πολυάριθμα και το σίγουρο είναι ότι η ενασχόληση μας με τη φύση μπορεί να αναβαθμίσει την ποιότητα ζωής σε περιβαλλοντικό, αισθητικό και οικονομικό επίπεδο.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **W. Feist**, Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser. Darmstadt 2001
2. **W. Feist**, Passivhauskurs. [www.passivhauskurs.de](http://www.passivhauskurs.de)
3. **Wolfgang Feist**, 15 jähriges Jubiläum für das Passivhaus Darmstadt - Kranichstein, Internetpublikation, Darmstadt 2006
4. **Wolfgang Feist**, Wohnbauten mit Stahltragwerk als Niedrigenergie- oder Passivhäuser - Anforderungen an die Gebäudehülle, NRW-Stahlbau-Kongress, 2006
5. **Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser 25**, Temperaturdifferenzierung in der Wohnung. Passivhaus Institut, Darmstadt 2004.
6. **EN ISO 7730**, Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005); Deutsche Fassung EN ISO 7730:2005
7. **Fanger, P.O.**, Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering, USA: New York 1972, © P.O Fanger 1970
8. **IG PH 2003 – 2008 IG Passivhaus Deutschland**, Aktiv für mehr Behaglichkeit: Das Passivhaus. Broschüre
9. **Passipedia**. The Passive House Report. [www.passipedia.org](http://www.passipedia.org)
10. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.**, The American Institute of Architects, Illuminating Engineering Society of North America, U.S. Green Building Council, U.S. Department of Energy. Advanced Energy Design Guide For K-12 School Buildings Achieving a Zero Energy Building 90% Technical Review Draft, 2014.
11. **2011 ASHRAE Annual Conference**, Sustainability knows no borders, 2011 Montreal.
12. **Assurance Quality**, US Passive House Planning, 2014.
13. **Axarli Kleio**, Energy planning and energy efficiency building - general principles of bioclimatic design, 2008.
14. **Britain G.**, Low-energy buildings in Europe, 2009.
15. **Camal Simon**, Practical implementations of step by-step-retrofit to EnerPHit standard, 2014.
16. Center for Renewable Energy Sources Ministry of Energy and Climate Change.
17. National Energy Efficiency Action Plan, 2014.
18. **Clancy Eoin**, Indoor air quality and ventilation, 2011.
19. **Deborah A Byrne**, Benefits , Pit-falls , Risks & Market Misconceptions, 2014.

