



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

---

## Διπλωματική εργασία

---

**Εκπονητής:**

Κούβαρης Παναγιώτης

A.M: 2012050079

**Τίτλος**

---

## Ενεργειακός Σχεδιασμός Οικίας με Χρήση λογισμικού Revit

---

**Τριμελής Επιτροπή:**

Αν. Καθ. Κολοκοτσά Διονυσία (επιβλέπουσα)

Καθ. Τσούτσος Θεοχάρης

Καθ. Λαζαρίδης Μιχάλης

Αναπληρωματικός: Αν. Καθ. Παρθένιος Παναγιώτης

Χανιά, Ιούνιος 2019

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

# Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή .....	7
1.1.	Νομοθεσία .....	8
1.2.	Βιοκλιματικός σχεδιασμός – πρότυπα .....	9
1.3.	Σκοπός εργασίας .....	10
2.	Υπολογιστικά προγράμματα.....	11
2.1.	Building Information Modeling (BIM) .....	11
2.2.	Μοντελοποίηση κτιρίου – Autodesk Revit.....	12
2.2.1.	Ιστορική αναδρομή .....	12
2.2.2.	Μοντελοποίηση .....	13
2.3.	Ενεργειακοί υπολογισμοί – Insight 360.....	15
2.3.1.	Υπολογιστικά δεδομένα.....	15
2.3.2.	Υπολογιστικό Μοντέλο .....	16
3.	Βιοκλιματικός σχεδιασμός .....	20
3.1.	Στρατηγικές σχεδίασης .....	20
3.1.1.	Σχήμα – προσανατολισμός κτιρίου.....	20
3.1.2.	Άμεσο ηλιακό κέρδος.....	21
3.1.3.	Εξωτερικά κουφώματα .....	21
3.1.4.	Τοίχος θερμικής αποθήκευσης .....	23
3.1.5.	Στέγη θερμικής αποθήκευσης (Roof Pond) .....	24
3.1.6.	Σκίαση .....	25
3.1.7.	Αερισμός .....	26
3.1.8.	Βιοκλιματικό Διάγραμμα (Bioclimatic Chart) .....	27
4.	Ανάλυση Τοποθεσίας .....	31
4.1.	Ελλάδα .....	31
4.2.	Κρήτη.....	31
4.3.	Χανιά .....	32
4.4.	Ανάλυση Περιοχής ανοικοδόμησης.....	36
5.	Σχεδιασμός Οικίας.....	38
5.1.	Εισαγωγή.....	38
5.2.	Μελέτη προσανατολισμού .....	38
5.3.	Χωροταξία κτιρίου.....	40
6.	Μεθοδολογία .....	41
6.1.	Γενικά.....	41

6.2.	Μοντελοποίηση.....	41
6.2.1.	Συνθήκες κλιματισμού και θερμικά κέρδη .....	41
6.2.2.	Διαχωρισμός χώρων (Spaces) .....	43
6.2.3.	Περιγραφή θερμομονωτικών χαρακτηριστικών κτιρίου	
KENAK	47	
7.	Αποτελέσματα .....	50
7.1.	Εισαγωγή.....	50
7.2.	KENAK .....	50
7.3.	Ενεργειακή βελτίωση .....	53
8.	Συμπεράσματα.....	60

# Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η ευαισθητοποίηση σε θέματα ενεργειακής κατανάλωσης και κλιματικής αλλαγής και σε τρόπους άμβλυνσης του φαινομένου αυτού. Ένας τομέας σημαντικής ενεργειακής κατανάλωσης, είναι αυτός της θέρμανσης και του κλιματισμού. Πολλοί πλέον προβαίνουν σε ενέργειες οι οποίες θα μειώνουν την ενέργεια που καταναλώνει η οικία τους, πράγμα το οποίο έχει και συνάμα οικονομικό όφελος, καθώς τα έξοδα για τις ενεργειακές ανάγκες μειώνονται σημαντικά.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τον τομέα του βιοκλιματικού σχεδιασμού και συγκεκριμένα με τον ενεργειακό σχεδιασμό οικίας στην περιοχή Κουνουπιδιανά του νομού Χανίων με χρήση του λογισμικού Revit. Αρχικά γίνεται μικρή αναφορά στη νομοθεσία και στη συνέχεια αναφέρονται σχεδιαστικά πρότυπα που έχουν θεσπιστεί, όπως το Passive House Standard. Γίνεται ιστορική αναδρομή και περιγραφή της λειτουργίας του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε καθώς και αναφορά κάποιων βασικών αρχών λειτουργίας του. Στη συνέχεια αναλύεται η έννοια του βιοκλιματικού σχεδιασμού και περιγράφονται κάποιες στρατηγικές.

Στο κύριο κομμάτι της εργασίας, το πρώτο βήμα ήταν η κλιματική ανάλυση της τοποθεσίας ανοικοδόμησης. Η μελέτη αυτή έγινε προοδευτικά, ξεκινώντας από το κλίμα της Ελλάδας, συνεχίζοντας στην Κρήτη και των Χανίων. Όσον αφορά τον σχεδιασμό της οικίας, αρχικά έγινε ανάλυση προσανατολισμού με τη μέθοδο του mass model. Έπειτα σχεδιάστηκε η οικία ακολουθώντας τις απαιτήσεις του KENAK και έγινε ενεργειακή ανάλυσή της. Τέλος με βάση τα αποτελέσματα έγιναν ενεργειακές βελτιώσεις, και έγινε σύγκριση της κατοικίας κατά KENAK με την βελτιωμένη.

Σκοπός του παρόντος είναι η σχεδίαση οικίας, και η διαστασιολόγηση και ο σχεδιασμός συστημάτων μείωσης των αναγκών θέρμανσης και κλιματισμού. Πραγματοποιείται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στο σχεδιασμό με τη χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Revit. Ο απώτερος στόχος είναι η οικία αυτή να έχει την ελάχιστη δυνατή ενεργειακή κατανάλωση.

## Abstract

In the past few years, the awareness on energy consumption and climate change has been increased. Researchers are dealing with ways of mitigating this phenomenon. An area of significant energy consumption is heating and air conditioning of buildings. Many actions of reducing the energy which is consumed by buildings, has been taken in the past years. This also has economic benefit as energy costs are significantly reduced.

The present thesis deals with the field of bioclimatic design and specifically with the energy design of a house in Kounoupidiana of Chania using Revit software. Initially some reference is made to the legislation and then design standards

are listed ,such as the Passive House Standard .There is a historical overview and description of the operation of the software used and a reference to some basic principles of its operation .The concept of bioclimatic design is then analyzed and some strategies are described.

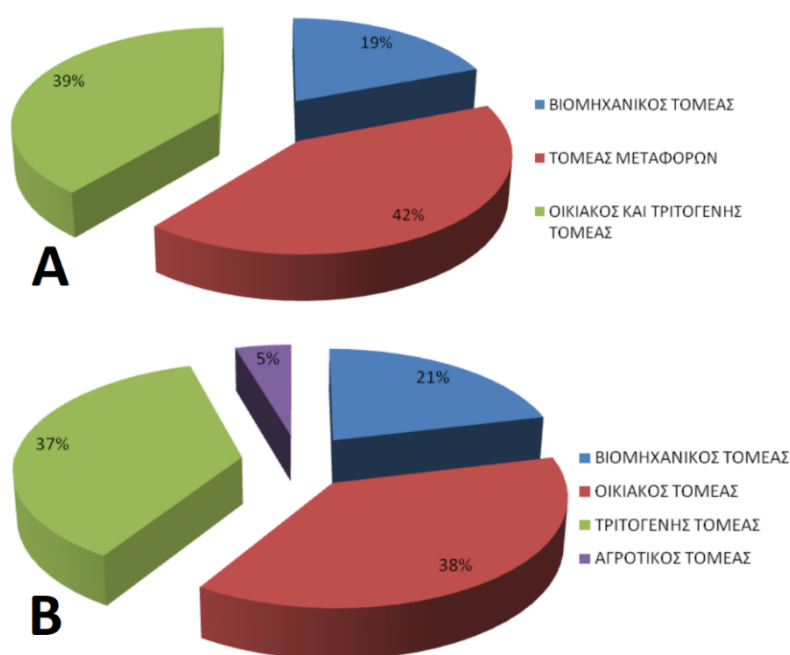
In the main part of the work ,the first step was the climate analysis of the site of reconstruction .This study was carried out progressively ,starting from the climate of Greece ,continuing in Crete and Chania .As far as the design of the house is concerned ,it was initially analyzed with the mass model method .Then the house was designed following the requirements of KENAK and its energy analysis was made .Finally ,based on the results ,energy improvements were made ,and a comparison between the residence following the requirements of KENAK and the improved one was made.

The purpose of this project is to design a house, which uses heating and air conditioning energy reduction strategies. An integrated approach is made using Revit BIM Design software. The ultimate goal is to approach the minimum possible energy consumption.

## 1. Εισαγωγή

Ένα συνεχώς διογκούμενο πρόβλημα της Ελλάδας, αλλά και κάθε χώρας, είναι η καλπάζουσα αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων της. Αυτή η αύξηση οδηγεί σε όξυνση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, ενώ ταυτόχρονα, έχουμε μία συνεχή ενεργειακή εξάρτηση από τρίτες χώρες.

Ο κτιριακός είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς κατανάλωσης ενέργειας. Στα παρακάτω διαγράμματα βλέπουμε ότι, για το 2016, σε επίπεδο συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, αντιστοιχεί στο 39% της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης, ενώ σε επίπεδο ηλεκτρικής, το 38% [B1].



**Εικ. 1.1:** Α) Κατανομή συνολικής ενέργειας ανά χρήση και Β) κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας ανά χρήση για το έτος 2016 [B1]

Γίνεται λοιπόν αντιληπτή η ανάγκη για άμεση ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων. Η αναβάθμιση αυτή θα έχει πολλαπλό όφελος, τόσο σε επίπεδο ατόμου, όσο και χώρας, αλλά και του περιβάλλοντος. Μία κατοικία χαμηλής κατανάλωσης, μπορεί να έχει ένα σχετικά μεγάλο αρχικό κόστος κατασκευής αλλά σε βάθος χρόνου η απόσβεση είναι βέβαιη. Η κτιριακή εξοικονόμηση ενέργειας, έχει όφελος και για τη χώρα η οποία καλείται να εισάγει λιγότερες πηγές ενέργειας (πχ καύσιμα). Κατά συνέπεια αυτό θα βελτιώσει και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, λόγω της μείωσης των εκπομπών ρύπων από τις μονάδες παραγωγής ενέργειας.

### **1.1. Νομοθεσία**

Η Ευρωπαϊκή Ένωση συμβάλει ενεργά, εκδίδοντας υποχρεωτικές οδηγίες προς τα κράτη μέλη για λήψη μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος και την αναστροφή της κλιματικής αλλαγής. Στόχος των νομοθετικών αυτών ρυθμίσεων είναι η σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και ενίσχυση της ενεργειακής αυτονομίας. Αναλυτικότερα οι στόχοι που τίθενται μέχρι το 2020 είναι γνωστοί σαν «20-20-20» δηλαδή [B1]:

- Μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε επίπεδα χαμηλότερα κατά 20% από αυτά του 1990
- Συμμετοχή των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%
- 20% εξοικονόμηση της πρωτογενούς ενέργειας μέσω βελτιώσεων της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων

Στην περίπτωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, εκδόθηκε η οδηγία 2002/91/EK που αφορά στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, με την οποία εναρμονίστηκε η Ελλάδα με τον νόμο 3661/2008. Στη συνέχεια, η οδηγία αυτή αντικαταστάθηκε από την 31/2010/EK και η χώρα μας εναρμονίστηκε με τον νόμο 4122/2013 [Σ11].

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, από την 1/1/2021, θα πρέπει όλα τα νέα ή ριζικώς ανακαινιζόμενα κτίρια, να είναι σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, και ειδικότερα τα κτίρια που στεγάζουν δημόσιες υπηρεσίες, θα πρέπει να πληρούν το κριτήριο αυτό από τη 1/1/2019. Εξαιρέση αποτελούν τα κτίρια για τα οποία η αναλογία κόστους/ οφέλους είναι μεγάλη, στα πλαίσια του λειτουργικού χρόνου ζωής τους.

Βέβαια, οι ελάχιστες απαιτήσεις, που πρέπει να καλύπτουν τα κτίρια, ορίζονται ελεύθερα από το κάθε κράτος – μέλος, με βάση τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτό. Στη χώρα μας, με τον ν 4122/2013 εγκρίνεται ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ), ο οποίος καθορίζει τη μεθοδολογία υπολογισμού των κτιρίων, τις ελάχιστες προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται, την συχνότητα διενέργειας ενεργειακών επιθεωρήσεων, το περιεχόμενο του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης, την ίδια την Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης καθώς επίσης και κάθε άλλο σχετικό θέμα ή λεπτομέρεια.



## 1.2. Βιοκλιματικός σχεδιασμός – πρότυπα

Ο όρος βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον σχεδιασμό κτιρίων και χώρων, ο οποίος λαμβάνει υπόψη το τοπικό κλίμα και σκοπό έχει την μεγαλύτερη δυνατή αξιοποίηση των φυσικών πόρων (ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές) για την επίτευξη συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης εφαρμόζοντας στρατηγικές παθητικού σχεδιασμού. Ως αποτέλεσμα ελαχιστοποιείται η εξάρτηση των κτιρίων από ενεργητικά συστήματα και συμβατικές πηγές ενέργειας [Σ12].

Η προσέγγιση αυτή αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1980 και τα πρώτα χρόνια τέθηκε υπό ισχυρή κριτική και αμφισβήτηση. Πλέον τα πράγματα έχουν αλλάξει και ακόμα οι μέχρι πρότινος πολέμιοί της, τώρα την υποστηρίζουν, καθώς επίσης έχουν προστεθεί και πολλοί νέοι σχεδιαστές που την ακολουθούν [B9]. Σήμερα υπάρχουν αρκετές επιστημονικές μελέτες που την αναδεικνύουν και κάποιες στρατηγικές εφαρμόζονται σχεδόν σε όλα τα νέα κτίρια.

Παράλληλα με τις νομοθετικές ρυθμίσεις για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, έχουν θεσμοθετηθεί και πρότυπα που επιδιώκουν τον σχεδιασμό κτιρίων υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Ίσως το πιο διαδεδομένο είναι το Πρότυπο Παθητικής Οικίας (Passive House Standard).

Σύμφωνα με το Passive House Standard ως παθητικό κτίριο ορίζεται το κτίριο του οποίου οι ενεργειακές απαιτήσεις σε θέρμανση και κλιματισμό μειώνονται μέχρι και 90%, σε σχέση με ένα απλό κτίριο ή 75% με ένα σύγχρονο [Σ1]. Οι απαιτήσεις ενός σωστά σχεδιασμένου παθητικού σπιτιού, σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, μπορούν να φτάσουν μέχρι και το 1m<sup>3</sup> φυσικού αερίου ανά τετραγωνικό το έτος!

Για να θεωρηθεί ένα σπίτι παθητικό, σύμφωνα με το Passive House Standard, πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις [Σ1]:

- Οι απαιτήσεις θέρμανσης και κλιματισμού να μην ξεπερνάνε τις 15kWh ανά τετραγωνικό καθαρού χώρου ( $m_{net}^2$ ) το έτος. Για τον κλιματισμό ειδικά αφήνεται ένα περιθώριο για τις ανάγκες αφύγρανσης.
- Η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, ζεστό νερό χρήσης και ηλεκτρικό ρεύμα να μην ξεπερνάνε τις  $60 kWh / m_{net}^2$ .
- Οι εναλλαγές αέρα δεν πρέπει να ξεπερνάνε τις 0.6/h σε πίεση 50Pa
- Η θερμική άνεση πρέπει να επιτυγχάνεται όλο το χρόνο, με τη θερμοκρασία να μην ξεπερνάει τους 25°C για πάνω από το 10% των ωρών του έτους.

Οι βασικές κατασκευαστικές αρχές, με βάση τις οποίες, σχεδιάζεται ένα κτίριο που ακολουθεί το παραπάνω πρότυπο είναι:

- Ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλων των αδιείσθητων επιφανειών δεν πρέπει να ξεπερνάει το 0.15W/(m<sup>2</sup>K) στις πιο κρύες περιοχές.
- Τα παράθυρα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (Low-e) έτσι ώστε να μειώνεται η θερμότητα που διαφεύγει

στο περιβάλλον το χειμώνα και η θερμότητα που εισέρχεται στο κτίριο το καλοκαίρι. Για τα πιο ψυχρά κλίματα μία τυπική τιμή της θερμοπερατότητας είναι  $0.80.15W/(m^2K)$ .

- Σημαντική επίσης είναι η ανάκτηση θερμότητας από τον αερισμό, ώστε να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη ποιότητα εσωτερικού αέρα. Γίνεται εγκατάσταση ενός εναλλάκτη θερμότητας και μεταφέρεται η θερμότητα από το θερμό εξερχόμενο ρεύμα προς το ψυχρό εισερχόμενο σε ποσοστό 75%.
- Το κέλυφος και τα ανοίγματα του κτιρίου, θα πρέπει να είναι καλά σφαισμένα έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι οι εναλλαγές αέρα δεν θα ξεπερνάνε τις 0.6 ανά ώρα.
- Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην πλήρη μόνωση όλων των πιθανών θερμογεφυρών του κελύφους, ή έστω στην ελαχιστοποίησή τους.

Παράλληλα υπάρχουν και άλλα πρότυπα, όπως το LEED και το BREEAM, τα οποία πρακτικά στοχεύουν στο ίδιο αποτέλεσμα αλλά με διαφορετικούς όρους.

Όπως γίνεται αντιληπτό, για να πιστοποιηθεί ένα κτίριο με βάση κάποιο από τα παραπάνω πρότυπα, οι προϋποθέσεις είναι πολύ αυστηρές. Επίσης ο ορισμός του Passive House Standard δημιουργήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα ψυχρά κλίματα των βόρειων χωρών και η εφαρμογή σε διαφορετικά κλίματα απαιτεί προσαρμογή στις ανάγκες του εκάστοτε κλίματος. Μια τέτοια επένδυση μάλιστα καθίστανται οικονομικά ασύμφορη, εάν δεν υπάρχει κάποιου είδους επιδότηση για την κατασκευή. Για το λόγο αυτό, ως παθητικό κτίριο ονομάζομαι κάθε κτίριο που καλύπτει μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών του με παθητικά μέσα.

Παράλληλα υπάρχει η απαίτηση για κτίρια «σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας». Σύμφωνα με την οδηγία 2010/31/ΕΕ, «σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας», ορίζεται ένα κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, του οποίου η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών, καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου. Τα κτίρια αυτά διαθέτουν:

- δομικά στοιχεία υψηλών ενεργειακών προδιαγραφών,
- Η/Μ εγκαταστάσεις ιδιαίτερα υψηλής ενεργειακής απόδοσης και
- ένα σημαντικό μερίδιο της κατανάλωσης τους ενέργειας θα καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε τοπικό επίπεδο.

### **1.3. Σκοπός εργασίας**

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός ενός κτιρίου χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, για την στέγαση τετραμελούς οικογένειας, λαμβάνοντας υπόψη αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Η σχεδίαση και η αξιολόγηση των σχεδιαστικών επιλογών θα γίνει με τη χρήση του σχεδιαστικού εργαλείου Revit, της Autodesk. Ως θέση ανοικοδόμησης επιλέγεται η περιοχή Κουνουπιδιανά του νομού Χανίων στην Ελλάδα.

## **2. Υπολογιστικά προγράμματα**

### **2.1. Building Information Modeling (BIM)**

Ο όρος BIM προτάθηκε πρώτη φορά από τον Αμερικανό αρχιτέκτονα, και μετέπειτα αντιπρόεδρο της εταιρίας Autodesk, Phil Bernstein. Αναφέρεται στην ψηφιακή αναπαράσταση της κατασκευαστικής διαδικασίας, ενός κτιρίου, και εξυπηρετεί στην ανταλλαγή κατασκευαστικών αλλά και λειτουργικών πληροφοριών του κτίσματος. Σκοπός της μεθοδολογίας αυτής είναι η πλήρης και απόλυτα πιστή σχεδιαστική αναπαράσταση, του κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων και όλων των στοιχείων μηχανολογικών ή/και ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.

Δημιουργείται σύγχυση πολλές φορές σχετικά με τις έννοιες του BIM και του CAD. Η έννοια CAD (Computer Aided Design) είναι η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή για την, δισδιάστατη ή τρισδιάστατη, απεικόνιση μίας κατασκευής. Πρακτικά είναι το εργαλείο που κατασκευάζει γραμμές, καμπύλες, επιφάνειες ή στερεά σώματα και τα συνδυάζει κατάλληλα ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι μία πιστή αναπαράσταση των επιμέρους τμημάτων της κατασκευής. Επίσης συνδυάζει τα τμήματα αυτά ώστε να αναπαρασταθεί το πλήρες συναρμολόγημα.

Από την άλλη το BIM δεν αναφέρεται σε κάποιο υπολογιστικό πακέτο, αλλά αρκετά προγράμματα το χρησιμοποιούν σαν μεθοδολογία. Το πρώτο χαρακτηριστικό του είναι η πρόσδοση περισσότερων πληροφοριών σε ένα σχέδιο. Εκτός από τις φυσικές ιδιότητες που τους προσδίδει το CAD (σχήμα, πυκνότητα, βάρος κτλ) το BIM τους προσδίδει, επιπλέον, λειτουργικά χαρακτηριστικά. Επίσης γίνεται η χρήση έτοιμων βιβλιοθηκών με διάφορα κτιριακά στοιχεία, από τοίχους και κολώνες μέχρι έπιπλα και υδραυλικά.

Για να γίνει κατανοητή η διαφορά, λαμβάνεται ως παράδειγμα ένας τοίχος. Και στις δύο περιπτώσεις η αναπαράσταση γίνεται με ένα παραλληλεπίπεδο. Στην περίπτωση του CAD το παραλληλεπίπεδο αυτό έχει ομοιόμορφα κατανεμημένη μάζα και δεν είναι τίποτα άλλο από ένα σύνολο σημείων στο χώρο που έχει ως όρια επιφάνειες. Αντιθέτως με το BIM το παραλληλεπίπεδο αυτό αποτελείται από ένα σύνολο στοιχείων (σοβάς, η μόνωση, τα τούβλα κ.ο.κ.) τα οποία δεν εμφανίζονται σχεδιασμένα, αλλά υπάρχουν σε μορφή layers και ο συνδυασμός των θερμικών ιδιοτήτων τους, θα προσδίδει στον τοίχο τα τελικά χαρακτηριστικά του. Για να γίνει αυτό με CAD θα πρέπει να σχεδιαστεί ξεχωριστά το κάθε τμήμα του τοίχου και να δημιουργηθεί το τελικό συναρμολόγημα.

Οι ιδιότητες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ποικιλοτρόπως σε διάφορες φάσεις της κατασκευής ή/και της λειτουργίας. Η συνολική και ολοκληρωμένη αναπαράσταση που προσφέρει το BIM (αναπαριστώνται ακόμα και τα καλώδια της ηλεκτρικής εγκατάστασης) βοηθάει στην πρόβλεψη προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν κατά την κατασκευή, πριν καν αυτή αρχίσει. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει και αποδοτικότερη διαχείριση του χρόνου αγοράς και αποθήκευσης των υλικών, μειώνοντας έτσι το κόστος.

Επίσης, μπορεί να γίνει καλύτερος σχεδιασμός της διαδικασίας, ώστε να υπάρχει σωστός συντονισμός των συνεργείων και να μειωθεί σημαντικά ο απαιτούμενος χρόνος ολοκλήρωσης του κτιρίου. Η αποθήκευση των επιμέρους σχεδίων μπορεί να γίνει κάπου κεντρικά, όπως πχ το cloud, και μία άλλη ομάδα να αναλάβει την τελική συναρμολόγηση. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να δουλεύουν ταυτόχρονα πολλές σχεδιαστικές ομάδες, οι οποίες θα ανεβάζουν τα αρχεία στο cloud ώστε να υπάρχει άμεσο update του τελικού σχεδίου.

Σημαντική επίσης είναι η προσφορά του στην πρόβλεψη των διαδικασιών συντήρησης του εξοπλισμού. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής ακόμα, μπορεί να γνωρίζει ο χρήστης σε ποιες ενέργειες συντήρησης θα πρέπει να προβεί, καθώς και τους ακριβείς χρόνους που αυτές θα πρέπει να λάβουν χώρα.

Το BIM, με τις πληροφορίες που περιλαμβάνει, μπορεί να συνεισφέρει στην ενεργειακή αξιολόγηση του κτιρίου. Πλέον τα λογισμικά που χρησιμοποιούν την φιλοσοφία BIM, αντλούν πληροφορίες ακόμα και από κοντινούς μετεωρολογικούς σταθμούς. Έτσι, ανοίγονται νέες δυνατότητες για την λήψη αξιολογικών αποφάσεων κατά τον σχεδιασμό κτιρίων ώστε να έχουν όσο το δυνατό μικρότερες ενεργειακές ανάγκες.

## **2.2. Μοντελοποίηση κτιρίου – Autodesk Revit**

Το λογισμικό που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας, είναι το Revit της εταιρίας Autodesk Inc. Πρόκειται για ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται ευρέως, κυρίως από αρχιτέκτονες, πολιτικούς και μηχανολόγους μηχανικούς καθώς και από εργολάβους. Σκοπός του είναι ο σχεδιασμός ενός κτιρίου, συμπεριλαμβανομένου όλου του εξοπλισμού του και βασίζεται στη φιλοσοφία BIM που αναλύσαμε προηγουμένως. Η λειτουργία του βασίζεται στο 4D BIM, όπου ο όρος 4D αναφέρεται στις 3 διαστάσεις του χώρου και ορίζει ως τέταρτη διάσταση τον προγραμματισμό που μπορεί να γίνει, στα διάφορα στάδια της κατασκευής και της λειτουργίας του κτιρίου.

### **2.2.1. Ιστορική αναδρομή**

Η ιστορία του Revit ξεκινάει από το 1997, και στην ανάπτυξή του εργάστηκαν σημαντικά ονόματα της βιομηχανίας των σχεδιαστικών προγραμμάτων. Ξεκίνησε σαν Charles River Software από τους Raiz και Jungreis, προγραμματιστές της εταιρίας PTC και σκοπό είχε να εισάγει την έννοια της παραμετρικής μοντελοποίησης στον τομέα της οικοδομής. Χρηματοδοτήθηκε από την Atlas Venture και την North Bridge Venture Partners και συνεργάστηκαν ονόματα όπως ο Jon Hirschtick, ιδρυτής της Solidworks Corporation η οποία μετέπειτα αγοράστηκε από την Dassault Systemes.

Οι καινοτομίες του εκείνη την εποχή ήταν δύο. Αρχικά ήταν το πρώτο λογισμικό του οποίου οι βιβλιοθήκες υλικών είχαν γραφική μορφή. Με τον όρο αυτό εννοείται ότι παρέχεται γραφική απεικόνιση οποιουδήποτε υλικού-στοιχείου μπορεί να εισαχθεί στη πλατοφόρμα εργασίας του Revit. Μέχρι εκείνη τη στιγμή, όλα τα λογισμικά που χρησιμοποιούσαν βιβλιοθήκες, το έκαναν αυτό μέσω της χρήσης κάποιου προγραμματιστικού κώδικα. Επιπροσθέτως, ανέπτυξε αρκετά την έννοια του παραμετρικού σχεδιασμού καθώς επίσης και της σύνδεσης των μεταβλητών μεταξύ τους, έτσι ώστε η αλλαγή σε ένα σημείο του μοντέλου, να επιφέρει τις κατάλληλες αλλαγές σε άλλα, έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να παραμένει σταθερό. Για παράδειγμα η μετακίνηση ενός τοίχου, θα επέφερε τις κατάλληλες μεταβολές στα γειτονικά δομικά στοιχεία, έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να έχει τις σωστές συνδέσεις και πληροφορίες.

Το 2002, το λογισμικό αγοράστηκε από την Autodesk έναντι 133 εκατομμυρίων δολαρίων Αμερικής, πράγμα που βοήθησε στην περαιτέρω ανάπτυξή και βελτίωσή του καθώς βγήκαν και διάφορα θυγατρικά λογισμικά. Το 2013 όλα τα λογισμικά αυτά ενώθηκαν και δημιουργήθηκε το Revit όπως το ξέρουμε σήμερα.

### 2.2.2. Μοντελοποίηση

Η μοντελοποίηση στο Revit διαφέρει από αυτή ενός συνηθισμένου σχεδιαστικού λογισμικού. Το Revit βασίζεται σε μεγάλο βαθμό, σε προσχεδιασμένες οικογένειες μοντέλων, των οποίων οι τελικές διαστάσεις καθορίζονται από τον χρήστη. Συνήθως τα μοντέλα αποτελούνται από μία ή περισσότερες «στρώσεις» (layers) υλικών, το κάθε ένα από τα οποία έχει συγκεκριμένο πάχος και θερμικές ιδιότητες. Εκτός από τις προκαθορισμένες οικογένειες, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει τις δικές του, καθορίζοντας τα πλήρη στοιχεία του κάθε στρώματος, όπως επίσης και την αλληλουχία τους.

Κάθε στρώση καθορίζεται από τρεις ιδιότητες, τη λειτουργία (Function), το υλικό (Material) και το πάχος (Thickness) του. Η λειτουργία καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα συνδεθούν τα διάφορα στρώματα, όταν ενωθούν δύο διαφορετικά δομικά στοιχεία, πχ στην ένωση δύο τοίχων. Επίσης στην λειτουργία ορίζεται και ένας αριθμός, χαρακτηριστικός της προτεραιότητας που έχει το συγκεκριμένο στρώμα. Οι λειτουργίες και οι προτεραιότητες (σε αγκύλες), σύμφωνα με τις οποίες χαρακτηρίζονται τα στρώματα είναι [B4]:

- **Δομικά (Structure) [1]:** στοιχείο το οποίο στηρίζει όλο τον τοίχο, οροφή ή δάπεδο
- **Υπόστρωμα (Substrate) [2]:** υλικό το οποίο χρησιμοποιείται για στήριξη άλλου υλικού
- **Στρώμα αέρα (Thermal/Air Layer) [3]:** στρώμα που παρέχει μόνωση και εμποδίζει την διείσδυση εξωτερικού αέρα
- **Μεμβράνη (Membrane) [0]:** πολύ λεπτό στρώμα που παρεμποδίζει την διείσδυση υδρατμών και έχει μηδενικό πάχος
- **Φινίρισμα 1 (Finish 1) [4]:** συνήθως πρόκειται για το εξωτερικό στρώμα
- **Φινίρισμα 2 (Finish 2) [5]:** συνήθως πρόκειται για το εσωτερικό στρώμα

Υψηλότερη προτεραιότητα έχουν τα δομικά στρώματα, διότι σε ένωση διαφορετικών δομικών στοιχείων, η βασική δομή τους θα συνενώνεται. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι τη χαμηλότερη προτεραιότητα συνήθως την έχει το φινίρισμα 2 [B4].

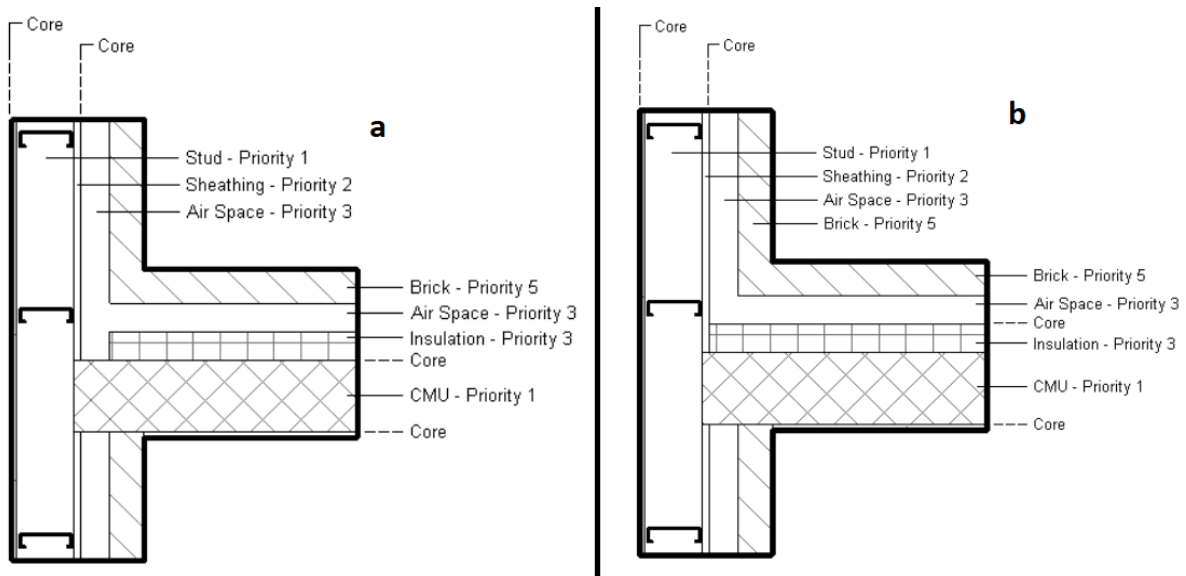
Ένα δομικό στοιχείο αποτελείται από τρία επίπεδα, το εσωτερικό, το εξωτερικό και τον πυρήνα. Κάθε επίπεδο από αυτά μπορεί να αποτελείται από αρκετά διαφορετικά στρώματα υλικών. Ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να ορίζονται οι θέσεις των στρωμάτων, θα γίνει κατανοητός παρακάτω, όπου θα δούμε τους κανόνες με τους οποίους το Revit ακολουθεί κατά την ένωση δομικών στοιχείων.

Στο Revit η συνένωση ξεκινάει από τα στρώματα με υψηλή προτεραιότητα και στη συνέχεια προχωράει στα υπόλοιπα. Επίσης, τα υλικά που βρίσκονται μέσα στον πυρήνα έχουν προτεραιότητα σε σχέση με αυτά που είναι από έξω, ακόμα και αν τα τελευταία έχουν υψηλότερη αριθμητική προτεραιότητα [B4]. Έστω πως έχουμε δύο τοίχους που ενώνονται. Το στρώμα με προτεραιότητα 1, του ενός τοίχου, θα διαπεράσει τα υπόλοιπα και θα ενωθεί με το αντίστοιχο του δεύτερου τοίχου. Αυτό θα γίνει περισσότερο κατανοητό με τις παρακάτω εικόνες.

Για παράδειγμα θεωρούμε την εικόνα 2.1. Στην εικόνα αυτή φαίνονται δύο περιπτώσεις συνένωσης τοίχων, ο καθένας από τους οποίους αποτελείται από διαφορετική αλληλουχία υλικών. Επίσης και στους δύο φαίνονται τα όρια των πυρήνων. Βλέπουμε στην 2.1α ότι οι πλίνθοι (CMU) του οριζόντιου τοίχου (προτεραιότητα 1), διαπερνούν όλα τα υλικά μέχρι να φτάσουν στο στρώμα ίδιας προτεραιότητας του κάθετου τοίχου. Αντίθετα βλέπουμε ότι, στον οριζόντιο τοίχο, η μόνωση, με προτεραιότητα 3, δεν διαπερνά το διάκενο αέρα που

έχει την ίδια προτεραιότητα και αμφότερα βρίσκονται στην ίδια πλευρά του πυρήνα (και τα δύο έξω από τον πυρήνα).

Μία λίγο διαφορετική περίπτωση βλέπουμε στην εικόνα 2.1b. όπως και πριν η πλινθοδομή διαπερνάει όλα τα υλικά μέχρι να βρει την βασική δομή του κάθετου τοίχου. Η διαφορά, όμως, έγκειται στη θέση όπου βρίσκεται η μόνωση. Στο σενάριο αυτό, η μόνωση βρίσκεται μέσα στον πυρήνα, και ως εκ τούτου διαπερνάει και το διάκενο αέρα, που έχουν ίδια προτεραιότητα μεν, αλλά αυτό βρίσκεται εκτός του πυρήνα.



**Εικ. 2.1:** Απεικόνιση συνένωσης τοίχων διαφορετικών υλικών με διαφορετική διάταξη των υλικών σε κάθε περίπτωση  
Πηγή: B4

Πρέπει να αναφερθεί ότι συγκεκριμένες οικογένειες μπορούν να φιλοξενήσουν πάνω τους άλλες οικογένειες. Για παράδειγμα ένας τοίχος μπορεί να φέρει πάνω του μία ή περισσότερες πόρτες.

Μία άλλη κατηγορία μοντελοποίησης, που πραγματοποιεί το Revit, είναι το «*mass model*». Με την μέθοδο αυτή, σχεδιάζεται η γεωμετρία του κτιρίου, απλοποιημένα σε μορφή συμπαγούς όγκου με σκοπό μία προκαταρκτική μελέτη. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο μόνη της όσο σε συνδυασμό με κάποιο πλήρως σχεδιασμένο κτίριο. Συνήθως χρησιμοποιείται για να μελετηθεί η επίδραση της γεωμετρίας στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, είτε για να μελετηθεί η επιρροή ενός γειτονικού κτιρίου, στο υπό εξέταση. Στην παρούσα εργασία θα εφαρμοστεί αυτός ο τρόπος μελέτης για την μελέτη διαφορετικών σχημάτων και πως αυτά επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση.

## **2.3. Ενεργειακοί υπολογισμοί – Insight 360**

Το Revit είναι ένα λογισμικό για μοντελοποίηση των κτιρίων και των συστημάτων που αυτά περιλαμβάνουν, ενώ οι ενεργειακοί υπολογισμοί γίνονται σε διαφορετική πλατφόρμα. Η Autodesk, μετά από αρκετά χρόνια ερευνών και ανάπτυξης, έφερε στην αγορά, τον Νοέμβριο του 2015 το Insight 360, που κάνει ακριβώς αυτή τη δουλειά και λειτουργεί στο Cloud.

### **2.3.1. Υπολογιστικά δεδομένα**

Το πρώτο βήμα είναι ο σχεδιασμός του κτιρίου στο Revit και ο ορισμός των θερμικών ιδιοτήτων των στοιχείων του κτιρίου. Στη συνέχεια, εισάγονται δεδομένα που αφορούν στην τοποθεσία του κτιρίου καθώς και δεδομένα για τη διακριτοποίηση του σε επιφάνειες. Παρακάτω αναλύονται οι κύριες παράμετροι που πρέπει να οριστούν ώστε να έχουμε μία σωστή ενεργειακή μελέτη.

Οι θερμικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπολογίζονται με βάση τις θερμικές ιδιότητες των υλικών που τα αποτελούν. Εντούτοις, δεν είναι απαραίτητο ότι θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς. Το Revit δίνει τη δυνατότητα να οριστούν τα υλικά των στοιχείων σαν «Generic», έτσι ώστε να μην ληφθούν υπόψη τα θερμικά χαρακτηριστικά τους. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται εάν δεν έχουμε εικόνα για τα χαρακτηριστικά αυτά και θέλουμε να τα προσδιορίσουμε. Εδώ πρέπει να αναφερθεί το γεγονός, ότι οι πόρτες, για τις ανάγκες των υπολογισμών και μόνο, λαμβάνονται υπόψη σαν τοίχοι [B3].

Για τον υπολογισμό των θερμικών ή/και ψυκτικών φορτίων είναι χρήσιμο, αλλά όχι απαραίτητο, τα δωμάτια του κτιρίου (rooms) να χωριστούν σε χώρους (spaces). Ένας χώρος, για το Revit, δεν συμπίπτει απαραίτητα με ένα δωμάτιο. Ένα δωμάτιο μπορεί να έχει περισσότερους από ένα χώρους και επίσης οι χώροι ενός κτιρίου μπορούν να ομαδοποιηθούν ως προς τις ιδιότητές τους. Ο κάθε χώρος περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, συμπεριλαμβανομένου και του αριθμού των ανθρώπων που θα υπάρχουν εκεί, τα δεδομένα του φωτισμού κτλ και έτσι μπορούν να διαφοροποιηθούν οι διάφοροι χώροι του κτιρίου. Όταν ένα κτίριο περιλαμβάνει μόνο δωμάτια, τότε σε όλο το κτίριο ορίζονται τα ίδια δεδομένα. [B3]

Ο σωστός ορισμός της τοποθεσίας είναι ένα από τα σημαντικότερα βήματα της ανάλυσης, διότι παρέχει όλα τα απαραίτητα τοπολογικά δεδομένα για την ενεργειακή ανάλυση. Ο πλήρης ορισμός γίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά προσδιορίζονται οι συντεταγμένες του οικοπέδου, είτε εισάγοντάς τις απευθείας, είτε με τον προσδιορισμό της πόλης ή του ταχυδρομικού κώδικα. Στη συνέχεια επιλέγεται ένας κοντινός μετεωρολογικός σταθμός από τον οποίο αντλούνται τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής.

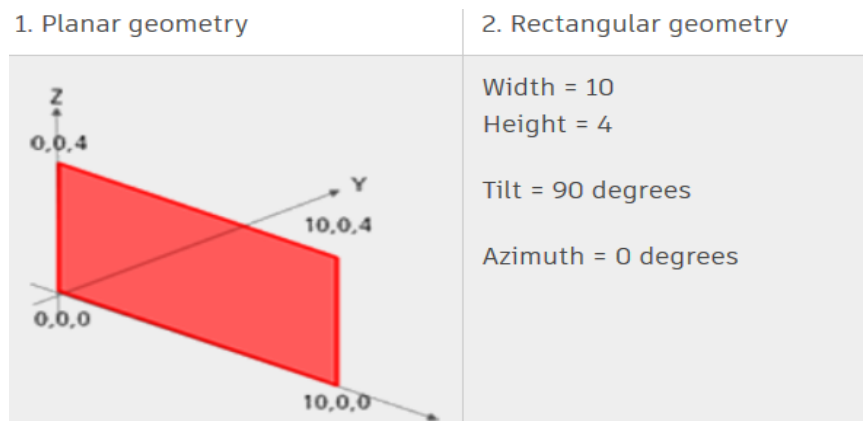
Επίσης ορίζεται το επίπεδο του δαπέδου του κτιρίου, ή των δαπέδων, εάν πρόκειται για πολυώροφο.

Τέλος ορίζεται ο βαθμός διακριτοποίησης για τη δημιουργία των υπολογιστικών επιφανειών. Πρόκειται για δύο τιμές που αφορούν στην ακρίβεια του υπολογιστικού μοντέλου επιφανειών. Αναλυτικότερα για αυτά θα μιλήσουμε παρακάτω, στο χωρίο 2.3.2, αφού αναλύσουμε τη διακριτοποίηση σε υπολογιστικές επιφάνειες.

### 2.3.2. Υπολογιστικό Μοντέλο

Στο επόμενο βήμα δημιουργείται το υπολογιστικό μοντέλο του κτιρίου. Τα δομικά στοιχεία του κτιρίου χωρίζονται σε υπολογιστικές επιφάνειες, η κάθε μία από τις οποίες έχουν τις ιδιότητες του εκάστοτε δομικού στοιχείου. Για παράδειγμα υπάρχουν επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το έδαφος και προσομοιώνουν το πάτωμα, άλλες είναι διάφανες για προσομοίωση των γυάλινων επιφανειών (πόρτες παράθυρα κτλ) άλλες δημιουργούν σκίαση κ.ο.κ. Το μοντέλο επιφανειών πρέπει να περιλαμβάνει τις πλήρεις πληροφορίες του κτιρίου, όπως το εμβαδόν των επιφανειών καθώς και τον προσανατολισμό της, έτσι ώστε υπολογιστεί σωστά η θερμότητα που ανταλλάσσει το κτίριο με το περιβάλλον του.

Οι επιφάνειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις καρτεσιανές (Surface Planar Geometry) και τις ορθογωνικές (Surface Rectangular Geometry). Στην πρώτη κατηγορία οι επιφάνειες ορίζονται με συντεταγμένες x,y,z οι οποίες περιγράφουν πλήρως το μέγεθος, την θέση και τον προσανατολισμό της κάθε επιφάνειας. Στη δεύτερη περίπτωση, περιγράφονται ακριβώς οι ίδιες πληροφορίες, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούνται τιμές για ύψος πλάτος, κλίση και προσανατολισμό[B2]. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

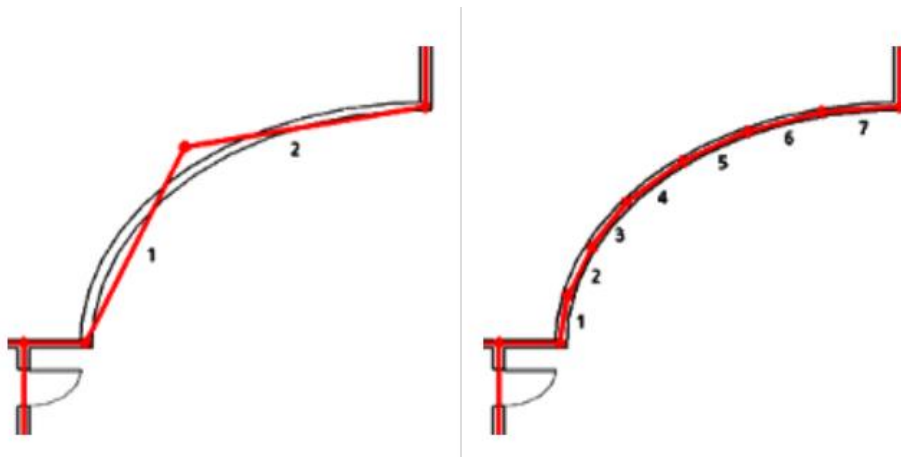


**Εικ. 2.2:** Απεικόνιση μεθόδων περιγραφής επιφανειών  
Πηγή: [B2]

Η συνηθισμένη μορφή που χρησιμοποιείται είναι η καρτεσιανή επιφάνεια. Ο λόγος είναι ότι αναπαριστά το πραγματικό κτίριο με απόλυτη ευκρίνεια και διαχωρισμό των επιφανειών. Επίσης οι ορθογωνική αναπαράσταση είναι πιο συνοπτική, πράγμα που την κάνει πιο δύσκολη τη διάκριση των επιφανειών.

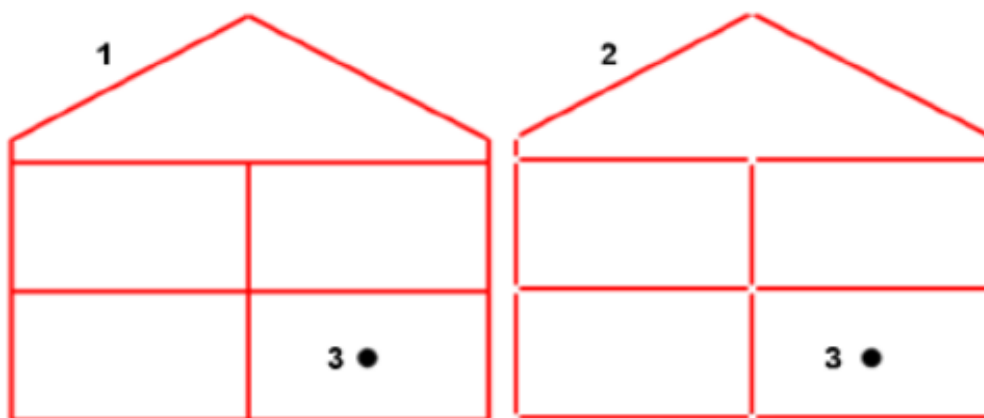
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αναπαράσταση πολύπλοκων και καμπύλων γεωμετριών. Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται πολλαπλές επίπεδες επιφάνειες, το σύνολο των οποίων αναπαριστά την αρχική γεωμετρία. Για καλύτερη ανάλυση προτιμάται μεγάλος αριθμός επιφανειών έτσι ώστε να έχουμε καλύτερη προσομοίωση της γεωμετρίας. Το Revit λειτουργεί με την ελάχιστη απλοποίηση των γεωμετριών και έτσι μπορεί και πετυχαίνει πολύ καλύτερη ακρίβεια.





**Εικ. 2.3:** *Απεικόνιση ακρίβειας πολλαπλών επιφανειών*  
*Πηγή: [B2]*

Το τελευταίο που πρέπει να αναφερθεί όσον αφορά τις επιφάνειες είναι η συνοχή τους. Σύμφωνα με την Autodesk, δεν υπάρχει η απαίτηση της πλήρους σύνδεσης τους ώστε να δημιουργηθεί ένα «στεγανό» μοντέλο. Έτσι οι επιφάνειες μπορούν να έχουν κάποια κενά μεταξύ τους ή ακόμα και να αλληλεπικαλύπτονται. Με τον τρόπο αυτό έχουμε υπολογιστική οικονομία, διότι ένα «στεγανό» μοντέλο απαιτεί πολλούς υπολογιστικούς πόρους, τόσο στην μοντελοποίηση όσο και στους υπολογισμούς. Από τη στιγμή που το εμβαδόν των επιφανειών και ο όγκος του κτιρίου είναι ανεξάρτητα, η ακρίβεια πλήττεται σε αμελητέο βαθμό [B2].

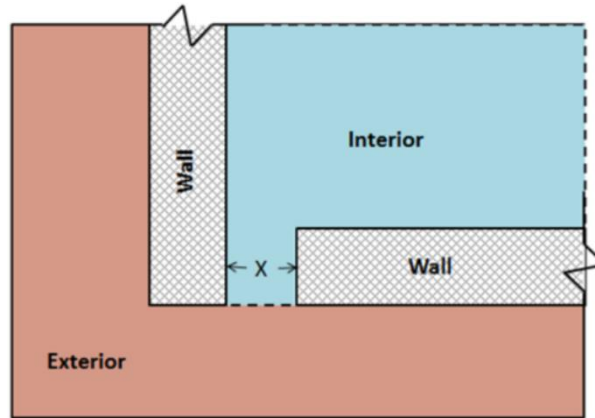


**Εικ. 2.4:** *Απεικόνιση συνοχής επιφανειών 1) «στεγανό» μοντέλο και 2) με κενά μεταξύ των επιφανειών, στο οποίο δεν επηρεάζονται οι υπολογισμοί*  
*Πηγή: [B2]*

Μέσα από το Revit μπορεί να οριστούν παράμετροι που επηρεάζουν τον βαθμό διακριτοποίησης για την δημιουργία των υπολογιστικών επιφανειών. Όπως και σε κάθε είδους υπολογιστικής διακριτοποίησης, μία πιο λεπτή (fine) μοντελοποίηση οδηγεί σε ακριβέστερα αποτελέσματα αλλά απαιτεί περισσότερο χρόνο τόσο για την ίδια την διακριτοποίηση όσο και για την επίλυση. Από την άλλη, μία πιο χονδροειδής (coarse) μειώνει τους απαιτούμενους χρόνους, σε βάρος βέβαια της ακρίβειας. Δύο είναι οι παράμετροι που επηρεάζουν την διακριτοποίηση, η «Analytical Space Resolution» και η «Analytical Surface Resolution». [B5]

Η Analytical Space Resolution είναι η παράμετρος που επηρεάζει τα μέγιστα την ακρίβεια και τον χρόνο επίλυσης και παίρνει τιμές ανάμεσα 152.4mm (6inches) και 3048mm (10feet). Καθορίζει τον ελάχιστο χώρο μεταξύ δύο στοιχείων του κτιρίου, ο οποίος θα αγνοηθεί έτσι ώστε να δημιουργηθεί το υπολογιστικό μοντέλο. Εάν το κενό είναι μεγαλύτερο από το διπλάσιο του Analytical Space Resolution, τότε το μοντέλο δεν θα δημιουργηθεί. [B5]

Αυτό γίνεται ευκολότερα κατανοητό με την παρακάτω εικόνα.

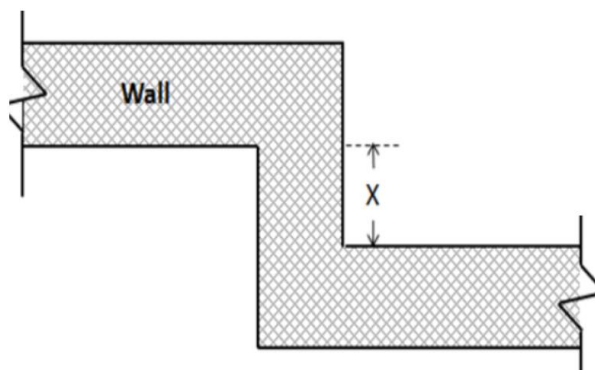


**Εικ. 2.5:** Τμηματική κάτοψη κτιρίου με διάκενο ανάμεσα σε δύο τοίχους.  
Πηγή: [B5]

Έστω το τμήμα κτιρίου της εικόνας 2.5. Βλέπουμε ότι, λόγω κακής συνοχής, υπάρχει ένα διάκενο, μεγέθους  $x$ , ανάμεσα στους δύο τοίχους. Έστω ότι στην Analytical Space Resolution έχουμε δώσει τιμή ίση με 457.2mm, έτσι διακρίνουμε τις περιπτώσεις:

- $x < 457.2\text{mm}$ , τότε το κενό αγνοείται και το υπολογιστικό μοντέλο δημιουργείται χωρίς πρόβλημα
- $457.2 < x < 2 \cdot 457.2 = 914.4\text{mm}$  τότε το κενό μπορεί να αγνοηθεί αλλά μπορεί και όχι
- $x > 914.4\text{mm}$  στην περίπτωση αυτή το κενό δεν θα αγνοηθεί και έτσι το υπολογιστικό μοντέλο δεν θα μπορεί να κατασκευαστεί μέχρις ότου διορθωθεί το διάκενο αυτό.

Η παράμετρος Analytical Surface Resolution, όπως υποδηλώνει το όνομά της, έχει να κάνει με επιφάνειες. Συγκεκριμένα καθορίζει την μικρότερη επιφάνεια που θα συμπεριληφθεί στο υπολογιστικό μοντέλο. Οι τιμές που μπορεί να πάρει είναι από 304.8mm (12inches) έως 3048mm(10feet).



**Εικ. 2.6:** Τμήμα κάτοψης τοίχου κτιρίου  
Πηγή: [B5]

Έστω ο τοίχος της εικόνας 2.6 και  $x$  η μικρή διάσταση ενός τοίχου. Έστω πως η παράμετρος Analytical Surface Resolution ορίζεται ίση με 304.8mm τότε έχουμε τις περιπτώσεις:

- $x < 304.8\text{mm}$ , τότε ο τοίχος αυτός αγνοείται και δεν δημιουργείται υπολογιστική επιφάνεια για αυτόν
- $304.8\text{mm} < x < 2 \cdot 304.8 = 609.6\text{mm}$  τότε ο τοίχος ίσως αγνοηθεί αλλά ίσως και όχι
- $x > 609.6\text{mm}$  τότε ο τοίχος δεν αγνοείται και δημιουργείται υπολογιστική επιφάνεια για αυτόν

### **3. Βιοκλιματικός σχεδιασμός**

#### **3.1. Στρατηγικές σχεδίασης**

##### **3.1.1. Σχήμα – προσανατολισμός κτιρίου**

Βασικός στόχος του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών του κτιρίου, κατά τους χειμερινούς μήνες, καθώς και η μείωση των ψυκτικών απαιτήσεων με την εφαρμογή σχεδιαστικών λύσεων προσαρμοσμένων στο κλίμα.

Με μία πρώτη σκέψη το καταλληλότερο σχήμα κάτοψης, για δεδομένο όγκο, είναι η τετραγωνική, διότι διαθέτει τον μικρότερο λόγο εξωτερικών επιφανειών/όγκο. Όμως για τα εύκρατα κλίματα που επικρατούν στην Ελλάδα, το βέλτιστο διαφέρει από αυτή τη θεώρηση. Ο ήλιος ακολουθεί νότια πορεία από ανατολή προς δύση. Έχει βρεθεί ότι καλύτερη συμπεριφορά παρουσιάζουν σχήματα με επιμηκυμένα στον άξονα Ανατολή – Δύση, ώστε να δέχονται θερμικά κέρδη, το χειμώνα στη νότια πλευρά [B6]. Για τον ίδιο λόγο, προτιμάται να τοποθετούνται στην νότια πλευρά του κτιρίου τα δωμάτια με υψηλή θερμική απαίτηση, όπως υπνοδωμάτια καθιστικό κτλ [B6],[B10].

Το μειονέκτημα αυτού του προσανατολισμού είναι ότι η βόρεια πλευρά είναι επίσης εκτεταμένη και δέχεται τους ψυχρούς βόρειους ανέμους ενώ ταυτόχρονα η πρόσπτωση άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας είναι μηδενική το χειμώνα και μικρή το καλοκαίρι. Για τον λόγο αυτό επιλέγεται στην πλευρά αυτή να τοποθετούνται χώροι του σπιτιού οι οποίοι δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε θέρμανση, όπως οι διάδρομοι αποθήκη, γκαράζ κτλ, οι οποίοι χρησιμοποιούνται και σαν φράγματα των θερμικών απωλειών [B6].

Οι ανατολική και η δυτική πλευρά δέχονται ίση ακτινοβολία, αλλά η δυτική παραμένει θερμότερη, λόγω και των υψηλών μεσημβρινών θερμοκρασιών που δέχεται ταυτόχρονα με την ακτινοβολία. Η περίοδος που δέχονται το μέγιστο ποσό ακτινοβολίας είναι από τον Μάιο μέχρι τον Ιούνιο, ενώ το χειμώνα τα ποσά αυτά είναι μικρά [B6]. Η σκίαση στα ανατολικά ή δυτικά ανοίγματα είναι δύσκολη λόγω του ότι ο ήλιος βρίσκεται σε χαμηλό ύψος στις κατευθύνσεις αυτές.

Το μέγιστο ποσό ηλιακής ακτινοβολίας, και μάλιστα με τον πιο ευνοϊκό τρόπο, το δέχεται η νότια πλευρά. Το χειμώνα η τροχιά του ήλιου είναι χαμηλότερα, με αποτέλεσμα να έχουμε πιο κάθετη πρόσπτωση. Ταυτόχρονα εισέρχεται ανεμπόδιστα μέσα στο κτίριο, από τα ανοίγματα, εφόσον έχει γίνει σωστός σχεδιασμός των σκιάστρων, πράγμα που αυξάνει και το φυσικό φωτισμό και τα θερμικά κέρδη.

Το καλοκαίρι ο ήλιος ανεβαίνει ψηλότερα, με αποτέλεσμα οι ακτίνες να προσπίπτουν στην νότια επιφάνεια με μεγαλύτερη γωνία. Κατάλληλα σχεδιασμένα σκίαστρα μπορούν να εμποδίσουν την εισχώρηση των ακτινών στο εσωτερικού του σπιτιού το καλοκαίρι και έτσι δεν το θερμαίνουν άσκοπα. Για τους παραπάνω λόγους, στην νότια πλευρά τοποθετούνται οι χώροι με την μεγαλύτερη χρήση. Τέτοιοι είναι τα υπνοδωμάτια (κυρίως τα παιδικά στα οποία τα παιδιά διαβάζουν), καθιστικό, τραπεζαρία. [B6]

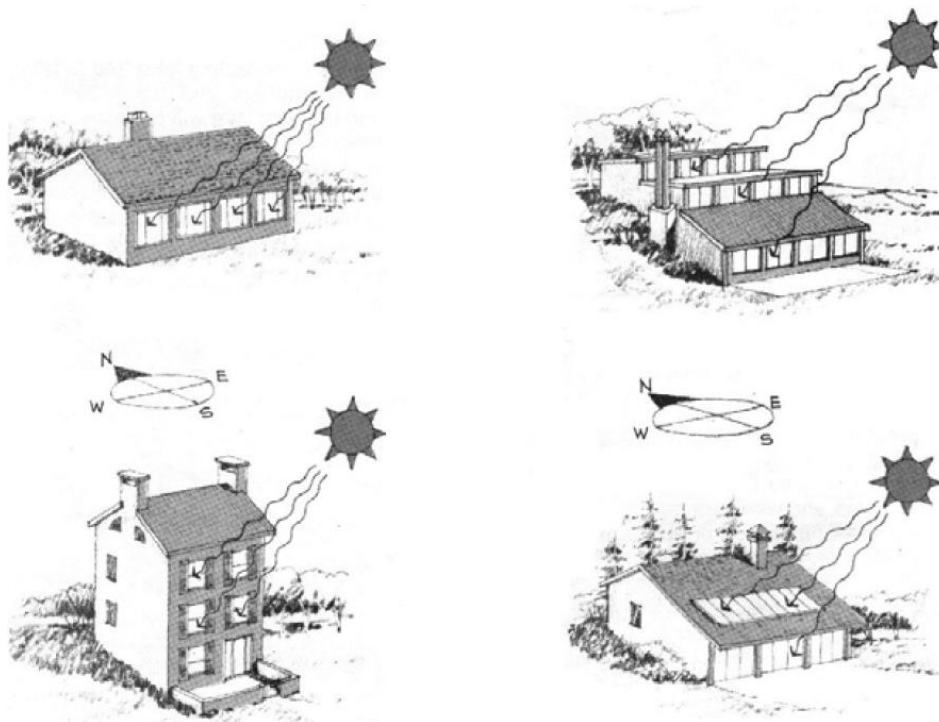
Ιδιαίτερότητα αποτελεί ο χώρος της κουζίνας. Στο δωμάτιο αυτό παράγονται σημαντικά ποσά θερμικής ενέργειας και για το λόγο αυτό επιλέγεται να τοποθετηθεί σε κατεύθυνση που δεν θα δέχεται μεγάλα ηλιακά θερμικά κέρδη. Έτσι, αποφεύγεται η τοποθέτησή της σε νότια ή δυτική πλευρά του κτιρίου.

Εν κατακλείδι, γίνεται αντιληπτό ότι ο βέλτιστος προσανατολισμός τόσο της μεγαλύτερης πλευράς, όσο και των ανοιγμάτων του κτιρίου είναι ο νότιος. Έχει βρεθεί ότι μία μικρή απόκλιση της τάξης των  $20^\circ$  δεν επηρεάζει σημαντικά την απόδοση των νότιων ανοιγμάτων [B6].

### 3.1.2. Άμεσο ηλιακό κέρδος

Η πρώτη στρατηγική (πέραν του προσανατολισμού) που εφαρμόζεται στα κτίρια είναι ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων έτσι ώστε, το χειμώνα, να έχουμε το μέγιστο ηλιακό κέρδος. Η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στον χώρο και απορροφάται από τα εσωτερικά δομικά στοιχεία και τα αντικείμενα και εκπέμπεται τις ψυχρότερες βραδινές ώρες [B6]. Ταυτόχρονα, με τη στρατηγική αυτή, εξυπηρετείται και μέρος των απαιτήσεων σε φωτισμό των χώρων που δέχονται την άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Σημαντικό ρόλο στα θερμικά κέρδη παίζουν τα υλικά που είναι κατασκευασμένα τα εσωτερικά δομικά στοιχεία. Πρέπει να έχουν σημαντική θερμοχωρητικότητα, ώστε να μπορούν να αποθηκεύουν θερμότητα, την οποία απελευθερώνουν σε περιόδους συννεφιάς ή τις βραδινές ώρες.



**Εικ. 3.2.** Νότια ανοίγματα στο σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους  
Πηγή: [B6]


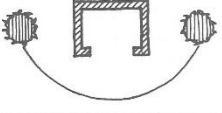
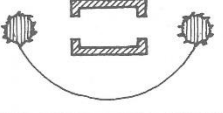
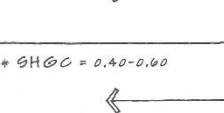
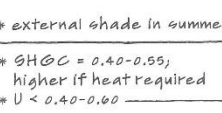
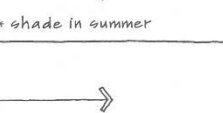
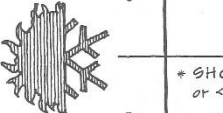
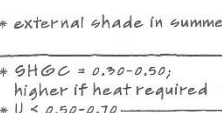
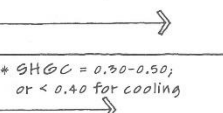
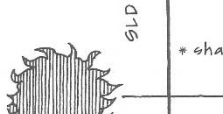
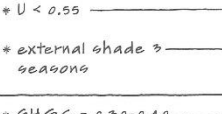
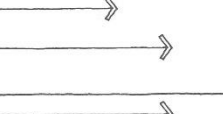
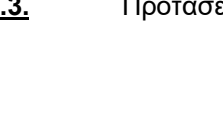
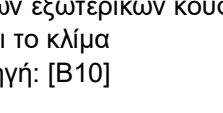
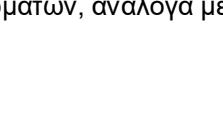



### 3.1.3. Εξωτερικά κουφώματα

Η μεταφορά θερμότητας από τα κουφώματα γίνεται με τρεις τρόπους [B10]:

- Αγωγή και ακτινοβολία με το περιβάλλον μέσω των τζαμιών
- Θερμικό κέρδος λόγω άμεσης προσπίπτουσας ακτινοβολίας από τον ήλιο
- Διείσδυση εξωτερικού αέρα

Μία σημαντική παράμετρος που χαρακτηρίζει τα κουφώματα, καθώς και όλα τα στοιχεία ενός κτιρίου, είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας,  $U$ . Ο  $U$  υποδηλώνει το ρυθμό με τον οποίο μεταδίδεται η θερμότητα μέσα από ένα υλικό, συναρτήσει της διαφοράς θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του. Ο σχεδιασμός και η επιλογή ενός κουφώματος δεν στοχεύει πάντα στον χαμηλότερο δυνατό συντελεστή  $U$ , καθώς υπάρχουν περιπτώσεις που η απώλεια είναι επιθυμητή. Μία τέτοια περίπτωση είναι τα κτίρια που βρίσκονται σε δροσερά κλίματα και έχουν υψηλά εσωτερικά θερμικά φορτία, στα οποία ίσως να απαιτείται η ψύξη του χώρου ακόμα και το χειμώνα. Στα κτίρια αυτά επιλέγονται κουφώματα με υψηλό  $U$  έτσι ώστε να υπάρχει ροή θερμότητας από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του κτιρίου και να αποφεύγεται η υπερθέρμανση. [B10]

Επίσης ορίζεται και μία άλλη παράμετρος το SHGC (Solar Heat Gain Coefficient). Το μέγεθος αυτό παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1 και αναπαριστά το ποσοστό της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται μέσα στο κτίριο, δια μέσου ενός τζαμιού και σχετίζεται άμεσα με το θερμικό κέρδος λόγω ηλιακής ακτινοβολίας. Σε περιπτώσεις τζαμιών με πολύ χαμηλό SHGC, δημιουργείται πρόβλημα με την έλλειψη φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό του κτιρίου. [B10]. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται προτάσεις χαρακτηριστικών των εξωτερικών κουφωμάτων, ανάλογα με τη θέση του στο κτίριο και το κλίμα που επικρατεί.

		Glazing Orientation		
		Polar-Facing	Equator-Facing	East or West-Facing
Heating Dominated	SLD	 * SHGC unimportant ←	 * maximize SHGC for winter gain; 0.40-0.60, use thermal storage * reduce glare with lower VT in direct gain buildings * low $U = 0.15-0.35$ * external shade in summer →	 * SHGC < 0.55 →
	ILD	 * SHGC = 0.40-0.60 ← * shade in summer, if high cooling loads	 * SHGC = 0.40-0.55; higher if heat required * $U < 0.40-0.60$ * external shade in summer →	 →
Heating & Cooling	SLD	 * SHGC < 0.55, or < 0.40 for cooling ←	 * maximize SHGC for winter gain; 0.40-0.60 * $U = 0.30-0.40$ * external shade in summer →	 * SHGC < 0.55, or < 0.40 for cooling →
	ILD	 * SHGC = 0.30-0.50; or < 0.40 for cooling ← * shade in summer	 * SHGC = 0.30-0.50; higher if heat required * $U < 0.50-0.70$ * external shade 3 seasons →	 * SHGC = 0.30-0.50; or < 0.40 for cooling →
Cooling Dominated	SLD	 ← * shade in summer	 * SHGC < 0.40 for cooling * $U < 0.55$ * external shade 3 seasons →	 →
	ILD	 ← * shade 3 seasons	 * SHGC = 0.30-0.40 * $U < 0.40-0.70$ * external shade all year →	 →

**Εικ. 3.3.**

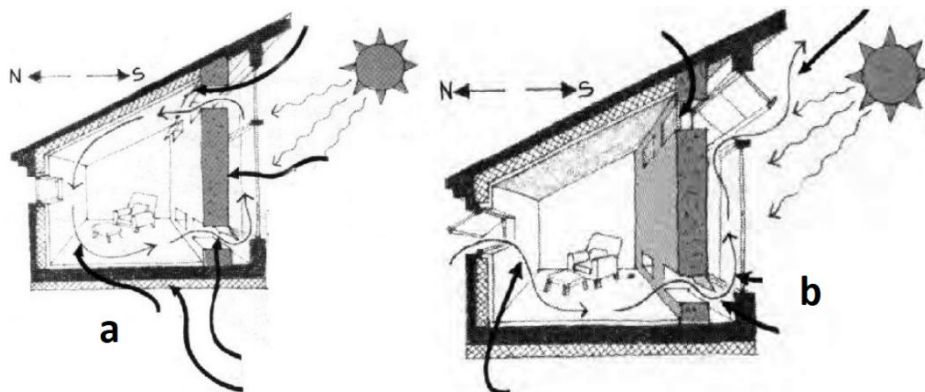
Προτάσεις χαρακτηριστικών εξωτερικών κουφωμάτων, ανάλογα με τη θέση και το κλίμα  
Πηγή: [B10]

### 3.1.4. Τοίχος θερμικής αποθήκευσης

Ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης αποτελεί ένα σύστημα παθητικής θέρμανσης. Πρόκειται για ένα τοίχο, κατασκευασμένο από υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας, ο οποίος είναι χτισμένος μέσα σε νότιους χώρους και βρίσκεται σε απόσταση 10 εκατοστών από υαλοστάσιο ή παράθυρο. Με την αρχή του θερμοκηπίου, δημιουργείται υψηλή θερμοκρασία στον χώρο ανάμεσα στον τοίχο και στο υαλοστάσιο, η οποία διοχετεύεται μέσα στο δωμάτιο. Ταυτόχρονα, θα πρέπει το παράθυρο να είναι αρκετά θερμομονωτικό, έτσι ώστε να αποφεύγεται η αποβολή της θερμότητας στο περιβάλλον. [B6]

Συνήθως ο τοίχος αυτός φέρει θυρίδες στο επάνω και στο κάτω μέρος και στην περίπτωση αυτή ονομάζεται τοίχος Trombe. Κατά τη χειμερινή περίοδο, ο ψυχρός αέρας του δωματίου, εισέρχεται στο χώρο του υαλοστασίου, θερμαίνεται και επανεισέρχεται στο δωμάτιο από το πάνω άνοιγμα (εικ. 3.2a). Το καλοκαίρι η διάταξη αυτή βοηθάει στην ψύξη του χώρου, αν συνδυαστεί με κάποιο βόρειο άνοιγμα, και εάν το υαλοστάσιο διαθέτει ανοιγόμενο παράθυρο στο επάνω μέρος. Η πάνω θυρίδα του Trombe, κλείνει ώστε ο ζεστός αέρας του υαλοστασίου να μην μπορεί να εισέλθει στο δωμάτιο. Έτσι ο αέρας του υαλοστασίου θερμαίνεται και ως εκ τούτου ανυψώνεται και εξέρχεται από το κτίριο, από το εξωτερικό άνοιγμα του υαλοπίνακα. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται υποπίεση και σε συνδυασμό με κάποιο βόρειο άνοιγμα, εισέρχεται ψυχρότερος βόρειος αέρας στο δωμάτιο (εικ. 3.2b).

Έχει βρεθεί ότι το βέλτιστο πάχος ενός τοίχου Trombe είναι 30 – 40 cm, εάν διαθέτει ανοίγματα και 25-35cm εάν δεν διαθέτει. Οι τρόποι μετάδοσης θερμότητας στο δωμάτιο, σε περίπτωση απουσίας ανοιγμάτων είναι μέσω ακτινοβολίας και αγωγής. Η προσθήκη θυρίδων επιβάλλει και έναν επιπλέον τρόπο, ο οποίος είναι η φυσική συναγωγή. Ο σωστός σχεδιασμός του τοίχου αυτού θέλει προσοχή. Συνήθως απαιτείται, τους θερινούς μήνες και ίσως τις μεσημεριανές ώρες της άνοιξης και του φθινοπώρου, να υπάρχει σκίαση ώστε να μην προσπίπτει ακτινοβολία στον τοίχο, για την αποφυγή υπερθέρμανσης. [B10]



**Εικ. 3.4.** Λειτουργία τοίχου Trombe a) κατά τη χειμερινή και b) κατά τη θερινή περίοδο  
Πηγή: [B6]

Δυστυχώς το Revit δεν μας παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού τοίχου θερμικής αποθήκευσης, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να μελετηθεί στην παρούσα εργασία.

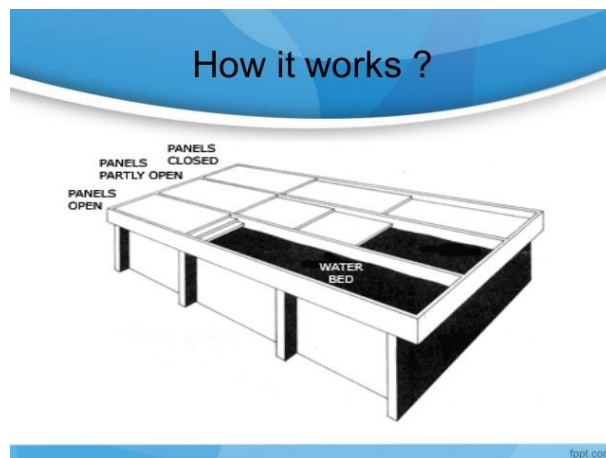
### 3.1.5. Στέγη θερμικής αποθήκευσης (Roof Pond)

Η αρχή λειτουργίας της στέγης θερμικής αποθήκευσης είναι παρόμοια με αυτή του τοίχου θερμικής αποθήκευσης, με τη διαφορά ότι η θερμική μάζα βρίσκεται στην οροφή του κτιρίου. Αυτό δίνει το πλεονέκτημα ότι υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας σε όλο τον όροφο και έτσι οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας μεταξύ των χώρων είναι μικρές (τάξης 1.5-2.5°C). [B6]

Συνήθως χρησιμοποιείται σε περιοχές μικρού γεωγραφικού πλάτους, με αρκετή ηλιοφάνεια. Τοποθετούνται στην οροφή δοχεία με νερό, βάθους 10-25cm, πάνω σε μεταλλική πλάκα, το κάτω μέρος της οποίας αποτελεί το ταβάνι των δωματίων. Καλύπτονται από μονωτικό πάνελ, το οποίο αποτρέπει την αποβολή της θερμότητας στο περιβάλλον. Κατά τη θέρμανση, το πάνελ αυτό ανοίγει και οι δεξαμενές θερμαίνονται μέσω της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Το βράδυ τα πάνελ κλείνουν και η θερμότητα που συσσωρεύτηκε εκλύεται στο εσωτερικό των δωματίων. Κατά την ψύξη, τα πάνελ παραμένουν κλειστά, κατά τη διάρκεια της μέρας, και η θερμότητα του δωματίου συσσωρεύεται στο νερό. Το βράδυ, τα πάνελ ανοίγουν και αποβάλλουν τη θερμότητα αυτή στο περιβάλλον. [B10]

Η περιοχή σχεδιασμού που μελετάται στην παρούσα εργασία, βρίσκεται στη ζώνη μέσου γεωγραφικού πλάτους, οπότε η στρατηγική αυτή δεν ενδείκνυται για εφαρμογή.

Θα πρέπει αν αναφερθεί ότι το Revit δεν μας παρέχει τη δυνατότητα μεταβολής χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια της μέρας ή της εποχής (όπως το άνοιγμα ή το κλείσιμο των πάνελ) και έτσι δεν μπορεί να προσομοιωθεί η συγκεκριμένη στρατηγική με το λογισμικό αυτό.

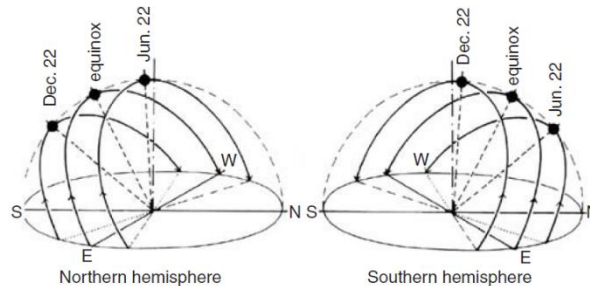


**Εικ. 3.5.** Αναπαράσταση στέγης θερμικής αποθήκευσης  
Πηγή: [B11]



### 3.1.6. Σκίαση

Η ημερήσια πορεία που ακολουθεί ο ήλιος, στο βόρειο ημισφαίριο είναι από ανατολή προς δύση, με νότια τροχιά. Το ύψος της τροχιάς αυτής μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους και συγκεκριμένα το χειμώνα βρίσκεται σε πολύ χαμηλότερη τροχιά από ότι το καλοκαίρι, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.4. [B12]

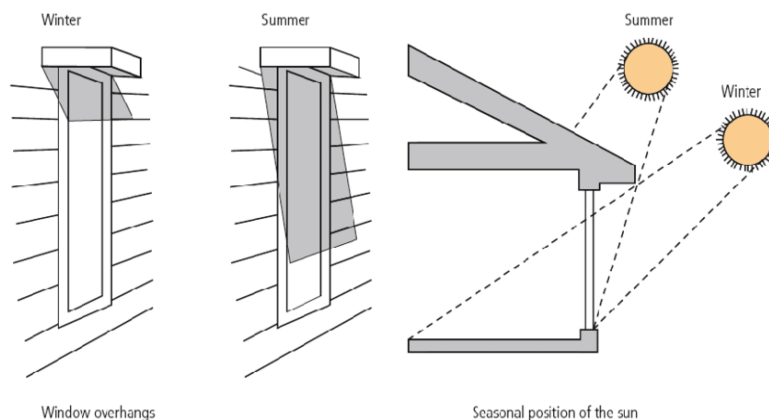


**Εικ. 3.6.** Πορεία ήλιου κατά τα ηλιοστάσια και την ισημερία, για τα δύο ημισφαίρια  
Πηγή: [B12]

Η πορεία του ήλιου κατά την μελέτη σκιάστρων στα ανοίγματα του κτιρίου, αποτελεί βασικό κίνητρο. Τα ανοίγματα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι αρκετά μεγάλα για να αποτρέπουν την είσοδο των καλοκαιρινών ηλιακών ακτινών στο κτίριο, αλλά όχι πολύ μεγάλα, ώστε να επιτρέπεται ανεμπόδιστα η είσοδος των χειμερινών [B10].

Μία συνήθης τακτική είναι η χρήση οριζόντιων σκιάστρων στην νότια πλευρά του κτιρίου, και η χρήση κάθετων στην ανατολική και, κυρίως, στην δυτική πλευρά. Τα κάθετα σκιάστρα, συνήθως, έχουν τη μορφή παντζουριού, ώστε να μπορούν να αφαιρούνται (ανοίγουν) κατά τη διάρκεια της μέρας και να επανατοποθετούνται (να κλείνουν) κατά τις απογευματινές ή πρωινές ώρες. Τα οριζόντια σκιάστρα μπορούν να έχουν διάφορες μορφές, όπως αετώματος της σκεπής-οροφής, πέργκολας, τέντας κτλ [B10].

Σκίαση μπορεί επίσης να παρέχει η προσεκτικά χωροθετημένη βλάστηση του εξωτερικού χώρου. Μία στρατηγική είναι η τοποθέτηση φυλοβόλλων δέντρων στον νότο ή/και στη δύση, έτσι ώστε το καλοκαίρι να παρέχουν σκίαση. Το χειμώνα τα φύλλα τους πέφτουν με αποτέλεσμα να αφήνουν τις ηλιακές ακτίνες να μπαίνουν στο κτίριο. Με την ευκαιρία θα πρέπει να αναφερθεί η τοποθέτηση αιθαιρών δέντρων στο βορά. Σκοπός τους είναι, σε περιοχές με σημαντικούς βόρειους ανέμους, να παρέχουν προστασία στο κτίριο, από το κρύο.

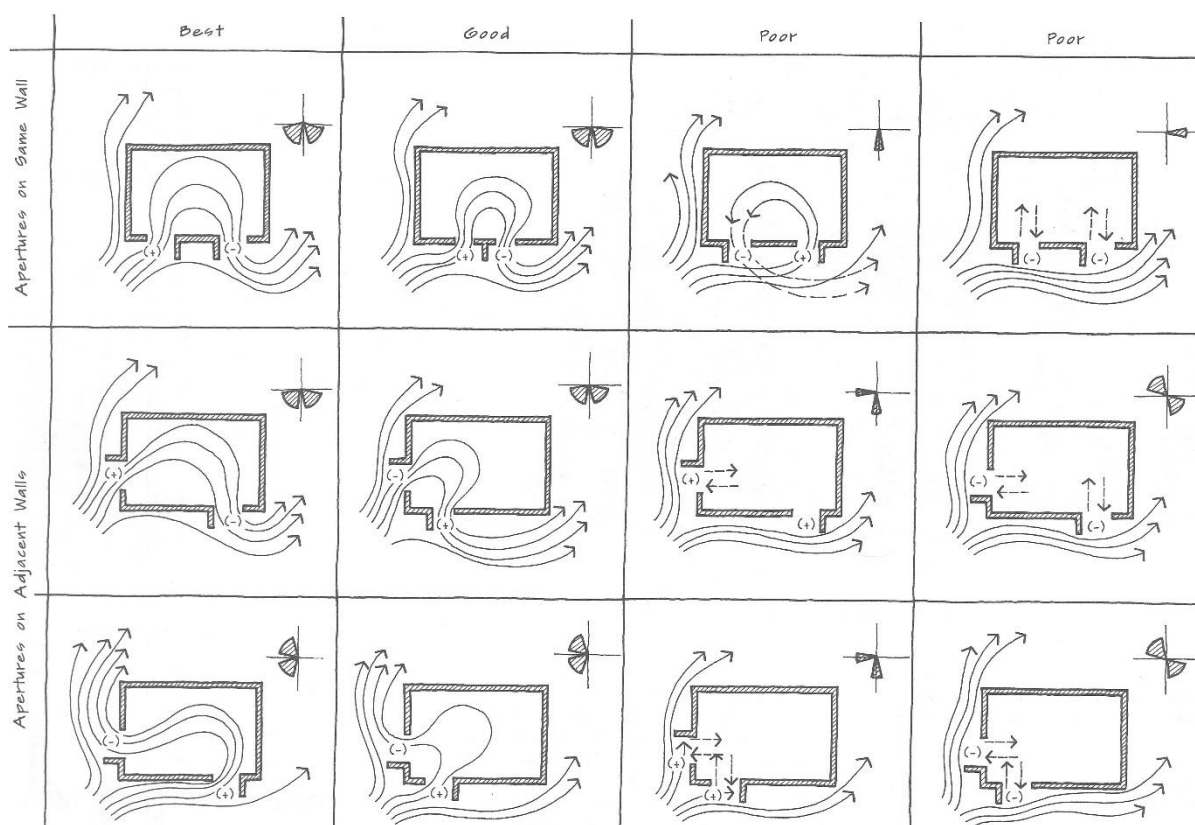


**Εικ. 3.7.** Σκίαση παραθύρου με χρήση αετώματος σκεπής  
Πηγή: [B13]

### 3.1.7. Αερισμός

Μία πολύ σημαντική τακτική κλιματισμού του χώρου, τους καλοκαιρινούς μήνες είναι ο σωστός αερισμός. Λόγω του ότι τα εσωτερικά δομικά στοιχεία αποθηκεύουν θερμότητα, είναι σημαντικό να αερίζεται το οίκημα ώστε να μην συσσωρεύεται η θερμότητα. Εάν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία θερμικής άνεσης, γίνεται προσπάθεια δημιουργίας ρεύματος αέρα μέσα στο οίκημα. Αυτό συμβαίνει διότι, για δεδομένη θερμοκρασία, η ταχύτητα που έχει αποκτήσει ο αέρας στο εσωτερικό, προσφέρει κάποιου βαθμού θερμική άνεση.

Υπάρχει εκτενής μελέτη πάνω στη διάταξη που θα πρέπει να έχουν τα ανοίγματα, ώστε να επιτευχθεί ο βέλτιστος αερισμός του κτιρίου. Είναι προφανές, πως τα ανοίγματα αυτά θα καθορίσουν την ταχύτητα ροής του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται σχεδιαστικά διάφορες διατάξεις ανοιγμάτων, καθώς και ποιοτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας της θέσης, όσον αφορά τον αερισμό.



**Εικ. 3.8.** Διατάξεις ανοιγμάτων και ποιοτική αξιολόγηση της αποδοτικότητάς τους  
Πηγή: [B10]

Δυστυχώς, το Revit δεν μας παρέχει τη δυνατότητα να υπάρχει στο κτίριο άνοιγμα μεταβαλλόμενο με την εποχή, ώστε να μελετηθεί η στρατηγική τοποθέτηση των ανοιγμάτων και να αξιολογηθεί το αποτέλεσμα του φυσικού αερισμού.

### 3.1.8. Βιοκλιματικό Διάγραμμα (Bioclimatic Chart)

Στο βιβλίο του «Sun, Wind and Light» («Ήλιος, Άνεμος και Φως») ο G. Z. Brown προσδιορίζει πέντε στρατηγικές παθητικής ψύξης: φυσικός εξαερισμός (natural ventilation), άμμεση ή έμμεση ψύξη μέσω εξάτμισης (direct/indirect evaporative cooling), υψηλή θερμική μάζα (high thermal mass), υψηλή θερμική μάζα με εξαερισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας (high thermal mass with night ventilation) και δύο στρατηγικές παθητικής θέρμανσης η πλήρης παθητική ηλιακή θέρμανση (full passive solar heating) και η μερική παθητική ηλιακή θέρμανση (partial passive solar heating). Οι στρατηγικές παθητικής ψύξης αλλά και θέρμανσης που είναι κατάλληλες για την περιοχή του συγκεκριμένου κτιρίου μπορούν να προσδιοριστούν με τη χρήση ενός βιοκλιματικού διαγράμματος το οποίο καθορίζει τη ζώνη θερμικής άνεσης, πέντε στρατηγικές παθητικής ψύξης και δύο για παθητική θέρμανση βασισμένες στη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία. Είναι ένας αξιόπιστος τρόπος να αποφασιστεί ποια στρατηγική είναι καταλληλότερη να χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό κάποιου κτιρίου σε συγκεκριμένη τοποθεσία, με συγκεκριμένο κλίμα . [B10][B14]

Οι στρατηγικές παθητικής ψύξης αναλύονται παρακάτω:

Ο φυσικός εξαερισμός (natural ventilation): εξαρτάται απλώς από τη μετακίνηση αέρα για να δροσίσει το εσωτερικό ενός κτηρίου. Η ύπαρξη ανοιγμάτων σε αντίθετες πλευρές του κτηρίου ενισχύουν το διαγώνιο εξαερισμό που οδηγείται από τα ρεύματα της περιοχής ή τον άνεμο. Δεδομένου ότι τα φυσικά ρεύματα δεν μπορούν να σχεδιαστούν, οι σχεδιαστές επιλέγουν συχνά να ενισχύσουν το φυσικό εξαερισμό χρησιμοποιώντας ψηλοτάβανους χώρους μέσα στα κτήρια, που ονομάζονται σωροί. Τα ανοίγματα κοντά στην κορυφή του σωρού βοηθούν τον θερμό αέρα να δραπετεύσει, ενώ ο πιο δροσερός αέρας εισρέει στο κτίριο από ανοίγματα κοντά στο έδαφος. Ο εξαερισμός απαιτεί το κτήριο να είναι ανοικτό κατά τη διάρκεια της ημέρας για να επιτρέπεται η ροή αέρα. [B10][B14]

Η υψηλή θερμική μάζα (high thermal mass) εξαρτάται από τη δυνατότητα των υλικών στο κτήριο να απορροφούν τη θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κάθε νύχτα η μάζα απελευθερώνει τη θερμότητα που έχει απορροφήσει την ημέρα και είναι έτοιμη να λειτουργήσει με τον ίδιο τρόπο την επόμενη ημέρα. Για να είναι αποτελεσματική, η θερμική μάζα πρέπει να εκτίθεται στους ζωτικούς χώρους. [B10][B14]

Η υψηλή θερμική μάζα (high thermal mass) με εξαερισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας (night ventilation) στηρίζεται στην καθημερινή αποθήκευση θερμότητας της θερμικής μάζας που συνδυάζεται με τον εξαερισμό νύχτας ο οποίος δροσίζει τη μάζα. Το κτήριο πρέπει να είναι κλειστό κατά τη διάρκεια της ημέρας και ανοικτό τη νύχτα για να απαλλαγεί η θερμική μάζα από τη συσσωρευμένη θερμότης μέσω εξαερισμού. [B10][B14]

Η εξατμιστική ψύξη (evaporative cooling) ή ψύξη μέσω εξάτμισης χαμηλώνει τη θερμοκρασία εσωτερικού αέρα μέσω εξάτμιση ύδατος. Στα ξηρά κλίματα, αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται πάρα πολύ με εξάτμιση ύδατος μέσα στον εσωτερικό χώρο του κτηρίου (άμεσος τρόπος). Αλλά οι έμμεσες μέθοδοι, όπως οι λίμνες στεγών (roof ponds), επιτρέπουν στην εξατμιστική ψύξη να χρησιμοποιείται και σε άλλου είδους κλίματος επίσης. Ο εξαερισμός και η εξατμιστική ψύξη συμπληρώνονται συχνά με μηχανικά μέσα, όπως οι ανεμιστήρες. Ακόμα κι έτσι, ουσιαστικά χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια για να διατηρήσουν την θερμική άνεση σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα ψύξης. Είναι επίσης δυνατό να χρησιμοποιηθούν αυτές οι στρατηγικές σε απολύτως παθητικά συστήματα όπου δεν απαιτείται κανένα πρόσθετο μηχανήμα ή ενέργεια για να λειτουργήσουν. [B10][B14]

Οι στρατηγικές παθητικής θέρμανσης αναλύονται παρακάτω:

Η πλήρης παθητική ηλιακή θέρμανση (full passive solar heating) είναι ο λιγότερο δαπανηρός τρόπος για τη θέρμανση του σπιτιού ενώ χρησιμοποιεί πλήρως την απευθείας θέρμανση του ήλιου για να μειώσει την ενέργεια που καταναλώνεται για θέρμανση του χώρου χωρίς να περιλαμβάνει τη χρήση μηχανικών και ηλεκτρικών συσκευών. Ο σχεδιασμός για παθητική ηλιακή θέρμανση έχει ως στόχο να κρατήσει εκτός τον καλοκαιρινό ήλιο και να του επιτρέψει να εισέλθει τον χειμώνα μέσω των παραθύρων, των τοίχων και του δαπέδου με συλλογή, αποθήκευση και αντανάκλαση για τη διανομή της **ηλιακής ενέργειας** με τη μορφή θερμότητας, ενώ παράλληλα διασφαλίζει ότι η συνολική θερμική απόδοση του κτιρίου διατηρεί αυτή τη θερμότητα τους χειμερινούς μήνες, αλλά την αποκλείει και της επιτρέπει να ξεφύγει το καλοκαίρι. Η παθητική ηλιακή σχεδίαση εξαρτάται επίσης από ενεργούς χρήστες που θυμούνται να ανοίγουν και να κλείνουν τα παράθυρα απομονώνοντας τους χώρους ζώνης κάθε μέρα. [B10]

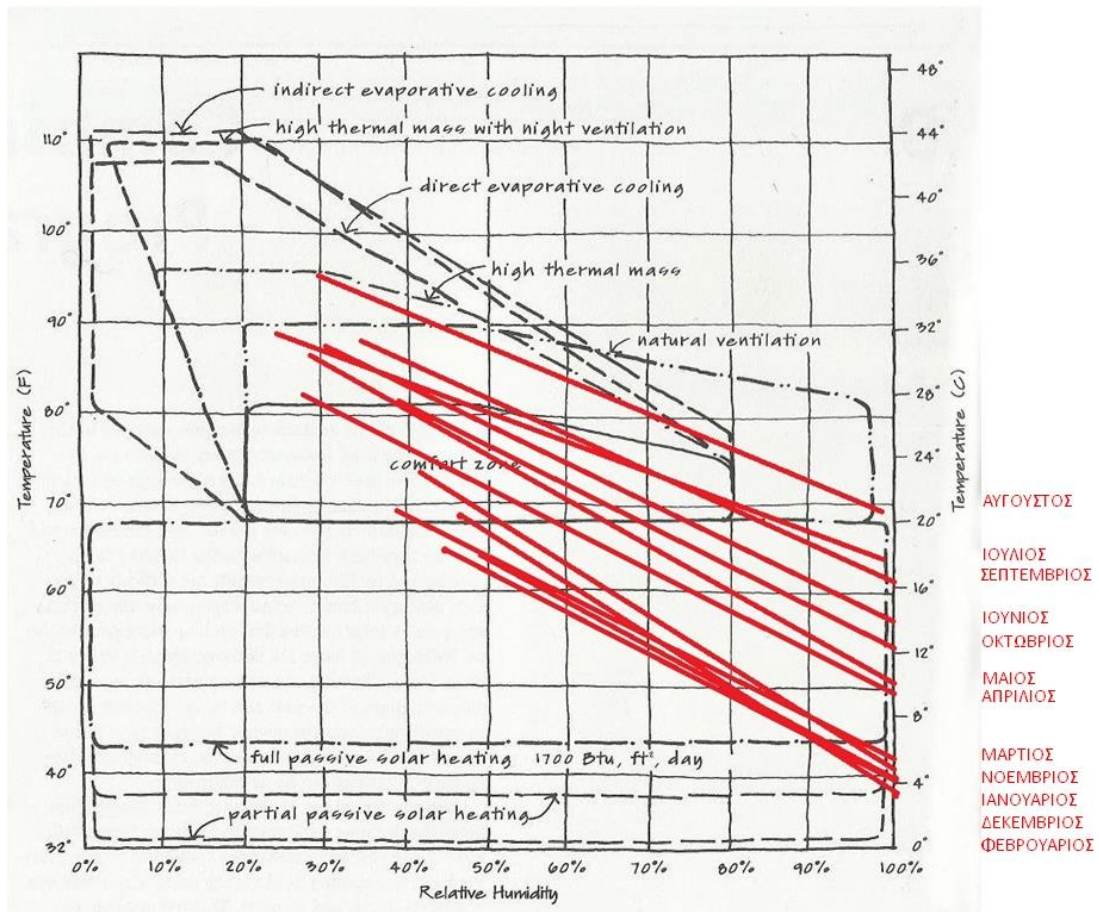
Η μερική παθητική ηλιακή θέρμανση (partial passive solar heating) είναι η κατα το δυνατόν μεγαλύτερη εφαρμογή των παραπάνω "κανόνων" προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό τελικό αποτέλεσμα σύμφωνα με τις αρχές της παθητικής ηλιακής θέρμανσης. Βέβαια επειδή οι ανάγκες θέρμανσης είναι αρκετά μεγάλες, αν τα παθητικά μέσα δεν επαρκούν ίσως να χρειάζεται υποβοήθηση από μη παθητικά μέσα. [B10]

Στο σημείο αυτό θα μπορούσε να γίνει μία αρχική εκτίμηση των στρατηγικών βελτίωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία, με τη χρήση του Βιοκλιματικού Διαγράμματος. Πρόκειται για ένα διάγραμμα για το οποίο λαμβάνονται υπόψη οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας για κάθε μήνα και γίνεται εκτίμηση των αποδοτικότερων παθητικών στρατηγικών σχεδιασμού.

Για κάθε μήνα ορίζονται δύο σημεία, το ένα με τετμημένη την μέγιστη υγρασία και τεταγμένη την ελάχιστη θερμοκρασία και το άλλο ελάχιστη υγρασία και μέγιστη θερμοκρασία και έπειτα ενώνονται. Έτσι σχηματίζονται δώδεκα γραμμές, μία για κάθε μήνα, οι οποίες μας δείχνουν ποιοί βρίσκονται εντός της ζώνης θερμικής άνεσης και με ποιες στρατηγικές βιοκλιματικού σχεδιασμού μπορεί να επιτευχθεί θερμική άνεση στα διαστήματα που βρίσκονται εκτός της ζώνης. [B10]

Τις τιμές για την υγρασία και τη θερμοκρασία προέρχονται από τα δεδομένα του μετεωρολογικό σταθμό, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, τα οποία αντλήθηκαν μέσα από το Revit. Οι τιμές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

<b>Month</b>	<b>Max Rel Humidity [%]</b>	<b>Min Rel. Humidity [%]</b>	<b>Max Temp [°C]</b>	<b>Min Temp [°C]</b>
1	100	45	18.2	4.1
2	100	47	20.4	3.5
3	100	37	21.6	5.7
4	100	27	27.9	9.4
5	100	28	30	9.9
6	100	33	31.5	14
7	97	24	32.1	17.6
8	97	30	35.2	21
9	100	34	31.1	16.4
10	100	37	27.9	12.3
11	100	42	22.6	5.5
12	100	49	18.3	4.1



**Εικ. 3.9.** Βιοκλιματικό διάγραμμα περιοχής σχεδιασμού κτιρίων

Πηγή: Sun, Wind and Light» («Ήλιος, Άνεμος και Φως»), G. Z. Brown

Από το διάγραμμα γίνεται φανερό ότι για ένα σημαντικό μέρος του έτους, οι περιβαλλοντικές συνθήκες συμπίπτουν με συνθήκες θερμικής άνεσης. Επιπροσθέτως, οι θερμοκρασίες στις θερμές περιόδους δεν είναι υπερβολικά υψηλές, με ενδεχόμενο αποτέλεσμα να μπορεί να επιτευχθεί θερμική άνεση με χρήση φυσικού αερισμού. Τέλος οι ψυχρές περίοδοι ίσως να μπορούν να καλυφθούν σχεδόν στο 100% με παθητική ηλιακή θέρμανση.

## **4. Ανάλυση Τοποθεσίας**

### **4.1. Ελλάδα**

Η Ελλάδα είναι το νοτιοανατολικότερο άκρο της Ευρώπης. Συγκεκριμένα βρίσκεται μεταξύ των 34° και 42° παραλλήλων στο βόρειο ημισφαίριο και ως εκ τούτου το κλίμα της μπορεί να χαρακτηριστεί θερμά εύκρατο ή τυπικά μεσογειακό. Συναντάμε ήπιους και βροχερούς χειμώνες και σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Βέβαια, η Ελλάδα είναι μία χώρα με μεγάλη ποικιλομορφία εδάφους και υψομέτρων, πράγμα το οποίο οδηγεί σε διαφορές του κλίματος από περιοχή σε περιοχή, χωρίς όμως να ξεφεύγει ιδιαίτερα από τα όρια του μεσογειακού.

Κλιματολογικά, το έτος χωρίζεται σε δύο ζώνες. Τους μήνες από μέσα Οκτωβρίου μέχρι τέλος Μαρτίου όπου έχουμε μία ψυχρή και βροχερή περίοδο και την θερμή και άνομβρη από Απρίλιο μέχρι μέσα Οκτώβρη.

Κατά την πρώτη εποχή, το μέγιστο ψύχος εμφανίζεται κυρίως τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο, όπου οι μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες κυμαίνονται 5–10°C στις παραθαλάσσιες περιοχές, 0–5 °C στις ηπειρωτικές και τιμές κάτω του μηδενός στις βόρειες και κυρίως ορεινές περιοχές. Οι βροχές δεν έχουν μεγάλη διάρκεια και ο συννεφιασμένος ουρανός διαρκεί μόνο για λίγες ημέρες, σε αντίθεση με τις πολυήμερες βροχές πιο βόρειων χωρών. Κατά τον Ιανουάριο ή/και τις πρώτες μέρες του Φεβρουαρίου, η κακοκαιρία διακόπτεται από περιόδους ηλιοφάνειας, τις γνωστές αλκυονίδες μέρες.

Κατά τη θερμή περίοδο ο καιρός είναι σχετικά σταθερός. Παρατηρούνται συνεχώς ασυννέφιαστες μέρες, με αίθριο ουρανό, με λίγες εξαιρέσεις βροχοπτώσεων, μικρής διάρκειας. Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρατηρούνται τις τελευταίες μέρες του Ιουλίου, οπότε και η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται από 25-35 °C. Στις παραθαλάσσιες περιοχές, η ζέστη μετριάζεται από τα δροσερά θαλάσσια αεράκια και στα νησιά ειδικότερα παρατηρούνται κάποιοι βόρειοι άνεμοι.

Η άνοιξη έχει μικρή διάρκεια λόγω του όψιμου χειμώνα και του πρώιμου καλοκαιριού, ενώ το φθινόπωρο έχει μεγάλη διάρκεια, στις νότιες περιοχές, κα μπορεί να φτάσει μέχρι τα μέσα Δεκεμβρίου.[Σ2]

### **4.2. Κρήτη**

Το κλίμα της Κρήτης χαρακτηρίζεται από πολλούς ως το ηπιότερο όλης της Ευρώπης και δέχεται επιρροές τόσο από τη μεσογειακή όσο και από τη βόρεια αφρικανική ζώνη.

Ο χειμώνας είναι ήπιος και οι βροχοπτώσεις αρκετές, κυρίως στο δυτικό τμήμα καθώς επίσης δεν λείπει και το χιόνι από τα ορεινά τμήματα του νησιού. Ειδικότερα στις περιοχές με υψόμετρο μεγαλύτερο από 1000m έχουμε έντονες βροχοπτώσεις ενώ τα χιόνια στις κορυφές των Λευκών Ορέων και του Ψηλορείτη διατηρούνται μέχρι τον Απρίλιο.

Η άνοιξη έχει πολύ μικρή διάρκεια και εκτείνεται από τον Απρίλιο μέχρι τα μέσα Μαΐου και είναι ξηρή με μικρές μόνο βροχοπτώσεις. Το καλοκαίρι η μέση θερμοκρασία

κυμαίνεται από 25 ως και 30 βαθμούς και παρουσιάζει μέγιστο στους 35 – 40 °C. Οι βροχές, κατά την εποχή αυτή, είναι σπάνιες και παρουσιάζονται κυρίως κατά τον Σεπτέμβριο.

Τέλος, το φθινόπωρο ξεκινάει από τέλη Σεπτεμβρίου και εκτείνεται μέχρι Δεκέμβριο. Είναι σχετικά θερμό αλλά και υγρό.

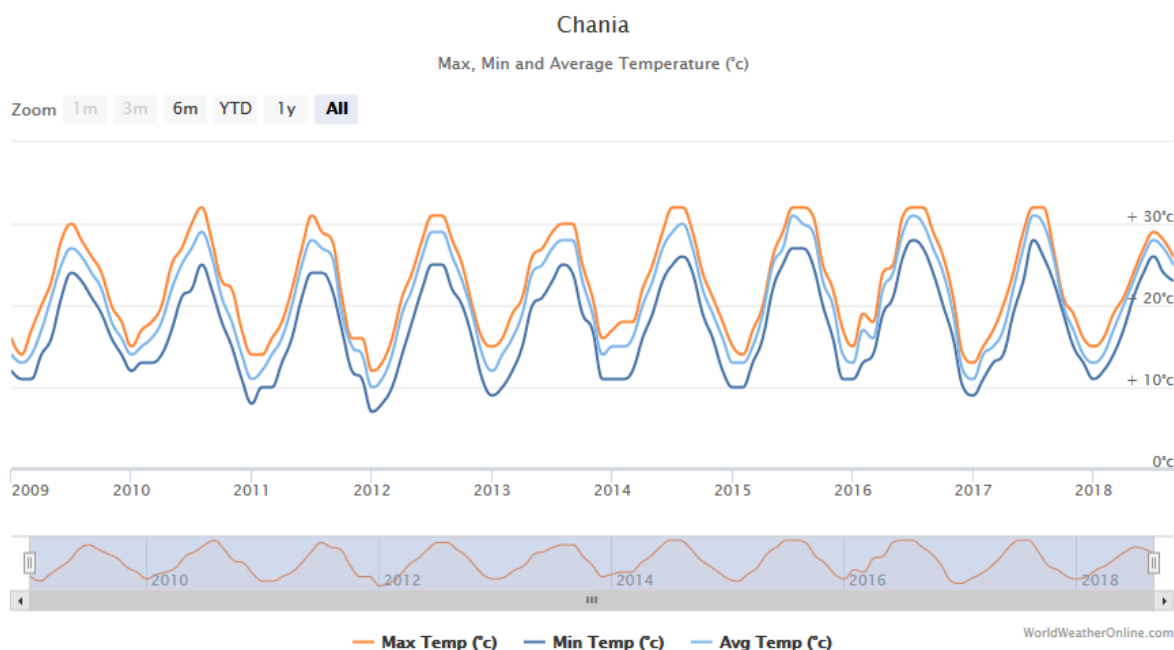
Αξίζει να σημειωθεί, ότι η ηλιοφάνεια είναι από της μεγαλύτερες στην Ευρώπη και, κυρίως στα νότια παράλια, μπορεί να φτάσει και στις 320 ημέρες το χρόνο.

### 4.3. Χανιά

Ο νομός Χανίων βρίσκεται στο δυτικό άκρο του νησιού της Κρήτης και συγκεκριμένα σε συντεταγμένες 35.48° Βόρεια και 24.03 Ανατολικά.

Το κλίμα θα χαρακτηριζόταν συνολικά θερμό εφόσον περιλαμβάνει ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Κυρίως το διάστημα Απρίλιο μέχρι Οκτώβριο ο ουρανός είναι σχεδόν καθημερινά καθαρός και η ατμόσφαιρα ζεστή. Οι θερμοκρασίες πάνω από 39°C είναι σπάνιες, διότι υπάρχουν τα μελέμια. Τον Μάρτιο και τον Απρίλιο εμφανίζονται κάποια θερμά επεισόδια, λόγω των νότιων ανέμων που μεταφέρουν ακόμα και σκόνη από τη Σαχάρα. Χιονοπτώσεις παρατηρούνται κυρίως στα ορεινά.

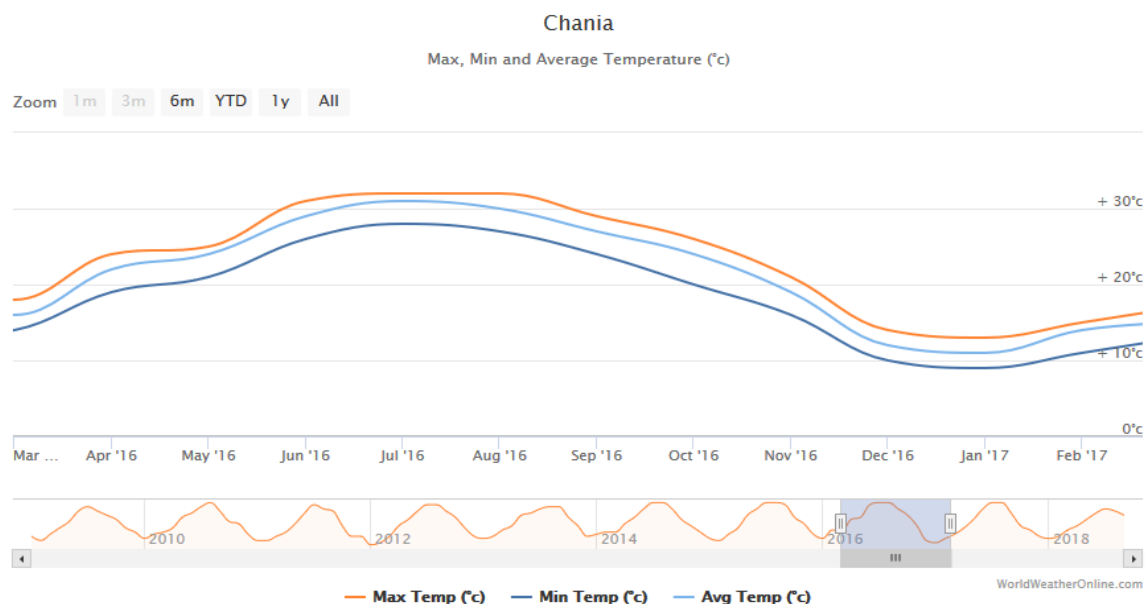
Το παρακάτω διάγραμμα αποτελεί απεικόνιση της διακύμανσης θερμοκρασίας τα τελευταία εννέα χρόνια. Παρατηρείται ότι το μοτίβο είναι σταθερό με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες να βρίσκονται πάνω κυρίως από 10°C και τις υψηλότερες ελαφρά πάνω από 30°C.



**Εικ. 4.1.** Ετήσιο διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας για τα Χανιά  
Πηγή [Σ3]



Λόγω του σταθερού μοτίβου, μπορούμε να λάβουμε αξιόπιστα δεδομένα εξετάζοντας τη θερμοκρασία σε περίοδο ενός έτους. Βλέπουμε ότι οι ελάχιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται τον Ιανουάριο ενώ οι μέγιστες τον Ιούλιο.

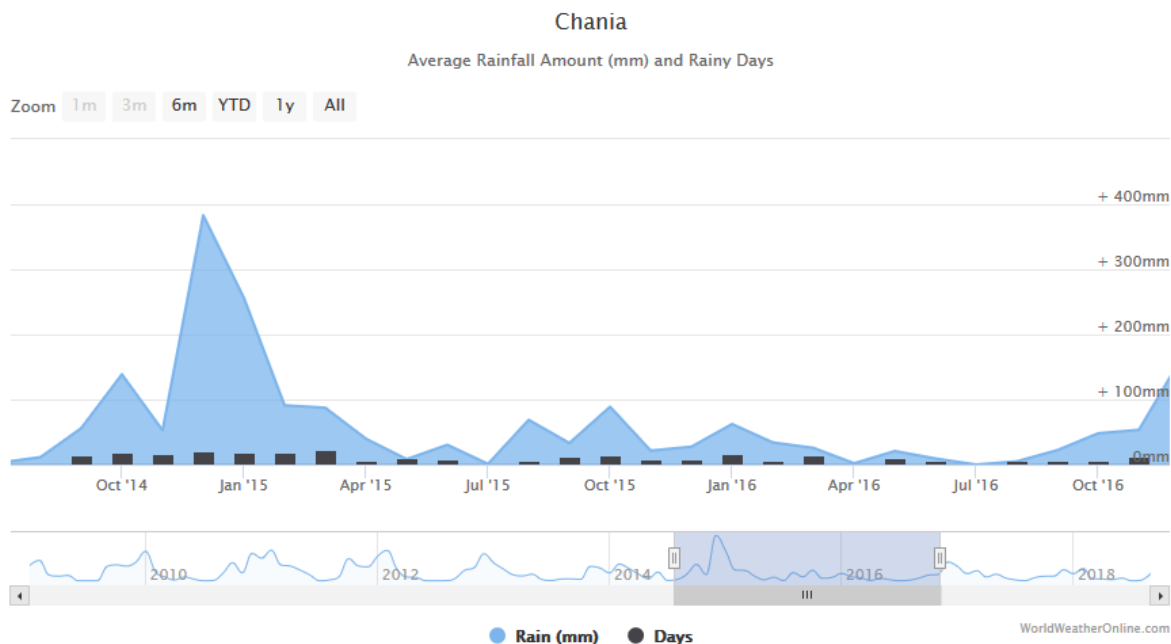


**Εικ. 4.2.** *Μηνιαίο διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας για τα Χανιά, σε διάρκεια 12 μηνών*  
*Πηγή [Σ3]*

Αντιθέτως, σημαντική διακύμανση στο πέρασμα των ετών, παρουσιάζουν οι βροχοπτώσεις. Φαίνεται, από το παρακάτω διάγραμμα, ότι τα τελευταία 3 χρόνια οι βροχοπτώσεις έχουν μειωθεί, τουλάχιστον κατά το 1/3 σε σχέση με τα προηγούμενα έτη. Γίνεται πάντως αντιληπτό ότι ο κύριος όγκος των βροχοπτώσεων εκδηλώνεται την περίοδο από Οκτώβριο μέχρι Μάρτιο, ενώ τον υπόλοιπο χρόνο μειώνονται σημαντικά.

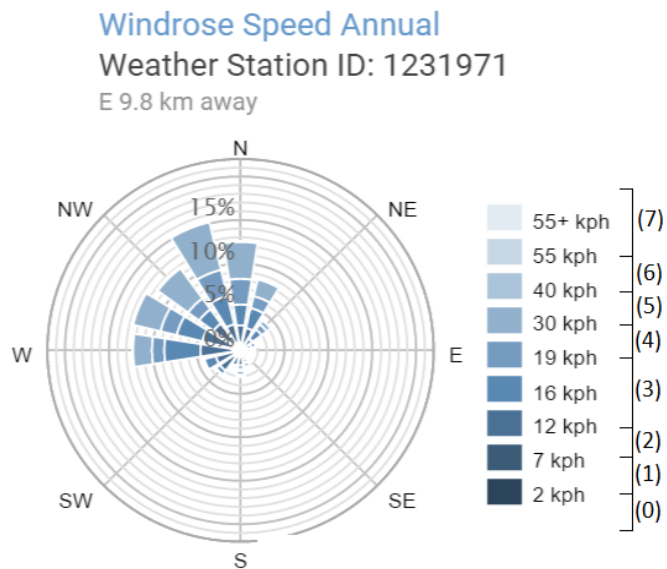


**Εικ. 4.3.** *Ετήσιο διάγραμμα μεταβολής βροχοπτώσεων για τα Χανιά*  
*Πηγή [Σ3]*



**Εικ. 4.4.** *Μηνιαίο διάγραμμα μεταβολής βροχοπτώσεων για τα Χανιά  
Πηγή [Σ3]*

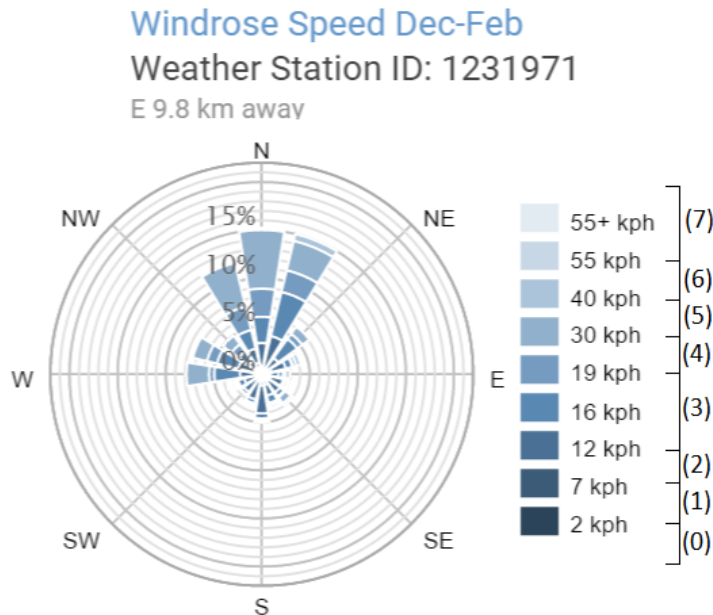
Τέλος θα εξεταστούν οι άνεμοι που εμφανίζονται στην περιοχή. Σε ετήσια βάση παρατηρείται ότι οι άνεμοι πνέουν από βόρειες, βορειοδυτικές και δυτικές κατευθύνσεις με τη μέγιστη συχνότητα να εμφανίζεται βόρεια-βορειοδυτικά. Η ένταση κυμαίνεται από 2 έως 6 Beaufort με τις υψηλές εντάσεις να έχουν μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης, έως και 15%.



**Εικ. 4.5.** *Διάγραμμα ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου για την περιοχή  
ανοικοδόμησης. Σε παρένθεση σημειώνεται η κλίμακα Beaufort  
Πηγή: Insight 360 Results*

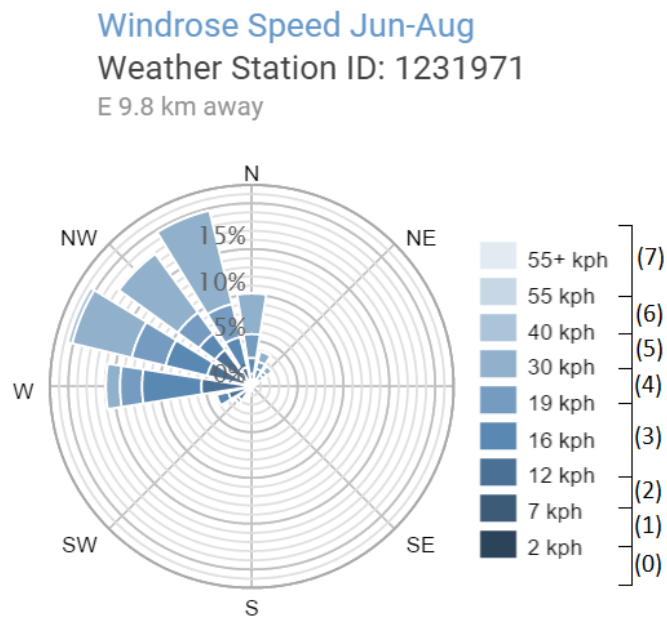
Είναι χρήσιμο να απεικονιστούν και οι εποχιακοί άνεμοι της περιοχής, ώστε η σχεδίαση κατάλληλων συστημάτων για τη προστασία της οικίας, από τα κρύα ρεύματα του χειμώνα και από τα θερμά του καλοκαιριού να καθίσταται ευκολότερη. Από την εικόνα 3.9 προκύπτει

ότι τα κύρια ρεύματα αέρα του χειμώνα πηγάζουν από τον βορά. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι ο σχεδιασμός της βόρειας πλευράς του κτιρίου θα πρέπει να γίνει με μεγάλη προσοχή ώστε να προφυλαχτεί από τους κρούς βόρειους ανέμους.



**Εικ. 4.6.** Διάγραμμα ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου για την περιοχή ανοικοδόμησης τη χειμερινή περίοδο. Σε παρένθεση σημειώνεται η κλίμακα Beaufort  
Πηγή: Insight 360 Results

Την καλοκαιρινή περίοδο αλλάζει ελαφρώς η κατεύθυνση του ανέμου και τα ρεύματα χειμερινά ρεύματα μετατρέπονται σε βορειοδυτικά. Τα ρεύματα αυτά είναι σχετικά δροσερά και βοηθούν στην μείωση των ψυκτικών φορτίων το καλοκαίρι. Αυτό σημαίνει ότι η βορειοδυτική πλευρά του κτιρίου, θα πρέπει να είναι κατάλληλα διαμορφωμένη ώστε να μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τη δροσιά αυτή.



**Εικ. 4.7.** Διάγραμμα ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου για την περιοχή ανοικοδόμησης την καλοκαιρινή περίοδο. Σε παρένθεση σημειώνεται η κλίμακα Beaufort  
Πηγή: Insight 360 Results

#### 4.4. Ανάλυση Περιοχής ανοικοδόμησης



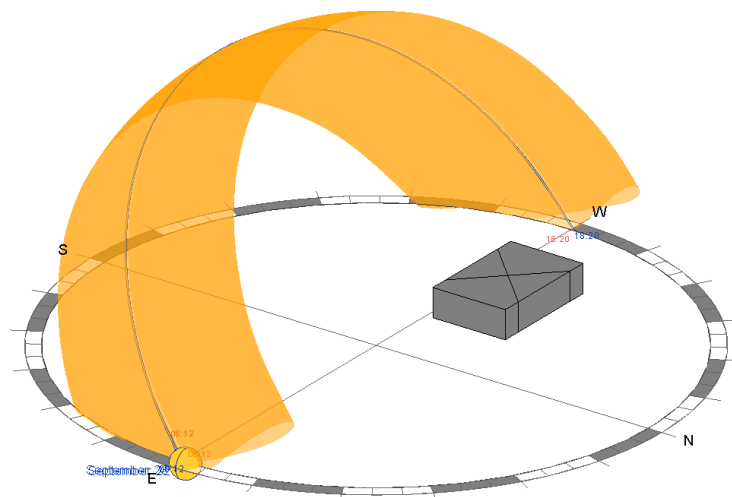
**Εικ. 4.8.** Αεροφωτογραφία του υπό μελέτη οικοπέδου  
Πηγή: Google Maps

Ως θέση ανοικοδόμησης επιλέγεται η περιοχή Κουνουπιδιανά του νομού Χανίων στην Ελλάδα. Το οικόπεδο έχει έκταση 1193m<sup>2</sup> με συντεταγμένες 35°31'36.99"N 24°04'35.66"E (35.57694167N 24.07666667E) και βρίσκεται σε ύψος 157m από την επιφάνεια της θάλασσας.

Η αρχική ανάλυση τοποθεσίας θα γίνει με την απλοποιημένη μέθοδο του mass model, χρησιμοποιώντας το λογισμικό Autodesk Revit, καθώς επίσης θα χρησιμοποιηθούν δημοσιευμένα κλιματολογικά δεδομένα.

Αρχικά ορίζονται οι συντεταγμένες που βρίσκεται το οίκημα και ορίζεται ένας κατάλληλος μετεωρολογικός σταθμός. Να σημειωθεί, στο σημείο αυτό, ότι ο κατάλληλος σταθμός δεν είναι απαραίτητα ο κοντινότερος, αλλά αυτός που έχει παρόμοια γεωγραφικά χαρακτηριστικά με το οικόπεδο ανοικοδόμησης. Επιλέχθηκε ο σταθμός 1231971 που βρίσκεται στον αερολιμένα Ιωάννης Δασκαλογιάννης των Χανίων που απέχει περίπου 9.5 km από την τοποθεσία μας. Βρίσκεται σε ύψος 137m από την επιφάνεια της θάλασσας, δηλαδή μόλις 20 περίπου μέτρα χαμηλότερα από το σημείο ανοικοδόμησης.

Επίσης είναι χρήσιμο να μελετήσουμε την πορεία που ακολουθεί ο ήλιος γύρω από το κτίσμα που σχεδιάζουμε. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε, στο Revit, ένα mass model στο σημείο που θα τοποθετηθεί η οικία και πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση τη πορείας του ήλιου, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στην παρακάτω εικόνα, για χρονική διάρκεια ενός έτους. Τα συστήματα σκίασης θα πρέπει να εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να φτάνει στα ανοίγματα του κτιρίου, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Ταυτόχρονα όμως, θα θέλαμε τους χειμερινούς μήνες να λαμβάνουμε το μέγιστο θερμικό κέρδος από τον ήλιο για θέρμανση της οικίας. Διεξοδική ανάλυση και σχεδιασμός των συστημάτων αυτών θα γίνει στο αντίστοιχο χωρίο της παρούσας εργασίας.



**Εικ. 4.9.**

Εικ. 5.15: Σχηματική αναπαράσταση ετήσιας πορείας ήλιου.  
Πηγή: Insight 360 Results

## 5. Σχεδιασμός Οικίας

### 5.1. Εισαγωγή

Ο προσανατολισμός του κτιρίου επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή του απόδοση. Μέσα από σωστό γεωμετρικό σχεδιασμό υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσης των φυσικών πηγών που προσφέρονται, όπως ο ήλιος, για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών.

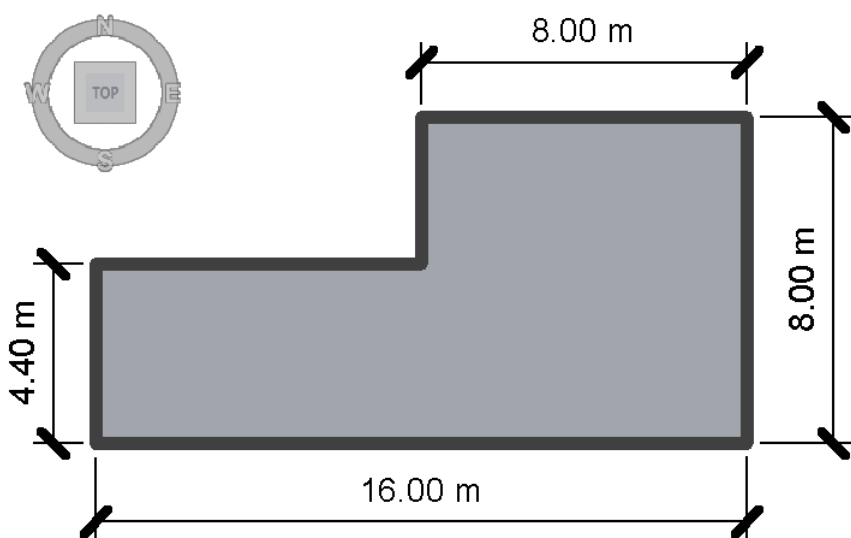
Βασική προϋπόθεση κατά το σχεδιασμό, είναι η ικανότητα της οικίας να φιλοξενήσει μία τετραμελή οικογένεια και ως εκ τούτου, επιλέχθηκε να έχει έκταση περίπου 100m<sup>2</sup>.

### 5.2. Μελέτη προσανατολισμού

Σύμφωνα με το κεφάλαιο 3, η γεωμετρία της οικίας θα πρέπει να είναι επιμήκης στον άξονα Ανατολή – Δύση και επιλέχθηκε να έχει σχήμα Γάμα. Η μελέτη θα γίνει εφαρμόζοντας την μέθοδο του mass model, για να μελετηθεί η επίδραση του προσανατολισμού στην ενεργειακή απόδοση.

Επιλέγεται η κατοικία να είναι ισόγεια με ύψος 3m. Στο αρχικό στάδιο η οροφή σχεδιάζεται επίπεδη, εντούτοις μπορεί η μελέτη του τελικού να μας οδηγήσει σε κεκλιμένη οροφή.

Σαν βασική προϋπόθεση λαμβάνεται η ικανότητα της οικίας να φιλοξενήσει μία τετραμελή οικογένεια, κατά συνέπεια επιλέγεται η έκτασή της να είναι περίπου 100m<sup>2</sup>. Πρέπει να σημειωθεί εδώ, ότι οι τελικές διαστάσεις του κτιρίου ενδέχεται να είναι ελαφρώς διαφοροποιημένες από αυτές του mass model, για λόγους διαρρύθμισης των εσωτερικών χώρων. Εντούτοις, η μεταβολή αυτή, θα είναι μικρή ώστε να μην επηρεάσει την αρχική μελέτη. Στις παρακάτω εικόνες, βλέπουμε την κάτοψη του κτιρίου που δημιουργήθηκε.



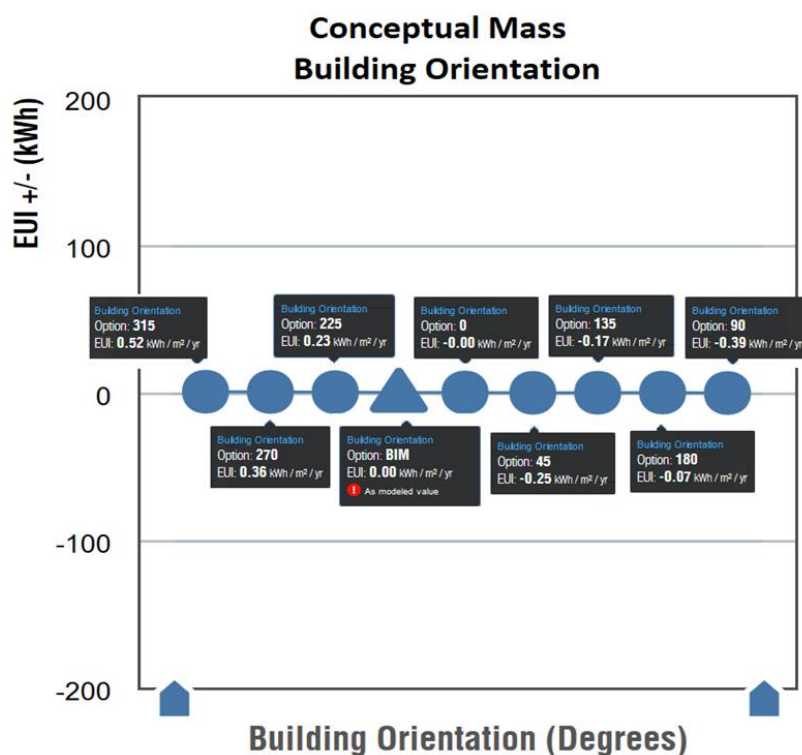
**Εικ. 5.1.** Απεικόνιση διαστάσεων οικίας

Πραγματοποιείται ανάλυση με το Revit και υπολογίζεται η Πυκνότητα Χρήσης Ενέργειας (Energy Use Intensity – EUI). Το μέγεθος αυτό απεικονίζει την ενέργεια που καταναλώνει το κτίριο ανά τετραγωνικό μέτρο σε διάρκεια ενός έτους και έχει μονάδες μέτρησης  $[kWh/m^2yr]$ .

Το Insight παρέχει ανάλυση ευαισθησίας για διάφορους παράγοντες που αφορούν το κτίσμα. Στα παρακάτω διαγράμματα θα δούμε την επίδραση του προσανατολισμού στην ενεργειακή απόδοση. Λόγω του ότι τα διαγράμματα μελετάνε την διαφορά σε EUI από την μοντελοποιημένη διάταξη, θέτουν ως  $EUI=0$  στον αρχικό προσανατολισμό (τρίγωνο στο διάγραμμα) και σχεδιάζεται το υπόλοιπο διάγραμμα με βάση την τιμή αυτή. Η φορά περιστροφής του οικήματος λαμβάνεται σαν δεξιόστροφη, δηλαδή από τον βορά περιστρεφόμαστε προς την ανατολή.

Από την ανάλυση αυτή φαίνεται κάτι πολύ ενδιαφέρον. Παρατηρούνται έντονες διαφοροποιήσεις σε σχέση με τον προσανατολισμό, με τον βέλτιστο να είναι οι  $90^\circ$ , και η EUI μειώνεται κατά  $0.39 kWh/m^2yr$ . Βέβαια αυτό διαφέρει από την πραγματικότητα διότι στο mass model δεν υπεισέρχονται αρκετοί παράγοντες, όπως τα ανοίγματα ή τα σκιάστρα.

Πρέπει να σημειωθεί, στο σημείο αυτό, ότι για τη συγκεκριμένη μοντελοποίηση, το κτίριο προσομοιώνεται με συμπαγή όγκο, ο οποίος δεν φέρει ανοίγματα. Για τον λόγο αυτό, τα αποτελέσματα του mass model με τα πραγματικά ενδέχεται να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές.



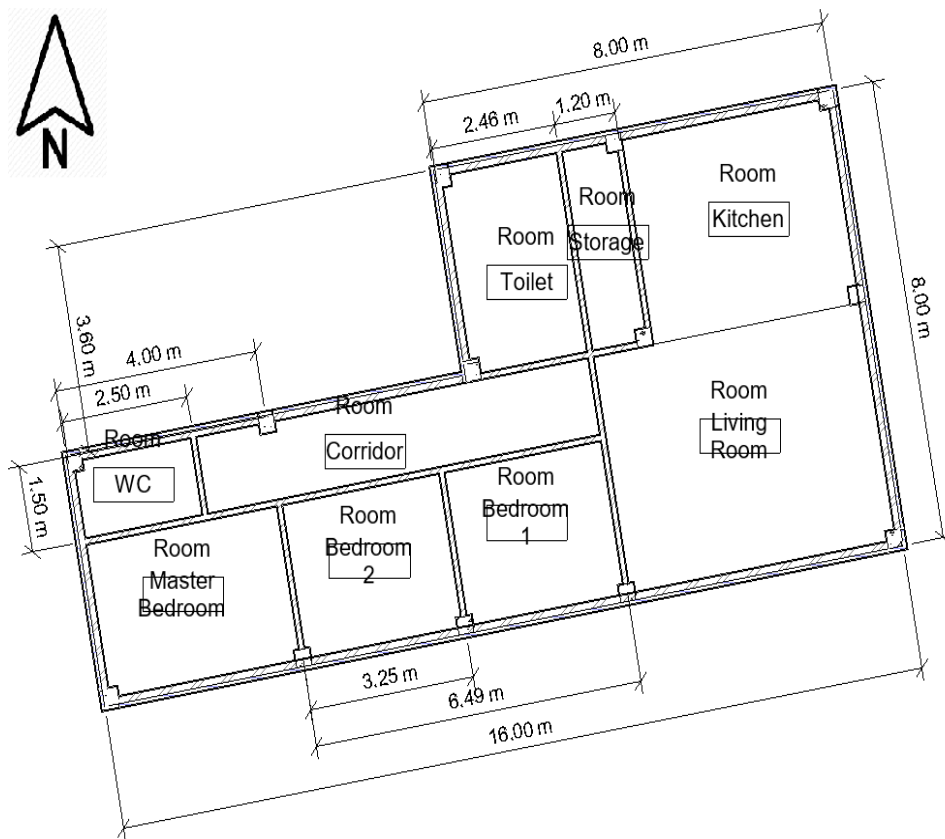
**Εικ. 5.2.** Επίδραση προσανατολισμού

### 5.3. Χωροταξία κτιρίου

Πρωταρχικός ενεργειακός στόχος ενός κτιρίου είναι η ελαχιστοποίηση των απωλειών του και ταυτόχρονα η μεγιστοποίηση του ενεργειακού κέρδους από φυσικές πηγές, όπως ο ήλιος. Τα θερμικά κέρδη ή/και οι θερμικές απώλειες, ενός δωματίου, εξαρτώνται άμεσα από τον προσανατολισμό του κατά συνέπεια η χωροταξία των χώρων της οικίας, πρέπει να γίνει με μεγάλη προσοχή. Ο προσανατολισμός του κτιρίου είναι ελαφρώς διαφοροποιημένος από τα mass model, ώστε να ακολουθηθεί ο προσανατολισμός του οικοπέδου. Η διαφορά είναι μικρή, της τάξης των 11° CCW, που όπως αναφέραμε προηγουμένως, δεν επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση.

Όπως διατυπώθηκε, οι χώροι με μεγαλύτερη χρήση, συνηθίζεται να σχεδιάζονται με νότιο προσανατολισμό, ενώ αυτοί με λιγότερη, με βόρειο ή ανατολικό. Λαμβάνοντας υπόψη τη στρατηγική αυτή, αποφασίστηκε η διάταξη των χώρων.

Στην νότια πλευρά τοποθετούνται τα υπνοδωμάτια καθώς και η σαλοτραπεζαρία, ώστε να λαμβάνουν το μέγιστο δυνατό ποσό θερμότητας από τον ήλιο. Στο βορειοανατολικό άκρο σχεδιάζεται η κουζίνα, αμέσως δυτικότερα μία μικρή αποθήκη και έπειτα το μεγάλο μπάνιο. Βόρεια βρίσκεται διάδρομος και WC ώστε να προστατεύουν τα υπνοδωμάτια από τους βόρειους ανέμους.



**Εικ. 5.3.** Χωροταξία εσωτερικών χώρων



## **6. Μεθοδολογία**

### **6.1. Γενικά**

Τα τελικά χαρακτηριστικά της κατοικίας θα προκύψουν μετά από μελέτη. Αρχικά θα γίνει ανάλυση του σημείου ανοικοδόμησης, ως προς τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά του. Στη συνέχεια θα μελετηθεί ο προσανατολισμός του κτιρίου στο λογισμικό Autodesk Revit με τη μέθοδο του mass model. Στο επόμενο βήμα θα σχεδιαστεί χωροταξικά η κατοικία, με σχεδίαση των εσωτερικών χώρων καθώς και των ανοιγμάτων που θα υπάρχουν, μαζί με τους κατάλληλους προβόλους για σκίαση πάνω από τα ανοίγματα. Επίσης θα γίνει προσπάθεια εφαρμογής κατάλληλων στρατηγικών παθητικοποίησης, όπως διαμόρφωσης βλάστησης περιμετρικά της οικίας, ώστε να έχουμε σκίαση τους καλοκαιρινούς μήνες και προστασία από τους κρύους βορινούς ανέμους τον χειμώνα, εγκατάσταση πιο βαριάς μόνωσης κ.α.

Θα σχεδιαστούν δύο εκδόσεις του κτιρίου. Το ένα κτίριο θα ακολουθεί τις ελάχιστες απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ, χωρίς να περιλαμβάνει κάποιο επιπλέον μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας ενώ στο δεύτερο θα εφαρμοστούν στρατηγικές βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

Ο σχεδιασμός της κάθε οικίας και η δημιουργία του εκάστοτε υπολογιστικού μοντέλου γίνεται με τη βοήθεια του λογισμικού Revit της Autodesk, όπου ορίζεται η γεωμετρία του κάθε κτιρίου καθώς και τα ενεργειακά χαρακτηριστικά της (προσανατολισμός, μόνωση, κλιματολογικά δεδομένα κτλ). Το υπολογιστικό μοντέλο του κτιρίου αποστέλλεται στο Insight 360 για να εκτελεστεί η ανάλυση. Τα αποτελέσματα επιστρέφουν, από το cloud, σε ηλεκτρονική μορφή διαγραμμάτων και μπορούν να αναλυθούν από τον χρήστη. Με βάση τα δεδομένα αυτά, σχεδιάζεται λεπτομερώς η οικία και γίνονται μεταβολές στο αρχικό σχήμα του κτιρίου, όπου και εάν αυτό είναι απαραίτητο.

### **6.2. Μοντελοποίηση**

#### **6.2.1. Συνθήκες κλιματισμού και θερμικά κέρδη**

##### **Συνθήκες θερμικής άνεσης**

Το βασικό μέλημα μίας ενεργειακής μελέτης είναι η ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης μέσα σε ένα χώρο. Οι επιθυμητές συνθήκες ενός χώρου είναι ένας υποκειμενικός παράγοντας, εντούτοις το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας μαζί με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, έχουν εκδώσει την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, σύμφωνα με την οποία ορίζονται πρότυπα θερμικής άνεσης.

Ο πρώτος παράγοντας που εξετάζεται είναι η θερμοκρασία του χώρου. Η απαιτούμενη θερμοκρασία έχει διαφορετική τιμή για την καλοκαιρινή και για τη χειμερινή περίοδο και για μία μονοκατοικία ορίζεται στους 20°C για το χειμώνα και 26°C για το καλοκαίρι [B7].

Εκτός από τη θερμοκρασία θα πρέπει να οριστεί και ο απαραίτητος ρυθμός ανανέωσης του εσωτερικού αέρα ώστε να εξασφαλιστούν οι κατάλληλες συνθήκες υγιεινής. Φυσικά, ανάλογα τη χρήση του χώρου και την πυκνότητα του πληθυσμού, ο ρυθμός αυτός παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία. Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ, όταν πρόκειται για ενεργειακή μελέτη, αγνοούνται οι ιδιαίτερες απαιτήσεις που μπορεί να έχει ένας χώρος (πχ το μπάνιο)

και ορίζονται τιμές για το νωπό αέρα ανά άτομο και ανά τετραγωνικό μέτρο του χώρου. Στην περίπτωση μονοκατοικίας οι τιμές αυτές είναι  $15 \frac{m^3}{h/άτομο} = 4.17 \frac{L/s}{άτομο}$  και

$$0.75 \frac{m^3}{h/m^2} = 0.21 \frac{L/s}{m^2}. [B7]$$

### **Θερμικά κέρδη**

Ένας σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την θερμοκρασία ενός χώρου, είναι τα θερμικά κέρδη από τον εξοπλισμό που περιέχει καθώς και από την παρουσία ανθρώπων σε αυτόν. Τα κέρδη αυτά χωρίζονται σε αισθητά, δηλαδή τα φορτία που εισέρχονται στον χώρο απευθείας με αγωγιμότητα, συναγωγή ή ακτινοβολία και λανθάνοντα τα οποία δημιουργούνται όταν προστίθεται στον χώρο υδρατμοί (πχ από συσκευές ή από ανθρώπους). Χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: [B7]

- Ηλεκτροφωτισμός (αισθητό)
- Ανθρώπινη παρουσία (αισθητά και λανθάνοντα)
- Εξοπλισμό (αισθητά στην πλειοψηφία των εφαρμογών)

#### **Φωτισμός**

Στην ίδια τεχνική οδηγία ορίζονται τα απαραίτητα επίπεδα γενικού φωτισμού καθώς και το επίπεδο αναφοράς της μέτρησης αυτής. Για μία μονοκατοικία η στάθμη φωτισμού θα πρέπει να είναι 200 lx μετρημένη σε επίπεδο 0.8 μέτρα από το δάπεδο. [B7]

Στην ίδια τεχνική οδηγία, ορίζεται η εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού, ανάλογα της στάθμης αυτής. Σύμφωνα με την παραπάνω απαίτηση φωτισμού, η ισχύς (και άρα το θερμικό κέρδος που αυτή αποφέρει) θα πρέπει να είναι  $6.4 \text{ W/m}^2$ . [B7]

#### **Ανθρώπινη παρουσία**

Στην ΤΟΤΕΕ, η εκλυόμενη θερμότητα από την ανθρώπινη παρουσία δίδεται σαν θερμική ισχύς ίση με  $80 \text{ W/άτομο}$ , χωρίς να υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ αισθητής και λανθάνουσας [B7].

Για λόγους βελτίωσης της ακρίβειας, το Revit πραγματοποιεί τους υπολογισμούς, διαχωρίζοντας τα δύο αυτά θερμικά κέρδη και έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη αναζήτησης των τιμών αυτών σε διαφορετική βιβλιογραφία. Η online πλατφόρμα πληροφόρησης της Autodesk [Σ6], για το συγκεκριμένο ζήτημα, αντλεί πληροφορίες από το πρότυπο της ASHRAE (ASHRAE Handbook – Fundamentals 30.4 Table 1). Ο πίνακας αυτός αναγράφει την λανθάνουσα και την αισθητή θερμότητα που εκλύει το ανθρώπινο σώμα ανάλογα την δραστηριότητα που εκτελεί. Έτσι, σε κάθε περίπτωση χώρου, επιλέγεται η δραστηριότητα που αντιπροσωπεύει καλύτερα τον χρήστη και αντίστοιχα οι τιμές λανθάνουσας και αισθητής έκλυσης θερμότητας.

- Εξοπλισμός

Η αύξηση των ηλεκτρικών/ηλεκτρονικών συσκευών που βρίσκονται σε κάθε κτίριο, έχει γίνει πλέον αισθητή ακόμα και στις οικίες. Για το λόγο αυτό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την διενέργεια ενεργειακών μελετών. Η σημαντικότερη παρουσία εξοπλισμού εμφανίζεται στον χώρο της κουζίνας, όπου υπάρχουν οι πιο ενεργοβόρες συσκευές του σπιτιού, όπως το ψυγείο και η ηλεκτρική κουζίνα.

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης ορίζονται φορτία στην TOTEE ανάλογα με τη χρήση του χώρου. Για μονοκατοικία η ισχύς του εξοπλισμού ορίζεται στα 4 W/m<sup>2</sup> και έχει μέσο συντελεστή λειτουργίας μέσα στη διάρκεια της μέρας 0.75 [B7].

Η κουζίνα συνήθως διαθέτει τις πιο ενεργοβόρες ηλεκτρικές συσκευές. Η TOTEE δεν ορίζει ξεχωριστή ισχύ εξοπλισμού για τον χώρο αυτό, οπότε θα ανατρέξουμε σε διαφορετική βιβλιογραφία. Θεωρούμε ότι οι συσκευές που συνεισφέρουν στα θερμικά φορτία είναι μόνο η ηλεκτρική κουζίνα και ο ψυγιοκαταψύκτης. Οι υπόλοιπες συσκευές λειτουργούν για πολύ μικρό χρονικό διάστημα, οπότε θεωρούμε ότι δεν επηρεάζουν. Πληροφορίες για ενδεικτική κατανάλωση σύγχρονων ηλεκτρικών συσκευών μας παρέχει η ιστοσελίδα της Δ.Ε.Η.

Για την ηλεκτρική κουζίνα μία τυπική συνολική ισχύς είναι 9 kW από τα οποία τα 3 KW είναι του φούρνου και τα υπόλοιπα των ματιών. Όμως, σχεδόν πάντα λειτουργεί μόνο ένα μέρος της και όχι ολόκληρη. Ακόμα και σε μελέτη ηλεκτρικής εγκατάστασης, για την επιλογή του αγωγού, του διακόπτη και της ασφάλειας, χρησιμοποιείται ένας συντελεστής ταυτοχρονισμού 0.7 [B8]. Από την ιστοσελίδα βλέπουμε ότι ο φούρνος έχει κατανάλωση 2.7 kW, το μεγάλο μάτι 2 kW και το μικρό 1.5 kW [Σ7]. Πολλές φορές χρειάζεται να λειτουργήσουν περισσότερα του ενός μάτια ή συνδυασμός φούρνου και ματιού. Για τον λόγο αυτό θεωρούμε ότι σε καθημερινή βάση η κουζίνα καταναλώνει, για όση ώρα λειτουργεί, 3000 W ηλεκτρικής ισχύος.

Επίσης στην κουζίνα υπάρχει το ηλεκτρικό ψυγείο. Κατά μέσο όρο ένας ψυγιοκαταψύκτης καταναλώνει 0.5 kWh μέσα στο 24ωρο [Σ8], οπότε η μέση κατανάλωσή του είναι 21W. Συνολικά λοιπόν ο χώρος της κουζίνας καταναλώνει 3021W ηλεκτρικής ισχύος.

### **6.2.2. Διαχωρισμός χώρων (Spaces)**

Για καλύτερη μοντελοποίηση των αποτελεσμάτων, επιλέγεται να ομαδοποιηθούν τα δωμάτια (Rooms) του κτιρίου σε χώρους (Spaces), ο κάθε ένας από τους οποίους θα έχει διαφορετικά δεδομένα φορτίων. Θα διατηρηθεί η ίδια ομαδοποίηση των δωματίων τόσο στο κτίριο αναφοράς όσο και στο ενεργειακά βελτιωμένο, καθώς η χρήση των χώρων δεν μεταβάλλεται με την ενεργειακή βελτίωσή του.

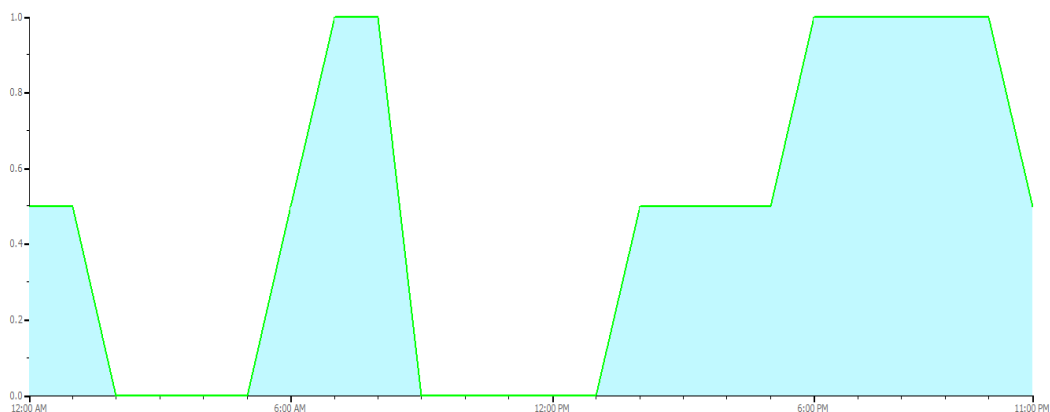
Οι κύριες διαφοροποιήσεις των χώρων, περιλαμβάνουν διαφορικό ωράριο παρουσίας ανθρώπων και φωτισμού, καθώς και για την κουζίνα διαφορετικά φορτία ηλεκτρικών συσκευών. Τέλος θα υπάρχουν και δωμάτια τα οποία είναι μη κλιματιζόμενα.

#### **Ενιαίος χώρος**

Όπως φαίνεται από την απεικόνιση της κάτοψης του κτιρίου (εικ. 5.3), το κτίριο έχει έναν ενιαίο χώρο ο οποίος περιλαμβάνει το καθιστικό και την κουζίνα. Το καθιστικό είναι χώρος στον οποίο συνήθως δεν υπάρχει έντονη δραστηριότητα, αλλά στον οποίο οι

άνθρωποι είναι καθιστοί, κυρίως απογευματινές και βραδινές ώρες<sup>1</sup>. Στην κουζίνα από την άλλη, υπάρχει και δραστηριότητα από ένα ή δύο άτομα για την προετοιμασία του φαγητού, πλύσιμο πιάτων κτλ. Για το λόγο αυτό ο υπολογισμός του θερμικού κέρδους γίνεται κάπως πολύπλοκος. Προκύπτει από τον πίνακα στο παράρτημα Π1 ότι για καθιστική δραστηριότητα αντίστοιχη με την παρακολούθηση βραδινής θεατρικής παράστασης η αισθητή θερμότητα είναι 72W και η λανθάνουσα 31W. Οι τιμές για ελαφριά δουλειά σε ορθοστασία είναι 73W και 59W αντίστοιχα. Έτσι, επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί η τιμή για αισθητή θερμότητα και να πάρουμε τον μέσο όρο για την λανθάνουσα, οπότε έχουμε 73W αισθητής και 45W λανθάνουσας.

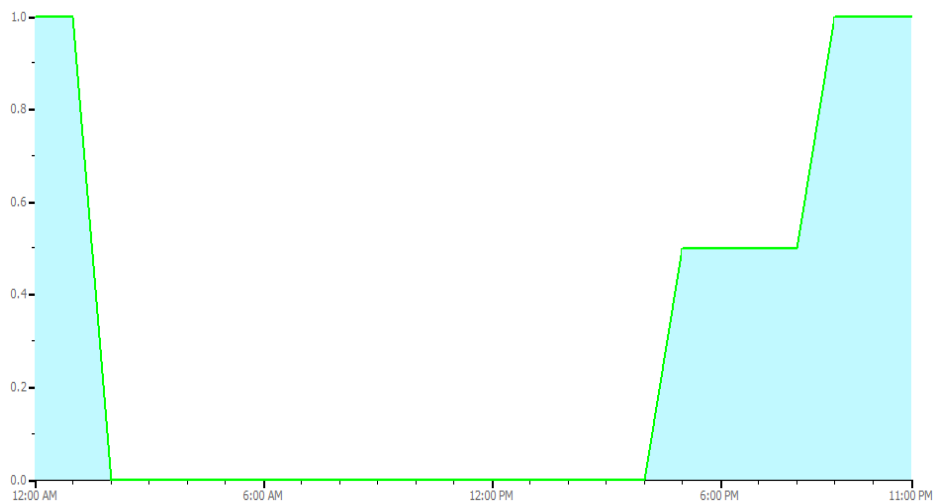
Πρέπει επίσης να οριστεί και το πρόγραμμα σύμφωνα με το οποίο υπάρχει ανθρώπινη παρουσία στον χώρο. Το διάγραμμα αυτό είναι ποσοστιαίο και δείχνει τι ποσοστό του συνολικού αριθμού ανθρώπων βρίσκονται στον χώρο μία συγκεκριμένη ώρα. Θεωρούμε ότι χρήση του χώρου γίνεται από τους γονείς από τις 6 το πρωί μέχρι τις 7 όπου ξυπνάνε και τα παιδιά και μέχρι τις 8 γίνεται χρήση από όλα τα μέλη της οικογένειας. Στη συνέχεια μέχρι τις 14:00 το σπίτι παραμένει άδειο, καθώς τα παιδιά είναι σχολείο και οι γονείς στην εργασία τους. Στις 14:00 επιστρέφουν τα δύο παιδιά και στις 17:00 και οι δύο γονείς. Μέχρι τις 22:00 θεωρούμε ότι όλοι κάνουν χρήση του καθιστικού ενώ από τότε μέχρι τις 00:00 κάθονται μόνο οι γονείς. Από τις 00:00 μέχρι τις 6:00 δεν βρίσκεται κανείς στον χώρο αυτόν. Το πρόγραμμα αυτό απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



**Εικ. 6.1.** Πρόγραμμα ανθρώπινης παρουσίας στον ενιαίο χώρο

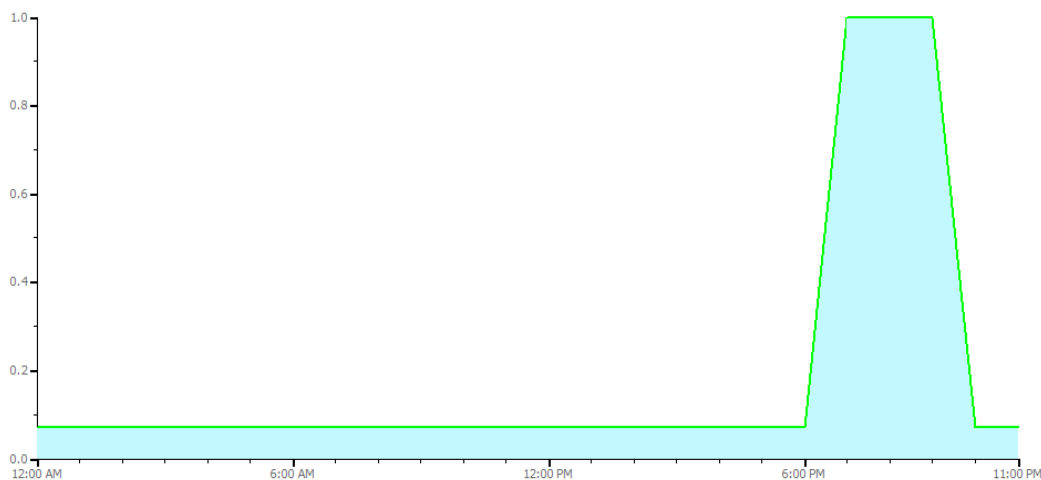
Αντίστοιχα βγαίνει το διάγραμμα φωτισμού. Το χειμώνα οι ανάγκες φωτισμού ξεκινάνε από τις 17:30 περίπου και το καλοκαίρι από τις 21:00. Για το λόγο ότι το Revit δεν παρέχει τη δυνατότητα να οριστούν διαφορετικές παράμετροι για κάθε εποχή, θεωρούμε ότι από τις 17:00 μέχρι τις 21:00 οι ανάγκες φωτισμού βρίσκονται στο 50% και στο 100% από τις 21:00 μέχρι τη 01:00 όπου όλη η οικογένεια πέφτει για ύπνο. Έτσι το διάγραμμα φωτισμού είναι:

<sup>1</sup> Θεωρούμε ότι εργάζονται και οι δύο γονείς και άρα η προετοιμασία του φαγητού λαμβάνει χώρα τις απογευματινές ώρες



**Εικ. 6.2.** Πρόγραμμα φωτισμού στον ενιαίο χώρο

Στον ενιαίο χώρο λειτουργούν και οι ηλεκτρικές συσκευές που αφορούν την κουζίνα και κατά συνέπεια τα θερμικά φορτία τους επηρεάζουν όλο το χώρο. Όπως προέκυψε προηγουμένως η θερμική ισχύς είναι 3021W και το εμβαδό του ενιαίου χώρου είναι  $34.8m^2$ , οπότε έχουμε  $3021W/34.8m^2 = 86W/m^2$ . Θεωρείται ότι το φορτίο του ψυγείου (21W) εκλύεται όλο το εικοσιτετράωρο ενώ τα συνολικά μόνο κατά το μαγείρεμα, δηλαδή από τις 18:00 μέχρι τις 21:00. Έτσι το διάγραμμα είναι:



**Εικ. 6.3.** Πρόγραμμα φορτίων ηλεκτρικών συσκευών στον ενιαίο χώρο

### **Παιδικά υπνοδωμάτια**

Τα παιδικά υπνοδωμάτια, θα εξεταστούν ξεχωριστά από των γονέων για δύο λόγους. Αρχικά το κάθε ένα από αυτά τα δωμάτια χρησιμοποιείται από ένα μόνο άτομο ενώ τον γονέων από δύο. Επιπροσθέτως, στα παιδικά, πραγματοποιείται και την σχολική μελέτη, ενώ των γονέων χρησιμοποιείται μόνο για νυχτερινό ύπνο του ζευγαριού. Οι περισσότερες ώρες που περνάνε τα παιδιά στο υπνοδωμάτιό τους αφιερώνονται στον ύπνο, ενώ 3 αφιερώνονται στην σχολική μελέτη.

Δυστυχώς ο πίνακας του παραρτήματος Π1 δεν περιέχει την μεταβολική δραστηριότητα στην περίπτωση του ύπνου. Από την άλλη οι τρεις ώρες σχολικής μελέτης, μπορούν να αντιπροσωπευθούν από τη δουλειά γραφείου. Συνολικά λοιπόν, θεωρείται ότι

και οι δύο περιπτώσεις μπορούν να συνοψιστούν αμφότερες στην παρακολούθηση θεατρικής παράστασης, δηλαδή 66W αισθητής και 31W λανθάνουσας θερμότητας.

Η παρουσία των παιδιών στα δωμάτιά τους θεωρείται ότι ξεκινάει στις 18:00 για να ξεκινήσουν την μελέτη μέχρι τις 21:00. Το βράδυ επιστρέφουν στις 23:00 για να κοιμηθούν μέχρι τις 07:00.

Το θερμικό φορτίο λόγω φωτισμού θεωρείται στα  $6.5\text{W/m}^2$ , όπως και προηγουμένως και το φορτίο λόγω ηλεκτρικών συσκευών στα  $4\text{W/m}^2$ , όπως ορίζει ο KENAK. Το πρόγραμμα φωτισμού και χρήσης ηλεκτρικών συσκευών, θεωρείται ότι συμπίπτει με τις ώρες σχολικής μελέτης, δηλαδή από τις 18:00 έως τις 21:00.

### **Υπνοδωμάτιο γονέων**

Το υπνοδωμάτιο των γονέων είναι ευκολότερο στους υπολογισμούς. Θεωρείται ότι δεν υπάρχουν ηλεκτρικές συσκευές στο χώρο και ότι το ζευγάρι εκεί μόνο κοιμάται. Αυτό σημαίνει ότι και η χρήση του φωτισμού κρίνεται αμελητέα. Συνεπώς υφίσταται η παρουσία δύο μόνο ανθρώπων από τη 01:00 μέχρι τις 06:00 οι οποίοι κοιμούνται. Επειδή ο Π1 δεν έχει αυτή τη δραστηριότητα, επιλέγεται η παρακολούθηση θεατρικής παράστασης και προσαρμόζονται τα νούμερα με μία μικρή μείωση και έχοντας 60W αισθητής και 30W λανθάνουσας ενέργειας. Όσον αφορά τις ηλεκτρικές συσκευές, θεωρείται ότι δεν λειτουργεί καμία συσκευή στο δωμάτιο αυτό.

### **WC – Αποθήκη**

Το WC και η αποθήκη είναι χώροι που κατέχουν μικρό εμβαδό μέσα στο σπίτι. Επίσης η χρήση τους δεν είναι πολύ συχνή και για το λόγο αυτό θα θεωρηθούν μη κλιματιζόμενοι χώροι (έχουν μόνο αερισμό). Ο τοίχος που χωρίζει το κάθε ένα από αυτά από το υπόλοιπο σπίτι είναι απλός εσωτερικός αμόνωτος, ώστε να μπορούν να αντλούν μέρος της θερμότητας του σπιτιού. Η ανθρώπινη παρουσία θεωρείται ότι περιορίζεται σε μία ώρα, όλο το εικοσιτετράωρο, ενός ανθρώπου, η δραστηριότητα του οποίου προσομοιώνεται με παρακολούθηση θεατρικής παράστασης. Τέλος σε κανένα από τους δύο χώρους δεν υπάρχουν ηλεκτρικές συσκευές και ο φωτισμός θεωρείται ότι περιορίζεται σε μία ώρα τη μέρα.

### **Διάδρομος**

Ο διάδρομος είναι πλήρως κλιματιζόμενος χώρος, στον οποίο η διέλευση ανθρώπων είναι πολύ μικρή. Θεωρείται ότι η παρουσία ανθρώπων ισοδυναμεί με την διέλευση ενός ατόμου που διάρκειας μίας ώρας. Επίσης ο φωτισμός περιορίζεται σε μία ώρα ανά εικοσιτετράωρο και δεν υπάρχουν ηλεκτρικές συσκευές σε αυτόν τον χώρο. Για την ανθρώπινη μεταβολική δραστηριότητα θεωρούμε από τον Π1 73W αισθητής και 58W λανθάνουσας θερμότητας.

### **Τουαλέτα**

Η κεντρική τουαλέτα είναι ένας κλιματιζόμενος χώρος ο οποίος περιέχει το πλυντήριο ρούχων. Από την ιστοσελίδα της Δ.Ε.Η. [Σ9] παρέχεται η πληροφορία ότι έχει κατανάλωση  $1.4\text{kWh/μέρα}$  λειτουργίας (για πλήρες πρόγραμμα  $50^\circ\text{C}$  5 κιλά ρούχα). Θεωρείται ότι ένα πλήρες πρόγραμμα έχει διάρκεια δύο ωρών, άρα η ισχύς είναι  $0.7\text{kW}$ . Βέβαια, το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ισχύος είναι θερμικό για θέρμανση του νερού πλύσης, το οποίο αποβάλλεται ζεστό στην αποχέτευση και άρα δεν συνεισφέρει στα θερμικά κέρδη του

χώρου. Η θερμότητα του κινητήρα εκλύεται μόνο στο χώρο και μία τυπική ισχύς είναι στα 200W. Η επιφάνεια της τουαλέτας είναι  $7.72\text{m}^2$ , και άρα το θερμικό κέρδος είναι  $26\text{W/m}^2$ . Θεωρούμε ότι η συσκευή τίθεται σε λειτουργία μία φορά τις δύο μέρες, άρα μία ώρα τη μέρα.

Επίσης θεωρείται ότι η συνολική παρουσία ανθρώπων μέσα στη διάρκεια της μέρας ισοδυναμεί με δύο ώρες συνεχούς παρουσία ενός ατόμου, όπως και ο φωτισμός. Η δραστηριότητα που εκτελείται είναι μικρής καταπόνησης, οπότε ισοδυναμεί με την παρακολούθηση θεατρικής παράστασης.

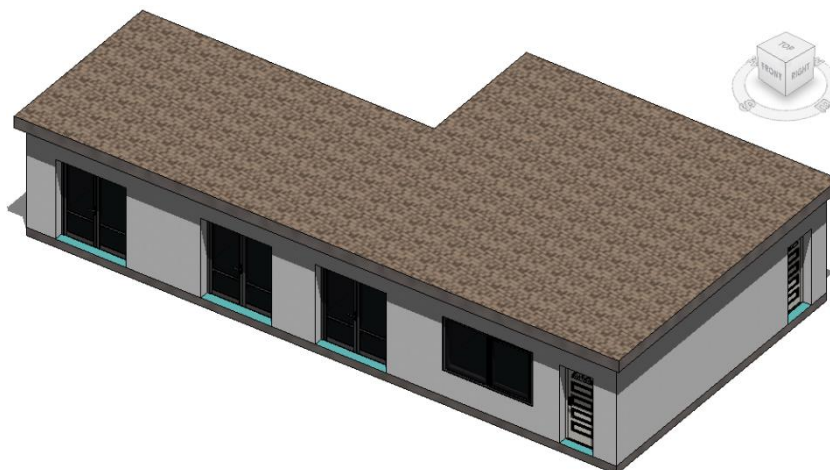
### 6.2.3. Περιγραφή θερμομονωτικών χαρακτηριστικών κτιρίου KENAK

Το κτίριο αναφοράς είναι εξοπλισμένο με μόνωση, στα δομικά στοιχεία, η οποία καλύπτει τις ελάχιστες απαιτήσεις του KENAK. Η μόνωση είναι σχεδιασμένη με εξηλασμένη πολυστερίνη (EPS), το πάχος της οποίας ποικίλει ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε στοιχείου. Τέλος, η θερμοπερατότητα των εξωτερικών κουφωμάτων συμμορφώνεται με τον κανονισμό.

Η οροφή αποτελείται από μία επίπεδη πλάκα, μονωμένη σύμφωνα με τις απαιτήσεις του KENAK και δημιουργεί ένα μικρό αέτωμα, της τάξης των 20cm, περιμετρικά του σπιτιού. Η διάταξη αυτή, δημιουργεί μία πολύ μικρή σκίαση για τους καλοκαιρινούς μήνες, η οποία όμως δεν είναι αρκετή ώστε να παρέχει σκίαση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Στην εικόνα 6.4 φαίνεται η σκίαση που δημιουργείται στην νότια και την ανατολική πλευρά το καλοκαίρι και συγκεκριμένα στη 1 Ιουλίου. Βλέπουμε ότι η σκίαση του αετώματος, δεν φτάνει μέχρι τα παράθυρα.

Αποτελείται από πέντε (5) στρώσεις υλικών τα οποία οδηγούν σε συντελεστή θερμοπερατότητας  $0.42 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Τα στρώματα από τα οποία αποτελείται η οροφή είναι (με σειρά από κάτω προς τα πάνω):

- Τσιμέντο 17.5cm
- Υπόστρωμα ομαλοποίησης 5 cm
- Μόνωση εξηλασμένης πολυστερίνης 7cm
- Πλακάκια – κόλλα πλακιδίων 2cm



**Εικ. 6.4.**

Σκίαση από περιμετρικό αέτωμα 1 Ιουλίου

Το δάπεδο βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος και έτσι η θερμομονωτική ικανότητα είναι λιγότερο απαιτητική, σύμφωνα με την νομοθεσία. Οι στρώσεις που το αποτελούν είναι

έξι και δημιουργούν συντελεστή θερμοπερατότητας  $0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Τα στρώματα του δαπέδου είναι (από κάτω προς τα πάνω):

- Τσιμέντο 20cm
- Υπόστρωμα ομαλοποίησης 3 cm
- Μόνωση εξηλασμένης πολυστερίνης 3cm
- Πλακάκια - κόλα πλακιδίων 2 cm

Σημαντικότερος παράγοντας θερμικών απωλειών είναι οι τοίχοι του κτιρίου. Αποτελούνται από διπλό κτίσμα τούβλου με σοβά και ανάμεσα στα τούβλα υπάρχει η μόνωση. Με την διάταξη αυτή επιτυγχάνεται συντελεστής θερμοπερατότητας  $0.49 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Από έξω προς τα μέσα τα στρώματα των τοίχων είναι:

- Σοβάς 2cm
- Τούβλο 12cm
- Εξηλασμένη πολυστερίνη 5 cm
- Τούβλο 12 cm
- Σοβάς 2cm

Τα εξωτερικά κουφώματα αποτελούνται από δύο (2) μασίφ ξύλινες πόρτες,  $U=2.61 \text{ W/m}^2\text{K}$ , τρεις μπαλκονόπορτες με τριπλό τζάμι,  $U=2.78 \text{ W/m}^2\text{K}$ , και οχτώ (8) παράθυρα με  $U=2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Συνοψίζοντας, οι θερμοπερατότητες των διαφόρων στοιχείων του κτιρίου κατά ΚΕΝΑΚ είναι:

Δομικό στοιχείο	Συντ/στης Θερμ/τας [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	Μέγιστος Συντ/στης Θερμ/τας (Κατά ΚΕΝΑΚ) [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]
Οροφή	0.42	0.45
Δάπεδο	0.90	1.10
Τοίχοι	0.44	0.55
Πόρτες	2.61	2.80
Μπαλκονόπορτες	2.78	2.80
Παράθυρα	2.80	2.80

Σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου παίζει το σύστημα θέρμανσης που αυτό διαθέτει. Το Revit θέτει κάποιους αυστηρούς περιορισμούς στην επιλογή του συστήματος αυτού, καθώς περιορίζει τις επιλογές ανάμεσα σε 12 διαφορετικές διατάξεις, τις οποίες ο χρήστης δεν έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει [Σ10]. Έτσι καλείται ο χρήστης να επιλέξει ένα σύστημα το οποίο θα έχει, όσο τον δυνατόν παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτό που θέλει, χωρίς όμως να υπάρχει πλήρης ταύτιση.

Τα περισσότερα σπίτια έχουν κάποιο δισωλήνιο σύστημα με καλοριφέρ, και έτσι έπρεπε να αναζητηθεί κάτι παρόμοιο από τις επιλογές του Revit. Έτσι επιλέχθηκε δισωλήνιο



σύστημα Fan Coil (2-Pipe Fan Coil System, Chiller 5.96COM, Boilers 84.0 eff) το οποίο διαθέτει μονάδα ψύξης με συντελεστή απόδοσης 5.96 και λέβητα αερίου με 84.5 απόδοση καύσης.

## 7. Αποτελέσματα

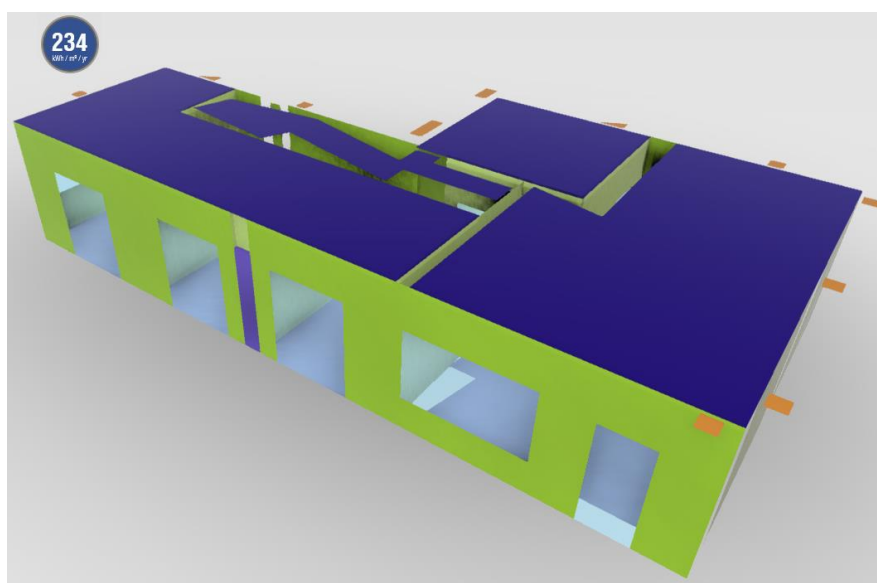
### 7.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η διαδικασία ενεργειακής αξιολόγησης των κτιρίων καθώς και τα αποτελέσματα της. Μελετάται το ίδιο κτίριο σχεδιασμένο κατά ΚΕΝΑΚ, και έπειτα γίνεται εφαρμογή επιπλέον στρατηγικών βιοκλιματικού σχεδιασμού.

Ο σχεδιασμός και η μελέτη του κτιρίου κατά ΚΕΝΑΚ γίνεται χωρίς να εφαρμοστούν συγκεκριμένες βιοκλιματικές στρατηγικές, με εξαίρεση στην αρχική μελέτη βέλτιστου προσανατολισμού. Στην ελληνική νομοθεσία, ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) θέτει απαιτήσεις για τον ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων με σκοπό την βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης. Επομένως, επιλέχθηκε να σχεδιαστεί αρχικά το κτίριο, χωρίς να ακολουθεί κάποιον αυστηρό βιοκλιματικό σχεδιασμό, εντούτοις, θα συμμορφώνεται με τη νομοθεσία.

Στη συνέχεια, γίνεται εξέταση των αποτελεσμάτων του αρχικού κτιρίου και προστίθεται βελτιώσεις εφαρμόζοντας επιπλέον στρατηγικές βιοκλιματικού σχεδιασμού, ώστε να καταλήξουμε στον τελικό σχεδιασμό.

### 7.2. ΚΕΝΑΚ



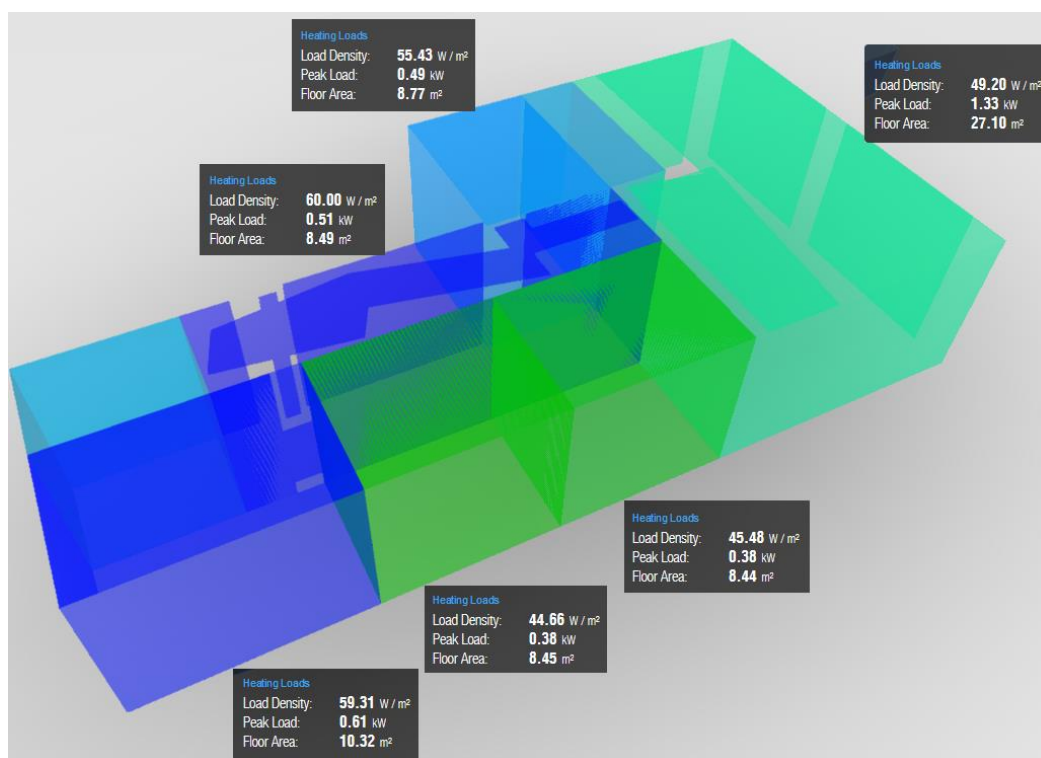
**Εικ. 7.1.** Μοντέλο επιφανειών επίλυσης κτιρίου κατά ΚΕΝΑΚ και το αποτέλεσμα που εξήχθη

Στην εικόνα 7.1 φαίνεται το μοντέλο επιφανειών του κτιρίου σχήματος Γάμα μελετημένο κατά ΚΕΝΑΚ, όπως φαίνεται στο Insight 360. Βλέπουμε ότι η συνολική ετήσια ενεργειακή απαίτησή του ανέρχεται στις 230 kWh/m<sup>2</sup>.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η, ανάλυση των θερμικών και των ψυκτικών φορτίων του κτιρίου. Λόγω του ότι η αποθήκη και το WC είναι μη κλιματιζόμενα, δεν

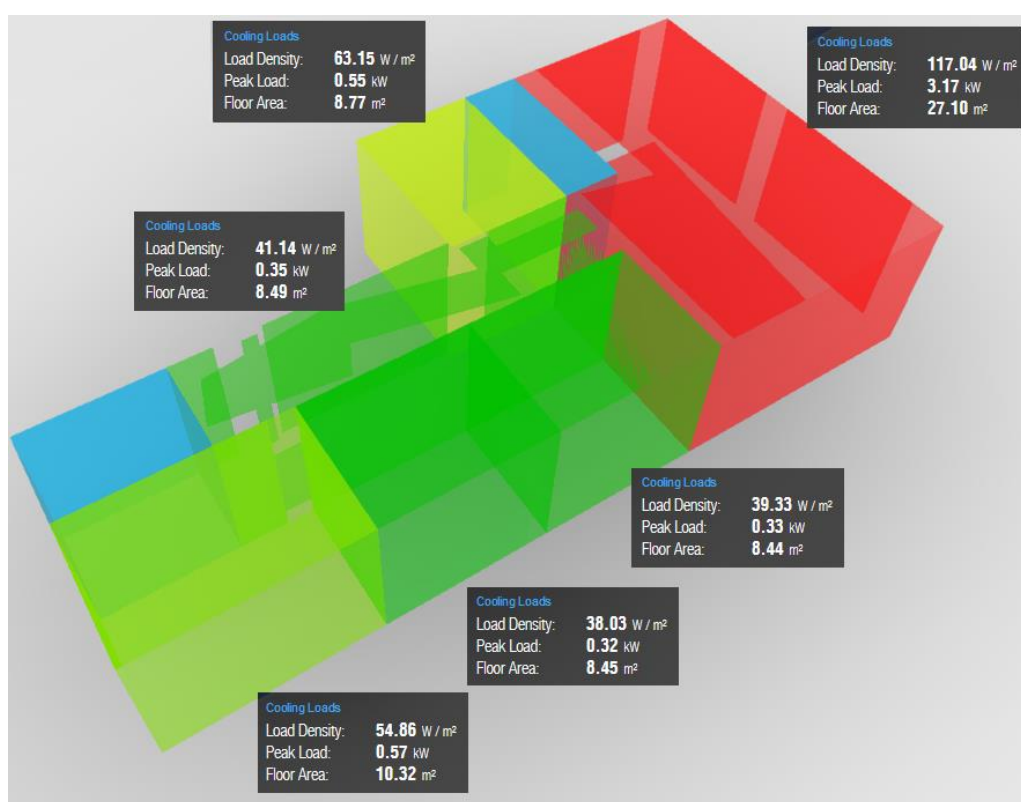
υπολογίζονται φορτία για τους χώρους αυτούς. Από τις εικόνες 7.2 και 7.3 γίνεται αντιληπτό, ότι τα ψυκτικά φορτία είναι πολύ σημαντικότερα από τα θερμικά, πράγμα το οποίο είναι αναμενόμενο, διότι στην κλιματική ζώνη που βρισκόμαστε, το κλίμα είναι αρκετά θερμό.

Τα μέγιστα θερμικά φορτία εμφανίζονται στον διάδρομο με τιμή  $60.00 \text{ W/m}^2$  και στο υπνοδωμάτιο των γονέων αντίστοιχα με  $59.31 \text{ W/m}^2$ . Ο διάδρομος είναι ένας χώρος που η βόρεια πλευρά του είναι σχεδόν εξολοκλήρου εκτεθειμένη στον κύριο βόρειο άνεμο και μάλιστα διαθέτει δύο παράθυρα, τα οποία δυσχεραίνουν την αποβολή θερμότητας στο περιβάλλον. Επίσης το κύριο υπνοδωμάτιο, γειτνιάζει με το WC, το οποίο είναι ένας μη κλιματιζόμενος χώρος. Σημαντικότερα είναι και τα θερμικά φορτία της τουαλέτας που ανέρχονται στα  $55.43 \text{ W/m}^2$ . Η τουαλέτα έχει μία επιφάνεια πλήρως εκτεθειμένη στον βοριά και άλλη μία που γειτνιάζει με τη μη κλιματιζόμενη αποθήκη. Βέβαια η δυτική πλευρά της διαθέτει ένα μικρό παράθυρο, έτσι ώστε να μπορεί να έχει κάποιο θερμικό κέρδος από τον ήλιο, την ώρα που δύει. Η κουζίνα και το καθιστικό έχουν σχετικά μικρά θερμικά φορτία  $49.20 \text{ W/m}^2$ , διότι, όπως είδαμε προηγουμένως, τα θερμικά κέρδη από ηλεκτρικές συσκευές είναι πολύ σημαντικά στον χώρο αυτό. Τέλος τα δύο παιδικά υπνοδωμάτια έχουν χαμηλά θερμικά φορτία, σε σύγκριση με αυτά των υπόλοιπων χώρων και οι τιμές ισχύος είναι στα  $45.48 \text{ W/m}^2$  και αντίστοιχα  $44.66 \text{ W/m}^2$ . Τα δωμάτια αυτά διαθέτουν νότιο προσανατολισμό και κερδίζουν μέρος των θερμικών αναγκών τους από την νότια τροχιά που διαγράφει ο ήλιος.



**Εικ. 7.2.** Θερμικά φορτία, ανά κλιματιζόμενο δωμάτιο, για το σπίτι κατά KENAK  
Πηγή: Insight 360

Οι τιμές των ψυκτικών φορτίων παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη απόκλιση, με τον ενιαίο χώρο να έχει τις μεγαλύτερες απαιτήσεις και ανέρχονται στα 117.04 W/m<sup>2</sup> για τον ενιαίο χώρο. Αυτό συμβαίνει διότι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στο χώρο αυτό λειτουργούν οι πιο ενεργοβόρες ηλεκτρικές συσκευές. Αρκετά μεγάλα φορτία της τάξης των 54.86 W/m<sup>2</sup> εμφανίζονται και στο κύριο υπνοδωμάτιο, λόγω του δυτικού προσανατολισμού του και του γεγονότος ότι βρίσκεται σε επαφή με τον μη κλιματιζόμενο χώρο του WC. Για τους ίδιους λόγους αυξημένα είναι τα φορτία και στην τουαλέτα στα 63.15 W/m<sup>2</sup>. Η κύρια πλευρά του διαδρόμου είναι στραμμένη βόρεια και έτσι μειώνονται κάπως τα ψυκτικά φορτία του. Στα παιδικά υπνοδωμάτια βλέπουμε ότι, παρόλο που έχουν νότιο προσανατολισμό, η απαίτηση σε ψύξη δεν είναι πολύ μεγάλη και ξεκινώντας από το δυτικό οι τιμές είναι στα 38.03 W/m<sup>2</sup> και 39.33 W/m<sup>2</sup> αντίστοιχα. Αυτό συμβαίνει διότι ο καλοκαιρινός ήλιος βρίσκεται ψηλά στον ορίζοντα και έτσι, δεν τα θερμαίνει πάρα πολύ, μολονότι, το αέτωμα της οροφής είναι πάρα πολύ μικρό.



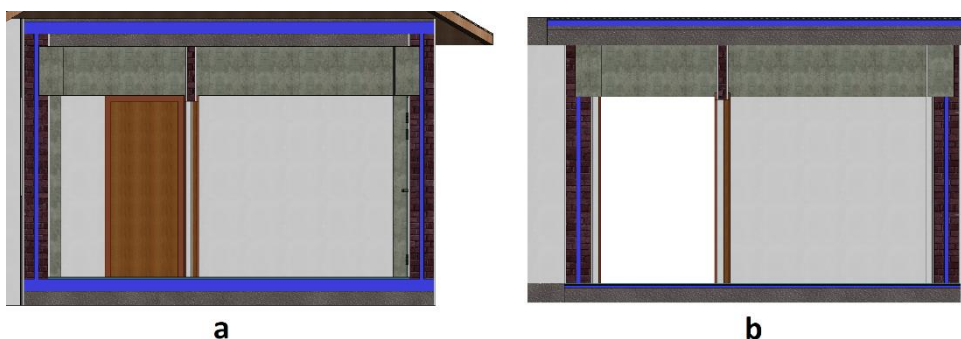
**Εικ. 7.3.** Ψυκτικά φορτία, ανά κλιματιζόμενο δωμάτιο, για το σπίτι κατά KENAK  
Πηγή: Insight 360

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη ανάγκη βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου αυτού. Θα γίνει προσπάθεια εφαρμογής στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας και ιδιαίτερο βάρος θα δοθεί στην μείωση των ψυκτικών φορτίων, καθώς αυτά είναι σημαντικότερα. Οι μέθοδοι που θα εφαρμοστούν έχουν να κάνουν με βελτίωση της μόνωσης του κτιρίου και της δημιουργίας πηγών σκίασης σε διάφορα μέρη του.

### 7.3. Ενεργειακή βελτίωση

Η πρώτη βελτίωση που έγινε αφορά στη βελτίωση της μονωτικής ικανότητας του κελύφους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους, αρχικά την πλήρη εξάλειψη των θερμογεφυρών και την εφαρμογή πιο βαριάς μόνωσης.

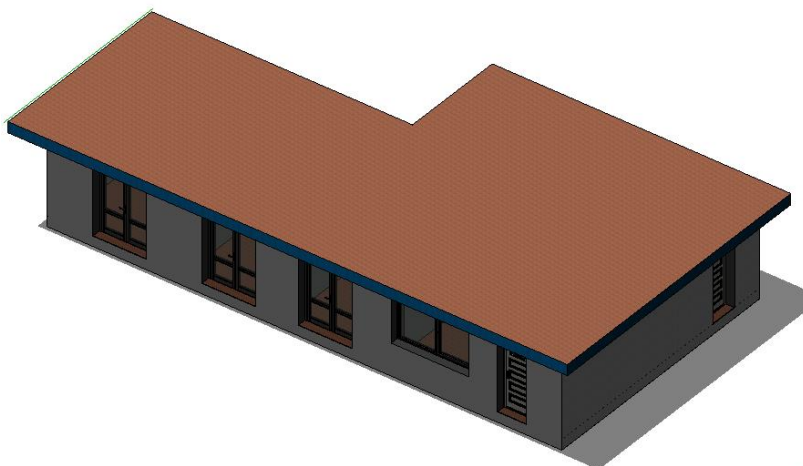
Στο πρώτο στάδιο έγινε επανασχεδιασμός της διάταξης των στρωμάτων που αποτελούν τους τοίχους, το δάπεδο και την οροφή του κτιρίου, έτσι ώστε να μην έχουμε θερμογέφυρες. Η κύρια πηγή διακοπής της μόνωσης είναι τα δοκάρια και οι κολόνες. Επιλέχθηκε το στρώμα της μόνωσης, σε όλα τα δομικά στοιχεία, να βρίσκεται στην εξωτερική πλευρά από τις κολόνες και τα δοκάρια, έτσι ώστε να τα περιβάλει και επίσης να μπορεί να ενωθεί η μόνωση των τοίχων με αυτή της οροφής και του δαπέδου. Στην εικόνα 7.4 βλέπουμε, με μπλε χρώμα, την διάταξη της μόνωσης τόσο στο κτίριο κατά KENAK όσο και στο ενεργειακά βελτιωμένο. Η αύξηση του πάχους της μόνωσης μελετάται ξεχωριστά, μετά που εφαρμόστηκαν οι υπόλοιπες στρατηγικές βελτίωσης, ώστε να φανεί το γεγονός αν είναι αναγκαία ή όχι.



**Εικ. 7.4.** Διάταξη μόνωσης στο α) ενεργειακά βελτιωμένο κτίριο και β) στο κατά

Η επόμενη βελτίωση αφορούσε στη σκίαση, η οποία περιλάμβανε σκίαση των εξωτερικών κουφωμάτων.

Η οροφή τροποποιήθηκε για καλύτερη σκίαση των εξωτερικών κουφωμάτων, πράγμα το οποίο πετυχαίνεται με αέτωμα που δημιουργεί περιμετρικά του κτιρίου. Όταν η σκίαση είναι λίγη, το κτίριο υπερθερμαίνεται από τις ακτίνες του καλοκαιρινού ήλιου, ενώ όταν είναι πολύ μεγάλη, δεν έχουμε θερμικά κέρδη από την χαμηλότερη χειμερινή πορεία του ήλιου. Αρχικά επιλέχθηκε αέτωμα, πλάτους 1.0m, το οποίο δημιουργούσε πλήρη σκίαση των κουφωμάτων στις αρχές Μαΐου. Ο Μάιος επιλέχθηκε λόγω του ότι τότε αρχίζουμε και έχουμε σημαντική άνοδο της θερμοκρασίας. Στη συνέχεια διεξήχθη μελέτη με την μέθοδο του try and error και βρέθηκε ότι το βέλτιστο πλάτος του αετώματος είναι στα 70cm, στο δυτικό, ανατολικό και νότιο προσανατολισμό, ενώ στο βόρειο είναι τα 50cm. Το βέλτιστο ορίστηκε με βάση την τιμή EUI που μας έδινε το Revit, κρατώντας σταθερές όλες τις παραμέτρους και αλλάζοντας το πλάτος του αετώματος. Στην εικόνα 7.6 βλέπουμε την σκίαση που δημιουργείται σε ημερομηνία 21/06.

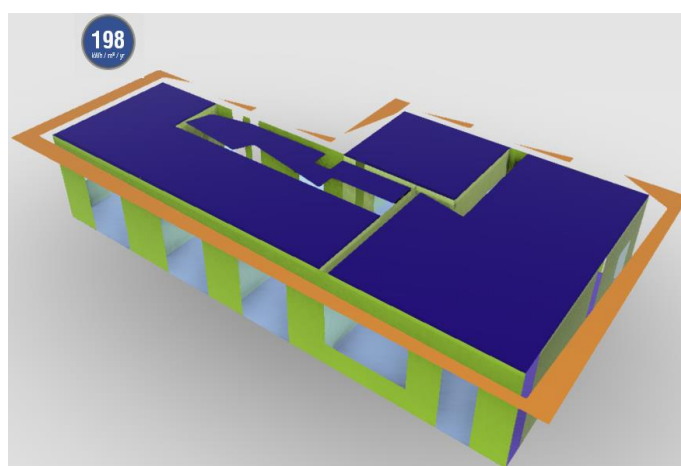


**Εικ. 7.5.** Σκίασης νότιας πλευράς στις 21/06

Βελτιώθηκαν επίσης σημαντικά τα εξωτερικά κουφώματα. Οι δύο πόρτες είναι από μασίφ ξύλο με συντελεστή μετάδοσης θερμότητας,  $1.65 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Επίσης επιλέχθηκαν κουφώματα με τριπλά τζάμια με χαμηλό δείκτη ηλιακού θερμικού κέρδους SHGC 0.29 και  $U = 2.86 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Τέλος οι μπαλκονόπορτες έχουν  $U = 1.94 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Τέλος, βελτιώθηκε το σύστημα κλιματισμού του σπιτιού, το οποίο έπρεπε να επιλεγεί από την περιορισμένη λίστα που προσφέρει το Revit [Σ10]. Επιλέχθηκε, με τη μέθοδο της δοκιμής και σφάλματος, το Residential 17 SEER/9.6 HSPF Split HP<5.5ton. Το σύστημα αυτό διαθέτει αντλία θερμότητας αέρος – νερού με συντελεστή εποχιακής ενεργειακής απόδοσης κατά την ψύξη SEER 17 (Seasonal Energy Efficiency Ratio) και κατά τη θέρμανση HSPF 9.5 (Heat Seasonal Performance Factor).

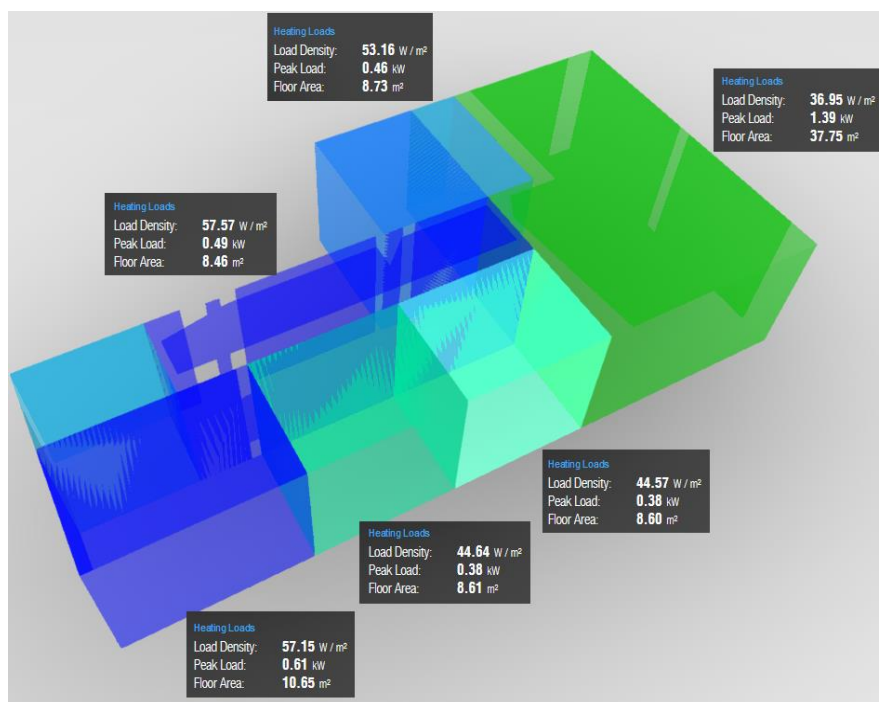
Αυτές οι αλλαγές έφεραν πολύ σημαντική βελτίωση στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.6. Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση έπεσε στις  $198 \text{ kWh/m}^2$ , δηλαδή έχουμε εξοικονόμηση κατά 15.4%.



**Εικ. 7.6.** Μοντέλο επιφανειών επίλυσης βελτιωμένου κτιρίου και το αποτέλεσμα που εξήχθη

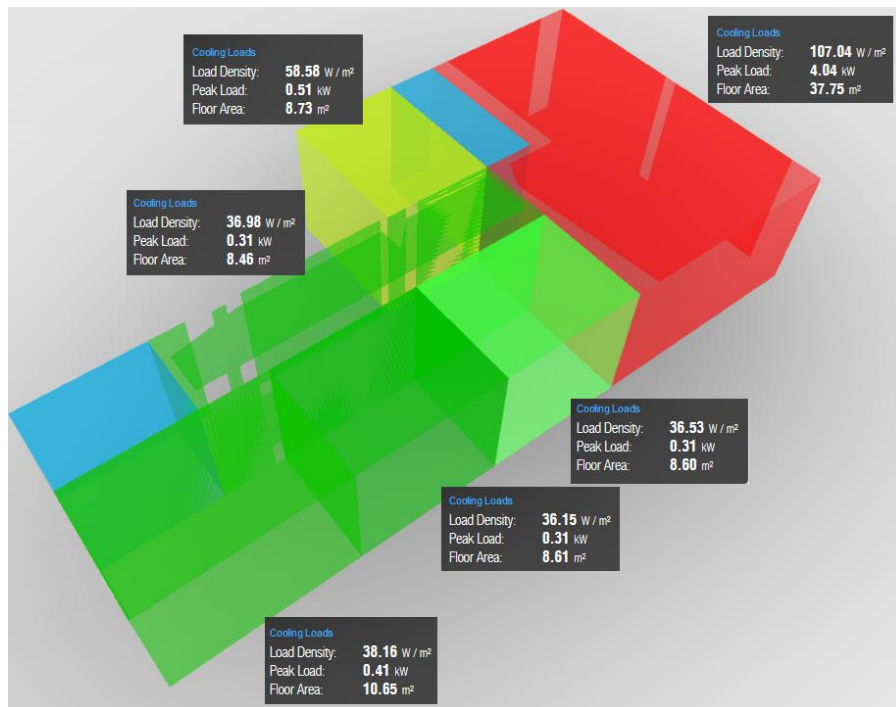


Είναι χρήσιμη η πραγματοποίηση της σύγκρισης μεταξύ των θερμικών και ψυκτικών φορτίων του βελτιωμένου κτιρίου με τα αντίστοιχα του κατά KENAK. Η εικόνα 7.8 δείχνει τα θερμικά φορτία του βελτιωμένου σπιτιού και η 7.2 του κατά KENAK. Εκτιμάται ότι τα δωμάτια στα οποία παρατηρείται μείωση, επηρεάστηκαν από την εξάλειψη των θερμογεφυρών και την βελτίωση των εξωτερικών κουφωμάτων. Αυτά είναι η τουαλέτα, ο διάδρομος και το υπνοδωμάτιο των γονέων, ενώ τα παιδικά παρέμειναν αμετάβλητα. Κυρίως σε αυτά με βόρειο προσανατολισμό (διάδρομος, τουαλέτα) οι απώλειες θα ήταν πολύ σημαντικές. Τέλος εκτιμάται ότι τα φορτία του κεντρικού υπνοδωματίου μειώθηκαν, λόγω του ότι μειώθηκαν οι απώλειες του WC, στο οποίο και παρείχε μέρος της αναγκαίας θέρμανσης. Τέλος, μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται στα φορτία του ενιαίου χώρου.



**Εικ. 7.7.** Θερμικά φορτία, ανά κλιματιζόμενο δωμάτιο, για το βελτιωμένο κτίριο

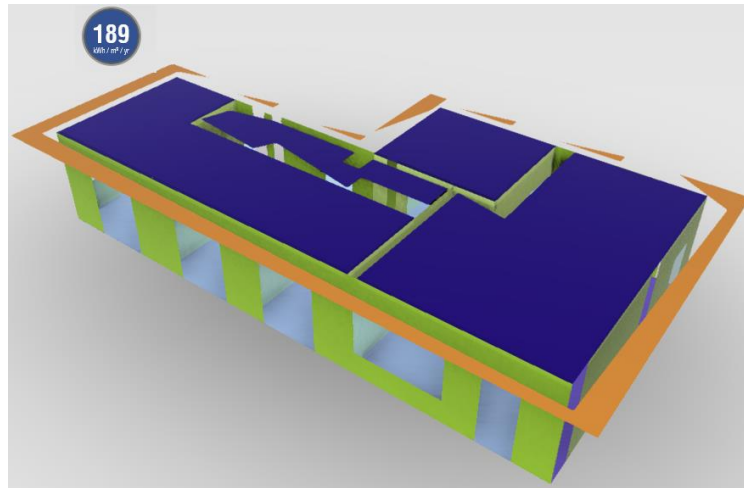
Πολύ σημαντικότερες είναι οι διαφορές που παρατηρούνται στα ψυκτικά φορτία (εικ 7.3 και 7.8). Η σημαντικότερη βελτίωση είναι στα φορτία του ενιαίου χώρου, τα οποία μειώθηκαν κατά  $10\text{W/m}^2$  σε κουζίνα και σαλοτραπεζαρία μαζί. Σημαντικές διαφορές φαίνονται και στα 2 βόρεια θερμαινόμενα δωμάτια, τουαλέτα και διάδρομο. Παρατηρείται μείωση της τάξης των  $4.57\text{W/m}^2$  και  $4.16\text{W/m}^2$ . Τα δωμάτια αυτά έχουν μεν βόρειο προσανατολισμό, αλλά δέχονται πολλά θερμικά κέρδη μέσω της οροφής. Τα παιδικά υπνοδωμάτια έχουν την μικρότερη μείωση που ανέρχεται στα  $1.88\text{W/m}^2$  και  $3.8\text{W/m}^2$ . Πολύ σημαντική είναι η μείωση και στο κεντρικό υπνοδωμάτιο στο οποίο έχουμε μείωση  $16.68\text{W/m}^2$ .



**Εικ. 7.8.** Ψυκτικά φορτία, ανά κλιματιζόμενο δωμάτιο, για το βελτιωμένο κτίριο

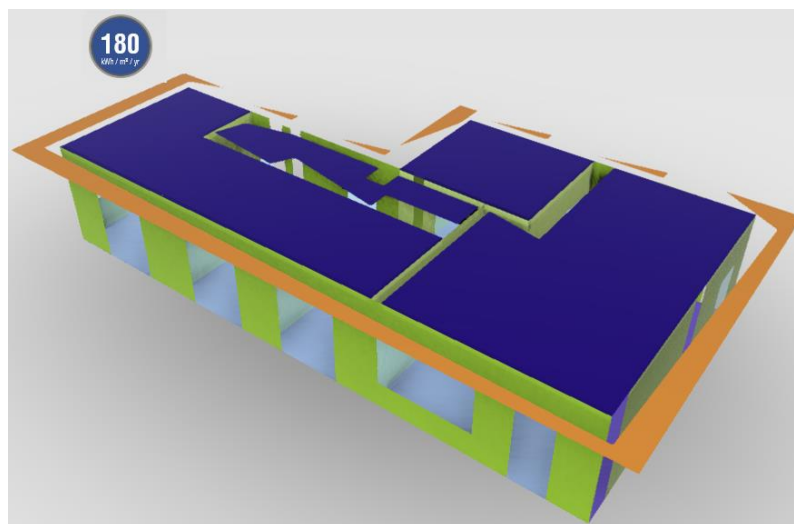
Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε το πόσο σημαντικό ρόλο, στα θερμικά και ψυκτικά φορτία παίζει η βελτίωση των κουφωμάτων και η χρήση σκίασης των δομικών στοιχείων. Στη συνέχεια πραγματοποιείται αύξηση της μόνωσης του κτιρίου ώστε να μελετηθεί η επιρροή της. Αρχικά μελετήθηκε η επίδραση της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων. Για την επιλογή του τελικού πάχους εφαρμόστηκε η τεχνική του try and error και συγκεκριμένα έγιναν υπολογισμοί για διάφορα πάχη μόνωσης και βρέθηκε ότι το βέλτιστο βρίσκεται στα 8cm. Σε μεγαλύτερα πάχη, μειώνονται μεν τα θερμικά φορτία, αλλά από την άλλη έχουμε υπερθέρμανση των χώρων με αποτέλεσμα να αυξάνονται αρκετά τα ψυκτικά. Στην εικόνα 7.9 βλέπουμε ότι τα φορτία του σπιτιού έπεσαν σημαντικά και συγκεκριμένα κατά  $9W/m^2$ . Γίνεται εμφανές ότι, δια μέσω των εξωτερικών τοίχων, έχουμε πολύ σημαντική ροή θερμότητας από και προς το περιβάλλον.





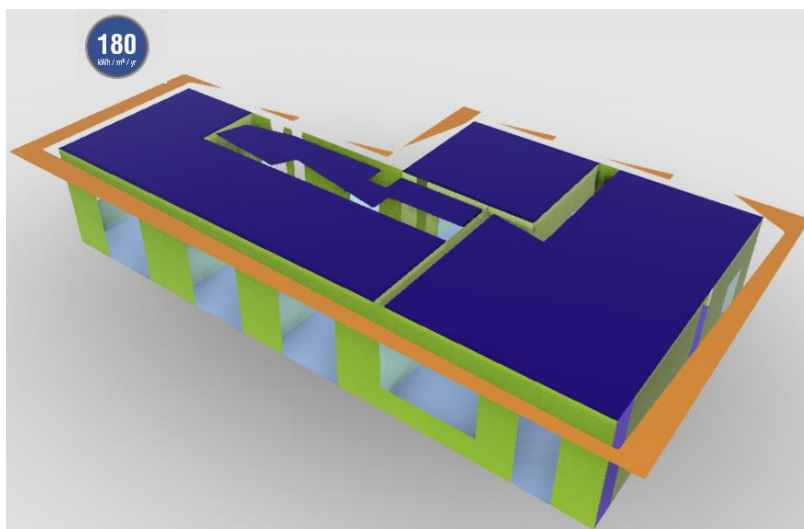
**Εικ. 7.9.** *Επίδραση αύξησης πάχους μόνωσης εξωτερικών τοίχων*

Μετά την αλλαγή στη μόνωση των τοίχων, μελετήθηκε της οροφής. Βρέθηκε ότι το βέλτιστο είναι στα 10cm πάχος. Συγκεκριμένα, φαίνεται στην εικόνα 7.10 ότι η ετήσια κατανάλωση ενέργειας βελτιώθηκε κατά  $9\text{W/m}^2$ .



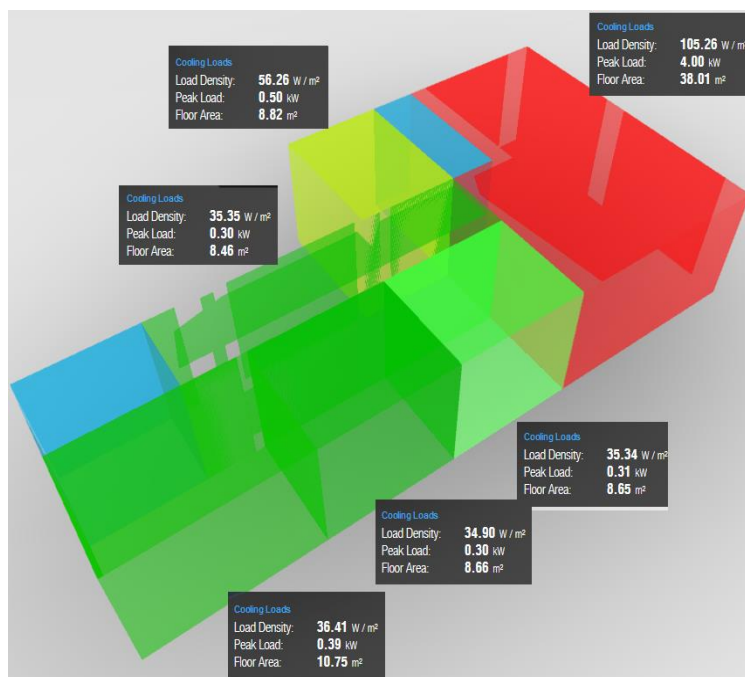
**Εικ. 7.10.** *Επίδραση αύξησης πάχους μόνωσης οροφής*

Τέλος μελετήθηκε η μόνωση του δαπέδου. Χρησιμοποιήθηκε και πάλι η μέθοδος try and error και είδαμε ότι αλλάζοντας τη μόνωση του δαπέδου, δεν πετυχαίνουμε καμία βελτίωση όσον αφορά την τιμή EUI. Αντιθέτως μάλιστα από πάχος μόνωσης 5cm και πάνω είχαμε δυσμενέστερα αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό έρχεται σε συμφωνία με την πρόταση του KENAK ότι το έδαφος είναι σε σχετικά σταθερή θερμοκρασία και οι ανάγκες μόνωσης είναι περιορισμένες.

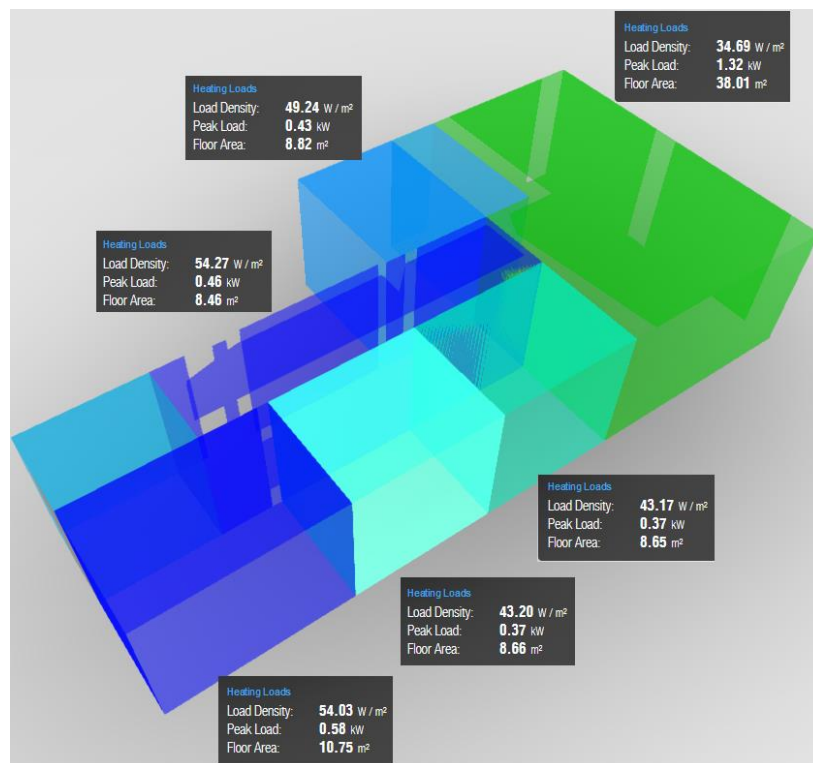


**Εικ. 7.11.** Επίδραση αύξησης πάχους μόνωσης δαπέδου

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία του τελικού κτιρίου σχήματος Γάμα. Συγκρίνοντας τα ψυκτικά φορτία με αυτά, πριν την αλλαγή της μόνωσης παρατηρούμε ότι έχουν μειωθεί σε όλους τους χώρους, πράγμα το οποίο συμβαίνει και στα θερμικά.



**Εικ. 7.12.** Ψυκτικά φορτία τελικού κτιρίου



**Εικ. 7.13.** Θερμικά φορτία τελικού κτιρίου

## 8. Συμπεράσματα

Στις μέρες μας, έχει γίνει επιτακτική ανάγκη η προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας σε όλους τους τομείς. Σημαντικό μέρος αυτής της προσπάθειας αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων, οι οποίες μπορούν να πετύχουν εντυπωσιακά αποτελέσματα, ανάλογα με το κλίμα στο οποίο υφίστανται. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούν τις φυσικές πηγές (πχ ήλιος) ώστε να απομαστευθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσό ενέργειας, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες του κτιρίου.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε ο σχεδιασμός ενός βιοκλιματικού κτιρίου, στο οποίο θα μπορούσε να ζήσει μία τετραμελής οικογένεια. Αποφασίστηκαν αρχικά το σχήμα που θα μπορούσε να έχει και μελετήθηκε σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση, σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις του KENAK και στη συνέχεια βελτιώθηκε εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές βιοκλιματικού σχεδιασμού. Οι κύριες τεχνικές που εφαρμόστηκαν αφορούν στην σκίαση διαφόρων μερών του κτιρίου καθώς και στη βελτίωση της θερμομονωτικής του ικανότητας.

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν είναι πολύ εντυπωσιακά. Είδαμε ότι με εφαρμογή μερικών απλών στρατηγικών, μειώθηκε η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση από  $234\text{Wh/m}^2$  σε  $191\text{kWh/m}^2$ , για το κτίριο σχήματος γάμα, είχαμε δηλαδή βελτίωση της τάξης του 15%.

Κατά την διεξαγωγή της μελέτης διατυπώθηκε ότι το κλίμα της Ελλάδας, παρόλο που είναι εύκρατο, θέτει κάποιες δυσκολίες στην ενεργειακή βελτιστοποίηση. Λόγω του ότι το κλίμα έχει σχετικά κρύους χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια, χρειάζεται η επιλογή τεχνικών που μπορούν να λειτουργήσουν και στις δύο συνθήκες. Στο ελληνικό κλίμα, μία πιο βαριά μόνωση θα επέφερε μεν μείωση στα θερμικά φορτία, αλλά από την άλλη θα δημιουργούσε υπερθέρμανση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και άρα αυξημένα ψυκτικά φορτία, φαινόμενο το οποίο παρατηρείται και στα πιο κρύα κλίματα.

Μία άλλη τροχοπέδη που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία είναι οι περιορισμοί του λογισμικού Revit της Autodesk και αυτό διότι υπήρχαν τεχνικές τις οποίες το πρόγραμμα αυτό δεν έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης Trombe. Ο τοίχος αυτός βρίσκεται στο εσωτερικό του κτιρίου, μπροστά σε παράθυρο, και αποθηκεύει θερμότητα προερχόμενη από τον ήλιο, την οποία και απελευθερώνει στο δωμάτιο.

Οι περισσότερες τεχνικές βελτίωσης της ψυκτικής συμπεριφοράς έχουν να κάνουν με αερισμό μέσω ανοιγμάτων. Δυστυχώς δεν υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού των ροών, μέσω του Revit, οπότε συστήνεται η εξαγωγή του μοντέλου σε άλλο λογισμικό για την πραγματοποίηση αυτής της μελέτης. Θα μπορούσαμε να αυξήσουμε τις εναλλαγές αέρα του κτιρίου, αλλά αυτός ο τρόπος είναι πολύ πρόχειρος στην αξιολόγηση των δυνατοτήτων του φυσικού αερισμού μέσω των ανοιγμάτων. Χαρακτηριστικά, θα μπορούσε να βελτιστοποιηθεί η θέση των ανοιγμάτων με στόχο τη βέλτιστη κατανομή της ροής του αέρα μέσα στο κτίριο.

Επίσης θα ήταν χρήσιμη η κατανομή της ροής θερμότητας, μέσα από το κέλυφος του κτιρίου. Έτσι, θα μπορούσαμε να οπτικοποιήσουμε το αποτέλεσμα αυτό και οι βελτιώσεις που εφαρμόζουμε να είναι πιο στοχευμένες στο κάθε δομικό στοιχείο και άρα πιο αποτελεσματικές.

Εντούτοις το Revit μας παρέχει αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα. Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι είναι το πρώτο λογισμικό του οποίου οι βιβλιοθήκες υλικών είχαν γραφική μορφή, πράγμα που διευκολύνει την οπτικοποίηση και τον σχεδιασμό. Είναι εφικτή η δημιουργία energy model παράλληλα με τη δημιουργία του αρχιτεκτονικού-κατασκευαστικού σχεδίου καθώς και το γεγονός ότι πρόκειται για παραμετρικό πρόγραμμα, μας δίνει τη δυνατότητα ευέλικτου σχεδιασμού και εύκολης ανατροφοδότησης ή και ριζικών αλλαγών των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται. Υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης των μεταβλητών μεταξύ τους, έτσι ώστε μία αλλαγή να επιφέρει αλλαγές σε άλλα σημεία του μοντέλου, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να παραμένει σταθερό. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η μετακίνηση ενός τοίχου που επιφέρει αλλαγές στα γειτονικά δομικά στοιχεία.

Η μελέτη που διεξήχθη στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα μπορούσε να αποτελέσει εφελκυστικό και πηγή για επακόλουθες. Ένα παράδειγμα είναι η διεξαγωγή της σε διαφορετικά λογισμικά ενεργειακής βελτίωσης, και η εφαρμογή τεχνικών τις οποίες δεν επιτρέπει το Revit. Ακόμα και η σύγκριση των αποτελεσμάτων, μεταξύ διαφορετικών λογισμικών θα μπορούσε, από μόνη της, να είναι ένα ενδιαφέρον αντικείμενο. Τέλος, θα μπορούσαν φυσικά να δοκιμαστούν και διαφορετικά σχήματα.

## Παράρτημα

### Π1. Αισθητό και λανθάνον θερμικό κέρδος από ανθρώπινη μεταβολική δραστηριότητα [Σ6]

	Total Heat (Btu/H)			
Activity	Sensible Gain/Person	Latent Gain/Person	Low Radiant %	High Radiant %
Seated in theater	225	105	60	27
Seated in theater, night	245	105	60	27
Seated, very light work	245	155	60	27
Moderately active, office work	250	200	58	38
Standing, light work, walking	250	200	58	38
Walking, standing	250	250	58	38
Sedentary work	275	275	49	35
Light bench work	275	475	49	35
Moderate dancing	305	545	49	35
Walking 3 mph, light machine work	375	625	49	35
Heavy work	580	870	54	19
Heavy machine work, lifting	635	965	54	19
Athletics	710	1090	54	19



## **Βιβλιογραφία – Σύνδεσμοι**

- [B1] "Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτιριακού αποθέματος (Άρθρο 4, Οδηγία 27/2012/ΕΕ)" . Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΝ).
- [B2] "About Surfaces in the Energy Model", Autodesk Help
- [B3] "Building Performance Analysis in Revit 2016R2 with Autodesk Insight 360", Dan Stine
- [B4] "About Applying a Function to a Layer of a Compound Structure" Autodesk Help
- [B5] "About Analytical Space Resolution and Analytical Surface Resolution", Autodesk Help
- [B6] "Ενεργειακός σχεδιασμός και ενεργειακή απόδοση κτιρίων – γενικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού", Αξαρχή Κλειώ
- [B7] «ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017», Υ.Π.ΕΝ. – Τ.Ε.Ε.
- [B8] «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Κτιρίων», Τουλόγλου Στέφανος
- [B9] «Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιριακών Κατασκευών», Πτυχιακή Τ.Ε.Ι. Πειραιά, Ζουμπουρλής Γ, Ετμεκτζόγλου Σ.
- [B10] «Sun Wind & Light, Architectural Design Strategies», G.Z. Brown, M. DeKay
- [B11] «Roof Pond Skytherm System» Sushilkumar Gupta
- [B12] «Introduction to Architectural Science, The Basis of Sustainable Design», Steven V. Szokolay
- [B13] «Sustainable Approach to Developing Energy Efficient Buildings for Resilient Future of the Built Environment in Nigeria», Oluwafemi K. Akande, Oluwayemi Fabiyi, Ikenna C Mark
- [B14] Διπλωματική εργασία «Ηλιακή ψύξη με εφαρμογή σε συστήματα παθητικού δροσισμού» Πολυτεχνείο Κρήτης 2009 , Simeonova Rositsa
- [Σ1] [www.passivehouse.com](http://www.passivehouse.com)
- [Σ2] <http://www.hnms.gr>
- [Σ3] <http://www.meteo-news.gr>
- [Σ4] [www.worldweatheronline.com](http://www.worldweatheronline.com)



- [Σ5] [www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com)
- [Σ6] <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-7668C78B-7B33-4D60-B838-57D2656D8AD5-hm.html>
- [Σ7] <https://www.dei.gr/el/katanalwsi-oikiakwn-suskeuwn/kouzina>
- [Σ8] <https://www.dei.gr/el/katanalwsi-oikiakwn-suskeuwn/psugeio>
- [Σ9] <https://www.dei.gr/el/katanalwsi-oikiakwn-suskeuwn/pluntirio-rouxwn>
- [Σ10] <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-38A9EB5B-8631-43B4-9AD6-6F532BC860D8-hm.html>
- [Σ11] [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/GR\\_ENE\\_RGEIAS/kenak](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENE_RGEIAS/kenak)
- [Σ12] [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/GR\\_ENE\\_RGEIAS/kenak](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENE_RGEIAS/kenak)
- [Σ13] <https://www.hunker.com/12584837/what-is-a-bioclimatic-chart>