20. **EURAC**, User habits, impact on energy consumption in passive houses. Results of a comprehensive long-term measurement, 2012.
21. **European Commission**, Sustainable buildings, 2015.
22. **Feist Wolfgang, Krick Benjamin**, Passive House Planning Package Version 8 (2013), 2013.
23. **Αθανασιάδου Μαριάννα**, Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων & Εφαρμογές, 2012.
24. **Αραβαντινός Δημήτρης**, Κατασκευαστικές λύσεις για τη θερμομονωτική επάρκεια κτιριακών κατασκευών σύμφωνα με τον KENAK, 2011
25. **Λάσκος Κωνσταντίνος**, Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης, 2014.
26. **Παθέας Πάυλος**, Τι γνωρίζετε για τα παθητικά κτίρια, 2016.
27. **ΠΑ.ΣΥ.ΔΙ.Π**, Κτίρια Χαμηλής και μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης με θερμομόνωση EPS, 2015
28. **Ανδρεαδάκη Ελένη**, Βιοκλιματικός σχεδιασμός. Περιβάλλον και βιωσιμότητα. 2006
29. **Τσιπήρας Θ.**, Οικολογική Αρχιτεκτονική, 2005
30. **Κοσμόπουλος Π.**, Κτίρια, ενέργεια και περιβάλλον, 2008
31. **Σταυρακάκη Μ.**, Ανάλυση φαινομένου ψυχρής νησίδας σε αστικά πάρκα, 2017
32. **Πετούσης Ε.**, Τα παθητικά κτίρια και η συμβολή τους στη βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού των ελληνικών κτιρίων, 2015
33. **Κακούρης Ε.**, Ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου Φυσικής ΕΜΠ με βιοκλιματικά κριτήρια, 2012
34. **Υπουργείο εργασίας**, Κώδικας πρακτικής για ποιότητας αέρα εσωτερικού χώρου, 2014
35. **Κοροβέση Α., Μεταξά Κ., Τουλουπάκη Ε., Χρυσόγελος Ν.**, Ενεργειακή φτώχεια στην Ελλάδα, 2017
36. **Νικολούδης Σ.**, Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παραδοσιακή αρχιτεκτονική, 2013
37. **Πανός Ε.**, Έρευνα για την ενεργειακή φτώχεια στην Ελλάδα, 2012
38. **Θωμά Γ.**, Μέθοδος υπολογισμού συντελεστών θερμοπερατότητας και αποτελεσματικής θερμοχωρητικότητας
39. **Γαλογαυράς Ν.**, Επιλέγοντας θερμομονωτικά υλικά
40. **Αραβαντινός Δ.**, Θερμογέφυρες & θερμομονωτική προστασία των κτιρίων, 2014
41. **Σταμπούλογλου Ι.**, Βιοκλιματικές επεμβάσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας σε μικρή εξοχική κατοικία, 2011
42. **Ζαχαράκη Ε., Ζούπα Ε.Δ.**, Βελτιστοποίηση της Ενεργειακής Απόδοσης Υφιστάμενου Παθητικού Κτιρίου με τη χρήση του λογισμικού PHPP, Πάτρα 2018
43. **Βαταβάλη Φ., Χατζηκωνσταντίνου Ε.**, Χαρτογραφώντας την ενεργειακή φτώχεια στην Αθήνα της κρίσης, Αθήνα 2016

44. 2013, [https://climate.nasa.gov/climate\\_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/](https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/)
45. NASA Goddard Space Flight Center
46. NASA/GISS, NASA Scientific Visualization Studio
47. Ice mass measurement by NASA's GRACE satellites
48. [www.blueplanetheart.it](http://www.blueplanetheart.it)
49. [www.brighthub.com](http://www.brighthub.com)
50. [socratic.org](http://socratic.org), 2015
51. [www.bbc.com](http://www.bbc.com)
52. [bayareamonitor.org](http://bayareamonitor.org)
53. <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol>
54. <https://www.wri.org/blog/2014/11/6-graphs-explain-world-s-top-10-emitters>
55. [https://unfccc.int/essential\\_background/kyoto\\_protocol/items/6034.php](https://unfccc.int/essential_background/kyoto_protocol/items/6034.php)
56. [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/markets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/markets_en)
57. [https://icapcarbonaction.com/en/?option=com\\_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems%5B%5D=73](https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems%5B%5D=73)
58. [www.langconsulting.at](http://www.langconsulting.at) , Study on the Development of Passive House trends in Europe 2010-2021
59. [eipak.org](http://eipak.org)
60. **Roberto Iannetti**, Economical evaluation of refurbishment for a condominium in northern Italy, , International PH Conference Munich 2018
61. [phius.org](http://phius.org)
62. [web.tee.gr](http://web.tee.gr)
63. Lectures of M.Sc. TU Milan, Building Performance of Engineering, Prof. Roberto Iannetti
64. [sunearthtools.com](http://sunearthtools.com)
65. [passivistas.com](http://passivistas.com)
66. [idealclima.gr](http://idealclima.gr)
67. [www.metal.ntua.gr/?page\\_id=2921](http://www.metal.ntua.gr/?page_id=2921)
68. <http://www.pik-potsdam.de/~stefan/>
69. **IPCC 2007**, Schellnhuber 2008
70. **J. Lelieveld, J.S. Evans, M. Fnais, D. Giannadaki & A. Pozzer**, The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. NATURE International weekly journal of science

Ιδιαίτερες ευχαριστίες για την παροχή βιβλιογραφίας και τεχνογνωσίας στο Passive House Institute Dr. Wolfgang Feist και στο Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου.