



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
2022

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕ  
ΣΤΟΧΟ ΤΗ ΜΗΔΕΝΙΚΗ Ή ΕΛΑΧΙΣΤΗ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗΝ  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΟΨΗΝ  
ΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ



ΙΩΑΝΝΗΣ Α. ΤΣΑΟΥΣΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:

Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΙΧΑΗΛ ΕΞΑΡΧΑΚΟΣ,

ΑΝΤΩΝΙΟΣ Δ. ΜΑΪΤΟΣ





UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
2022

DESIGN OF A BUILDING TOWARDS NEAR  
ZERO ENERGY PERFORMANCE

CASE STUDY: ENERGY DESIGN UTILIZING EUROPEAN AND HELLENIC  
LEGISLATION, CONSIDERING LOCAL MICROCLIMATE



IOANNIS A. TSAOUSIS

SUPERVISORS:

Dr. GEORGIOS MICHAIL EXARCHAKOS,

Mr. ANTONIOS D. MAITOS



## ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗ ΜΗΔΕΝΙΚΗ Ή ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

Η ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΕ ΕΠΙΤΥΧΩΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΩΘΙ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ  
ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Α/Α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΙΧΑΗΛ ΕΞΑΡΧΑΚΟΣ	ΕΔΙΠ	
2	ΑΝΤΩΝΙΟΣ Δ. ΜΑΪΤΟΣ	ΕΔΙΠ	
3	ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΜΑΚΡΥΓΙΑΝΝΗΣ	ΕΔΙΠ	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογράφων **Ιωάννης Τσαούσης** του **Αθανασίου**, με αριθμό μητρώου **44179**, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.»

Ο Δηλών

Γιάννης Α. Τσαούσης





## Ευχαριστίες

Η διπλωματική αυτή δε θα ήταν δυνατή δίχως την αδιάκοπη βοήθεια, τις συμβουλές και την καθοδήγηση των επιβλέποντων καθηγητών μου. Τους ευχαριστώ θερμά για την υπομονή τους και τον χρόνο τους. Επίσης, ευχαριστώ την οικογένεια και τους φίλους μου, για την ψυχολογική στήριξη, τις επικοινωνιακές συζητήσεις και την ακατάπαυστη εμπιστοσύνη τους σε εμένα.



## Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες .....	7
Πίνακας περιεχομένων .....	8
Σύνοψη .....	10
Εισαγωγή.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Βιοκλιματική αρχιτεκτονική .....	15
1.1 Γενικά .....	15
1.2 Ηλιασμός .....	17
1.3 Παθητικά συστήματα.....	18
1.3.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης .....	19
1.3.2 Παθητικά συστήματα με τεχνικές φυσικού δροσισμού .....	22
1.3.3 Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού .....	26
1.4 Ενεργητικά συστήματα .....	28
1.5 Γεωθερμία .....	29
1.6 Μικροκλίμα .....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Βασικές αρχές εξοικονόμησης ενέργειας σε κτηριακά κελύφη .....	35
2.1 Μονώσεις .....	35
2.2 Αεροστεγανότητα .....	41
2.3 Υαλοστάσια.....	43
2.4 Σκίαστρα .....	44
2.5 Επιστρώσεις.....	48
2.6 Θερμογέφυρες.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τύποι κτηρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας και νομοθεσία .....	52
3.1 Nearly Zero-Energy Buildings.....	52
3.2 Zero Energy Buildings και Positive Energy Buildings.....	60
3.3 Παράμετροι των ΚΣΜΚΕ σε Εθνικά πλαίσια.....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Case Study .....	69
4.1 Παραδοχές και χαρακτηριστικά .....	69
4.2 Παρουσίαση μοντέλου κτηρίου .....	72
4.2.1 Σχέδια 2D .....	72
4.2.2 Μοντέλο 3D .....	76
4.3 Θερμομονωτική επάρκεια.....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ενεργειακή μοντελοποίηση κτηρίου .....	81
5.1 Προσομοίωση .....	81
5.1.1 Λογισμικά .....	81

5.1.2 Το πρόγραμμα EnergyPlus.....	84
5.1.3 Η διεπαφή OpenStudio .....	85
5.2 Διαδικασία προετοιμασίας μοντέλου προσομοίωσης .....	86
5.3 Εργαλεία παραμετροποίησης μοντέλων στο OpenStudio.....	90
5.3 Δεδομένα εισαγωγής.....	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Προσομοίωση και ανάλυση αποτελεσμάτων αυτής.....	104
6.1 Αποτελέσματα – ανάλυση.....	104
Συμπεράσματα .....	108
Βιβλιογραφία .....	109
Παράρτημα I: Έλεγχος θερμικής επάρκειας .....	115
Παράρτημα II: ZNX .....	122
Παράρτημα III: Συγκέντρωση σχετικής υγρασίας .....	123

## Σύνοψη

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε με σκοπό:

- Τη σύνοψη των θεμελιωδών εννοιών των Κτηρίων Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (ΚΣΜΚΕ), βασισμένων στην εγχώρια και Ευρωπαϊκή βιβλιογραφία
- Την παρουσίαση συντελεστών ΚΣΜΚΕ της παγκόσμιας βιβλιογραφίας και τη σύγκριση αυτών με τις προτεινόμενες τιμές του ΚΕΝΑΚ
- Την παρουσίαση της μελέτης ενός κτηρίου, το οποίο απευθύνεται στη μέση τετραμελή Ελληνική οικογένεια, τόσο αναφορικά στο κόστος κατανάλωσης ενέργειας, όσο και στο χρηστικό κομμάτι.

Αρχικά ελέγχθηκε η θερμομονωτική επάρκεια των επιμέρους δομικών στοιχείων κατά ΚΕΝΑΚ, έπειτα ελέγχθηκε η θερμομονωτική επάρκεια του κτηριακού κελύφους κατά ΚΕΝΑΚ.

Τέλος, το κτηριακό μοντέλο σχεδιάστηκε στο περιβάλλον του SketchUp Pro 2020, με τη χρήση του plug-in του OpenStudio και υπολογίσθηκε η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου με τη χρήση του λογισμικού EnergyPlus (με τη διεπαφή OpenStudio).

Τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτηρίου (2D και 3D) δημιουργήθηκαν σε περιβάλλον AutoCAD και έπειτα ο φωτορεαλισμός έγινε σε περιβάλλον Lumion.

## Εισαγωγή

Ενέργεια. Πρόκειται για μία πρωταρχική φυσική ιδιότητα, η έννοια της οποίας είναι σχετικά απροσδιόριστη. Τη διακρίνουμε σε Μηχανική, Ηλεκτρική, Χημική, Πυρηνική, Θερμότητα, κ.α, ενώ αυτές οι κατηγορίες μπορούν να χωριστούν και σε πιο συγκεκριμένες υπο-κατηγορίες, όπως η Μηχανική Ενέργεια διακρίνεται σε Δυναμική και Κινητική. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που καταναλώνεται καθημερινά στους χώρους ανάπαυσης, εργασίας ή διασκέδασης προέρχεται από καύσιμα (στερεά, υγρά, αέρια)[1, pp. 17–19]. Η ποσότητα των καυσίμων ωστόσο είναι πεπερασμένη, επομένως τα καύσιμα είναι μία μη ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, από την οποία πλέον γίνεται προσπάθεια ανεξαρτητοποίησης.

Ειδικά από την πετρελαϊκή κρίση του 1973<sup>1</sup> έως σήμερα, η ενέργεια αποτελεί ένα ζήτημα κρίσιμο και ανησυχητικό. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει παρουσιάσει στοιχεία που επιβεβαιώνουν την ανάγκη για αναπροσαρμογή των αναγκών μας και για έλεγχο της κλιματικής αλλαγής [2, p. 45]. «*Η Ευρώπη αντιμετωπίζει μία ενεργειακή κρίση. Τώρα πλέον ζούμε σε μία εποχή ενεργειακής ανασφάλειας. Οι μέρες φθηνής και άφθονης ενέργειας έχουν τελειώσει.*» [3, p. 7] Τις δύο τελευταίες δεκαετίες καταγράφηκαν οι 18 θερμότερες χρονιές, ενώ στην περιοχή της Μεσογείου καταγράφηκαν φαινόμενα ακραίων υψηλών θερμοκρασιών, μείωση βροχόπτωσης και ροής ποταμών, αύξηση θνησιμότητας λόγω καύσωνα, αύξηση ζήτησης ενέργειας για ψύξη, μείωση του θερινού τουρισμού, κ.α. [4, pp. 2–3]

Για αυτό τον λόγο, η ΕΕ όρισε κάποιους στόχους μείωσης της χρήσης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το 2009, με την οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, στο άρθρο 3, παράγραφος 1 όρισε υποχρεωτικό για κάθε κράτος-μέλος τον στόχο ότι μέχρι το 2020 τουλάχιστον το 20% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται εντός της ΕΕ να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές [5, p. 28]. Ενώ συγκεκριμένα για την Ελλάδα όρισε ότι: από το 6,9% της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας το οποίο προερχόταν από ανανεώσιμες πηγές (που ίσχυε το 2005), ο στόχος ήταν να φτάσει στο 18%[5, p. 31]. Οι στατιστικές αναλύσεις της ΕΕ από το 2019 για το 2017 έδειξαν πως για το σύνολο των κρατών-μελών της, από τη συνολική κατανάλωση ενέργειας (1674 Mtoe), το 13,9% προήλθε από ανανεώσιμες πηγές και βιοκαύσιμα [6, p. 22], ενώ συγκεκριμένα για την Ελλάδα, το 2018, τα στοιχεία λένε πως από τη συνολική ενέργεια που καταναλώθηκε, το 11,98% προήλθε από ανανεώσιμες πηγές και βιοκαύσιμα [6, p. 194]. Ίσως το στοίχημα για το 2020 να έχει

---

<sup>1</sup> Ξεκίνησε όταν τα μέλη του Οργανισμού Αραβικών Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών διακήρυξαν εμπάργκο πετρελαίου τον Οκτώβριο του 1973

χαθεί, αλλά η ΕΕ βοήθησε όλα τα κράτη-μέλη να κάνουν ένα μεγάλο βήμα προς την απεξάρτηση από τον άνθρακα.

Ο επόμενος στόχος τέθηκε για το 2030, και ορίζει ότι τουλάχιστον το 32% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται εντός της ΕΕ θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές και βιοκαύσιμα. [2, p. 44] Ενώ, για το 2050 τέθηκε ως στόχος στη Συμφωνία του Παρισιού ότι οι εκπομπές αερίων και φυσικών ρύπων θα πρέπει να φτάσουν στο μηδέν, πράγμα που μόνο με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μπορέσει να αποτελέσει μία βιώσιμη και δίκαιη κοινωνικά λύση. [4, pp. 4–8]

Έτσι, ένας κλάδος που τις τελευταίες δεκαετίες και δη τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει άρδην λόγω της ενεργειακής κρίσης είναι αυτός του πολιτικού μηχανικού. Εν Ελλάδα, οι προσπάθειες εξοικονόμησης ενέργειας είχαν ξεκινήσει ήδη από το 1980 με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης<sup>2</sup> και είχαν συνεχιστεί το 1998 με τον Κανονισμό Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ)<sup>3</sup>. Όμως, ο κανονισμός που συμβαδίζει με τις απαιτήσεις της ΕΕ και τις ανάγκες για εξοικονόμηση ενέργειας είναι ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) που τέθηκε σε ισχύ το 2010<sup>4</sup> και αναθεωρήθηκε το 2017<sup>5</sup>. Μέσω αυτού ανασχεδιάστηκαν οι διαδικασίες σχετικές με την κατανάλωση ενέργειας στο δομημένο περιβάλλον και με τη σχετιζόμενη παραγωγή ενέργειας (π.χ. κλιματισμός, θέρμανση με μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κ.α.), ενώ παράλληλα τέθηκαν ορισμένοι περιορισμοί όσον αφορά στην οικοδόμηση νέων κτηρίων και στη ριζική ανακαίνιση παλαιότερων.

Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι είναι εξαιρετικής σημασίας οι προσπάθειες της πολιτείας στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσω της ανακύκλωσης Αποβλήτων από Εκσκαφές, Κατασκευές και Κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ)<sup>6</sup>, των ελάχιστων προδιαγραφών του ΚΕΝΑΚ<sup>7</sup>, και τα προγράμματα «Εξοικονόμηση κατ' οίκον»<sup>8</sup>, «Εξοικονομώ-Αυτονομώ»<sup>9</sup>, κοκ.

Σε γενικές γραμμές, ο ΚΕΝΑΚ ορίζει πως όλες οι κατοικίες που κατασκευάζονται ή ανακαινίζονται ριζικά μετά το 2010 θα πρέπει να τηρούν τις ελάχιστες απαραίτητες προδιαγραφές (οι οποίες τεκμηριώνονται με τον προσήκοντα τρόπο σύμφωνα με τις

<sup>2</sup> ΦΕΚ 362/Δ/1979

<sup>3</sup> ΚΥΑ 21475/4707/98, Άρθρο 4 (ΦΕΚ 880/Β/19-08-98)

<sup>4</sup> ΦΕΚ Α 89 – 19/05/2008 (Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης) και ΦΕΚ Β 407 – 09/04/2010 (Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων)

<sup>5</sup> ΦΕΚ Β 2367 – 12/07/2017 και παρακείμενες ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, 20701-2/2017, 20701-3/2017, 20701-4/2017, 20701-5/2017

<sup>6</sup> ΚΥΑ 36259/1757/Ε103/2010 (ΦΕΚ 1312/Β/24-08-2010)

<sup>7</sup> Άρθρο 7 του ΦΕΚ Β 2367 – 12/07/2017

<sup>8</sup> <https://exoikonomisi.ypen.gr/to-programma>

<sup>9</sup> <https://exoikonomo2020.gov.gr/>

σχετικές ΤΟΤΕΕ) ώστε το κτήριο να κατατάσσεται τουλάχιστον στην κατηγορία Β της κλίμακας Ενεργειακής Απόδοσης σε σχέση με το κτήριο αναφοράς.

Συγκεκριμένα, στην παράγραφο 4 του άρθρου 7 του ΦΕΚ Β 2367 αναφέρεται ότι: «Στα νέα κτίρια ή κτιριακές μονάδες – κατοικίας ή τριτογενούς τομέα – οι ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης ικανοποιούνται όταν το κτίριο ή η κτιριακή μονάδα α) πληροί όλες τις ελάχιστες προδιαγραφές για νέα κτίρια όπως αυτές περιγράφονται στο άρθρο 8 της παρούσας και β) η υπολογιζόμενη ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας είναι μικρότερη ή ίσης της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου αναφοράς [...] και το κτίριο ή η κτιριακή μονάδα κατατάσσεται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία Β.»

Ενώ στην Υπουργική Απόφαση 85251-242-2018<sup>10</sup> ορίζεται ότι Κτήρια Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (ΚΣΜΚΕ) είναι αυτά που, κατατάσσονται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία Α αν είναι νέα κτήρια και τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία Β+ αν είναι υφιστάμενα.

Για νέα ή ριζικώς ανακαινιζόμενα κτήρια, η κατάταξη αναγράφεται στη Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης (ΜΕΑ). Σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ, το υπό εξέταση κτήριο διαθέτει επαρκώς θερμομονωμένα εξωτερικά δομικά στοιχεία και θερμομονωτική επάρκεια. [7, ρ. 14]

Τέλος, για να υπογραμμιστεί το ποσοστό ενέργειας που καταναλώνεται από τον κτηριακό τομέα παρατίθεται το παρακάτω διάγραμμα:



Πίνακας Ε.1. Κατανάλωση ενέργειας εν Ελλάδι το έτος 2013. Πηγή: [8, ρ. 7]

<sup>10</sup> ΦΕΚ 5447-Β-5-12-2018

Σημειώνεται ότι οι παραπάνω τιμές αναφέρονται στη συνολική κατανάλωση ενέργειας το έτος 2013. Η κατανάλωση της διαθέσιμης ηλεκτρικής ενέργειας από τα ελληνικά κτήρια κατοικίας την ίδια χρονιά έφτασε περίπου στο 65% και συμβολή τους στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έφτασε περίπου το 52%. [8, p. 7]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Βιοκλιματική αρχιτεκτονική

### 1.1 Γενικά

Πλέον, ο σχεδιασμός κτηρίων δεν συμπεριλαμβάνει μόνο τη βραχυχρόνια άνεση και ασφάλεια του ανθρώπου που χρησιμοποιεί το εκάστοτε κτήριο (είτε ζει, εργάζεται ή κοινωνικοποιείται εντός αυτού), αλλά και τη μακροχρόνια διασφάλιση της υγείας της ανθρωπότητας και του περιβάλλοντος. Αυτό επιτυγχάνεται εφόσον ληφθούν υπόψη κάποιες παράμετροι οι οποίες επιδεικνύουν περιβαλλοντολογικά υπεύθυνες πρακτικές για την ανέγερση, λειτουργία, συντήρηση, ανακαίνιση και κατεδάφιση του κτηρίου. [9, p. 4]

Έτσι, το θέμα της εξοικονόμησης ενέργειας επανάφερε στο προσκήνιο τη βιοκλιματική αρχιτεκτονική. Ενώ πρόκειται για μία ιδέα η οποία υπήρχε και εφαρμόζονταν ήδη από την εποχή του Σωκράτη [10, pp. 211–213], λόγω της πετρελαϊκής κρίσης του 1973 ο βιοκλιματικός σχεδιασμός επανεισήχθη στον κλάδο της αρχιτεκτονικής [11, p. 2]. Σήμερα τα κτήρια πρέπει να εξασφαλίζουν, όχι μόνο την άνεση του χρήστη, αλλά και την αρμονική συνύπαρξη του κτηρίου με το περιβάλλον.

*Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά στο σχεδιασμό κτηρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών-υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές, αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτήρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτηρίων. [12, p. 3]*

Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί πως ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποτελεί μία ολιστική προσέγγιση της εναρμόνισης του ανθρώπου με το περιβάλλον του και «σχετίζεται με την οικολογία περισσότερο, παρά με την ενέργεια και την εξοικονόμηση που δύναται να επιφέρει» [12, p. 3]. Ενώ ένα εξαιρετικής σημασίας ζητούμενο της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι η κατά το δυνατόν ανέγερση κτηρίων τα οποία ανταποκρίνονται λογικά στο κοστολόγιο της αγοράς. Επιβάλλεται δηλαδή να έχουν τιμές ανταγωνιστικές σε σχέση με τα συμβατικά κτήρια, ώστε να ενθαρρυνθεί η περαιτέρω κατασκευή τέτοιων οικοδομημάτων.

Ουσιαστικά, πρόκειται για μία διαδικασία σχολαστικού σχεδιασμού όλου του κύκλου ζωής των οικοδομημάτων, ώστε αυτά να εξυπηρετούν τους εξής στόχους:

- 1) Την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας και της υποκατάστασής τους από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

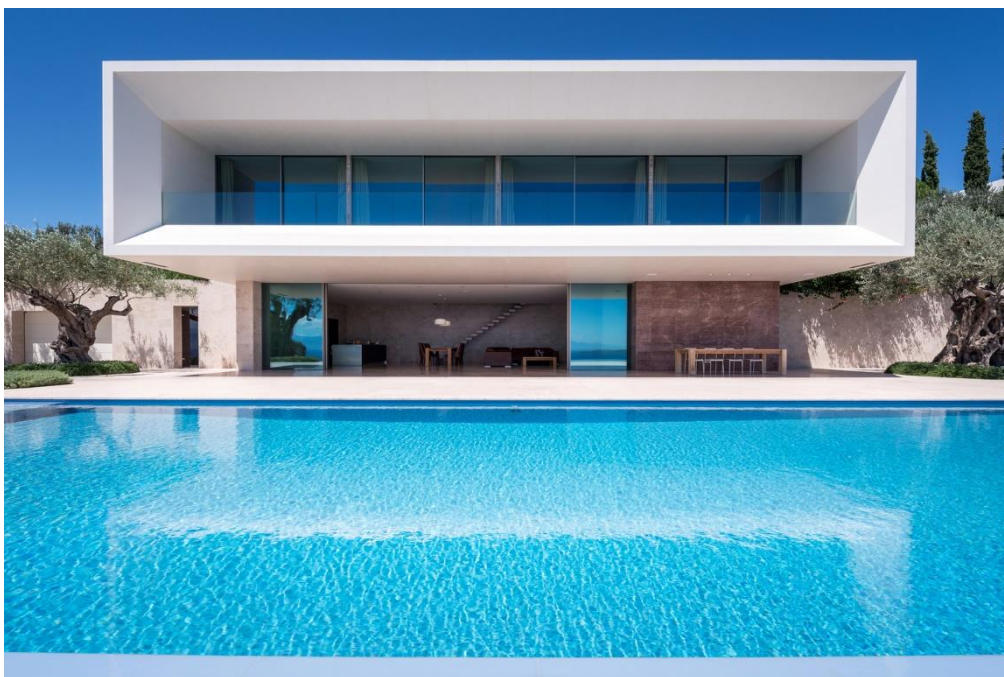


- 2) Την εξοικονόμηση χρήματος, καθώς η χρήση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση και της αιολικής ενέργειας για δροσισμό έχουν ως αποτέλεσμα εξοικονόμηση χρημάτων της τάξης του 50% ή ενδεχομένως και μεγαλύτερη.
- 3) Την προστασία του περιβάλλοντος, λόγω του περιορισμού χρήσης συμβατικών καυσίμων, επομένως και τη μείωση των εκλυόμενων ρύπων στην ατμόσφαιρα.
- 4) Τη βελτίωση του εσω-κλίματος των κτηρίων, φροντίζοντας για τις ανάγκες της ποιότητας αέρα και των θερμικής, οπτικής και ακουστικής ανέσεων ενός μέσου ανθρώπου,

[13, p. 10]

Αν ληφθεί υπόψη ότι η περισσότερη ενέργεια που καταναλώνεται στα νοικοκυριά είναι για λόγους θέρμανσης του εσωτερικού τους [14, p. 23], τότε η εφαρμογή των αρχών της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι μάλλον απαραίτητη, αν αναλογιστεί κανείς τα δυνατά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η κατάλληλη χωροθέτηση, ο προσανατολισμός και το σχήμα του κτηρίου, το μέγεθος των ανοιγμάτων του συναρτήσει του προσανατολισμού και η διάρθρωση των εσωτερικών χώρων, όλα βάσει του μικροκλίματος της περιοχής. Έπειτα, συνυπολογίζεται η ηλιοπροστασία, το χρώμα και η υφή των εξωτερικών επιφανειών, η θερμοχωρητικότητα, η επάρκεια της θερμομόνωσης, ο φυσικός αερισμός και η νυχτερινή ακτινοβολία.



Εικόνα 1: Παράδειγμα βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Κατοικία TRIF στο Πόρτο Χέλι, σχεδιασμένη από τον Sergey Fedotov. Ο Νότιος προσανατολισμός των ανοιγμάτων μεγιστοποιεί τη χρήση του φυσικού φωτισμού, ενώ τα σκιάστρα ελαχιστοποιούν τα θερμικά κέρδη. [15]

## 1.2 Ηλιασμός

Εννοιολογικά, ηλιασμός ορίζεται η πρόσπτωση των ηλιακών ακτινών σε ένα συγκεκριμένο επιθυμητό μέρος. Αναφορικά με το κτήριο, η ηλιακή ακτινοβολία, θερμαίνοντας ελάχιστα ή υπερβολικά το κτηριακό κέλυφος, δύναται να ωφελήσει ή να ζημιώσει τον χρήστη. Μελετώντας λοιπόν, τη θέση του ηλίου και τις ιδιότητές του, είναι δυνατό να προκύψουν συμπεράσματα για τον βέλτιστο σχεδιασμό ενός κτηρίου.

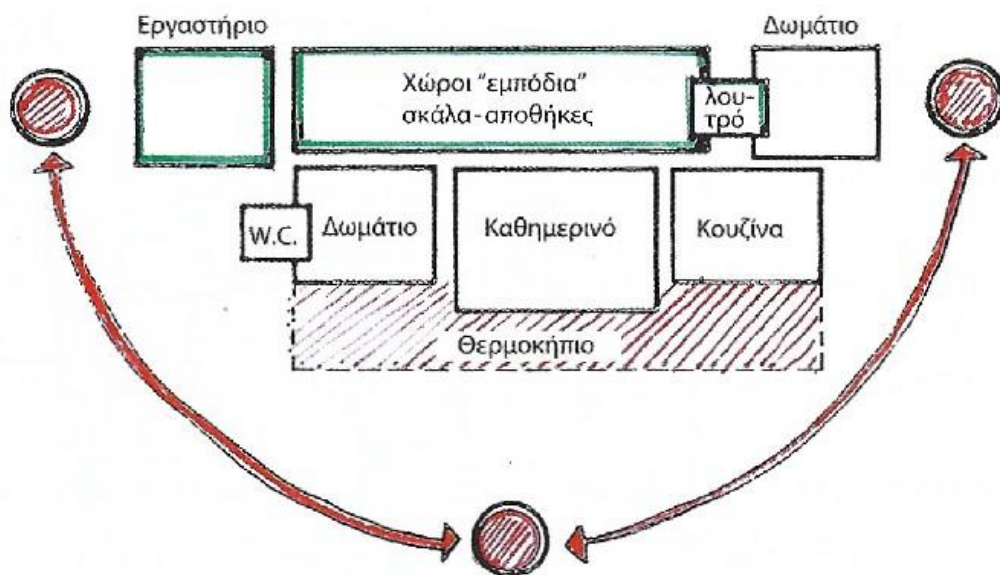
Στους [16, p. 242] αναφέρεται λοιπόν ότι: *«για τον σωστό σχεδιασμό ενός κτηρίου, ο σχεδιαστής του θα πρέπει να γνωρίζει πέντε στοιχεία:*

- *Την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας στον χώρο της δόμησης κατά τις εποχές του έτους*
- *Σε ποιο σημείο του ορίζοντα θα βρίσκεται ο ήλιος κατά τις διαφορετικές εποχές του έτους, σε σχέση με τον χώρο δόμησης*
- *Πόση από την παρεχόμενη από τον ήλιο θερμότητα θα χρειαστεί ένα κτήριο στις διαφορετικές εποχές του έτους, ώστε οι χρήστες του να αισθάνονται άνετα μέσα σε αυτό*
- *Τη θερμοχωρητικότητα του κτηρίου σε σχέση με τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια, ώστε να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου*
- *Ποιες είναι οι επιπλέον απαιτήσεις για τον έλεγχο της παρεχόμενης ενέργειας από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, τη μεταφορά ή την αγωγιμότητά της σε ένα κτήριο. Κυρίως όπως πώς θα επιτευχθεί ο έλεγχος και η διαχείριση του πλεονάσματος της ενέργειας (αερισμός, απόδοση κτηριακού κελύφους, κλπ)»*

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη, ώστε να χρησιμοποιηθεί βελτίστως ο ηλιασμός μιας κατασκευής. Μερικοί παράγοντες είναι το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο της τοποθεσίας, ο προσανατολισμός της κατασκευής, το μικρόκλιμα της περιοχής, κ.α.

Στον Ελλαδικό χώρο η ενδεδειγμένη τοποθέτηση των ανοιγμάτων όσον αφορά τον ηλιασμό, είναι ο νότος, διότι με αυτή την κατεύθυνση επιτυγχάνουμε τη μέγιστη ώρα πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους χειμερινούς μήνες [12, p. 4], [17, p. 10]. Αυτό ωφελεί τον χρήστη καθώς το εσωτερικό του σπιτιού λαμβάνει την περισσότερη δυνατή θερμική ενέργεια και τον περισσότερο δυνατό φυσικό φωτισμό. Σε ψυχρά κλίματα είναι ευεργετικό από πλευράς μείωσης των θερμικών απωλειών αν το κτήριο έχει κανονικό, ορθογωνικό σχήμα, ενώ σε εύκρατα κλίματα συστήνεται η πεπλατυσμένη κάτοψη, η οποία μάλιστα πρέπει να βρίσκεται παράλληλα με τον άξονα ανατολής-δύσης. [17, p. 10], [18, pp. 297–299]

Η χωροθέτηση αποτελεί σημείο-κλειδί στην βιοκλιματική αρχιτεκτονική. Οι χώροι κύριας χρήσης ενός κτηρίου (υπνοδωμάτια, χώροι διημέρευσης, γραφεία, κουζίνες) πρέπει κατά το δυνατόν να τοποθετούνται στον νότο, ώστε να προσλαμβάνουν την περισσότερη δυνατή ηλιακή ακτινοβολία και φυσικό φωτισμό, ενώ οι χώροι βοηθητικής χρήσης (διάδρομοι, προθάλαμοι, κλιμακοστάσια, χώροι υγιεινής, αποθήκες, χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων, κλπ) πρέπει να σχεδιάζονται στο βόρειο μέρος του κτηρίου, μιας και δεν χρησιμοποιούνται για μεγάλα χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της ημέρας και δεν έχουν μεγάλη απαίτηση σε φυσικό φωτισμό. [17], [19, pp. 68–69]



Εικόνα 2: Μία προτεινόμενη χωροθέτηση. [19, p. 69]

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η ηλιακή ακτινοβολία για να καλυφθεί μέρος των αναγκών ενός κτηρίου, χρησιμοποιούνται τα παθητικά και τα ενεργητικά συστήματα θέρμανσης.

### 1.3 Παθητικά συστήματα

Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης ονομάζονται τα δομικά στοιχεία του κτηρίου, που, αξιοποιώντας τις αρχές της φυσικής (τους νόμους μεταφοράς θερμότητας) συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. [12, p. 4] Πρόκειται ουσιαστικά για συστήματα που χρησιμοποιούν α) την ακτινοβολία του ηλίου για θέρμανση κατά τις ψυχρές περιόδους του έτους, καθώς και β) τις ακτίνες του ηλίου για παροχή φυσικού φωτισμού. Η βασική ιδιότητα των παθητικών συστημάτων θέρμανσης είναι το γεγονός ότι η χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας δεν γίνεται με τεχνικά συστήματα. Δηλαδή δεν καταναλώνεται μηχανική ενέργεια για τη διοχέτευση της ακτινοβολίας στο κτήριο,

αφού το κτήριο αφ' εαυτού αξιοποιεί άμεσα την ηλιακή ενέργεια χάρη στον προσανατολισμό, τη γεωμετρία και τα υλικά του.

Επιλέγοντας καταλλήλως το οικόπεδο βάσει του σχήματος, του προσανατολισμού και του γεωγραφικού του πλάτους, καθώς και καθορίζοντας συνειδητά την χωροταξική τοποθέτηση των ανοιγμάτων και την επιλογή των υλικών, είναι δυνατό να απορροφηθεί αρκετή ηλιακή ακτινοβολία, ώστε να επιτυγχάνονται τα επιθυμητά επίπεδα θερμικής άνεσης καθώς και να αξιοποιείται στο μέγιστο ο φυσικός φωτισμός. [20, pp. 13–14]

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές κατηγορίες παθητικών συστημάτων:

- Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης
- Παθητικά συστήματα με τεχνικές φυσικού δροσισμού
- Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού

Είναι απαραίτητο να συνδυαστούν και να συνυπάρξουν και οι τρεις κατηγορίες προκειμένου να επωφεληθούμε από τα θερμικά και οπτικά οφέλη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους<sup>11</sup>.

### 1.3.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες οφέλους από την ηλιακή ενέργεια, τα άμεσα και τα έμμεσα συστήματα. Στα συστήματα άμεσου ηλιακού οφέλους για να περισυλλεχθεί η επιθυμητή ηλιακή ενέργεια σε ένα παθητικό σύστημα θέρμανσης, χρησιμοποιείται η λογική του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα ημιδιαφανή και διαφανή υλικά όπως το γυαλί έχουν την ιδιότητα να αφήνουν το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να τα διαπερνά, ενώ ένα πολύ μικρό μέρος της ακτινοβολίας αυτής αντανακλάται και άλλο ένα μέρος απορροφάται και διαχέεται εκατέρωθεν του γυαλιού. Σε μία κατασκευή, το μέρος της ακτινοβολίας που διαπερνά το υαλοστάσιο είναι δυνατό να εγκλωβιστεί ώστε να επωφεληθεί ο χρήστης άμεσα από αυτό αν τοποθετηθούν στο εσωτερικό της κατασκευής υλικά και έπιπλα μεγάλης θερμικής μάζας, και θερμοχωρητικότητας. [16, pp. 247–248], [21, pp. 47–48]

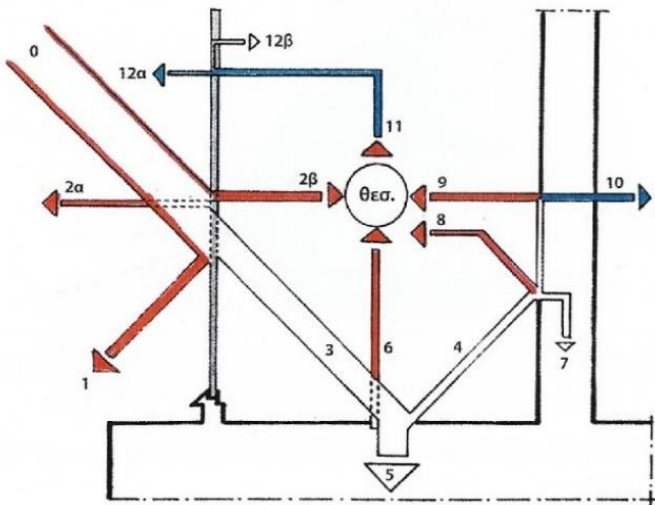
Τα συστήματα έμμεσου ηλιακού οφέλους αφού συλλέξουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν για μελλοντική χρήση. Τον χειμώνα η ενέργεια αφού συλλεχθεί

---

<sup>11</sup> [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/bioklimatikos\\_sxediasmos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.htm)



απελευθερώνεται σταδιακά κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το καλοκαίρι η λειτουργία αντιστρέφεται και αποτρέπεται η υπερθέρμανση του εσωτερικού του κτηρίου. [12]



Εικόνα 3: Πορεία ακτινοβολίας ηλίου καθώς διαπερνά γυαλί. 1) Το 15% ανακλάται προς τα έξω, 2α και 2β) ένα μέρος απορροφάται από το γυαλί και εκπέμπεται μερικώς προς τα έξω και μερικώς προς τα μέσα, 3) η ακτινοβολία που διαπερνά το γυαλί μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, 5) το μεγαλύτερο τμήμα αποθηκεύεται στο δάπεδο, 4 και 6) μέρος ανακλάται προς τα εσωτερικά δομικά στοιχεία, 7) μέρος απορροφάται από τον εσωτερικό τοίχο, 8 και 9) μικρό μέρος θερμαίνει τον χώρο, 10) μέρος χάνεται λόγω απωλειών, 11) μέσω ακτινοβολίας, σταδιακά εκλύεται η αποθηκευμένη θερμότητα στον χώρο, 12α και 12β) από την εκλυόμενη θερμότητα, μέρος χάνεται ως θερμική απώλεια και μέρος θερμαίνει τον χώρο. [19, p. 72]

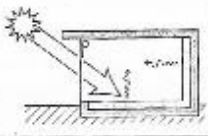
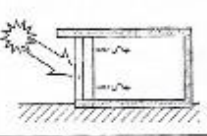
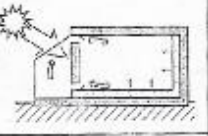
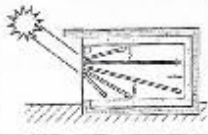
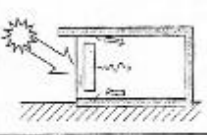
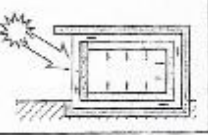
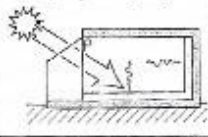
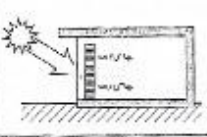
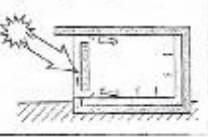
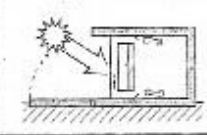

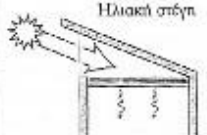


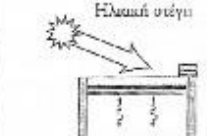
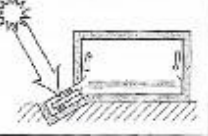
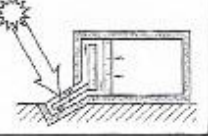
Θερμοχωρητικότητα καλείται το χαρακτηριστικό των υλικών να απορροφούν την εκπεμπομένη εκ του ηλίου θερμότητα και να την εκτονώνουν σε δεύτερο χρόνο. Αξιοποιώντας αυτή την ιδιότητα, δύναται να εξοικονομηθεί ενέργεια, τόσο για τις ανάγκες θέρμανσης, όσο και για τις ανάγκες ψύξης μιας κατασκευής. Τις ψυχρές μέρες, ένα κτήριο με μεγάλη θερμική μάζα έχει αποθηκευμένη μεγάλη ποσότητα θερμότητας, η οποία σταδιακά εκτονώνεται στο εσωτερικό του κτηρίου, μειώνοντας την ανάγκη για κατασπατάληση ενέργειας για θέρμανση. Τις θερμές μέρες, εφόσον έχει προβλεφθεί ο κατάλληλος σχεδιασμός στο πλαίσιο προσανατολισμού και σκίασης ώστε να εμποδιστεί η απευθείας πρόσπτωση των ηλιακών ακτινών στο εσωτερικό του ηλίου, η θερμική μάζα καθυστερεί την αύξηση της θερμοκρασίας εντός του κτηρίου μέχρι τις βραδινές ώρες. Τότε δεν υπάρχει πρόβλημα, καθώς επιτυγχάνεται εύκολα ο φυσικός δροσισμός της κατασκευής.

Τα παθητικά συστήματα θέρμανσης, αν και βασίζονται στην ίδια αρχή ποικίλουν στη μορφή. Μερικά από αυτά είναι τα εξής:

- Το άμεσο (ή τυπικό) παθητικό σύστημα άμεσου ηλιακού οφέλους. Επιφέρει θερμικό κέρδος από τα καταλλήλως τοποθετημένα υαλοστάσια (για τα Ελληνικά δεδομένα, η νότια πλευρά). Λειτουργεί όπως ακριβώς περιεγράφηκε άνωθεν.
- Ο τοίχος μάζας, ο οποίος μεταφέρει θερμότητα μέσω αγωγιμότητας και τοποθετείται στη νότια πλευρά του κτηρίου. Εξωτερικά βάφεται με σκούρο χρώμα για να απορροφά τη μέγιστη δυνατή ηλιακή ακτινοβολία, ενώ στο εσωτερικό βάφεται με ανοιχτό χρώμα, ώστε να έχει υψηλό συντελεστή ακτινοβολίας. Διαθέτει ένα γυάλινο πέτασμα στην εξωτερική πλευρά του.

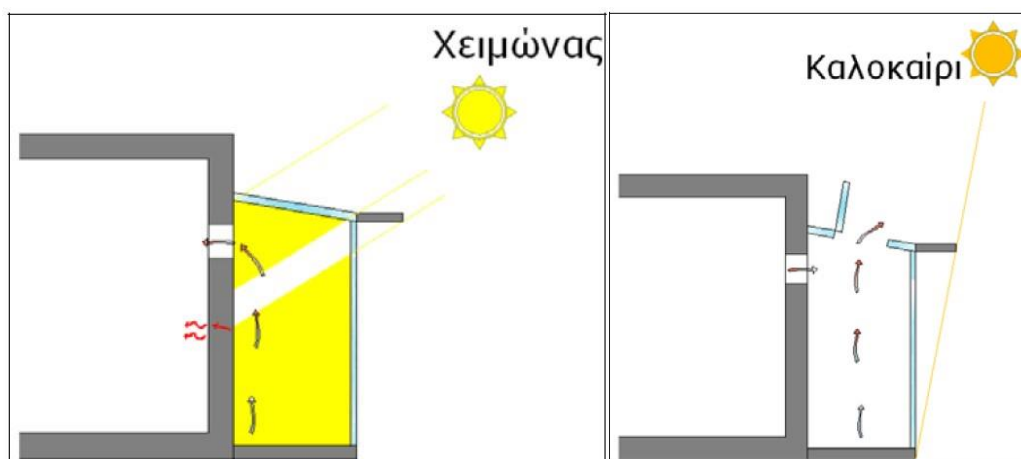
Απορροφά την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας και την εγκλωβίζει στο διάκενο μεταξύ γυάλινου πετάσματος και εξωτερικής πλευράς του τοίχου. Τη νύκτα η θερμότητα εκπέμπεται για χρονική περίοδο η οποία εξαρτάται από το πάχος του τοίχου και τα θερμικά του χαρακτηριστικά. [16, p. 252], [17, p. 17], [22, p. 70]

- Ο τοίχος Trombe-Michel. Αποτελεί παραλλαγή του τοίχου μάζας, τοποθετείται σε με αντίστοιχο προσανατολισμό, πέτασμα και χρώματα. Διαθέτει θυρίδες στη βάση και τη στέψη του, οι οποίες ανοίγοντας, διευκολύνουν τη διάχυση της θερμότητας στο εσωτερικό του κτηρίου. Τις βραδινές ώρες, προκειμένου να εμποδισθεί η είσοδος ψύχους κλείνουμε τις θυρίδες. [16, p. 253], [17, p. 17], [22, p. 70]
- Ο τοίχος νερού. Έχει τις ίδιες ιδιότητες με τον τοίχο μάζας, αλλά στο εσωτερικό του έχει ειδικές δεξαμενές γεμάτες νερό. Το νερό έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα όγκου πλίνθου ή σκυροδέματος, οπότε ο τοίχος νερού δύναται να έχει μικρότερη μάζα σε σύγκριση με ένα τοίχο μάζας. [16, p. 253], [22, pp. 72–73] [22, p. 68]

	Άρση	Έμμεσο	Απομονωμένο
Νύκτα κλειστά	Χωρίς διάχυση 	Τοίχος με μάζα 	Θερμοκλίπιο 
	Με διάχυση 	Τοίχος Trombe 	Batta-Castrantini 
	Θερμοκλίπιο με άμεσο κέρδος 	Τοίχος νερού 	Σιλλέστιος με απομονωμένο ταίχο 
		Απομονωμένος τοίχος αποθήκευσης 	
Άνοιγμα από πάνω με άδεια	Άνοιγμα στέγης με άμεσο κέρδος 	Ηλιακή στέγη 	Άνοιγμα στέγης σε σφήτα με μάζα παύρου τράματος 
	Άνοιγμα στέγης με έμμεσο κέρδος 	Ηλιακή στέγη 	
Άνοιγμα από κάτω			Σύστημα θερμοσίφωνα 
			Σύστημα θερμοσίφωνα 

Εικόνα 4: Τύποι παθητικών ηλιακών συστημάτων [22, p. 68]

- Το σύστημα Barra-Constantini. Πρόκειται για μία τεχνική περισυλλογής αέρα. Τοποθετού-νται γυάλινοι συλλέκτες στη νότια όψη. Τον χειμώνα ο αέρας μεταξύ του γυάλινου πετάσματος και του εξωτερικού μέρους του τοίχου θερμαίνεται οπότε οδηγείται προς την στέψη του τοίχου. Εκεί υπάρχουν κανάλια που κατευθύν-νουν τον αέρα στην άνω πλευρά της κατασκευής, όπου ένα μέρος αυτού απορροφάται από την πλάκα και εκτονώνεται σε δεύτερο χρόνο, ενώ το άλλο μέρος εισάγεται στο εσωτερικό με τη μορφή του ζεστού αέρα. [16, p. 253], [23, p. 3]
- Ο ηλιακός χώρος (ή θερμοκήπιο). Ουσιαστικά πρόκειται για συνδυασμό των συστημάτων άμεσου οφέλους και τοίχου μάζας. Προσαρτάται στη νότια πλευρά του κτηρίου και περισυλλέγει (βάσει του φαινομένου του θερμοκηπίου) θερμότητα, η οποία αποθηκεύεται στον τοίχο μάζας. Το καλοκαίρι για να αντιστραφεί η διαδικασία ανοίγονται τα παράθυρα του ηλιακού χώρου και η θερμότητα πλέον εκτονώνεται στην ατμόσφαιρα. [16, pp. 254–257], [17, p. 18], [22, pp. 72–73]



Εικόνα 5: Χειμερινή και θερινή λειτουργία ηλιακού χώρου [13, p. 40]

### 1.3.2 Παθητικά συστήματα με τεχνικές φυσικού δροσισμού

Πέρα από τα παθητικά συστήματα θέρμανσης υπάρχουν και τα συστήματα φυσικού δροσισμού, τα οποία είναι πολύ απλά συστήματα που εξασφαλίζουν την ανανέωση του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου, τόσο για λόγους δροσισμού τους θερινούς μήνες, όσο και για λόγους υγείας των χρηστών. Σύμφωνα με την Ερευνητική Ομάδα Ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης «ο όρος παθητική ψύξη εφαρμόζεται μόνο σε αυτές τις διαδικασίες διάχυσης της θερμότητας που πραγματοποιούνται με φυσικό τρόπο, δηλαδή χωρίς τη μεσολάβηση μηχανικών στοιχείων ή ενεργειακή μεταφορά.» [22, p. 93]

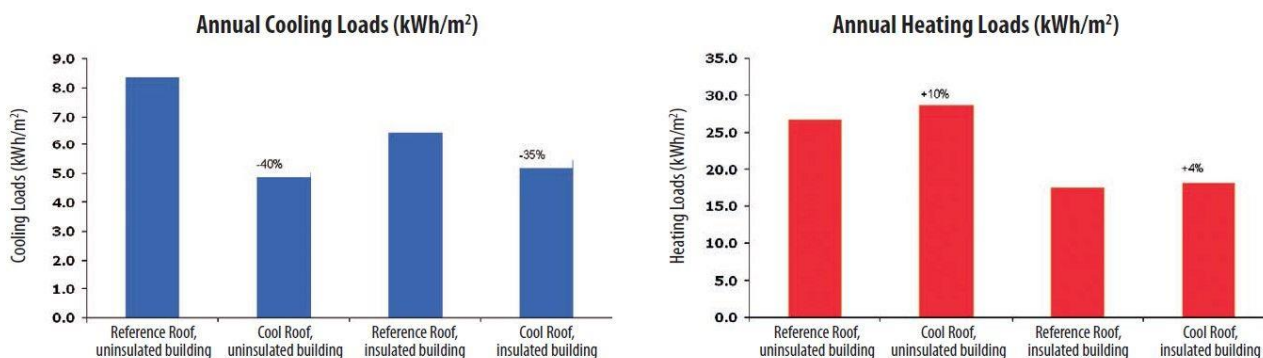
«Οι παράμετροι που επηρεάζουν τις συνθήκες φυσικού αερισμού είναι η διεύθυνση και η ένταση των δροσερών ανέμων στην περιοχή τη θερινή περίοδο, η θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων στο κτήριο και η χρήση του κτηρίου.» [13, p. 18]

Ο φυσικός δροσισμός πραγματοποιείται με τις εξής τεχνικές [12, p. 5]:

- Ηλιοπροστασία (σκίαση, ανακλαστικά επιχρίσματα εξωτερικών επιφανειών, φυτεμένο δώμα)
- Φυσικός αερισμός (διαμπερή ανοίγματα, καμινάδα-πύργος αερισμού, ηλιακή καμινάδα)
- Δροσισμός μέσω εδάφους (υπόσκαφα-ημιυπόσκαφα κτήρια)

Τα πιο διαδεδομένα παθητικά συστήματα φυσικού δροσισμού είναι τα εξής:

- Η καμινάδα αερισμού. Σε συνδυασμό με τα κατάλληλα ανοίγματα στη βάση του κτηρίου, η καμινάδα αερισμού αξιοποιεί το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού. Ο φρέσκος ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται στη βάση του κτηρίου και ο θερμός αέρας κινείται προς την κορυφή, δημιουργώντας έτσι ένα ρεύμα εντός του κτηρίου<sup>12</sup>.
- Οι ψυχρές οροφές (cool roofs). Πρόκειται για μία μέθοδο δροσισμού η οποία ορίζει την εφαρμογή ψυχρών υλικών στα δώματα των κτηρίων. Τα ψυχρά υλικά έχουν την ιδιότητα να αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία, αντί να την απορροφούν, σε αντίθεση με τα θερμά υλικά. Έτσι, η μείωση των σκούρων χρωμάτων στο δώμα ενός κτηρίου δύναται να αγγίξει θερμοκρασίες έως και 28-33°C χαμηλότερες από μία συμβατική σκουρόχρωμη οροφή<sup>13</sup>. Επιπλέον, οι ψυχρές οροφές έχουν ελάχιστες ανάγκες συντήρησης και αντικατάστασης, και μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου [24], [25, p. 2]



Εικόνα 6: Ετήσιες μετρήσεις ενεργειακής κατανάλωσης για σχολείο στην Καισαριανή, πριν και μετά την εγκατάσταση ψυχρής οροφής [25, p. 6]

<sup>12</sup> [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/fysikos\\_drosismos\\_fysikos\\_aerismos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_fysikos_aerismos.htm)

<sup>13</sup> <http://ktm.cres.gr/index.php/katoikies/psychres-orofes>



- Η ηλιακή καμινάδα. Λειτουργεί με την ιδιότητα της συναγωγής. Η καμινάδα αποτελείται από ένα γυάλινο πέτασμα, έναν μεταλλικό συλλέκτη και θερμική μάζα. Αντίστοιχα με την καμινάδα αερισμού, η ηλιακή καμινάδα απαιτεί ανοίγματα σε χαμηλά σημεία για την είσοδο του ψυχρού εξωτερικού αέρα. Το μεταλλικό στοιχείο συλλέγει θερμότητα, η οποία μεταφέρεται στον αέρα εντός της καμινάδας. Ο ζεστός αέρας από το εσωτερικό του κτηρίου που πηγαίνει προς τα πάνω βρίσκει τον ζεστό αέρα από την ηλιακή καμινάδα. Η διαφορά πυκνότητας αέρα στα σημεία εισόδου και εξόδου συνεπάγεται με διαφορά πίεσης του αέρα δημιουργεί ένα ρεύμα που διαπερνά το εσωτερικό του κτηρίου.[26, p. 253], [27, pp. 2–3]
- Ο διαμπερής αερισμός. Σίγουρα πρόκειται για την πιο διαδεδομένη πρακτική δροσισμού. Απαιτεί ανοίγματα σε αντικρουστές πλευρές, κατά κανόνα για τα Ελληνικά δεδομένα τοποθετημένα στον άξονα βορά-νότου, και αν αυτό δεν είναι δυνατό, τότε τοποθετημένα στον άξονα ανατολής-δύσης.

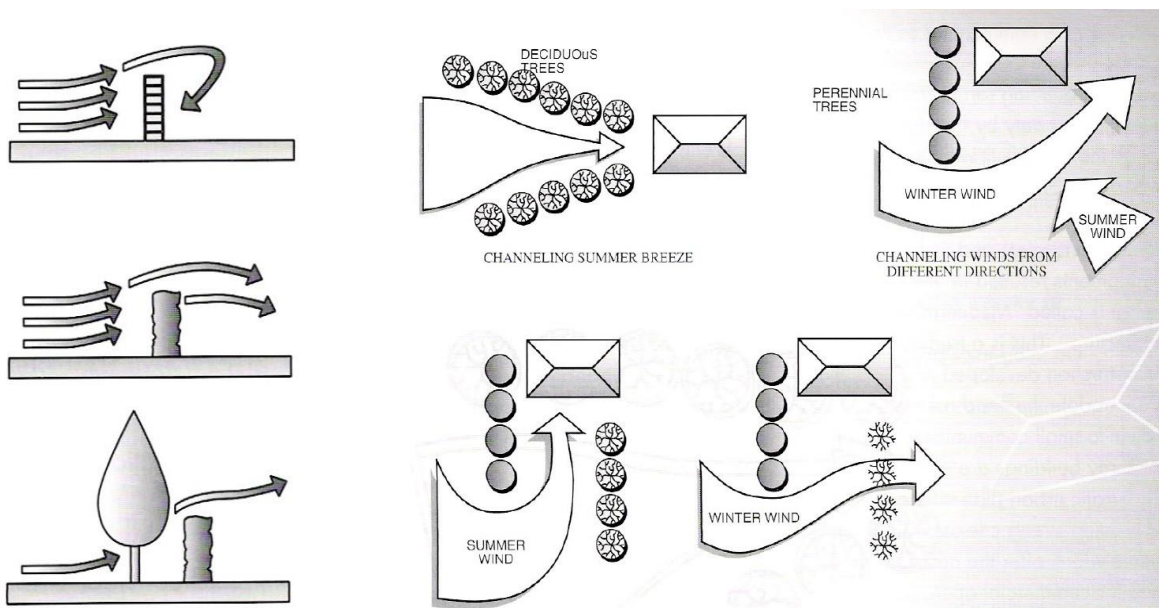


- Οι αεριζόμενοι τοίχοι (ventilated walls). Το σύστημα αυτό λειτουργεί ως εξής: ο τοίχος, από μέσα προς τα έξω, αποτελείται από σοβά, τούβλο, θερμομόνωση, διάκενο στο οποίο υπάρχει ελεύθερη ροή αέρα, και είτε μία λεπτή πλάκα σκυροδέματος και σοβά, είτε ένα σύστημα με μεταλλικό σκελετό και πλάκες διαφόρων υλικών (τερακότα, αλουμίνιο, κεραμικές πλάκες, γυαλί, fiberglass, κα). Κατά τη θερινή περίοδο ο αέρας ανακυκλώνεται διαρκώς, καθώς ο αέρας που βρίσκεται στο διάκενο θερμαίνεται και κατευθύνεται προς την κορυφή του κτηρίου όπου και εκτονώνεται στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, το διάκενο αποτρέπει τη μετάδοση υγρασίας από την εξωτερική επιφάνεια στη θερμομόνωση και το κέλυφος του κτηρίου. [28, p. 1], [29], [30]

Εικόνα 7: Πλάγια όψη συστήματος αεριζόμενου τοίχου. [30]

- Η βλάστηση. Χρησιμοποιώντας έξυπνα την περιβάλλουσα βλάστηση, ο χρήστης δύναται να κατευθύνει τους ψυχρούς ανέμους γύρω από το κτήριο τον χειμώνα και επί των επιφανειών του το καλοκαίρι. Για να τοποθετηθεί η κατάλληλη βλάστηση με τον βέλτιστο τρόπο, πρέπει να ληφθεί υπόψη το μικροκλίμα της

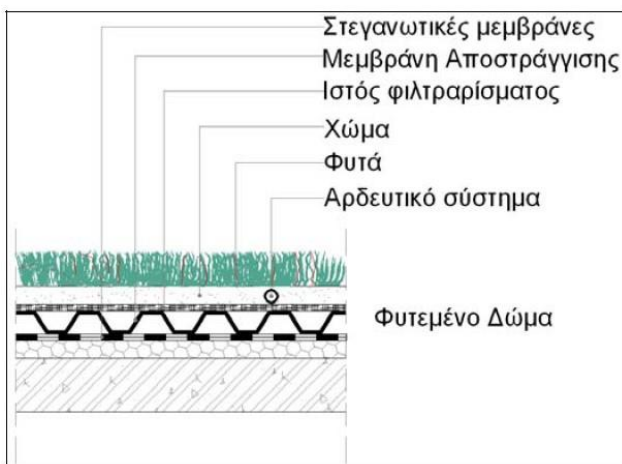
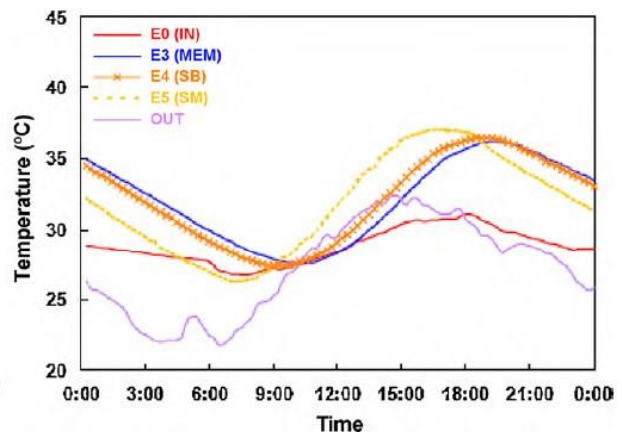
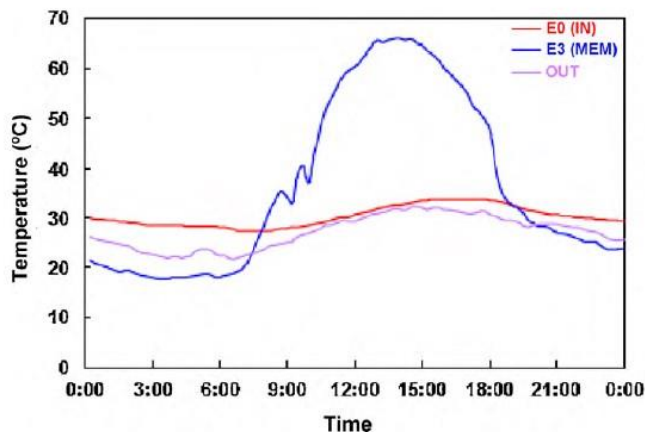
περιοχής, τα τυχόν ρεύματα αέρα λόγω μεγάλων όγκων πλησίον του οικοπέδου, κλπ.



Εικόνα 6 (αριστερά): Ένας συμπαγής φράχτης από πλίνθους δημιουργεί στροβιλισμούς του ανέμου, ένας θαμνώδης φράχτης κάνει πιο ήπια την μεταφορά του ανέμου, ενώ ένα δέντρο μπροστά από τον φράχτη ανακατευθύνει τον άνεμο προς τα πάνω. [31, p. 46]

Εικόνα 7 (δεξιά): Με τη χρήση φυλλοβόλων θάμνων ή δέντρων, είναι δυνατή η ανακατεύθυνση του ανέμου από ή προς το κτήριο. [31, p. 46]

- Η σκίαση. Πρόκειται για έναν από τους πιο διαδεδομένους τρόπους αποφυγής της ηλιακής ακτινοβολίας. Σκοπός είναι η μείωση του ποσού της ηλιακής ακτινοβολίας που πλήττει το κέλυφος και χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες. Την ιδιοσκίαση (own shading) εξαιτίας των ίδιων των επιφανειών του κτηρίου, τη σκίαση από κοντινά εμπόδια όπως οι προεξοχές, τα στέγαστρα και οι περσίδες (venetian blinds), και σκίαση από μακρινά εμπόδια, όπως άλλα κτήρια στον περιβάλλοντα χώρο. [32, p. 31]
- Φυτεμένο δώμα. Αποτελεί μία τεχνική παθητικού δροσισμού και φυσικής θερμομόνωσης. Εμποδίζει την προσπίπτουσα στο δώμα ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στο εσωτερικό του κτηρίου το καλοκαίρι, ενώ αποτρέπει την έξοδο της θερμότητας από το εσωτερικό του κτηρίου τον χειμώνα. Αποτελεί μία πρόσθετη θερμική μάζα η οποία σταθεροποιεί τις διακυμάνσεις εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας του κτηρίου, άρα οδηγεί σε ενεργειακά οφέλη. [33, p. 1]



Εικόνα 8 (επάνω): Θερινές θερμοκρασίες απλής (αριστερά) και φυτεμένης (δεξιά) οροφής. Η μπλέ καμπύλη απεικονίζει τη θερμοκρασία του δώματος. [33, p. 1583]

Εικόνα 9 (αριστερά): Στρώσεις φυτεμένου δώματος [13, p. 70]

Οι τύποι φυτεμένων δωματών είναι:

1) Εκτατικό φυτεμένο δώμα. Έχει μικρό βάρος και χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης, και έχει ως στόχο περιβαλλοντικά οφέλη για το αστικό

μικροκλίμα και οικονομικά οφέλη για τον ιδιοκτήτη της κατασκευής. Έχει υπόστρωμα πάχους μικρότερου των 100 mm συνήθως (με ελάχιστο πάχος τα 80 mm).

2) Εντατικό φυτεμένο δώμα, ή κοινώς αποκαλούμενο ως “roof garden”. Σχεδιάζεται ως χώρος αναψυχής και έχει πάχος μεγαλύτερο από 200 mm. Απαιτεί συχνή συντήρηση και άρδευση.

3) Ημι-εντατικό φυτεμένο δώμα. Επιλογή η οποία περιλαμβάνει χαρακτηριστικά από τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Έχει υπόστρωμα μεταξύ 100 και 200 mm.

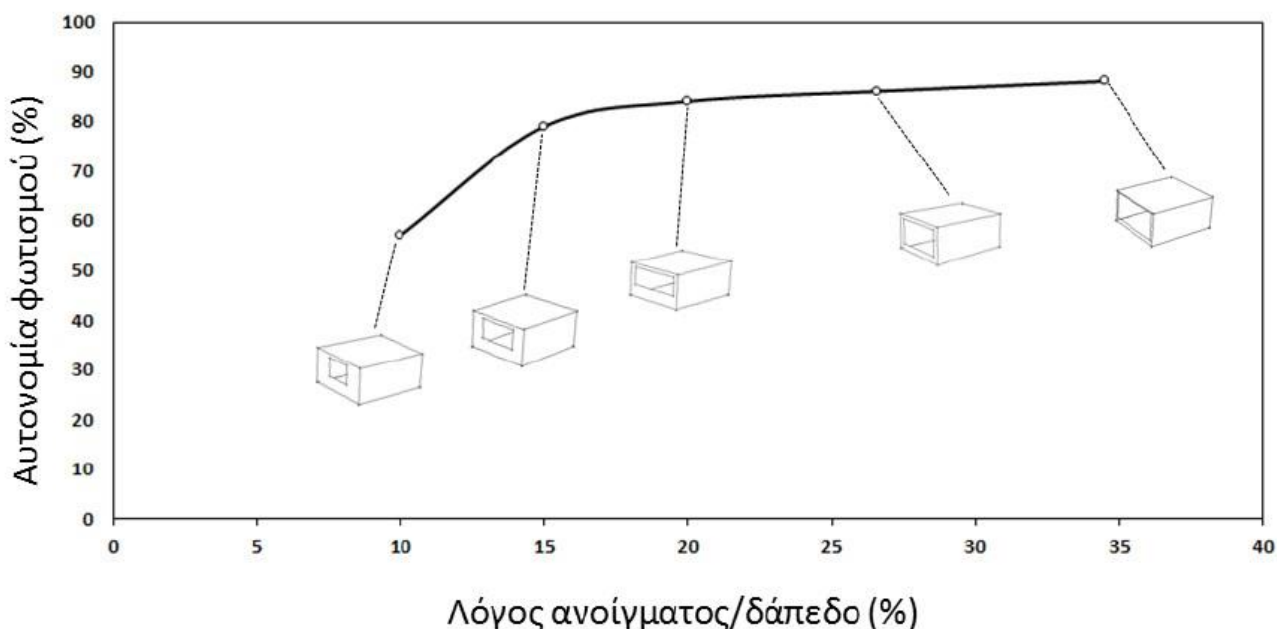
4) Φυτεμένο δώμα βιοποικιλότητας. Αποτελεί μία σύνθεση εκτατικού τύπου δώματος, ωστόσο σχεδιάζεται έτσι ώστε να προσελκύει συγκεκριμένη χλωρίδα και πανίδα.

[12, pp. 4–5], [34, pp. 12–14]

### 1.3.3 Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού

Ο φυσικός φωτισμός αποτελεί ένα αναφαίρετο στοιχείο του σχεδιασμού, καθώς παρέχει οπτική άνεση στον χρήστη, ενώ αν αξιοποιηθεί σωστά, εξοικονομεί στον χρήστη ενέργεια από τις ανάγκες φωτισμού. Το φυσικό φως που διακρίνεται στο εσωτερικό των κτηρίων ρποέρχεται από τον ήλιο (άμεσο ηλιακό φως), τον ουρανό (διάχυτο φως) και με ανάκλαση από το έδαφος ή εξωτερικά εμπόδια (ανακλώμενο

φως). [35, p. 45] Η σωστή εφαρμογή των τεχνικών φυσικού φωτισμού βοηθά στην εξοικονόμηση ενέργειας και προσδίδει φως, θέα, δυνατότητα αερισμού και δυνατότητα καλύτερης αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας, ενώ αφήνει να εισχωρήσει επαρκής ποσότητα φωτός η οποία είναι ομαλώς κατανομημένη και αποτρέπει την θάμβωση.



Εικόνα 10: Διάγραμμα για τη σχέση αυτονομίας φωτισμού-λόγο ανοίγματος/δάπεδο. [35, p. 123]

Στο παραπάνω σχήμα, η αυτονομία φωτισμού αντιπροσωπεύει τον «κορεσμό» εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης του ηλεκτροφωτισμού. Η αύξηση του ανοίγματος είναι ανάλογη με την αύξηση της φωτεινής ροής, αλλά και των ηλιακών κερδών. Πρέπει λοιπόν να μελετηθούν οι ανάγκες φωτισμού ενός χώρου, σύμφωνα με τις τιμές που δίνονται στην [36, p. 35], διότι αν ένα άνοιγμα διανοιχθεί τόσο, ώστε να ξεπεράσει την προτεινόμενη τιμή, παύει να προσδίδει ενεργειακά οφέλη για λόγους ηλεκτροφωτισμού, ενώ αυξάνει τις ανάγκες ψύξης. Επιπλέον, με μονομερή φωτισμό από κάθετο άνοιγμα σε έναν χώρο δεν επιτυγχάνεται ομοιομορφία φωτισμού, επομένως πρέπει να μελετάται το ενδεχόμενο μείωσης του βάθους του χώρου, προσθήκης οριζόντιων ανοιγμάτων ή γειτονικού ανοίγματος, κλπ. [35, pp. 122–127]

Βασικά συστήματα τεχνικού φωτισμού είναι τα ανοίγματα στην τοιχοποιία και στην οροφή, τα αίθρια, οι φωταγωγοί, οι ειδικοί υαλοπίνακες, τα πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά, τα διαφανή μονωτικά υλικά, τα ράφια φωτισμού-ανακλαστήρες, οι περσίδες και τα σκίαστρα<sup>14</sup>. [37], [38, pp. 43–46]

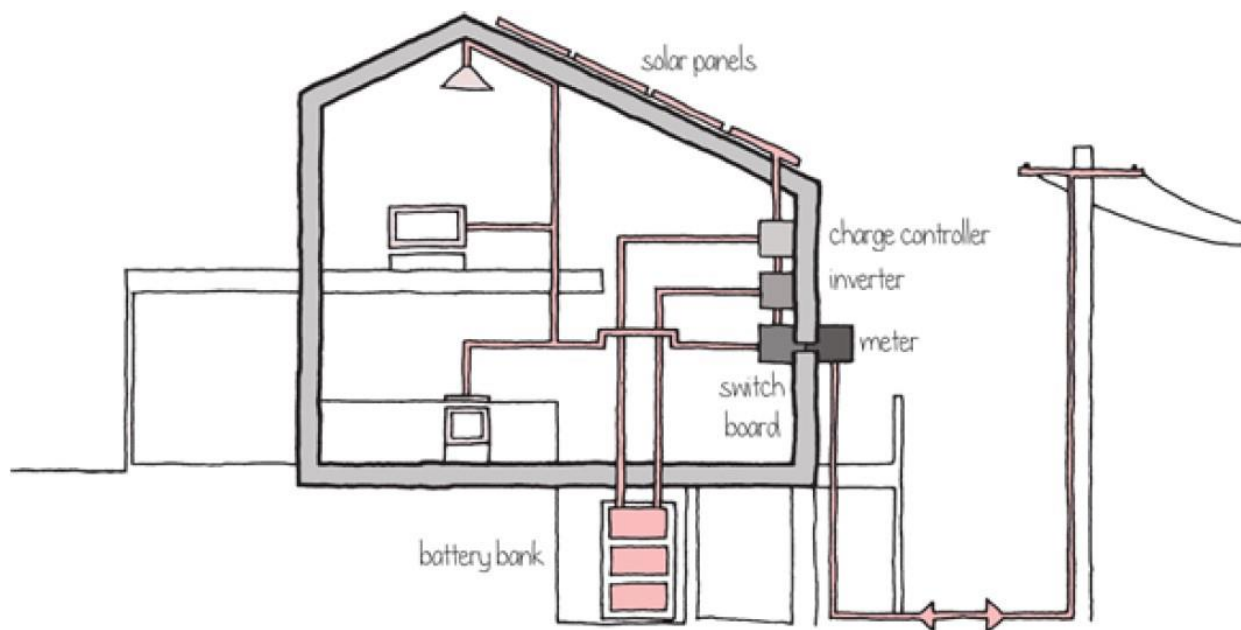
<sup>14</sup> [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/fysikos\\_fotismos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos.htm)



## 1.4 Ενεργητικά συστήματα

Ενεργητικά συστήματα θέρμανσης καλούνται εκείνα που χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα για την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας και τη μεταφορά της με τη μορφή θερμότητας. Ένα κλασικό ενεργητικό σύστημα είναι ο ηλιακός θερμοσίφοντας, ο οποίος συλλέγει την ηλιακή ενέργεια μέσω ηλιακών συλλεκτών και τη μεταφέρει στο κτήριο μας με τη μορφή θερμότητας μέσω κάποιου ρευστού.

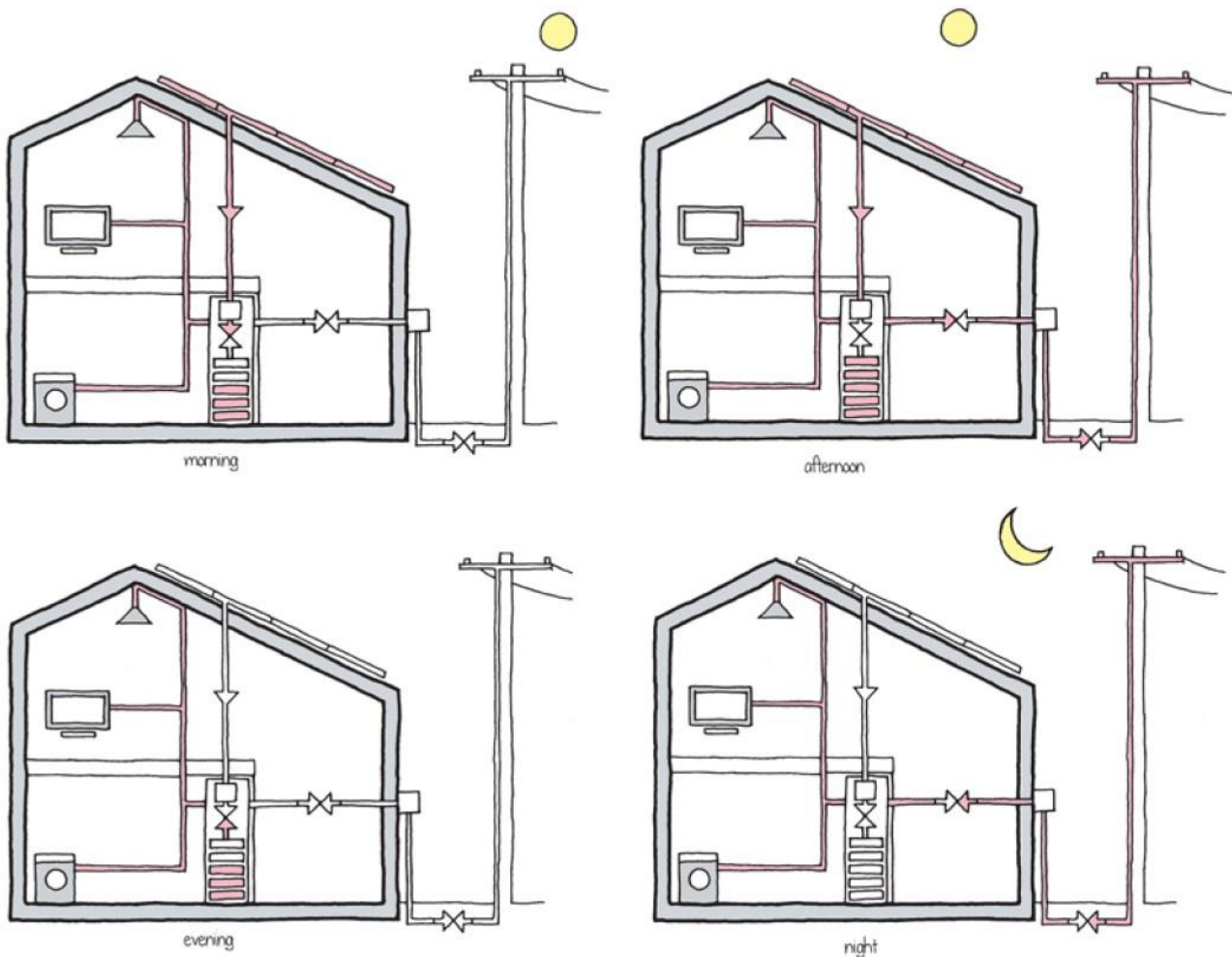
Άλλο ένα ενεργητικό σύστημα, όχι θέρμανσης, αλλά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι αυτό των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Πρόκειται για συσκευές οι οποίες που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια, ή πιο συγκεκριμένα σε συνεχές ρεύμα (Σ/Ρ), το οποίο με τη χρήση ενός εναλλάκτη συνήθως μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα (Ε/Ρ), καθώς αυτό αξιοποιείται από τις περισσότερες οικιακές ηλεκτρικές συσκευές. Κατατάσσονται σε αυτόνομα και διασυνδεδεμένα. Τα πρώτα αξιοποιούν την παραγόμενη ενέργεια εξ ολοκλήρου ή την αποθηκεύουν σε μπαταρίες για χρήση σε δεύτερο χρόνο, ενώ τα τελευταία διοχετεύουν την παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο ηλεκτρισμού για να μεταφερθεί και να καταναλωθεί αλλού. [8, pp. 18–19], [16, pp. 271–274], [39, pp. 55–57]



Εικόνα 11: Μέρη ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά [40, p. 248]

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, τα ηλιακά πάνελ συνδέονται με τη μονάδα ελέγχου φόρτισης, η οποία είναι συνδεδεμένη με την μπαταρία και τον εναλλάκτη. Ο εναλλάκτης με τη σειρά του συνδέεται με τον ηλεκτρικό πίνακα και τον μετρητή, και εν τέλει με το δημόσιο σύστημα ηλεκτροδότησης. Η μονάδα ελέγχου φόρτισης είναι μία συσκευή που ρυθμίζει την εισροή ενέργειας στην μπαταρία και

αποτρέπει την υπερφόρτιση αυτής. Ο εναλλάκτης μετατρέπει το Σ/Ρ σε Ε/Ρ. Η μπαταρία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική, αποθηκεύοντάς τη για ύστερη χρήση. [40, pp. 290–293]



Εικόνα 12: Οι λειτουργίες ενός υβριδικού εναλλάκτη κατά τη διάρκεια της ημέρας. [40, p. 270]

## 1.5 Γεωθερμία

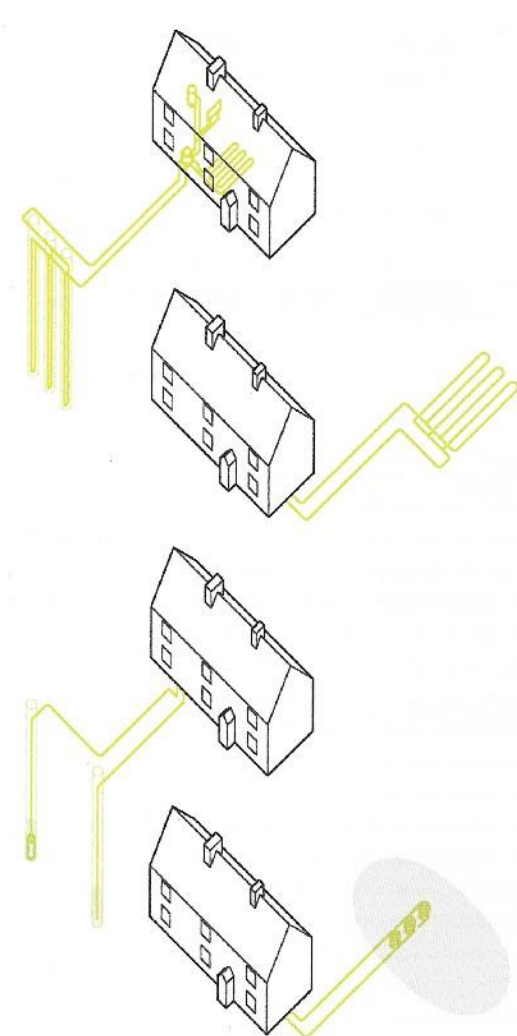
Η γεωθερμική ενέργεια είναι μία ήπια και ανανεώσιμη πηγή, η οποία σχετίζεται με τις γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες κάθε περιοχής. [41, p. 24]

Μπορούμε να αξιοποιήσουμε τη γεωθερμική ενέργεια με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης. Κατά βάση, τα γεωθερμικά συστήματα μεταφέρουν θερμότητα από το έδαφος στο κτήριο τον χειμώνα και από το κτήριο στο έδαφος το καλοκαίρι. Η θερμότητα που αντλούν οι αγωγοί της γεωθερμικής αντλίας προέρχεται από πετρώματα, λίμνες, ποτάμια ή τη θάλασσα, τα οποία θερμαίνονται από την ηλιακή ακτινοβολία και η σύνδεση με το έδαφος γίνεται είτε με κάθετο είτε με οριζόντιο εναλλάκτη. Ωστόσο, τα συστήματα αυτά, ακόμη και αν δεν υπάρχει αρκετά υψηλή ή χαμηλή (αναλόγως των αναγκών) θερμοκρασία στο υπέδαφος, βασίζονται στο γεγονός ότι δεν υπάρχουν σημαντικές θερμοκρασιακές

διακυμάνσεις σε αυτό. Τον χειμώνα η θερμοκρασία του υπεδάφους είναι πιο υψηλή από την εξωτερική, και το καλοκαίρι το αντίστροφο. Επομένως, καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια στην θέρμανση ή ψύξη του κτηρίου.

Ο κάθετος εναλλάκτης χρειάζεται μικρή επιφάνεια οικοπέδου, μικρή απαίτηση σωληνώσεων και κατανάλωσης ενέργειας, έχει υψηλή απόδοση και μικρή διακύμανση θερμοκρασίας. Είναι ωστόσο ακριβός, καθώς απαιτεί ειδικά μηχανήματα γεώτρησης μεγάλου βάθους και εξειδικευμένος τεχνικό προσωπικό για την εγκατάσταση.

Ο οριζόντιος εναλλάκτης έχει μειωμένο κόστος, αφού δεν απαιτεί γεώτρηση, αλλά εκσκαφή μικρού βάθους, όμως χρειάζεται μεγάλη επιφάνεια οικοπέδου, μεγάλο μήκος σωληνώσεων, έχει μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας ανάλογα την εποχή, βροχόπτωση, κ.α., και χαμηλότερη απόδοση.



Το ενεργειακό κόστος των γεωθερμικών συστημάτων ανά έτος λειτουργίας κυμαίνεται μεταξύ 30-35% ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης/ψύξης ενώ η απόδοσή τους είναι 3-5 φορές περισσότερη σε σχέση με την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν.

Με οριζόντιους εναλλάκτες υπάρχει η δυνατότητα να αξιοποιηθούν νερά που βρίσκονται πλησίον της κατασκευής, όπως λίμνες, ποτάμια ή θάλασσες. Είναι μάλιστα πολύ αποτελεσματικοί οι αγωγοί αυτού του τύπου, διότι το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας.

Επίσης, οι κάθετοι εναλλάκτες, αν φτάσουν σε υδροφόρο ορίζοντα μπορεί, αντίστοιχα με την παραπάνω περίπτωση, να αντληθεί νερό για τις ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης του κτηρίου.

[8, pp. 20–21], [16, pp. 427–439]

Εικόνα 13: Οι διάφοροι τύποι γεωθερμικών συστημάτων. Από πάνω προς τα κάτω παρουσιάζεται 1) το κάθετο κύκλωμα, 2) το οριζόντιο κύκλωμα, 3) το ανοιχτό κύκλωμα γεώτρησης, 4) αγωγοί συλλογής που τοποθετούνται σε λίμνες, ποτάμια ή θάλασσες [16, p. 428]

## 1.6 Μικροκλίμα

Ο όρος μικροκλίμα αναφέρεται σε τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, οι οποίες διαφέρουν σημαντικά σε σχέση με τις κλιματολογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής. Κύριο γνώρισμά του είναι ότι οφείλεται κυρίως στον ανθρώπινο παράγοντα είτε αυτό είναι με τρόπο που μειώνει τη θερμοκρασία (γεωργικές καλλιέργειες) ή με τρόπο που την αυξάνει (δομημένο περιβάλλον). [42, p. 1]

Το μικροκλίμα ασκεί μεγάλη επιρροή στην ενεργειακή απαίτηση ενός κτηρίου, καθώς εμπεριέχει παραμέτρους κρίσιμες για την ενεργειακή απόδοση. Οι τυπικές θερμοκρασίες ανά εποχή και ώρα ημέρας, η υγρασία, ο ηλιασμός, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, όπως και τα χαρακτηριστικά της περιοχής καθορισμένα από το τοπογραφικό της ανάγλυφο, την φυτοκάλυψη, τα δέντρα και την γειτνίαση με τρέχον ή στάσιμο νερό αποτελούν τους βασικούς παράγοντες καθορισμού του μικροκλίματος.

Από τα αρχαία χρόνια, οι άνθρωποι προσάρμοζαν τα κτήριά τους στο μικρόκλιμα της περιοχής. Περιοχές με ανέμους οδηγούν σε μονώροφα κτήρια ή με στέγη τραβηγμένη ως το έδαφος. Περιοχές με εξαιρετικό ψύχος συνεπάγονται με κτήρια μικρά σε μέγεθος και με ελαχιστοποιημένες τις επιφάνειες που ακτινοβολούν θερμότητα. Σε ήπια κλίματα τα κτήρια έχουν μεγάλα ανοίγματα με προσανατολισμό στον ήλιο ώστε να αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία βάσει του φαινομένου του θερμοκηπίου. [20, p. 13]

Οι βασικές παράμετροι του (μικρο)κλίματος είναι:

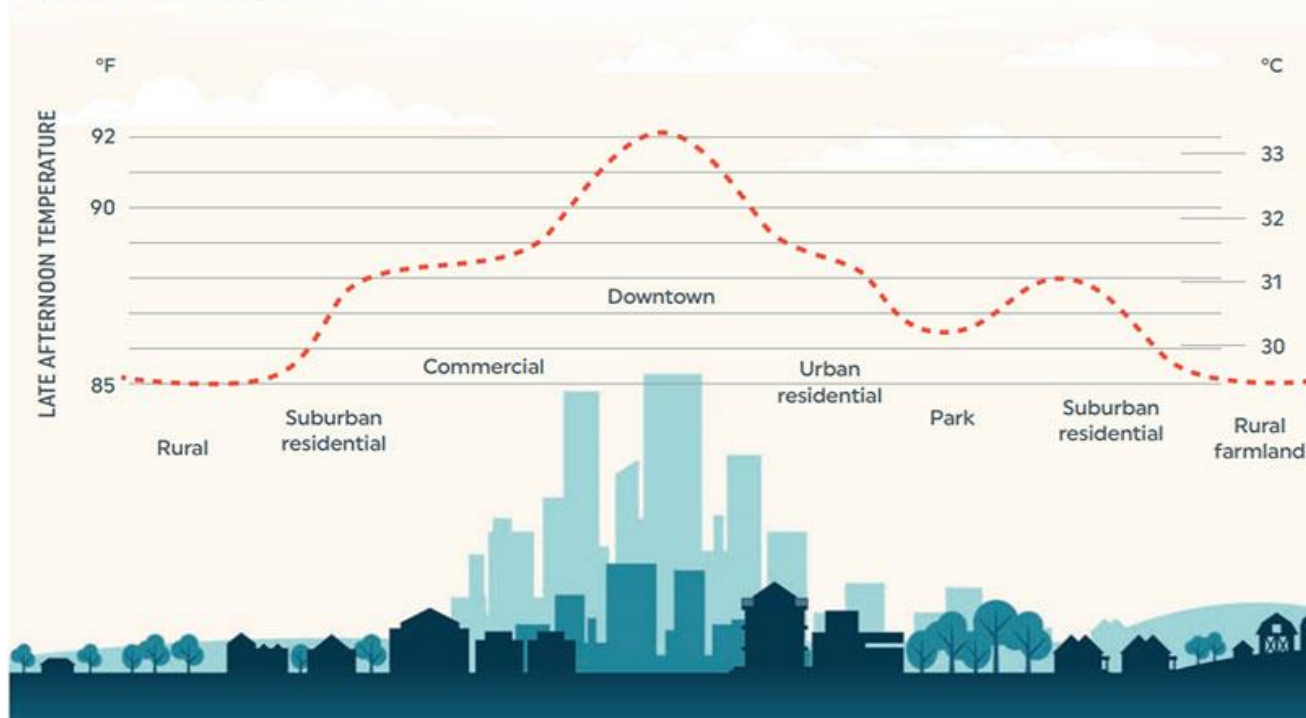
- 1) Η θερμοκρασία του αέρα και οι διακυμάνσεις της ανά το έτος.
- 2) Η ηλιακή ακτινοβολία, ηλιοφάνεια και ένταση σε μηνιαία βάση.
- 3) Η κατεύθυνση και η ένταση των ανέμων, καθώς και το είδος τους (ψυχροί, δροσεροί, κλπ)
- 4) Η σχετική υγρασία και οι διακυμάνσεις της ανά το έτος.

[13, p. 11]

Το μικροκλίμα μπορεί να μεταβληθεί εξαιτίας του ανθρώπινου παράγοντα. Ένα παράδειγμα της ανθρώπινης επέμβασης στο μικροκλίμα μιας περιοχής είναι η αστική θερμονησίδα (urban heat island).



## URBAN HEAT ISLAND PROFILE



Εικόνα 14: Απεικόνιση του φαινομένου της αστικής θερμνησίδας [43]

Πρόκειται για ένα φαινόμενο σύμφωνα με το οποίο οι αστικές περιοχές έχουν υψηλότερη θερμοκρασία από την αντίστοιχη θερμοκρασία των περιαστικών περιοχών. Έχει παρατηρηθεί ήδη από τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα και οι κύριοι παράγοντες που το προκαλούν είναι η γεωμετρία των κτηρίων και των αστικών δρόμων (η οποία μειώνει τη ροή του αέρα), οι επιλογές υλικών δόμησης με ακατάλληλες θερμικές και οπτικές ιδιότητες, η ανθρωπογενής θερμότητα (π.χ. καυσαέρια αυτοκινούμενων) και η μειωμένη εξατμισοδιαπνοή (εξαιτίας της έλλειψης πρασίνου και επιφανειών νερού). Τυπικά η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1-3°C, ωστόσο σε πόλεις με πληθυσμό 4-5 εκατομμύρια κατοίκους η αύξηση μπορεί να φτάσει και τους 8-10°C. [38, pp. 21-22], [44]

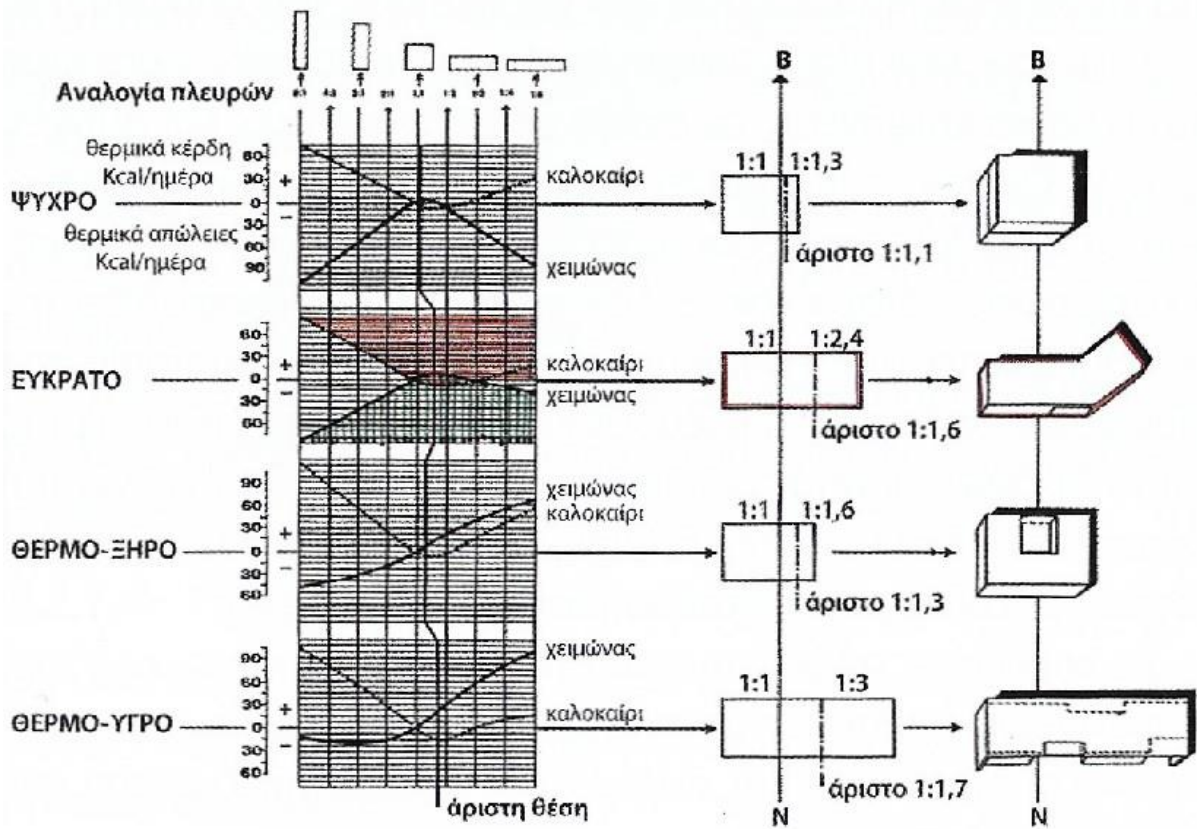
Η αξιοποίηση του μικροκλίματος κατά τη μελέτη ανέγερσης ενός κτηρίου μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα.

- 1) Το φαινόμενο της έντονης υγρασίας στην περιοχή, καταπολεμάται με τη μεγιστοποίηση της κίνησης του αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση του κτηρίου σε μέρος προσήνεμο.
- 2) Για τα ψυχρά ρεύματα, φυτεύεται βλάστηση για να χρησιμοποιηθεί ως ανεμοφράκτης.
- 3) Για τα θερμά ρεύματα, επιλέγεται μέρος υπήνεμο και τοποθετείται το κτήριο με τέτοιο προσανατολισμό, ώστε να ελαχιστοποιείται η επίδραση αυτών.

4) Σε ακραίες περιπτώσεις, όπου υδάτινες μάζες (λχ λίμνες) δημιουργούν περιόδους εξαιρετικής υγρασίας και ψύχους, μπορεί να εξεταστεί η αποστράγγιση αυτών των μαζών.

[45, pp. 10–11]

Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζεται από το κλίμα και το μικροκλίμα της περιοχής, είναι αυτός του σχήματος του κτηρίου. Είναι δυνατός ο προσδιορισμός του βέλτιστου σχήματος, εάν ληφθεί υπόψη ο τύπος κλίματος που επικρατεί. Έτσι, για ψυχρά κλίματα, το άριστο κέλυφος έχει σχεδόν τετραγωνική κάτοψη, και όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και η υγρασία, το σχήμα επιμηκύνεται, πάντα κατά μήκος του άξονα ανατολής-δύσης, και δημιουργούνται εσοχές και ανοίγματα για σκίαση και αερισμό.



Εικόνα 15: Προσδιορισμός βέλτιστου σχήματος κατά τον V. Olgyay. Η μελέτη έγινε στις ΗΠΑ σε κτήρια χωρίς θερμομόνωση και με 40% επιφάνεια υαλοστασίων σε κάθε πλευρά. [19, p. 65]

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι η εκτεταμένη βλάστηση μειώνει αισθητά τη θερμοκρασία, καθώς το έδαφος απορροφά αισθητά λιγότερη ακτινοβολία όταν είναι καλυμμένο από γρασίδι σε σχέση με την περίπτωση που είναι καλυμμένο από άσφαλτο.



Εικόνα 16 (δεξιά): Επιφανειακές θερμοκρασίες στο γρασίδι και στην άσφαλτο. [13, p. 82]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Βασικές αρχές εξοικονόμησης ενέργειας σε κτηριακά κελύφη

### 2.1 Μονώσεις

Η μόνωση είναι απαραίτητη σε ένα κτήριο, καθώς διασφαλίζει τη θερμική και ακουστική άνεση του χρήστη. Επίσης προστατεύει το ίδιο το κτήριο από κινδύνους όπως αυτός της πυρκαγιάς (πυρανοτοχή) και από την υγρασία (υγραμόνωση). Η μόνωση που αφορά την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών καλείται θερμομόνωση ενώ η βασικότερή της λειτουργία τον χειμώνα είναι η επιβράδυνση της διέλευσης της θερμότητας από το θερμό εσωτερικό του κτηρίου στο ψυχρό εξωτερικό περιβάλλον ή από ένα θερμομονωμένο δωμάτιο εντός του κτηρίου σε ένα αμόνωτο. Το καλοκαίρι ισχύει η αντίστροφη διαδικασία.

*«Στην έννοια θερμομόνωση περιλαμβάνονται όλα εκείνα τα κατασκευαστικά μέτρα που σκοπό έχουν -με αξιοποίηση των θερμομονωτικών υλικών- τη μείωση των θερμοαπωλειών και επομένως των δαπανών θέρμανσης όπως και την εξασφάλιση ενός άνετου εσωκλίματος στους χώρους διαμονής και εργασίας.» [46, p. 1]*

Με την κατάλληλη θερμομόνωση δύναται να αποταμιευθεί θερμότητα από τα υλικά για εκμετάλλευση σε δεύτερο χρόνο, να διατηρηθούν υψηλές εσωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες (αποτροπή εμφάνισης υγρασίας) και να προστατευθούν τα δομικά στοιχεία από έντονες θερμικές καταπονήσεις. [47, p. 27] Επομένως, η θετική επίδραση της θερμομόνωσης τόσο στο κτήριο και την οικονομική μας επένδυση σε αυτό, όσο και στο περιβάλλον και την αποτροπή της ρύπανσης είναι σαφής.

Προκειμένου να προκύψει το επιθυμητό αποτέλεσμα, μείζονος σημασίας θέμα αποτελούν τα υλικά που επιλέγονται για να μονωθεί θερμικά το κτήριο. Βασικό κριτήριο επιλογής είναι η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ). Η θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται εξ ολοκλήρου από τη φύση του υλικού, δηλαδή, από τον όγκο του αέρα που εσωκλείεται στους πόρους του υλικού, το μέγεθος και τη δομή των πόρων, την περιεκτικότητά του σε υγρασία και το πάχος του. [18, pp. 303–307] Η σημασία της θερμικής αγωγιμότητας διακρίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$R = \frac{d}{\lambda} \left[ m^2 * \frac{K}{W} \right]$$

*Εξίσωση από TOTEΕ 20701-2 [48, p. 14], όπου: R η αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας το συγκεκριμένο υλικό σε  $m^2 * K/W$ , d το πάχος του υλικού σε m και  $\lambda$  ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού σε  $W/(m * K)$ .*



Έτσι, διαπιστώνεται ότι όσο μικρότερη τιμή θερμικής αγωγιμότητας έχει ένα υλικό, τόσο μεγαλύτερη αντίσταση προβάλλει στη μετάδοση θερμότητας.

Για να επιτευχθεί θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτηρίου, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη μόνωση αποτελούνται συνήθως από προϊόντα ορυκτής ή οργανικής προέλευσης. Διαδεδομένα μονωτικά υλικά είναι ο υαλοβάμβακας (υαλόμαλλο), ο πετροβάμβακας, η ελαφρόπετρα (κίσηρη), ο φελλός, ο βερμικουλίτης, η διογκωμένη πολυστερίνη η αφρώδης και η εξηλασμένη πολυστερίνη, η πολυουρεθάνη, ο περλίτης, κα.



Εικόνα 17: Υλικά μόνωσης (από πάνω αριστερά προς κάτω δεξιά): Υαλοβάμβακας, Αφρός, Πετροβάμβακας, Μόνωση κυτταρίνης, Μόνωση φυσικών ινών, Φελλός [49]

Ανάλογα με την περίπτωση, το υλικό μόνωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί χύδην, ως αφρός, σε πίνακες, υφάσματα ή πλέγματα. [18, pp. 307–309], [50, p. 14] Ανάλογα με το αποτέλεσμα που επιθυμεί ο μηχανικός να επιφέρει στο κτήριο, μπορεί να

επιλέξει μονωτικά υλικά σύμφωνα με το βάρος τους (ελαφριά/βαριά), τις μηχανικές τους ιδιότητες (αντοχή σε θλιπτικά ή εφελκυστικά φορτία), την αντίσταση στη φωτιά (εύφλεκτα/άφλεκτα), την ηχομονωτική ικανότητα (περιορισμός αερόφερτων ή κτυπογενών ήχων), τη διάρκεια ζωής τους (μικρής/μεγάλης διάρκειας ζωής), και άλλα. [47, pp. 43–49]

Μερικά από τα πιο διαδεδομένα υλικά μόνωσης φαίνονται στην Εικόνα 17. Παρακάτω παρατίθενται μερικές γενικές πληροφορίες για το καθένα από αυτά:

Ο υαλοβάμβακας είναι από τα πιο διαδεδομένα μονωτικά υλικά και κατασκευάζεται από λεπτές ίνες γυαλιού, και διατίθεται σε ρολά (batts), σε σάκους για χαλαρή πλήρωση (loose-fill) ή σε σκληρές πλάκες (rigid boards). Οι περισσότεροι κατασκευαστές χρησιμοποιούν 40-60% ανακυκλωμένο γυαλί.

Ο αφρός συνήθως προκύπτει από πλαστικά όπως η πλουστερίνη, τα πολυισοκυανικά και η πολυουρεθάνη. Δύναται να παραχθεί σε σκληρές πλάκες, σε υλικό χαλαρής πλήρωσης και σε εκτοξευόμενο αφρό. Πιο συγκεκριμένα, η πλουστερίνη δύναται να βρεθεί ως διογκωμένη (EPS) ή ως εξηλασμένη (XPS). Το XPS έχει αρκετά μεγαλύτερη πυκνότητα από το EPS και έχει μεγαλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Η πολυουρεθάνη (PUR) και το πολυισοκυάνιο (PIR) είναι παρόμοια υλικά σε χημικό επίπεδο, εκ των οποίων το πολυισοκυάνιο αποτελεί μία βελτιωμένη εκδοχή της πολυουρεθάνης. Το PIR έχει μεγαλύτερη πυραντοχή, ενώ και τα δύο είναι οικονομικά, εύκολα στην εγκατάσταση και με ισχυρές μηχανικές ιδιότητες.

Η μόνωση κυτταρίνης προέρχεται κατά 85% από ανακυκλωμένο χαρτί, και συνήθως χρησιμοποιείται ως υλικό χαλαρής πλήρωσης σε κενά, με στόχο την αεροστεγανότητα. Οι κατασκευαστές του προσθέτουν βορικά άλατα και θειικό αμμώνιο για να δώσουν στο υλικό πυραντοχή και αντοχή έναντι εντόμων. Δεν χρειάζεται φραγμό έναντι υγρασίας και είναι κατάλληλο υλικό τόσο για ανακαινίσεις, όσο και για νέα κτήρια.

Ο πετροβάμβακας αναφέρεται σε μαλλί προερχόμενο από σκουριές υψικαμίνων ή πετρωμάτων. Δηλαδή προέρχεται είτε από παραπροϊόντα της παραγωγής μετάλλων, είτε από φυσικά πετρώματα όπως ο βασάλτης (basalt) και ο διαβάσης (diabase). Έχει εξαιρετική αντοχή έναντι στη φωτιά και παράγεται σε ρολά ή ως υλικό χαλαρής πλήρωσης.

Η μόνωση φυσικών ινών κατ'ουσίαν είναι ίνες βάμβακος, άχυρων, κάνναβης μαλλιού προβάτων, κα, οι οποίες ανακυκλώνονται και σχηματίζονται σε μορφή ρολών ή πλακών μόνωσης. Τα υλικά αυτά χρειάζονται χημική επεξεργασία προκειμένου να είναι ανθεκτικά στη φωτιά, στα έντομα και στην υγρασία.

[49]

Επίσης, πλέον υπάρχουν στην αγορά μονωτικά υλικά τα οποία ξεπερνούν κατά πολύ τις επιδόσεις των συνηθισμένων υλικών. Αρχικά, υπάρχουν τα λεγόμενα Silica Aerogels, τα οποία αρχικά χρησιμοποιούντο για τη μόνωση ψυγείων. Έχουν πορώδη δομή, χαμηλή πυκνότητα, μικρό βάρος και συντελεστή θερμοπερατότητας ( $\lambda$ ) που μπορεί να φτάσει έως και  $0.020 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ . Πωλούνται σε μορφή ρολού με πάχος 1-10mm και προκειμένου να διατηρήσουν τα χαρακτηριστικά τους πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι έχουν γίνει υδροφοβικά, διότι η επαφή τους με το νερό κατατρέφει τη δομή τους. [51]

Επιπλέον, ένα ακόμη κορυφαίο υπερ-μονωτικό υλικό (super insulating material) είναι το πάνελ κενού ή αλλιώς Vacuum Insulation Panel (VIP). Ομοίως με το Silica Aerogel, αρχικά χρησιμοποιήθηκε για τη μόνωση του κελύφους των ψυγείων, αλλά πλέον έχει μπει και στην αγορά του κτηριακού τομέα. Έχει θερμική αντίσταση 5 με 10 φορές καλύτερη από τα συνήθη μονωτικά υλικά ( $\lambda=0.004 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ), και έχει τη μορφή πάνελ, το οποίο στον πυρήνα του έχει συμπιεσμένες ίνες υάλου (fiber glass) το οποίο εξωτερικά σφραγίζεται με ένα φάκελο αλουμινίου, και αφαιρείται ο εσωτερικός αέρας. Το τελικό υλικό έχει συνήθως πάχος 15-40mm και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για εσωτερική και για εξωτερική θερμομόνωση. [52]

Παρακάτω, αναλύονται μερικοί από τους διαφορετικούς τύπους μόνωσης (βλ. Εικόνα18):

Μόνωση σε ρολά. Συνήθως διατίθεται με ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου ή φύλλο κραφτ, ως φραγμός έναντι της υγραπερατότητας και της αεροδιαπερατότητας, αλλά δεν είναι απαραίτητο. Τοποθετείται σε οροφές, σοφίτες, πατώματα, κα, ενώ διατίθεται σε συγκεκριμένα μεγέθη.

Μόνωση με σκληρές πλάκες. Είναι πιο ακριβές, αλλά έχουν εξαιρετικές μηχανικές αντοχές και διατίθενται σε μεγάλο εύρος μεγεθών και πάχους. Χρησιμοποιούνται για μόνωση τοίχων (εξωτερικά και εσωτερικά), ταρατσών, σοφιτών καθώς και για μόνωση θεμελίωσης. Είναι ανθεκτικές στο νερό, αλλά παράλληλα επιτρέπουν την εκτόνωση υδρατμών.

Ανακλαστική μόνωση. Αυτό το είδος μόνωσης αποτελείται από φύλλα αλουμινίου, τα οποία εσωκλείουν φούσκες πολυαιθυλενίου, χαρτόνι, χαρτί κραφτ ή φιλμ πλαστικού. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε θερμά κλίματα, καθώς η βασική λειτουργία της είναι η ανάκλαση της θερμότητας. Προτείνεται για σοφίτες, καθώς είναι εύκολη στην εγκατάσταση και διαθέτει φράγμα έναντι υγραπερατότητας, ενώ μειώνει το κόστος ψύξης έως και κατά 10%. Πρέπει να συνδυαστεί με μονωτικό αφρό, καθώς



δεν είναι κατάλληλη για τις ψυχρές περιόδους, ενώ χρειάζεται συχνό καθάρισμα, καθώς ακόμη και η συγκέντρωση σκόνης στην επιφάνειά της μειώνει την απόδοσή της.

Μόνωση χαλαρής πλήρωσης. Τοποθετείται με το χέρι ή εκτοξεύεται με ειδικό μηχάνημα ώστε να γεμίσει κενά σε τοιχοποιίες, πατώματα, σοφίτες, στέγες, κλπ. Είναι επίσης κατάλληλο για στενά σημεία όπως γύρω από σωλήνες ύδρευσης και αερισμού, ενώ είναι φιλικό προς το περιβάλλον και επαναχρησιμοποιείται εφόσον αυτό θεωρηθεί σκόπιμο.



Εικόνα 18: Είδη μονώσεων. Από πάνω αριστερά προς κάτω δεξιά: Ρολό μόνωσης, Σκληρή πλάκα (rigid board), ανακλαστική μόνωση (reflective insulation), μόνωση χαλαρής πλήρωσης (loose-fill/blow-in), εκτοξευόμενος αφρός (spray foam), δομικά μονωμένα πάνελ (Structural Insulated Panels (SIPs) [49]

Εκτοξευόμενος αφρός. Ο αφρός βρίσκεται αρχικά σε υγρή μορφή, και έπειτα εκτοξεύεται, χύνεται ή εκχύνεται. Έπειτα διογκώνεται και σκληραίνει, γεμίζοντας τον κενό χώρο. Είναι κατάλληλος για σημεία με δύσκολη πρόσβαση, και χρησιμοποιείται σε τοίχους, σοφίτες, πατώματα και στέγες. Μειώνει την αεροδιαπερατότητα, καθώς



καλύπτει ρωγμές και πιθανά κενά και είναι διπλά αποτελεσματικός σε σχέση με τη μόνωση σε ρολό, καθώς προσφέρει καλύτερη ηχομόνωση και δεν χρειάζεται φράγμα υγραυπερατότητας, αλλά είναι αρκετά ακριβότερος.

Δομικά μονωμένα πάνελ. Αποτελούνται από δύο πάνελ από άκαμπτο χαρτόνι (Oriented Strand Boards, OSB), μονωτικό αφρό στο εσωτερικό τους (EPS, XPS ή PUR), και συνήθως φύλλα αλουμινίου ως φράγμα υδατοπερατότητας. Κατασκευάζονται σε συνθήκες εργοστασίου και διατίθενται σε διάφορα μεγέθη. Μονώνουν τις ηχητικά υψηλές συχνότητες, αλλά όχι τις χαμηλές. Στήνονται γρήγορα, έχουν εξαιρετικές τιμές θερμικής αντίστασης και αεροδιαπερατότητας, αλλά δεν είναι ανθεκτικά έναντι σε έντομα και είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μονάδας αερισμού (λόγω της χαμηλής αεροδιαπερατότητας).

[49]



Εικόνα 19: Στρώσεις εξωτερικής θερμομόνωσης (μπογιά, σοβάς, τούβλο, συνθετικό κονίαμα, θερμομόνωση, συνθετικό κονίαμα, πλέγμα, σοβάς, μπογιά) [49]

Τέλος, σημαίνουσα είναι η πιστοποίηση των δομικών υλικών. Ήδη από την Οδηγία 89/106/ΕΟΚ σχετικά με τα δομικά προϊόντα, ορίζεται η ανάγκη για σχεδίαση και κατασκευή κτηρίων με τρόπο που να μη βλάπτει την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις κτηριακές κατασκευές πρέπει να αποδεικνύουν τις μηχανικές, αντιπυρικές, ηχομονωτικές και θερμομονωτικές ιδιότητες, ώστε να κρίνονται κατάλληλα προς χρήση των Ευρωπαϊκών αγοραστών. [38, pp. 177–178]

## 2.2 Αεροστεγανότητα

Ένα εξαιρετικά κρίσιμο σημείο στην κατασκευή ενός κτηρίου πλέον είναι η εξασφάλιση της αεροστεγανότητας. Αεροστεγανότητα είναι η αντίσταση διαφυγής αέρα από το εσωτερικό του κτηρίου ή διείσδυσης αέρα σε αυτό. Επί της ουσίας, πρέπει να αποτραπεί η ανεξέλεγκτη ροή αέρα, όπως και να καθοριστεί ο όγκος ψυχρού αέρα που επιθυμούμε να εισέρχεται στο κτήριο μας. Ο λόγος είναι το γεγονός ότι ο αέρας είναι ένας μηχανισμός μεταφοράς νερού, υδρατμών, θερμότητας και ρύπων.

Ίσως το πιο διαδεδομένο πρόβλημα στα κτήρια είναι η εμφάνιση υγρασίας. Το νερό μεταφέρεται είτε με την κίνηση του αέρα είτε με διάχυση. Η υγρασία εμφανίζεται όταν σχετικά θερμός και υγρός αέρας συναντά μία ψυχρή επιφάνεια, και πολύ συχνά δημιουργείται μούχλα, η οποία προκαλεί προβλήματα υγείας στον χρήστη.

Η αεροδιαπερατότητα στα κτήρια παρατηρείται αυξημένη όταν υπάρχει σημαντική διαφορά πίεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού του κτηρίου. Αυτό συμβαίνει συνήθως λόγω του φαινομένου της καμινάδας. Όταν δηλαδή στις ψυχρές περιόδους υπάρχει διαφορά της πυκνότητας του αέρα στο εσωτερικό και το εξωτερικό (ο θερμός εσωτερικός αέρας έχει μικρότερη πυκνότητα από τον εξωτερικό), οπότε στα ψηλά σημεία του κτηρίου υπάρχει θετική πίεση (που ωθεί τον ζεστό αέρα προς τα έξω) και στα χαμηλά σημεία αρνητική (που αντλεί τον κρύο αέρα μέσα).

Η αεροστεγανότητα επιτυγχάνεται εφόσον τοποθετηθούν σωστά τα δομικά στοιχεία (πόρτες, παράθυρα, πλίνθοι, σοβάδες, κλπ) και καλυφθούν τα κενά με τα κατάλληλα υλικά. Μερικά διαδεδομένα υλικά για την επίτευξη της αεροστεγανότητας είναι η μεμβράνη ή φύλλο πολυαιθυλενίου, η ταινία διόγκωσης, η σιλοκόνη και ο αφρός μερικής διόγκωσης. Δύναται να δημιουργήσουμε αεροστεγανούς χώρους είτε μονώνοντας το εσωτερικό, είτε το εξωτερικό των χώρων αυτών.

[53]

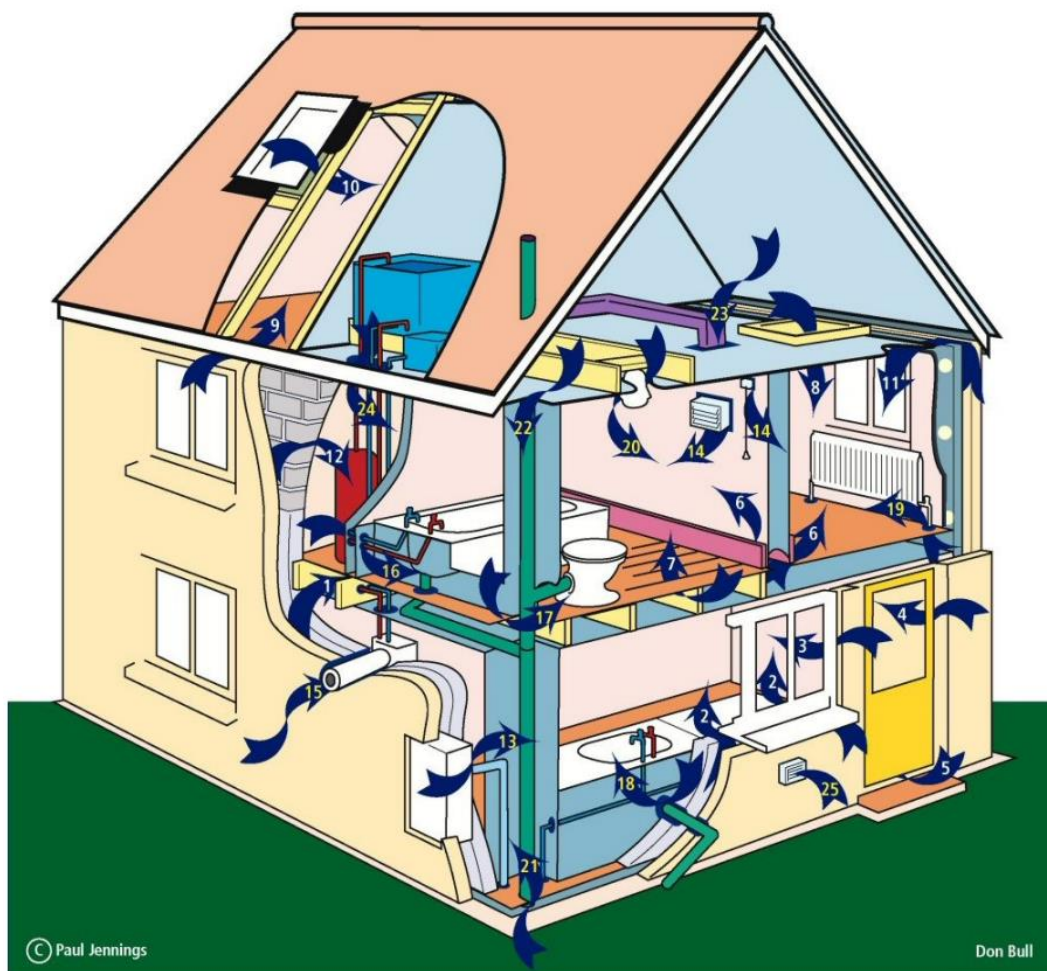
Αναφορικά με τον έλεγχο της αεροστεγανότητας ενός κτηρίου, διαμερίσματος, χώρου, κα, πραγματοποιείται το Blower Door Test. Πρόκειται για μία δοκιμή, κατά την οποία σφραγίζονται όλα τα ανοίγματα του υπό εξέταση χώρου και μένει ανοιχτή η κεντρική είσοδος. Εκεί, τοποθετείται ένα ανεμιστήρας και το υπόλοιπο άνοιγμα σφραγίζεται καλά. Ο ανεμιστήρας αποσυμπιέζει τον εσωτερικό αέρα του χώρου κατά 50 Pa σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον. Έτσι δημιουργούνται εντός του χώρου συνθήκες ανέμου της τάξης των 5 μποφόρ. Η αρνητική πίεση προκαλεί τον εξωτερικό αέρα να εισβάλει από τις χαραμάδες και έτσι με αυτή τη δοκιμή προσδιορίζεται η συνολική επιφάνεια των απωλειών, αλλά και ο βαθμός αεροστεγανότητας (δείκτης n50), ο οποίος φανερώνει πόσες ανανεώσεις αέρα ανά ώρα έχουμε σε σχέση με το

εξωτερικό περιβάλλον. Σε ένα παθητικό κτήριο ο δείκτης αυτός πρέπει να είναι μικρότερος των 0,6 ανανεώσεων ανά ώρα. [54], [55]

Μερικά συνήθη σημεία διαρροής αέρα στις κατοικίες είναι τα κάτωθι:

1. Γύρω από τις δοκούς δαπέδων και παταριών
2. Γύρω από τα πλαίσια παραθύρων
3. Μέσα από παράθυρα ή κοίλα πλαίσια παραθύρων
4. Γύρω και μέσα από πόρτες
5. Κάτω από πόρτες, γύρω από κάσες πόρτας
6. Άνω και κάτω γωνιών σοβατεπί
7. Ανάμεσα και γύρω από αναρτημένα δάπεδα
8. Γύρω από καταπακτές σοφίτας
9. Μέσα από μαρκίζες
10. Γύρω από φώτα οροφής
11. Μέσα από κενά σε γυψοσανίδες/τοίχους με επένδυση γυψοσανίδας/σανίδες με ενδιάμεσο κενό αέρα
12. Ρωγμές ή οπές σε εσωτερικό φύλλο τοιχοποιίας
13. Γύρω από πίνακες εξωτερικών μετρητών
14. Γύρω από επιτοίχιους ανεμιστήρες ή θερμάστρες, γύρω και μέσα από διακόπτες
15. Γύρω από τις σωληνώσεις των μπόιλερ
16. Γύρω από αγωγούς ύδρευσης και θέρμανσης που διατρέχουν δάπεδα και διαχωριστικούς τοίχους
17. Γύρω από σωλήνες αποχέτευσης που διατρέχουν δάπεδα ή συνδέονται με κεντρικό αγωγό αποχέτευσης
18. Γύρω από σωλήνες αποχέτευσης που περνούν μέσα από τοίχους
19. Κενά γύρω από αγωγούς θέρμανσης
20. Γύρω και μέσα από εντοιχισμένα σποτάκια οροφής
21. Γύρω από σωλήνες αποχέτευσης, αερίου και νερού, και από ηλεκτρικά ή άλλα καλώδια
22. Οπές γύρω από το άνοιγμα κεντρικού αγωγού αποχέτευσης
23. Μέσα από συστήματα μηχανικού αερισμού, γύρω από τερματικά
24. Κενά γύρω από σωλήνες που συνδέονται με δεξαμενές κρύου νερού ή δεξαμενές τροφοδότησης θερμότητας
25. Γύρω και πάνω από εντοιχισμένους αεραγωγούς, αεραγωγούς απορροφητήρων κουζίνας, αεραγωγούς στεγνωτηρίων

[16, pp. 121–123]



Εικόνα 20: Συνήθη σημεία διείσδυσης του αέρα [16, p. 122]

## 2.3 Υαλοστάσια

Τα υαλοστάσια αποτελούν ένα αναφαίρετο κομμάτι του κτηριακού κελύφους, καθώς χάρη σε αυτά υπάρχει αφενός φυσικός φωτισμός, και αφετέρου ηλιακή ακτινοβολία, η οποία μερικώς αποθηκεύεται εντός των αντικειμένων με μεγάλη θερμική μάζα και θερμαίνει τον χώρο.

Οι συνηθέστεροι τύποι κουφωμάτων υαλοπινάκων, αλλά και εξωτερικών θυρών, είναι κατασκευασμένοι από ξύλο, αλουμίνιο ή πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC). Τα ξύλινα κουφώματα είναι κακοί αγωγοί θερμότητας και έχουν καλές μηχανικές αντοχές, συνεπώς έχουν συμπαγείς διατομές και δεν χρειάζονται θερμοδιακοπή ούτε σκελετό στήριξης. Τα κουφώματα αλουμινίου είναι καλοί αγωγοί θερμότητας, αλλά έχουν καλές μηχανικές αντοχές, επομένως οι διατομές τους είναι μεν αυτοφέρουσες, αλλά χρειάζονται θαλάμους σφράγισης και κομμάτια από πολυαμίδιο, ώστε να επιτευχθεί η διακοπή της μεταφοράς θερμότητας. Τέλος, τα κουφώματα από PVC έχουν μεγάλη θερμική αντίσταση, αλλά μικρές μηχανικές αντοχές, οπότε οι διατομές τους περιέχουν



θαλάμους σφράγισης χωρίς θερμοδιακοπή και έναν μεταλλικό σκελετό στήριξης. [53],[54],[55]

Όσον αφορά τους υαλοπίνακες, οι τέσσερις πιο διαδεδομένοι τύποι είναι οι εξής:

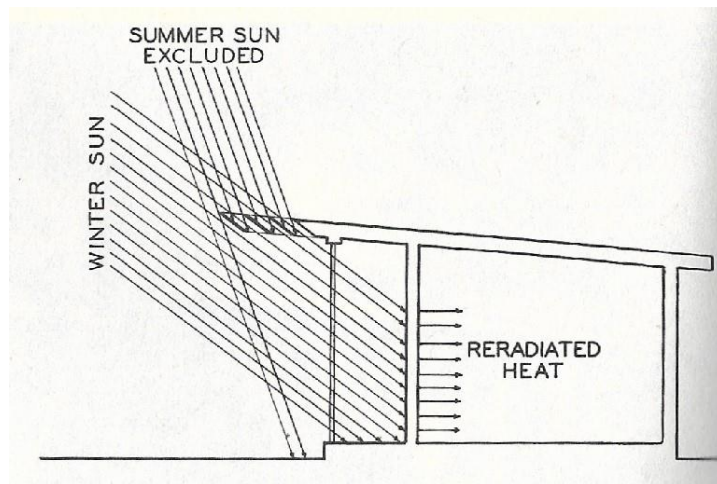
- 1) Ο μονός υαλοπίνακας. Ένας ύαλος, συνήθως με πάχος 3-12mm. Χρησιμοποιείται σε μη θερμαινόμενους χώρους (γκαράζ, αποθήκες) ή σε βοηθητικά κτήρια.
- 2) Ο διπλός υαλοπίνακας. Δύο ύαλοι, ενωμένοι με έναν αποστάτη αλουμινίου ή πολυαμιδίου και σφραγισμένοι περιμετρικά με θερμόκόλλα. Ο αποστάτης έχει τετραγωνική διατομή και γεμίζει με πυριτικά άλατα για την απορρόφηση της υγρασίας.
- 3) Ο διπλός ενεργειακός υαλοπίνακας. Ομοίος με τον προαναφερθέντα, αλλά στον ένα από τους δύο υάλους έχει εφαρμοστεί μία επίστρωση χαμηλής εκπομπής (Low-e), η οποία αυξάνει την ανακλαστικότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας του ηλίου. Επίσης, στο διάκενο μεταξύ των δύο υάλων άλλοτε αφαιρείται ο αέρας ώστε να υπάρξει κενό και άλλοτε συμπληρώνεται με άζωτο ή ευγενή αέρια όπως το αργό, τα οποία αυξάνουν τις θερμομονωτικές ιδιότητες του κουφώματος.
- 4) Ο τριπλός υαλοπίνακας. Με τρεις υάλους, δύο εκ των οποίων έχουν επίστρωση χαμηλής εκπομπής.

[38, pp. 56–57], [56], [59], [60]

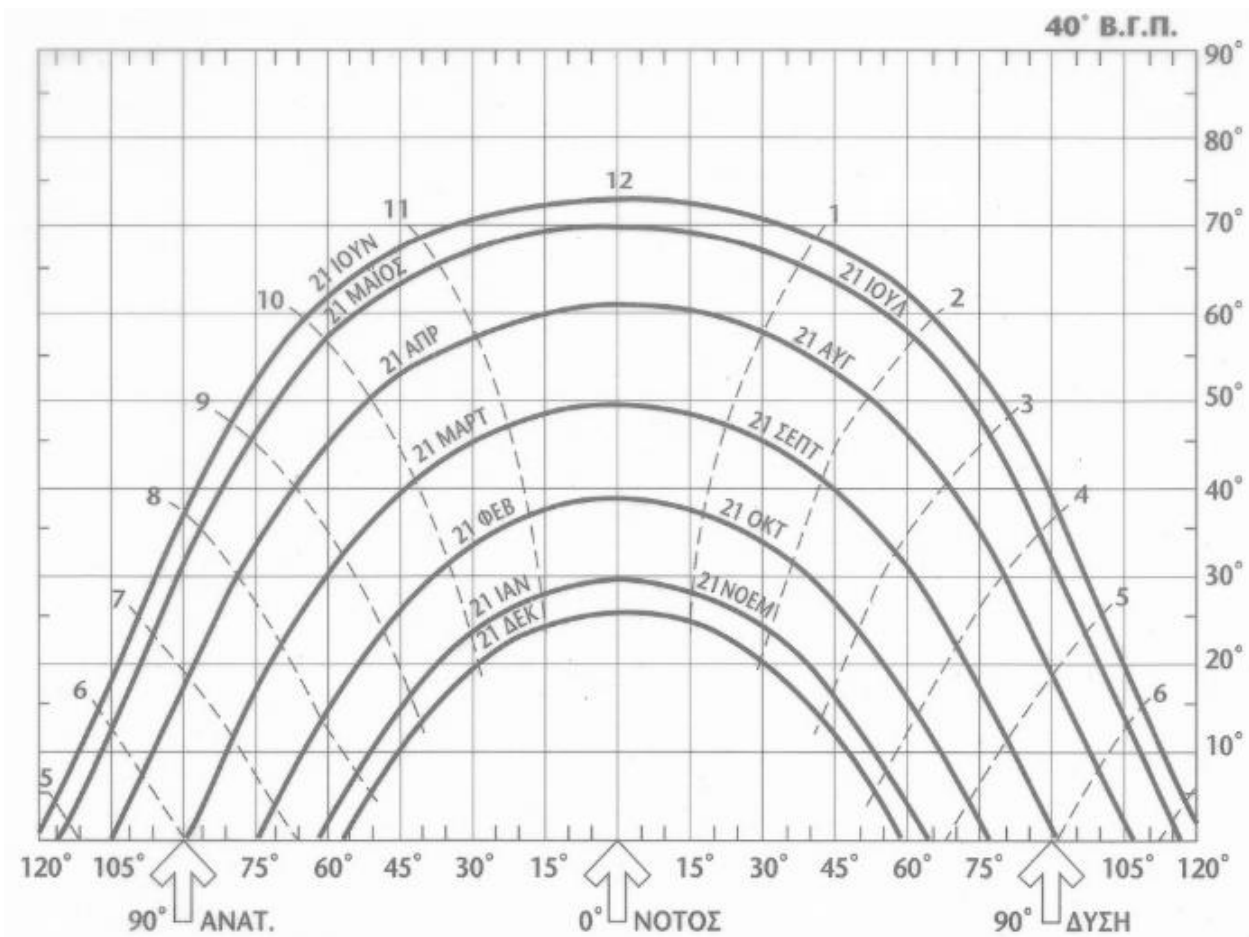
## 2.4 Σκίαστρα

Ένας βασικός παράγοντας για τη μείωση της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο μας τη θερινή περίοδο είναι τα σκίαστρα. Με αυτά επιτυγχάνεται ηλιοπροστασία, η οποία αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Ειδικά σε περιοχές με πολλή ηλιοφάνεια είναι απαραίτητη, καθώς προστατεύει το κτήριο από την υπερβολική έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και επομένως εμποδίζει την υπερθέρμανση του εσωτερικού, καθώς και τον υπερβολικό φωτισμό ή τη θάμβωση από την αντανάκλαση. [18, p. 317]

Η τοποθέτηση των σκίαστρων είναι κρίσιμης σημασίας για το κτήριο, καθώς ένας εσφαλμένος σχεδιασμός μπορεί να κοστίσει στο κτήριο αφενός την επάρκειά του σε φυσικό φωτισμό, άρα να δημιουργηθούν ανάγκες για ηλεκτροφωτισμό και αφετέρου επάρκεια ή ανεπάρκειά του σε ηλιακά κέρδη, άρα να δημιουργηθούν ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης.



Εικόνα 21: Ο τρόπος με τον οποίο αποκλείεται η θερινή και επιτρέπεται η χειμερινή ηλιακή ακτινοβολία εντός του κτηρίου [61, p. 276]

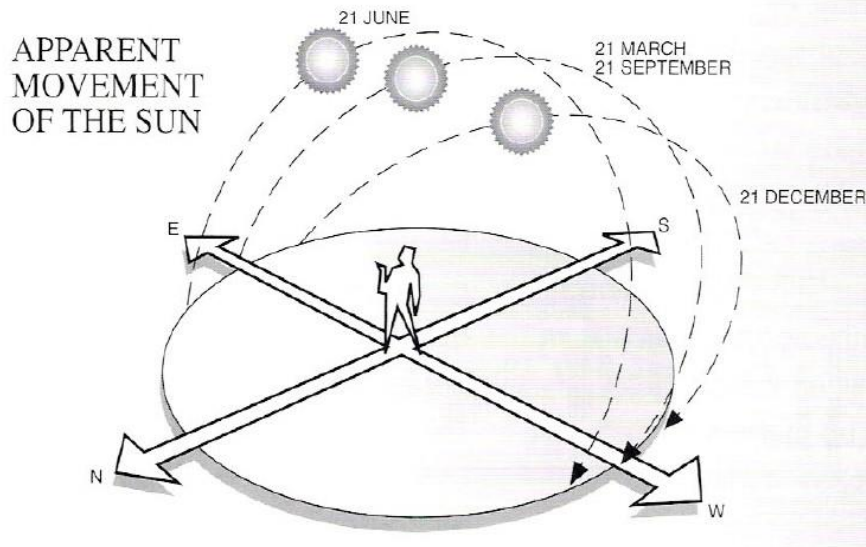


Εικόνα 22: Ηλιακό διάγραμμα για το 40ο γεωγραφικό πλάτος [19]

Τα σκίαστρα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει στα υαλοστάσια τους χειμερινούς μήνες, αλλά όχι τους θερινούς, ενώ παράλληλα πρέπει να περιορίζεται αποδεκτά ο φυσικός φωτισμός. Ως ένας αρχικός τρόπος υπολογισμού της προσπίπτουσας σε ένα κτήριο ηλιακής ακτινοβολίας, χρησιμοποιούνται τα ηλιακά διαγράμματα (ηλιακοί χάρτες). Μέσω αυτών, και για

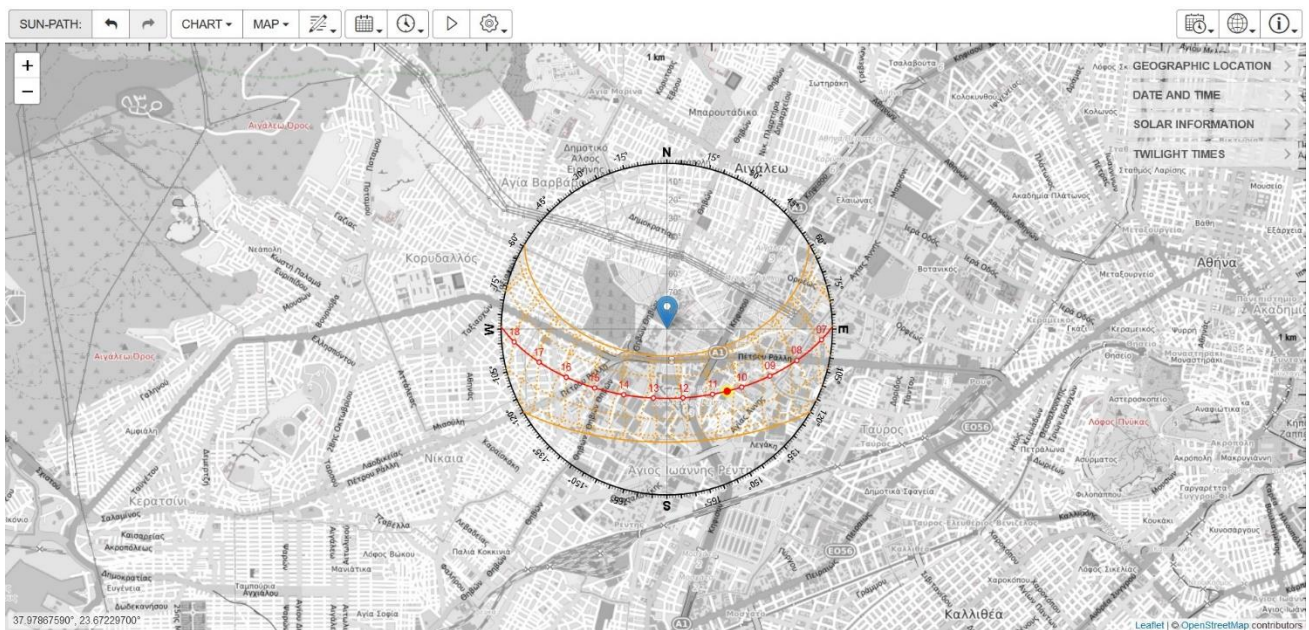


συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος, εξάγονται οι απαραίτητες πληροφορίες για τη διαδρομή που χαράσσει ο ήλιος ανά το έτος. Συγκεκριμένα, από τους ηλιακούς χάρτες εξάγεται το αζιμούθιο και η γωνία ύψους του ηλίου για την 21<sup>η</sup> ημέρα κάθε μήνα του έτους.



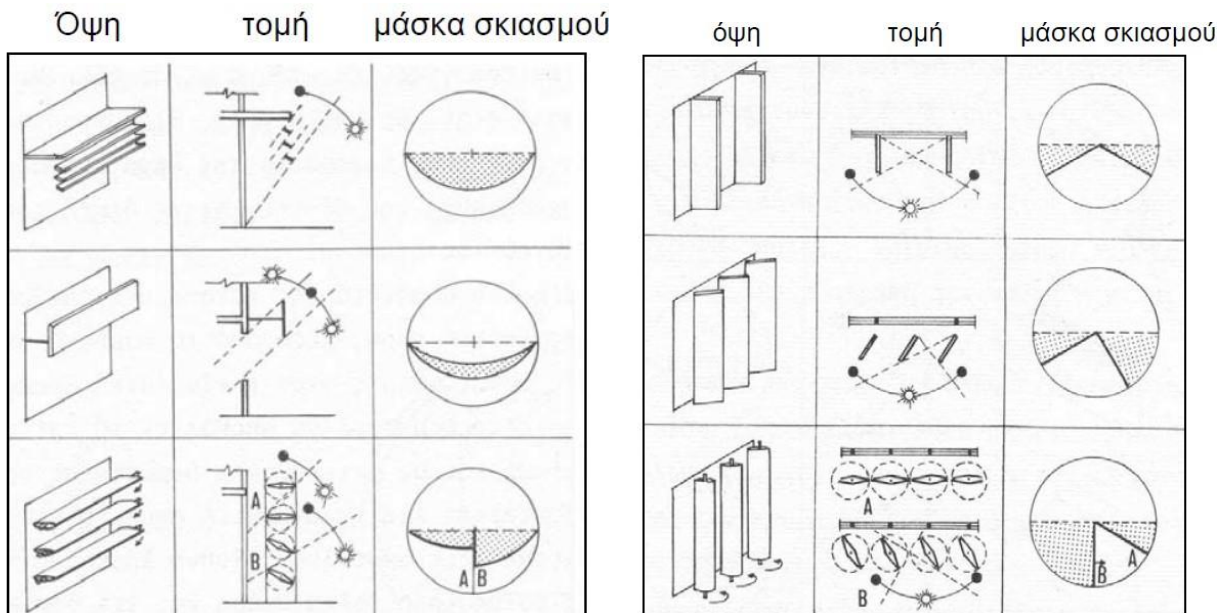
Εικόνα 23: Ο τρόπος με τον οποίο προκύπτουν τα ηλιακά διαγράμματα [31, p. 42]

Επιπλέον, με τη βοήθεια online εργαλείων, δύναται η αυτόματη και άμεση λήψη πληροφοριών της διαδρομής του ηλίου για οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη. Επί παραδείγματι, κάτωθι παρατίθεται ένα στιγμιότυπο οθόνης από τον ηλιακό χάρτη του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, όπως αυτός υπολογίστηκε από την ιστοσελίδα [drajmarsh.bitbucket.io/sunpath-on-map.html](http://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath-on-map.html) [62].



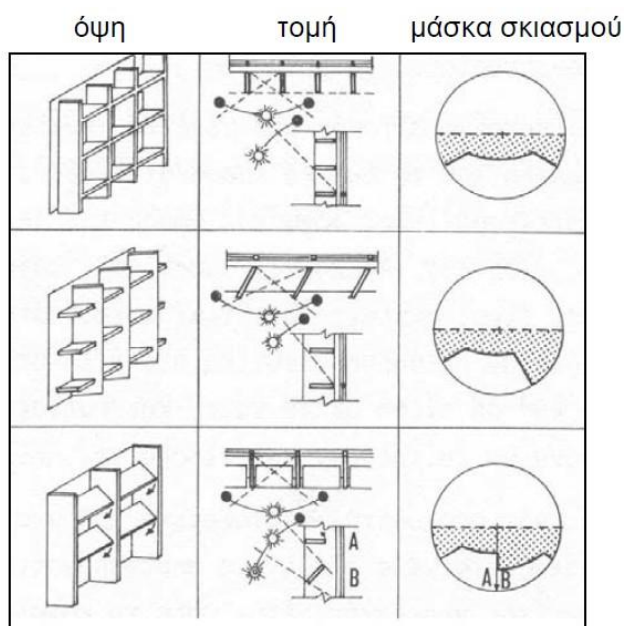
Εικόνα 24: Στιγμιότυπο οθόνης με τον ηλιακό χάρτη του ΠΑΔΑ [62]

Ανάλογα με τον προσανατολισμό του κτηρίου, επιλέγονται τα ιδανικά σκίαστρα. Για νότιο προσανατολισμό, καταλληλότερα είναι τα οριζόντια σκίαστρα, σταθερά ή κινητά, για ανατολικό ή δυτικό προσανατολισμό επιλέγονται κατακόρυφες κινούμενες περσίδες και για νοτιοανατολικό ή νοτιοδυτικό προσανατολισμό επιλέγεται ένας συνδυασμός οριζόντιων και κατακόρυφων περσίδων, υπό μορφής εσχάρας. [19, pp. 55–57, 62–63, 81–84]



Εικόνα 25 (πάνω αριστερά): Τυπική σκίαση για Νότιο προσανατολισμό. [13, p. 51]

Εικόνα 26 (πάνω δεξιά): Τυπική σκίαση για Ανατολικό ή Δυτικό προσανατολισμό. [13, p. 51]



Εικόνα 27: Τυπική σκίαση για Νοτιοανατολικό ή Νοτιοδυτικό προσανατολισμό. [13, p. 52]

## 2.5 Επιστρώσεις

*«Επίχρισμα καλείται το μίγμα ενός ή περισσότερων ανόργανων συνδετικών υλικών, αδρανών, νερού και μερικές φορές ειδικών προσμίκτων ή/και προσθέτων, που εφαρμόζεται σε τοίχους και οροφές σε μια ή περισσότερες στρώσεις.» [63]*

Τα επιχρίσματα στα κελύφη των κτηρίων είναι ένα θεμελιώδες στοιχείο προστασίας των εξωτερικών επιφανειών από τα καιρικά φαινόμενα. Το νερό φθείνει τα πορώδη υλικά και προκαλεί διαφόρων ειδών ανωμαλίες, τόσο σε φυσικό επίπεδο (ασυνέχειες υλικών, συμπύκνωση στο εσωτερικό του κτηρίου, μείωση θερμικής αγωγιμότητας, σχηματισμός αλατιού, αποχρωματισμός, υγραθερμική γήρανση, κα), όσο και σε αισθητικό επίπεδο (σημάδια, σχηματισμός βιομεμβρανών, κα). [64, p. 25]

Επιπλέον, στην εξωτερική επιφάνεια του κελύφους, επιρρεάζεται άρδην το ενεργειακό ισοζύγιο από την επιλογή του χρώματος. Σε θερμά κλίματα με μεγάλη ηλιοφάνεια επιλέγονται ανοιχτά χρώματα και υλικά με χαμηλό συντελεστή απορροφητικότητας θερμότητας και με μεγάλη ανακλαστικότητα, ώστε να μην υπερθερμαίνεται το κτήριο. Αντίθετα, σε ψυχρά κλίματα επιλέγονται σκούρα χρώματα και υλικά με υψηλό συντελεστή απορροφητικότητας θερμότητας, ώστε να μεγιστοποιείται η απορρόφιση θερμότητας. [38, p. 71]

Υπάρχουν επίσης υλικά που είναι ιδανικά για τις οροφές και τις όψεις των κτηρίων σε θερμά κλίματα, καθώς έχουν εξαιρετικά αυξημένη ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία. Ονομάζονται ψυχρά υλικά και παρουσιάζονται υπό μορφής χρωμάτων, επικαλύψεων, μεμβρανών οροφής ή πλακών και κεραμεικών. Περιέχουν διαπερατά πολυμερή υλικά και ένα λευκαντικό συστατικό, και η ανακλαστικότητά τους μπορεί να φτάσει και το 88% της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι μεμβράνες οροφής περιέχουν ύφασμα fiberglass ή πολυεστερικό υλικό, που συνδυάζεται με ένα πολυμερές υλικό και ένα συνθετικό μονομερές υλικό (EPDM). [25], [38, pp. 28–29]

Τα επιχρίσματα αποκτούν τα τελικά χαρακτηριστικά τους αφού εφαρμοστούν στην επιθυμητή επιφάνεια και ολοκληρωθεί η σκλήρυνση αυτών. Για την επιλογή του κατάλληλου επιχρίσματος είναι αναγκαία η γνώση του υποστρώματος πάνω στο οποίο θα εφαρμοστεί το επίχρισμα, καθώς και το περιβάλλον στο οποίο θα βρίσκεται. Πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη τυχόν επιπλέον απαιτήσεις, όπως η επιθυμητή τελική εμφάνιση του επιχρίσματος. [63]

Πέραν των επιχρισμάτων, για να αυξηθεί η ανακλαστικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κέλυφος ενός κτηρίου, αλλά και για να μεγαλώσει ο κύκλος ζωής του, είναι δυνατή η επίστρωση ανακλαστικών στρώσεων μπογιάς. Οι ανακλαστικές μπογιές αναπτύσσουν χαμηλότερες θερμοκρασίες και περιορίζουν την

θερμική επέκταση, ενώ είναι πιο ανθεκτικές από τις συμβατικές μπογιές. Μάλιστα, οι ενεργειακές απαιτήσεις για την ψύξη του κτηρίου μειώνονται κατά μεγαλύτερο ποσοστό, όσο κοντύτερα στον ισημερινό βρίσκεται το κτήριο ενδιαφέροντος, ενώ έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις, όπου η απόδοση των ανακλαστικών μπογιών αρχίζουν να φθίνουν μετά το πέρας 25 χρόνων από την εφαρμογή τους στο κτήριο. [65, pp. 35–36]

## 2.6 Θερμογέφυρες

*«Θερμογέφυρες ονομάζονται οι θέσεις στο κέλυφος ενός κτηρίου, στις οποίες εμφανίζεται σε σχέση με τις γειτονικές τους διαφοροποίηση στη θερμική αντίσταση των δομικών στοιχείων είτε λόγω ασυνέχειας της στρώσης είτε λόγω διαφοροποίησης του υλικού κατά μήκος του δομικού στοιχείου είτε λόγω αλλαγής της γεωμετρίας της διατομής. Σ' αυτές τις θέσεις παρατηρείται μεταβολή στη ροή θερμότητας και στην εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία σε σχέση με τις γειτονικές τους.»* [48, p. 38]

Επί της ουσίας, στα σημεία που δημιουργείται θερμογέφυρα, η ροή θερμότητας είναι αυξημένη, άρα η εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία των δομικών στοιχείων τείνει να φτάσει την εξωτερική θερμοκρασία. Αυτό συνεπάγεται πιθανή επιφανειακή συμπύκνωση υδρατμών, φθορές στα δομικά στοιχεία (στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητές τους), αλλά και πιθανή δημιουργία μούχλας, η οποία αποτελεί μία σοβαρή απειλή για την υγεία του ανθρώπου. [47, p. 28], [48, p. 38]

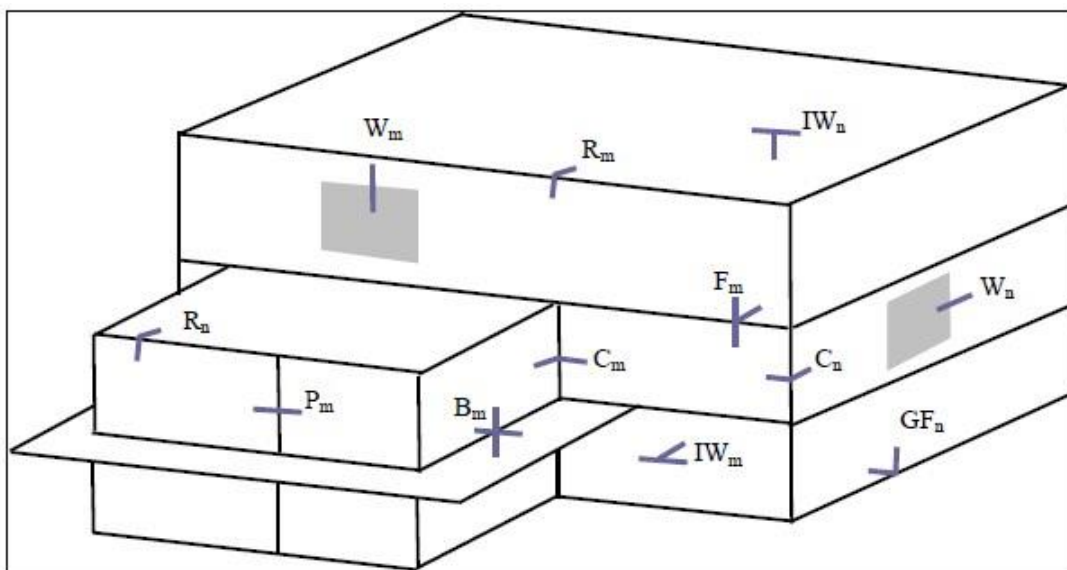
Η σωστή αντιμετώπιση των θερμογεφυρών είναι εξαιρετικής σημασίας, τόσο για τους παραπάνω λόγους, όσο και για την ενεργειακή κατανάλωση. Μελέτες έχουν δείξει ότι η πραγματική ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου σε σύγκριση με τη θεωρητικά υπολογιζόμενη προσαυξάνεται από 5% έως 30%. [47, p. 28], [48, p. 38]

Οι θερμογέφυρες διακρίνονται σε σημειακές και γραμμικές. Η ροή θερμότητας στις πρώτες θεωρείται αμελητέα, οπότε δεν υπολογίζονται. Οι δεύτερες έχουν ομοιόμορφη διατομή κατά μία διάσταση. Οι γραμμικές θερμογέφυρες διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την αιτία δημιουργίας των: γεωμετρικές, κατασκευαστικές και σε συνδυασμό των δύο προηγούμενων κατηγοριών. Γεωμετρικές είναι οι θερμογέφυρες που δημιουργούνται σε θέσεις όπου η βασική γεωμετρία του δομικού στοιχείου παύει να είναι γραμμική (π.χ. σε μία γωνία). Η συνολική εσωτερική επιφάνεια του στοιχείου διαφέρει από τη συνολική εξωτερική, οπότε αναπτύσσεται το φαινόμενο της δισδιάστατης ροής θερμότητας. Κατασκευαστικές θερμογέφυρες προκύπτουν σε θέσεις ασυνέχειας του θερμομονωτικού υλικού (π.χ. σημείο ένωσης δοκού με εξωτερική θερμομόνωση και τοιχοποιίας με θερμομόνωση στον πυρήνα). Ο



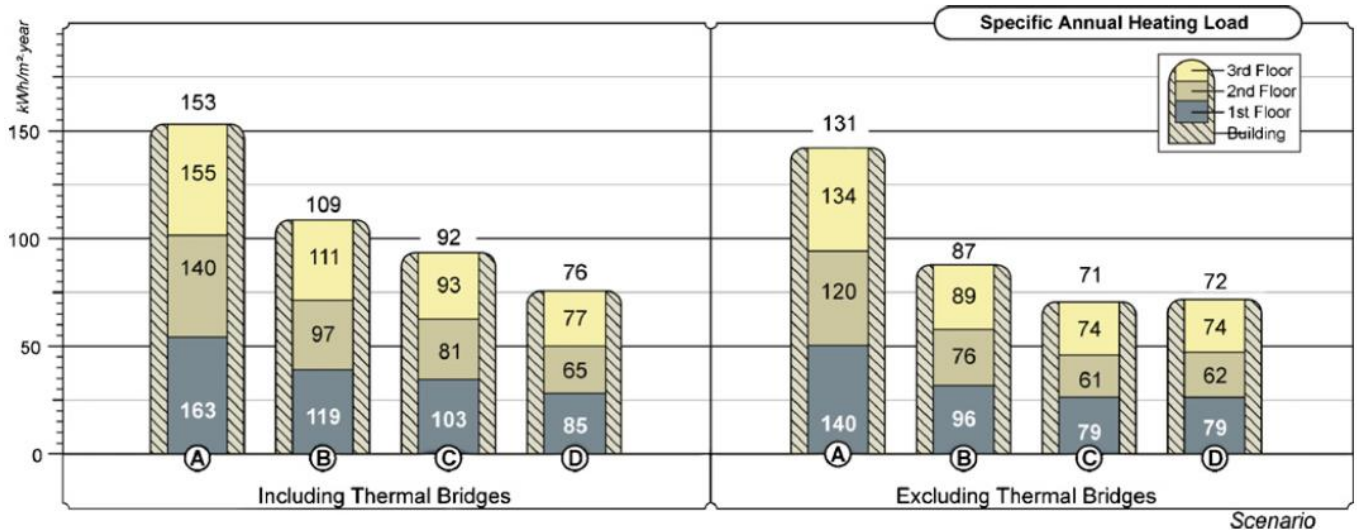
συνδυασμός αυτών συμβαίνει σε θέσεις όπως ένα θερμαινόμενο εξωτερικά γωνιακό υποστύλωμα, στο οποίο εφάπτονται δύο κάθετες μεταξύ τους τοιχοποιίες με θερμομόνωση στον πυρήνα. [48, pp. 38–39]

Συνήθως, οι θερμογέφυρες οφείλονται σε μεταβολή του πάχους των υλικών, σε αλλαγή σύνθεσης των υλικών, σε συνάντηση δύο κάθετων μεταξύ τους δομικών στοιχείων, των οποίων η πλήρης θερμομονωτική προστασία είναι πρακτικά αδύνατη, σε κατασκευαστικές αδυναμίες, κακοτεχνίες, παρόδου του χρόνου. [47, p. 29], [66, pp. 2–3]

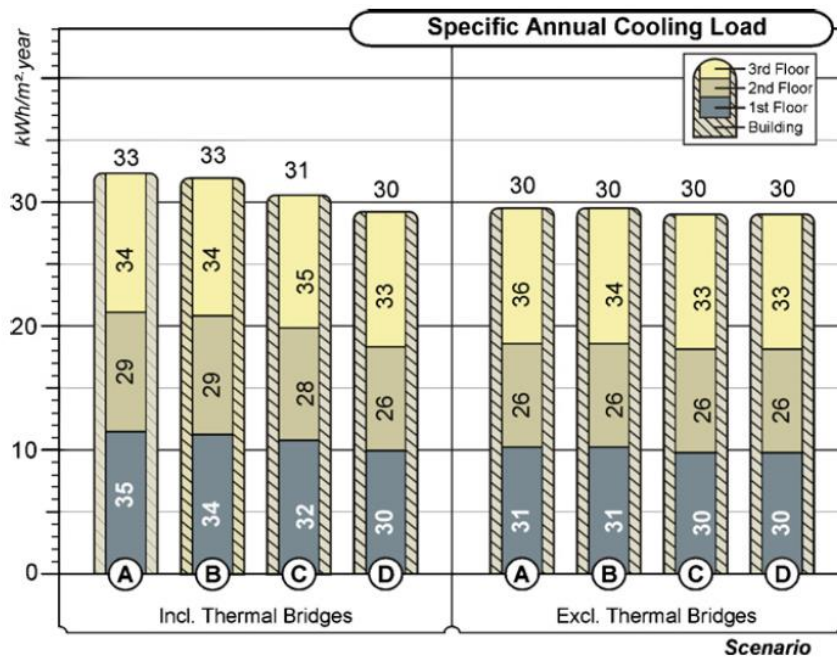


Εικόνα 28: Τύποι πλέον κοινών γραμμικών θερμογεφυρών που απαντώνται στο κτηριακό κέλυφος [36, p. 69]

Η σημασία του συνυπολογισμού των απωλειών ενέργειας εξαιτίας των θερμογεφυρών στον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης ενός κτηρίου φαίνεται καθαρά στην παρακάτω περίπτωση. Πρόκειται για μία δημοσίευση η οποία αφορά ένα τριώροφο κτήριο διαμερισμάτων που διαθέτει τοιχοποιία με διάκενο· μια μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον, τόσο στην Ελληνική, όσο και στη γενικότερη Μεσογειακή αρχιτεκτονική. Στη μελέτη αυτή, ελέγχθηκαν τέσσερα διαφορετικά σενάρια τοιχοποιίας (τρία με διάκενο και ένα με εξωτερική θερμομόνωση), αρχικά συνυπολογίζοντας τις απώλειες λόγω των θερμογεφυρών στην ενεργειακή κατανάλωση σε kWh/m<sup>2</sup>/year και έπειτα χωρίς αυτές. [67]



Εικόνα 29: Η σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση, συνυπολογίζοντας (αριστερά) και αποκλείοντας (δεξιά) τις θερμογέφυρες στον σχεδιασμό του κτηρίου [67]



Εικόνα 30: Η σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη, συνυπολογίζοντας και αποκλείοντας τις θερμογέφυρες στον σχεδιασμό του κτηρίου [67]

Στις παραπάνω εικόνες διακρίνεται ότι ενώ για την ψύξη οι διαφορές στην κατανάλωση είναι σχετικά αμελητέες, οι τιμές της θέρμανσης διαφέρουν από 5,5% έως και 31%.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τύποι κτηρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας και νομοθεσία

### 3.1 Nearly Zero-Energy Buildings

«Κτήριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας ορίζεται το κτήριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση[...]. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου, πρέπει να καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου ή πλησίον του κτηρίου.» [68, p. 1], [69, p. 18]

Όπως είναι λογικό, δε μπορεί να υπάρξει ένας καθολικά ακριβής ορισμός του Κτηρίου Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (γνωστό ως nZEB) στην Ευρώπη, ούτε και ένας και μοναδικός τρόπος υπολογισμού του ενεργειακού ισοζυγίου. Αυτό διότι πρέπει το εκάστοτε κράτος-μέλος της ΕΕ να ορίσει το κτήριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης σύμφωνα με τις εθνικές, περιφερειακές και τοπικές συνθήκες που επικρατούν εντός αυτού. [70, p. 5], [71, p. 9]

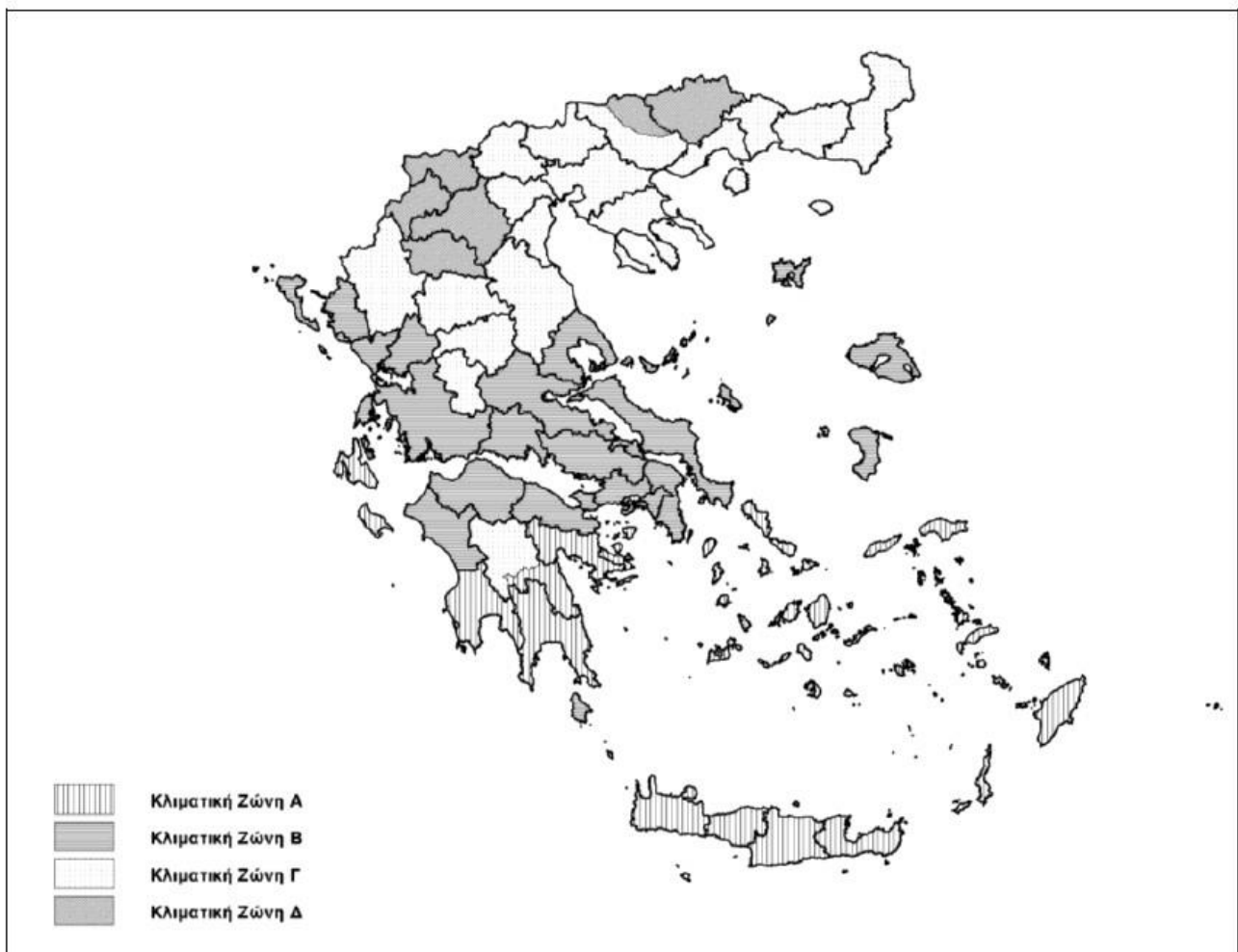
Στη χώρα μας, με το άρθρο 70 του ΦΕΚ 45/Α/9-3-2019, ορίζεται ότι από 1/1/2021 όλα τα νέα κτήρια πρέπει να είναι Κτήρια Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (εφεξής ΚΣΜΚΕ), ενώ βάσει της / 85251/242 [72] ως ΚΣΜΚΕ ορίζονται τα κτήρια τα οποία ανήκουν τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία Α. Η συγκεκριμένη Υπουργική Απόφαση, στον Πίνακα 3 ταξινομεί τις ενεργειακές κατηγορίες από Β μέχρι και Α+, βάσει των καταναλώσεων πρωτογενούς ενέργειας. Παρατίθεται αυτούσιος κάτωθι:

Ενεργειακή κατηγορία	Ενεργειακές καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας κτιρίων κατοικίας ανά Κλιματική Ζώνη (kWh/m <sup>2</sup> a)			
	Α	Β	Γ	Δ
A+	11 - 25	14 - 35	10 - 44	17 - 36
A	18 - 56	21 - 55	26 - 74	54 - 88
B+	32 - 81	31 - 99	45 - 125	37 - 128
B	45 - 112	56 - 126	72 - 172	63 - 184
Ενεργειακή κατηγορία	Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίων τριτογενούς τομέα ανά Κλιματική Ζώνη (kWh/m <sup>2</sup> a)			
	Α	Β	Γ	Δ
A+	12 - 77	14 - 91	52 - 69	30
A	65 - 185	41 - 114	68 - 119	82
B+	98 - 218	60 - 196	99 - 218	105 - 156
B	133 - 266	115 - 245	120 - 280	149 - 218

Εικόνα 31: Πίνακας 3 της [72]

Προκειμένου να σχεδιαστεί ένα ΚΣΜΚΕ, πρέπει αρχικά να οριστούν οι παράμετροι σχεδιασμού του. Όμοια με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό, εξάγονται οι απαραίτητες οι πληροφορίες τοποθεσίας (κλίμα, προσανατολισμός οικοπέδου, σκίαση από περιβάλλοντες όγκους, κλπ), ορίζεται η χρήση του κτηρίου, τα ανοίγματα και οι τεχνικές φυσικού δροσισμού και παθητικής θέρμανσης.

Παράλληλα, ανάλογα με την Κλιματική Ζώνη στην οποία βρίσκεται το οικόπεδο ενδιαφέροντος, προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά του κελύφους (τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας U για κάθε οριζόντιο ή κάθετο, αδιαφανές ή διαφανές δομικό στοιχείο). Τέλος, ορίζονται οι μηχανικές παράμετροι (για ζεστό νερό χρήσης, μηχανικό αερισμό, θέρμανση και ψύξη) και οι ιδιότητες των συστημάτων παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας (εφόσον επιλεχθεί να εγκατασταθούν).



Εικόνα 32: Οι κλιματικές ζώνες στον Ελλαδικό χώρο. [7]

Οι Κλιματικές Ζώνες στην ελληνική επικράτεια είναι τέσσερις και έχουν ορισθεί βάσει των βαθμομερών θέρμανσης. [73, ρ. 6] Οι βαθμομέρες θέρμανσης είναι μία μέθοδος υπολογισμού των απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης ενός κτηρίου. Για τον

υπολογισμό τους, λαμβάνεται μία θερμοκρασία αναφοράς, στην οποία ο χρήστης νιώθει θερμική άνεση (συνήθως 18 ή 18,3 °C). Έπειτα εφαρμόζεται η παρακάτω εξίσωση:

$$HDD = \sum [N_{mo} * (T_{av} - T_{\alpha})^+]$$

Όπου  $N_{mo}$  ο αριθμός ημερών κάθε μήνα,  $T_{av}$  η θερμοκρασία αναφοράς (°C) και  $T_{\alpha}$  η μηνιαία θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος (°C). Το σύμβολο “+” δηλώνει ότι λαμβάνουμε υπόψη μόνο τις περιπτώσεις στις οποίες το προϊόν της αφαίρεσης είναι θετικό.

Αντιστοίχως με τις βαθμομέρες θέρμανσης, υπολογίζονται και οι βαθμώρες ψύξης, οι οποίες υποδηλώνουν το απαιτούμενο φορτίο ψύξης ενός κτηρίου. Για τη χώρα μας, η θερμοκρασία αναφοράς συνήθως λαμβάνεται ίση με 26 °C και η εξίσωση υπολογισμού τους είναι:

$$CDH = \sum [N_{mo} * \sum_i (T_{ai} - T_{av})^+]$$

Όπου  $N_{mo}$  ο αριθμός ημερών του εκάστοτε μήνα,  $T_{ai}$  η μέση ωριαία θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος κάθε μήνα (°C) και  $T_{av}$  η θερμοκρασία αναφοράς (°C). Το σύμβολο “+” δηλώνει ότι λαμβάνουμε υπόψη μόνο τις περιπτώσεις στις οποίες το προϊόν της αφαίρεσης είναι θετικό. [73, pp. 16–17]

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για θερμοκρασία αναφοράς τους 18 °C, η Αθήνα, στην περιοχή του Ελληνικού, έχει 947 βαθμομέρες θέρμανσης, ενώ η Θεσσαλονίκη έχει 1677. Αντιστοίχως, για θερμοκρασία αναφοράς τους 26 °C, η Αθήνα, στην περιοχή του Ελληνικού, έχει 4840 βαθμώρες ψύξης, ενώ η Θεσσαλονίκη έχει 2795. [73, pp. 31–33]

Στη συνέχεια, προκειμένου να σχεδιαστεί ένα ΚΣΜΚΕ, πρέπει να μελετηθούν οι στρατηγικές παθητικού και ενεργητικού σχεδιασμού του. Το ιταλικό ινστιτούτο πιστοποίησης ΚΣΜΚΕ ονόματι Casaclima, αναφέρει ότι καθοριστικοί παράγοντες για να επιτευχθούν οι στόχοι ενός ΚΣΜΚΕ είναι η έλλειψη θερμογεφυρών, η μείωση των απωλειών μέσω μηχανημάτων αερισμού, η αεροστεγανότητα και η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας παθητικά, με τη χρήση και βελτιστοποίηση των διαφανών επιφανειών. Εν τέλει, η συνολική απόδοση του κτηρίου εκφράζεται σε σχέση με την ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας και τις ισοδύναμες εκπομπές CO<sub>2</sub>. [74, p. 185]

Όσον αφορά την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, μελετώντας τα ηλιακά διαγράμματα για το Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος (ΒΓΠ) στο οποίο βρίσκεται το οικόπεδο

μελέτης, δύναται ο ορισμός παραμέτρων όπως η σκίαση, η αναλογία επιφάνειας τοίχου-ανοιγμάτων, η επιλογή κατάλληλων επιστρώσεων στο κέλυφος, κ.α.

Κατ' αντιστοιχία, οι Γερμανικές προδιαγραφές, από το ινστιτούτο Passivhaus, ορίζουν ως βασικές αρχές σχεδιασμού την συνέχεια της μόνωσης, την ελαχιστοποίηση των θερμογεφυρών και τη διατήρηση της αεροστεγανότητας. Οι προδιαγραφές αυτές αναφέρουν ότι για να επιτευχθεί αεροστεγανότητα είναι απαραίτητη η συνέχεια στο υλικό αεροστεγάνωσης, και ότι το ίδιο το υλικό πρέπει να είναι σχεδιασμένο να διατηρήσει τις ιδιότητές του για όλη τη διάρκεια ζωής του κτηρίου. Αυτό όχι μόνο μειώνει την συμπύκνωση υδρατμών και την ενεργειακή κατανάλωση (αφού ελαχιστοποιεί την απώλεια θερμότητας), αλλά προστατεύει και τα ίδια τα δομικά στοιχεία του κτηρίου από τον εσωτερικό θερμό και υγρό αέρα, ο οποίος θα μπορούσε να συμπυκνωθεί στο εσωτερικό τους. [75, p. 13]

Ένα ακόμη σημαντικό σημείο στα ΚΣΜΚΕ είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U). Η τιμή του συντελεστή U ενός δομικού στοιχείου προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση, η οποία αναφέρεται στην ΤΟΤΕΕ 20701-2 [48, p. 15]:

$$U = \frac{1}{R_{ολ}} \left[ \frac{W}{m^2} * K \right]$$

Όπου το  $R_{ολ}$  προκύπτει από το άθροισμα των  $R_i$  του δομικού στοιχείου, όπως αυτά υπολογίζονται με τη χρήση της εξίσωσης της σελίδας 32 της παρούσας διπλωματικής. Έτσι παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη θερμική αντίσταση, R, έχει ένα δομικό στοιχείο, τόσο μικρότερο συντελεστή θερμοπερατότητας, U, θα έχει. Ο ΚΕΝΑΚ, αναλόγως με την κλιματική ζώνη στην οποία θα κατασκευαστεί ένα κτήριο, δίνει τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές θερμοπερατότητας για τα επιμέρους δομικά στοιχεία του κτηρίου αυτού (οροφή, τοίχος, δάπεδο, κούφωμα, κλπ), αλλά και τον μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή του συνόλου του κτηρίου. [7, pp. 23910–23912] Αυτές οι τιμές αφορούν όλα τα νέα κτήρια ή τα υφιστάμενα στα οποία πραγματοποιείται ριζική ανακαίνιση, αλλά δεν χαρακτηρίζουν την θερμοπερατότητα των ΚΣΜΚΕ εν Ελλάδι. Προς το παρόν ο ΚΕΝΑΚ δεν έχει προτεινόμενες τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας για ΚΣΜΚΕ.

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται ενδεικτικά οι διαφορετικές προτεινόμενες τιμές του προτεινόμενου συντελεστή U για διάφορα δομικά στοιχεία ενός ΚΣΜΚΕ. Οι τιμές που δίνονται αφορούν νέα κτήρια τα οποία σχεδιάζονται για το κλίμα της Αθήνας. Από τον ΚΕΝΑΚ επιλέχθηκαν οι τιμές για την κλιματική ζώνη Β, και οι τιμές είναι οι μέγιστες επιτρεπόμενες (όχι οι προτεινόμενες). Οι υπόλοιπες πηγές δηλώνουν τις προτεινόμενες τιμές που ταίριαζαν στις βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης της Αθήνας, όπως αυτές αναγράφηκαν παραπάνω.

Πηγή	U τοίχου [W/m <sup>2</sup> K]	U οροφής [W/m <sup>2</sup> K]	U παραθύρου [W/m <sup>2</sup> K]
KENAK	0,45	0,40	2,60
PassivHaus [75, pp. 14, 40] <sup>15</sup>	0,15	-	0,80
[71, pp. 23–25]	0,17	0,24	1,16 (τριπλής υάλωσης)
[76, p. 9] <sup>16</sup>	11-13 εκ.	11-13 εκ.	-
[77, p. 7] <sup>17</sup>	15 εκ.	15 εκ.	1,20
[78, p. 6] <sup>18</sup>	25 εκ.	25 εκ.	-
[79, p. 11] <sup>19</sup>	0,32	0,23	-
[80, p. 14] <sup>20</sup>	0,325	0,214	1,824

Πίνακας 3.1.1 Μέγιστη τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας κατά KENAK και προτεινόμενες τιμές για ΚΣΜΚΕ από διάφορες πηγές.

<sup>15</sup> Αναφέρεται ότι το συνολικό U του κτηρίου έχει τιμή μεταξύ 0,08-0,15 W/m<sup>2</sup>K και ένα ενδεικτικό πάχος θερμομόνωσης είναι τα 20-30 εκατοστά. (σελ. 40).

<sup>16</sup> Η τιμή χαρακτηρίζει το βέλτιστο πάχος έπειτα από υπολογισμούς μακροοικονομικής πλευράς. Η έρευνα έδειξε επίσης ότι όσο αυξάνεται το πάχος, μειώνεται η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (Διάγραμμα 2, σελ. 6).

<sup>17</sup> Οι τιμές αφορούν πόλεις σε θερμά κλίματα και ως παράδειγμα στη συγκεκριμένη μπροσούρα φέρεται η πόλη της Σεβίλλης.

<sup>18</sup> Υπολογισμένο σύμφωνα με τον νέο KENAK. Μόνωση με FIBRANxps ή FIBRANgeo.

<sup>19</sup> Οι τιμές αυτές προορίζονται για κτήρια στην Αθήνα. Αναφέρεται και η τιμή U δαπέδου σε επαφή με το έδαφος ίση με 1,43 W/m<sup>2</sup>K. Η αντίστοιχη τιμή που αναγράφεται στον KENAK είναι 0,8 W/m<sup>2</sup>K

<sup>20</sup> Έρευνα για πραγματικές περιπτώσεις ΚΣΜΚΕ σε θερμά και υγρά κλίματα. Για θερμοκρασία βάσης τους 18,3°C, οι βαθμομέρες ψύξης κυμαίνονταν από 2551 έως 6350 και βαθμομέρες θέρμανσης από 0 έως 1846 (δηλαδή οι βαθμομέρες ψύξης ήταν πολύ μεγαλύτερες από τα επίπεδα της Αθήνας)



Πρέπει να σημειωθεί ότι το ινστιτούτο PassivHaus αναφέρει ότι η τιμή αυτή είναι ιδανική για κτήρια τα οποία βρίσκονται στην Κεντρική Ευρώπη, όπου και το πρότυπο αυτό δημιουργήθηκε. Αλλά αναφέρει χαρακτηριστικά ότι «η εμπειρία έχει δείξει ότι το Πρότυπο Passive House δουλεύει καλά σε μία πληθώρα κλιμάτων, ζεστών ή κρύων, ήπιων ή ακραίων». [81] Επίσης, αναφέρει ότι όσο μεγαλύτερη η μάζα του κτηριακού κελύφους, τόσο πιο εύκολος ο έλεγχος της υπερθέρμανσης τους θερινούς μήνες [75, p. 13].

Αντιστοίχως, η ομάδα ZEBRA2020 παρουσίασε προτεινόμενες πρότυπες τιμές για συντελεστές θερμοπερατότητας τοίχου, οροφής και παραθύρου, βάσει μετρήσεων από πραγματικές περιπτώσεις κτηρίων. Οι προτεινόμενες τιμές προκύπτουν από τις βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης της περιοχής που μελετάται, από τη χρήση του κτηρίου (κατοικία ή άλλη χρήση) και από το αν πρόκειται για νέο ή ριζικώς ανακαινισθέν κτήριο. Παρατηρήθηκε λοιπόν, ότι για μία νέα κατοικία σε περιοχή με θερμά καλοκαίρια, η ζήτηση ενέργειας βρίσκεται μεταξύ των 9 και 17 kWh/m<sup>2</sup>/a, με μέσο όρο τις 14 kWh/m<sup>2</sup>/a. [71, p. 23]

Η CasaClima κατατάσσει τα κτήρια σε τρεις ενεργειακές κλάσεις, με τη βέλτιστη να απαιτεί 10kWh/m<sup>2</sup>/a (CasaClima Oro), την ενδιάμεση με 30 kWh/m<sup>2</sup>/a (CasaClima A) και την τελευταία με 50 kWh/m<sup>2</sup>/a (CasaClima B). [82] Η αξιολόγηση της συνολικής απόδοσης λαμβάνει υπόψη την απόδοση των συστημάτων παραγωγής, διανομής, συσσώρευσης και εκπομπής θερμότητας προκειμένου να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες. Στην τελική αξιολόγηση των παραπάνω κρίνεται θετικά η χρήση ενέργειας από ΑΠΕ, ενώ αρνητικά η χρήση ορυκτών καυσίμων.

Παρακάτω δίνονται μερικές τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας και ενεργειακής κατανάλωσης από πραγματικά παραδείγματα ΚΣΜΚΕ:

Όνομα	Περιοχή	U τοίχου [W/m <sup>2</sup> K]	U οροφής [W/m <sup>2</sup> K]	U υπογείου [W/m <sup>2</sup> K]	Κατανάλωση [kWh/m <sup>2</sup> /a]
House of character <sup>21</sup>	Mosta (Malta)	1.57	0.25	1.9	39.47
Edificio Residenziale <sup>22</sup>	Pont Canavese (Italy)	0,11	-	0.14	4.95
House Pillion <sup>23</sup>	Caldaro (Italy)	0.092	0.103	0.097	9.66
ECOsil <sup>24</sup>	Trino (Italy)	0.18	0.18	0.21	23
BNZEB <sup>25</sup>	Benevento (Italy)	0.172	0.229	0.035	13.03
Causone <sup>26</sup>	Sicily (Italy)	0.13	0.13	0.23	41.10
Erthon & Erthon-Klutting <sup>27</sup>	L'Aquila (Italy)	0.12-0.13	0.09	-	35.28

Πίνακας 3.1.2 Τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας και μετρηθείσα κατανάλωση ενέργειας από πραγματικά παραδείγματα κατοικιών. Πηγές: δύο πρώτα παραδείγματα: [83], τρίτο: [84], τέταρτο: [85, pp. 41–42], πέμπτο, έκτο και έβδομο: [86]

<sup>21</sup> Ριζική ανακαίνιση κατοικίας. Με πέτρινους τοίχους πάχους 0,5 μ. και με παράθυρα με διπλά τζάμια και αργό.

<sup>22</sup> Ριζική ανακαίνιση κατοικίας (2010). Μόνωση με EPS και γραφίτη πάχους 0,25 μ., με μηδενικές θερμογέφυρες και παράθυρα με τριπλά τζάμια

<sup>23</sup> Νέο κτήριο κατοικίας (2008). Με τριπλά τζάμια και U παραθύρου 0.76 W/m<sup>2</sup>K. Λόγος S/V=0.56 m<sup>-1</sup>. Πιστοποίηση CasaClima Oro.

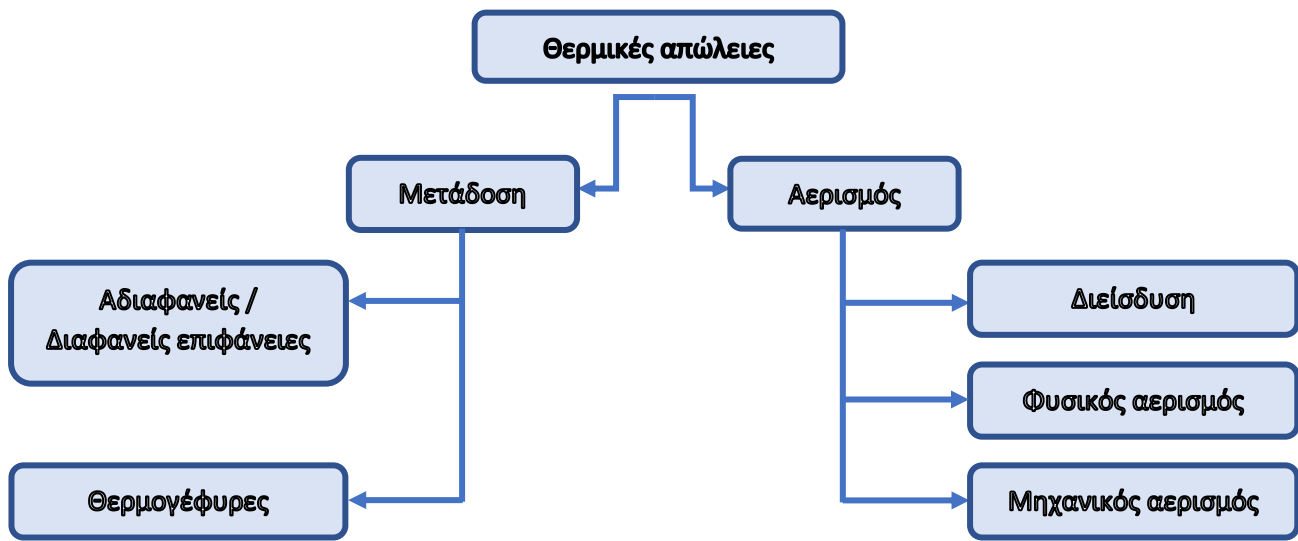
<sup>24</sup> Νέο κτήριο κατοικίας (2010). Μόνωση με EPS, κάλυψη της οροφής με φωτοβολταϊκά πάνελ ισχύος 2.94 kWp, U παραθύρου 1 W/m<sup>2</sup>K και μηχανικός αερισμός με σύστημα ανάκτησης θερμότητας. Πιστοποίηση CasaClima A.

<sup>25</sup> Demo case. Σε προσομοίωση (στην ίδια δημοσίευση) δοκιμάστηκε να τοποθετηθεί στην Αθήνα με τα ίδια χαρακτηριστικά και διέφερε ελάχιστα στην τελική κατανάλωση. Η κατανάλωση δίνονταν σε kWh/y, επομένως διαιρώντας με την επιφάνεια του κτηρίου (82 m<sup>2</sup>) προέκυψε ο αριθμός σε kWh/m<sup>2</sup>/y.

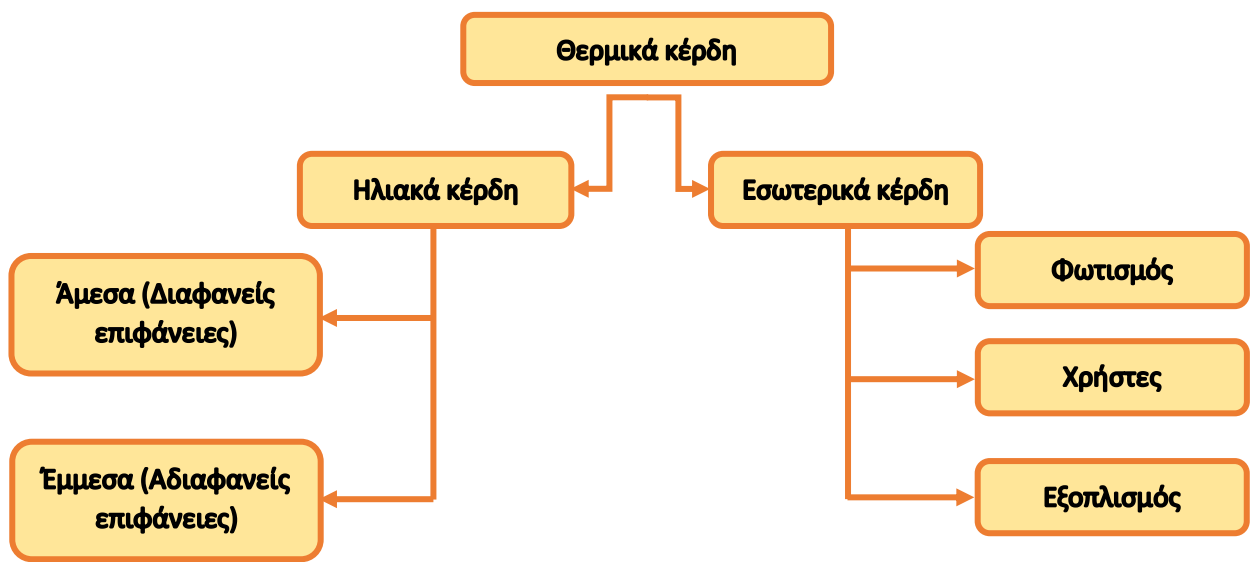
<sup>26</sup> Νέο κτήριο κατοικίας (2015). Μόνωση από πετροβάμβακα, U παραθύρου 0.9-1.1 W/m<sup>2</sup>K, κινητό σύστημα σκίασης, φωτοβολταϊκά 8.14 kWp και μηχανικός αερισμός με σύστημα ανάκτησης θερμότητας.

<sup>27</sup> Νέο κτήριο κατοικίας (2013). Τοίχοι από ξύλο, U παραθύρου 0.89 W/m<sup>2</sup>K, φωτοβολταϊκά 8.5 kWp και μηχανικός αερισμός με σύστημα ανάκτησης θερμότητας

Τέλος, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα άρτιο ενεργειακά κτήριο, είναι χρήσιμο να σημειωθεί πώς προκύπτουν οι κύριες θερμικές απώλειες και τα κύρια θερμικά κέρδη σε ένα κτήριο:



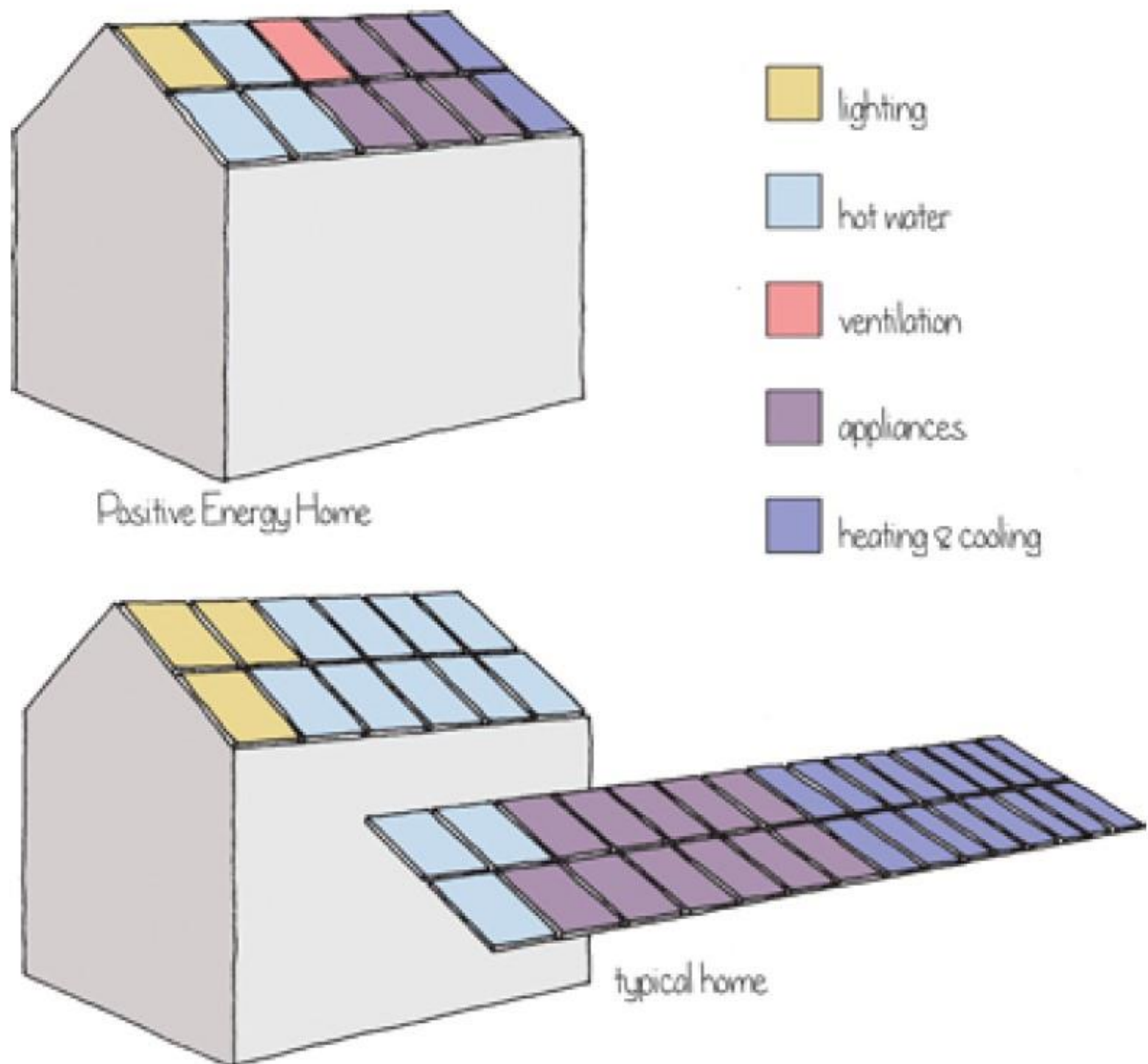
Διάγραμμα ροής από [87, p. 20]



Διάγραμμα ροής από [87, p. 20]

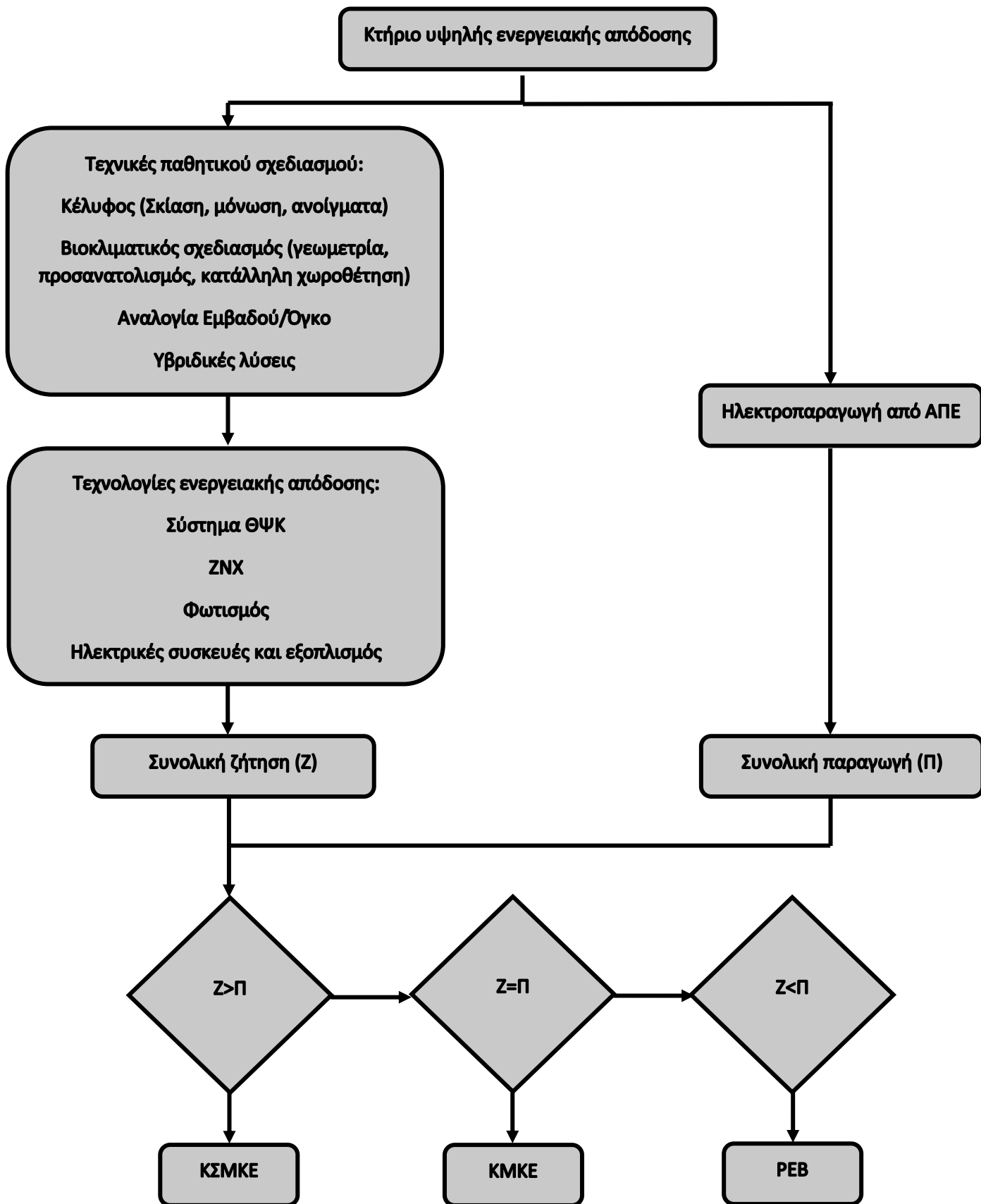
### 3.2 Zero Energy Buildings και Positive Energy Buildings

Τα ΚΣΜΚΕ, αν κατασκευαστούν βάσει λεπτομερούς και ακριβής μελέτης, δεν χρειάζονται να παράξουν ενέργεια ώστε να κερδίσουν τον τίτλο τους. Καταναλώνουν τόσο λίγη ενέργεια ετησίως, ώστε αν προβλεφθεί εγκατάσταση συστημάτων παραγωγής ηλεκτρισμού από ΑΠΕ, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας, τότε μπορούν να παράξουν όση ενέργεια χρειάζονται για τη λειτουργία τους ή και ακόμη περισσότερη. Η ενέργεια που περισσεύει μπορεί να δοθεί στο δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού για να καταναλωθεί από κάποιον άλλο χρήστη. Έτσι, το ΚΣΜΚΕ πλέον ονομάζεται Κτήριο Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (ΚΜΚΕ) αν παράγει όση ενέργεια καταναλώνει και Positive Energy Building (PEB) αν παράγει παραπάνω ενέργεια από αυτή που χρειάζεται.



Εικόνα 33: Απεικόνιση του αριθμού των φωτοβολταϊκών που χρειάζεται μία παθητική κατοικία για να καλύψει τις ανάγκες του σε ενέργεια σε σύγκριση με μία τυπική κατοικία. [40, p. 10]

Προκειμένου να διαπιστωθεί σε ποια από τις τρεις παραπάνω κατηγορίες ανήκει ένα κτήριο υψηλής ενεργειακής απόδοσης, σχεδιάζεται το παρακάτω διάγραμμα ροής:



Διάγραμμα ροής από το οποίο μπορεί να προκύψει η κατηγορία ενός κτηρίου



### 3.3 Παράμετροι των ΚΣΜΚΕ σε Εθνικά πλαίσια

Η οικονομική κρίση ήδη από το 2007 επηρέασε εξαιρετικά την κατανάλωση ενέργειας. Αφενός μειώθηκε η κατανάλωση εξαιτίας της αύξησης του ποσοστού των νοικοκυριών που άγγιξαν το όριο της φτώχειας, και αφετέρου μειώθηκαν οι ριζικές ανακαινίσεις και οι ανεγέρσεις νέων κτισμάτων. [14, p. 21], [88, p. 2]

Επιπλέον, λόγω της οικονομικής κρίσης των κρατών μελών της ΕΕ και των αναγκών ρύθμισης του παγκόσμιου χρηματοπιστωτικού συστήματος, αλλά και λόγω των προκλήσεων που εγείρει η κλιματική αλλαγή (απεξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και αποδοτικότερη αξιοποίηση των πρώτων υλών), η ΕΕ, ήδη από το 2010 είχε εκδόσει την στρατηγική που πρέπει να ακολουθηθεί για να επανέλθει η ανάπτυξη. [89, p. 9]

Έτσι, βάσει των Οδηγιών της ΕΕ και των υφιστάμενων Νόμων περί των μέτρων για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, την προστασία των δασικών εκτάσεων, του Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού, και λοιπών διατάξεων, Προεδρικών Διαταγμάτων και Νόμων, το 2010 εγκρίθηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (ΚΕΝΑΚ) και το 2017 εγκρίθηκε η αναθεωρημένη εκδοχή του. Σκοπός του είναι ο καθορισμός των όρων και προϋποθέσεων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, νέων ή ριζικά ανακαινιζόμενων. Ειδικότερα, στόχος είναι «η μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό (ΘΨΚ), φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ)». [7] Ο ΚΕΝΑΚ καθορίζει τη μεθοδολογία εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, τις ελάχιστες προδιαγραφές των νέων και ριζικά ανακαινιζόμενων κτηρίων, τις ελάχιστες απαιτήσεις της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κτηρίου αναφοράς, τον τύπο και τα περιεχόμενα της Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης και τη διαδικασία ενεργειακής επιθεώρησης κτηρίου, λεβήτων, συστημάτων θέρμανσης και συστημάτων κλιματισμού. [90, pp. 17–18]

Μία από τις βασικότερες έννοιες στον ΚΕΝΑΚ είναι αυτή του κτηρίου αναφοράς. Πρόκειται για ένα «κτήριο με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτήριο. [...] έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά, τόσο στα δομικά στοιχεία του κελύφους, όσο και στα τεχνικά συστήματα που αφορούν στη ΘΨΚ των εσωτερικών χώρων, στην παραγωγή ΖΝΧ και στο φωτισμό, [...]» [7] Το κτήριο αναφοράς έχει τέτοια χαρακτηριστικά ώστε να ανήκει στην ενεργειακή κλάση Β. Επομένως, το κτήριο αναφοράς αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης, βάσει του οποίου σχεδιάζεται ένα νέο ή ριζικώς ανακαινιζόμενο κτήριο. Ανάλογα με το ποσοστό πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνει το κτήριο μελέτης σε σχέση με την θεωρητική κατανάλωση του κτηρίου αναφοράς, κατατάσσεται σε μία από τις ενεργειακές κλάσεις. Η πρωτογενής ενέργεια

υπολογίζεται αν πολλαπλασιαστεί το άθροισμα των επιμέρους ενεργειακών καταναλώσεων ενός κτηρίου (ΘΨΚ, παραγωγή ΖΝΧ και φωτισμός) με τον κατάλληλο συντελεστή μετατροπής.[7] Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι κλάσεις στις οποίες κατηγοριοποιούνται τα κτήρια και τα αντίστοιχα ποσοστά πρωτογενούς ενέργειας.



Εικόνα 34: Ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας σε σχέση με το κτήριο αναφοράς, ανά κλάση. Οι τιμές προκύπτουν από τον Πίνακα Ε.1 του Αρθρου 10 του ΚΕΝΑΚ. [90, p. 39]

Ορίζονται επίσης, τα εξής: σε όλα τα νέα κτήρια θα καλύπτονται υποχρεωτικά τουλάχιστον κατά 60% οι ανάγκες σε ΖΝΧ από ηλιοθερμικά συστήματα [7], ειδικά σε νέες κατοικίες δεν συνυπολογίζεται ο φωτισμός στην τελική ενεργειακή κατανάλωση [7]<sup>28</sup>, ενώ ο υπολογισμός κατανάλωσης ενέργειας για ΘΨΚ και ΖΝΧ εφαρμόζεται η μέθοδος ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος [7].

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι στην εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτηρίου θεωρείται ότι καλύπτονται οι ελάχιστες απαιτήσεις θερμικής άνεσης, οπτικής άνεσης και υγιεινής. [36], [90, p. 33]

Εν συνεχεία του ΚΕΝΑΚ, έχουν εγκριθεί έξι Τεχνικές Οδηγίες από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ), εντός των οποίων εξηγούνται όλες οι διαδικασίες και τα όρια που πρέπει να εφαρμοστούν και να ληφθούν υπόψη στον σχεδιασμό ή/και τον έλεγχο ενός κτηρίου. Αναφέρονται οι τίτλοι τους παρακάτω:

<sup>28</sup> Ωστόσο, στην ΤΟΤΕΕ 20107-1/2.4.4 ορίζεται ότι «δεν επιτρέπεται η υπέρβαση του ορίου της μέσης ελάχιστης στάθμης γενικού φωτισμού (lx) περισσότερο από 30% αυτής», ενώ για κατοικίες ορίζεται ότι η στάθμη γενικού φωτισμού είναι τα 200 lx (ΤΟΤΕΕ 20701-1/Πίνακας 2.4).

- ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης
- ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017, Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων
- ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 (Γ' έκδοση 2014), Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών
- ΤΟΤΕΕ 20701-4/2017, Οδηγίες και έντυπα εκθέσεων ενεργειακών επιθεωρήσεων κτηρίων, συστημάτων θέρμανσης και συστημάτων κλιματισμού
- ΤΟΤΕΕ 20701-5/2017, Συμπαγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας & ψύξης: Εγκαταστάσεις σε κτήρια
- ΤΟΤΕΕ 20701-6/2017, Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων

Εντός της πρώτης ΤΟΤΕΕ καθορίζονται και οι θερμικές ζώνες. Κατά τον ΚΕΝΑΚ, θερμική ζώνη κτηρίου ορίζεται ένα «*σύνολο χώρων μέσα στο κτήριο με όμοιες απαιτούμενες εσωτερικές κλιματικές συνθήκες και χρήση*». Η ΤΟΤΕΕ 20701-1 συμπληρώνει ότι οι χώροι αυτοί έχουν ίδιο προφίλ λειτουργίας ή/και κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, ενώ τμήματα του κτηρίου με όγκο μικρότερο από το 10% του συνολικού όγκου του κτηρίου θα πρέπει να εντάσσονται σε άλλες, κατά το δυνατόν παρόμοιες, θερμικές ζώνες, ακόμη και αν οι συνθήκες λειτουργίας τους δικαιολογούν τη θεώρησή τους ως ανεξάρτητων ζωνών. [36]

Σε συνέχεια του ΚΕΝΑΚ, έπειτα από Οδηγία της ΕΕ, το 2017 εκδόθηκε το Εθνικό σχέδιο αύξησης του αριθμού των ΚΣΜΚΕ, το οποίο όρισε τις παρακάτω φάσεις στα εξής χρονικά πλαίσια:

- 2017-2020 (Φάση I) Προσδιορισμός της ανάγκης εκσυγχρονισμού του εθνικού πλαισίου, της λήψης μέτρων ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης, της δημιουργίας κινήτρων, επιδοτούμενων δράσεων, πιλοτικών προγραμμάτων, κλπ
- 2020-2040 (Φάση II) Καινοτόμα τεχνολογική ανάπτυξη προϊόντων και τεχνικών, μείωση του κόστους των ενεργειακών ανακαινίσεων και εμπέδωση ωφελειών της ανακαίνισης κτηρίων
- 2040-2050 (Φάση III) Ωρίμανση της αγοράς ενεργειακών κτηριακών αναβαθμίσεων, καθιστώντας δυνατή την ενεργειακή αναβάθμιση του συνόλου του κτηριακού αποθέματος, κυρίως με όρους ιδιωτικών επενδύσεων

[91, pp. 25–26]

Το 2019, στην εκπνοή της εφαρμογής του πλάνου για τους στόχους του 2020, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας εξέδωσε το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), το οποίο αναγράφει το στρατηγικό σχέδιο που θα ακολουθηθεί ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί ως το 2030. Οι στόχοι αυτοί είναι:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου πάνω από 42% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 και πάνω από 55% σε σχέση με αυτά του 2005
- Τουλάχιστον 35% της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ΑΠΕ
- Η τελική κατανάλωση ενέργειας να είναι χαμηλότερη από αυτή που είχε καταγραφεί το 2017
- Πλήρης απένταξη του λιγνίτη από το εγχώριο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το 2028

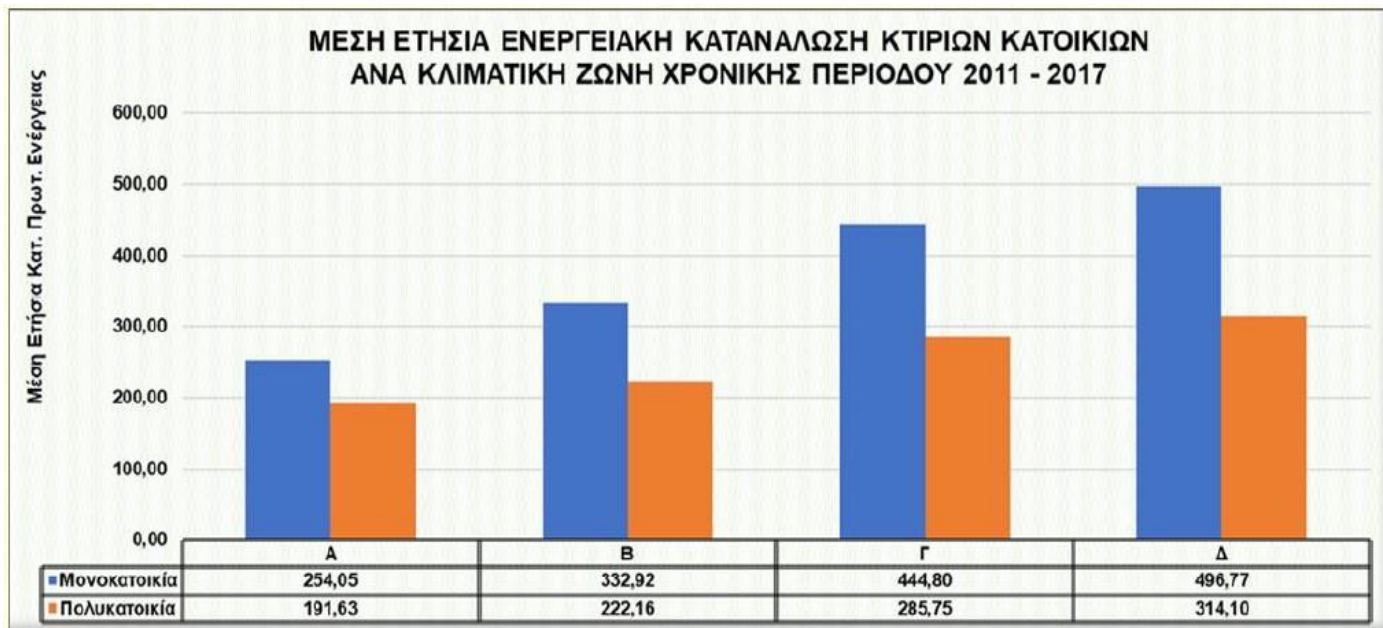
[92, pp. 3–6]

Τα παραπάνω σχετίζονται με τον κτηριακό τομέα, τόσο σε δημόσιο, όσο και σε ιδιωτικό επίπεδο. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ωφείλεται στα κτήρια [92, p. 14], στόχος είναι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων, αξιοποιώντας βελτιωμένα υλικά για μόνωση. Αφενός, κρίνεται απαραίτητη η ανακαίνιση των κτηρίων της κεντρικής δημόσιας διοίκησης (Βουλή των Ελλήνων, Προεδρεία της Δημοκρατίας, κλπ), και αφετέρου η ανακαίνιση του 12-15% του συνόλου των κατοικιών μέχρι το 2030. [92, pp. 56–58] Επιπλέον, έχει κριθεί απαραίτητη η τροποποίηση του νομοθετικού πλαισίου για να διασφαλιστεί η οικονομική αποδοτικότητα και η τεχνική εφικτότητα των παραπάνω ενεργειακών αναβαθμίσεων, ενώ θα τεθούν νέες ελάχιστες απαιτήσεις σε αναθεωρημένη έκδοση του ΚΕΝΑΚ. [92, pp. 59, 139]

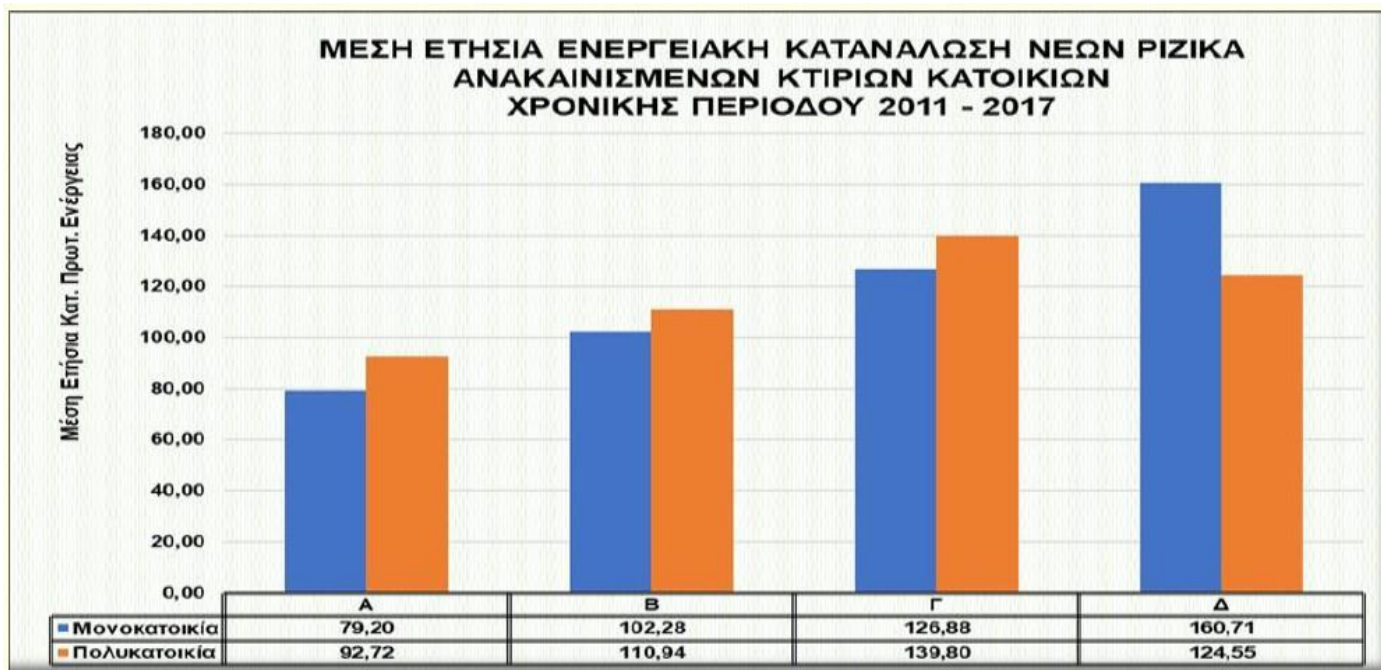
Έτσι, προκειμένου να παροτρυνθεί ο κόσμος στην ανέγερση κτηρίων ενεργειακής κατηγορίας A+, η Υπουργική Απόφαση για την έγκριση του Εθνικού σχεδίου αύξησης του αριθμού των κτηρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, υπενθυμίζει ότι δίνεται κίνητρο αύξησης του συντελεστή δόμησης κατά 5%. Στην περίπτωση που το κτήριο επιτυγχάνει πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση κάτω των 10 kW/m<sup>2</sup>/y και υψηλό βαθμό περιβαλλοντικής απόδοσης, ο συντελεστής δόμησης αυξάνεται κατά 10%. [72, p. 64407]

Τέλος, παρατηρώντας τα στατιστικά στοιχεία της τελευταίας δεκαετίας, όπως αυτά εξεδόθησαν από το ΥΠΕΚΑ, μπορεί να διαπιστωθεί η σταδιακή μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στις κατοικίες από την περίοδο πριν την έγκριση του ΚΕΝΑΚ

του 2010, κατά την περίοδο του ΚΕΝΑΚ του 2010 και εν τέλει στην περίοδο του αναθεωρημένου ΚΕΝΑΚ του 2017, αποδεικνύοντας την λειτουργικότητά του.

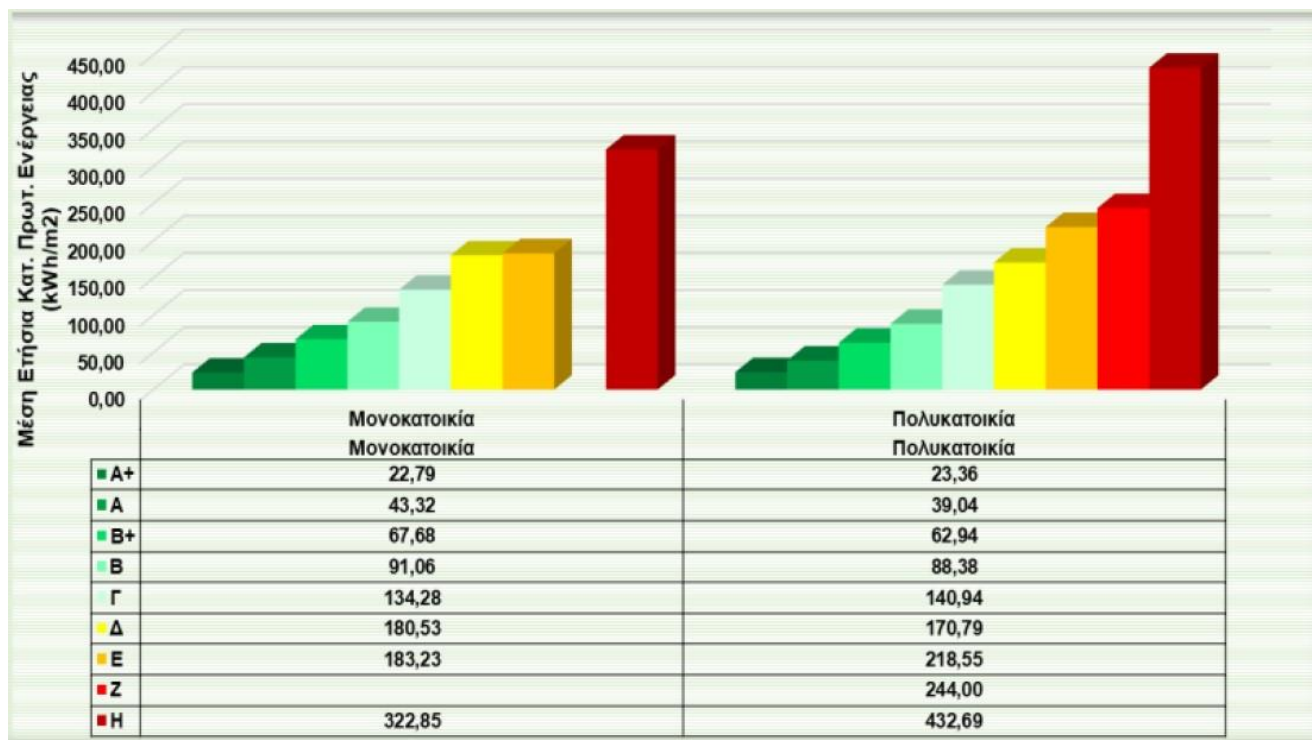


Εικόνα 35: Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατοικιών, ανά κλιματική ζώνη, για την περίοδο 2011-2017. Περιλαμβάνονται και τα κτήρια προ ΚΕΝΑΚ 2010. [93, ρ. 13]

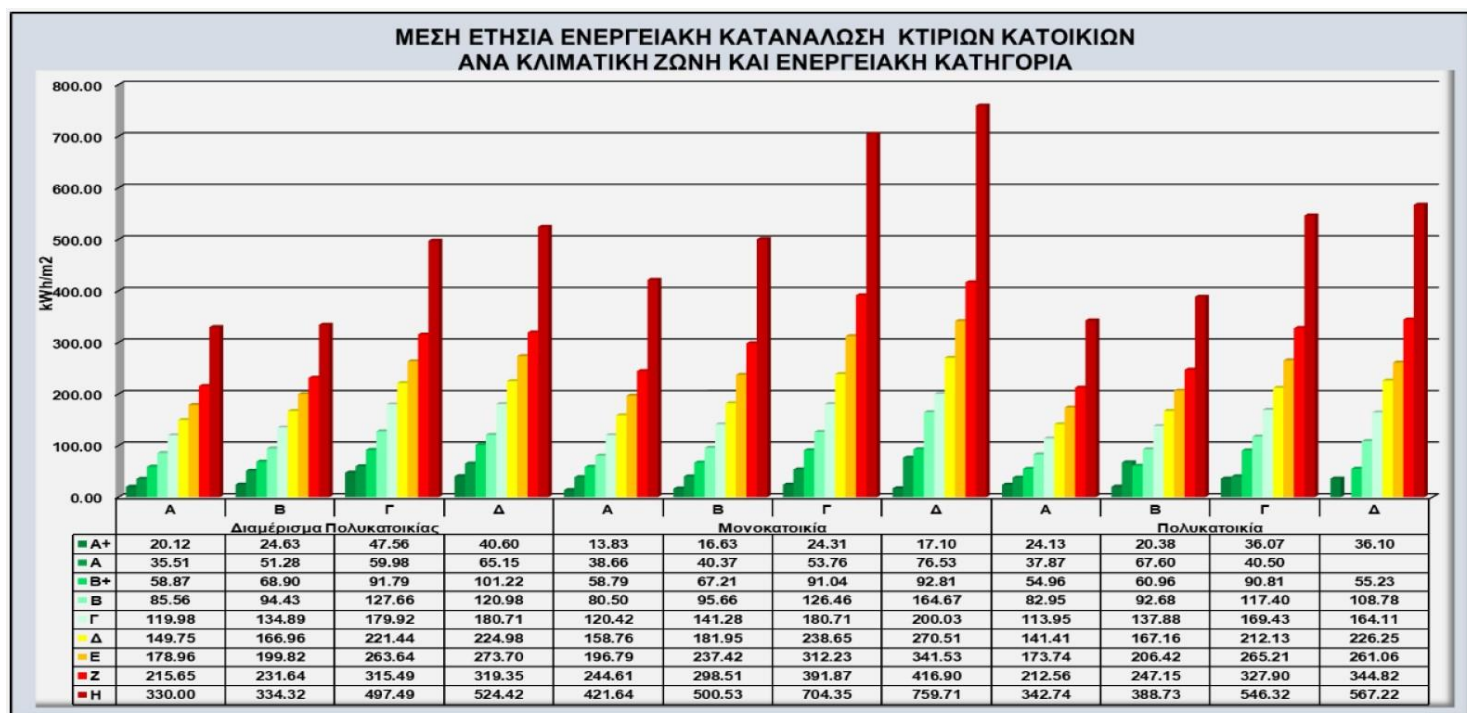


Εικόνα 36: Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας νέων/ριζικά ανακαινισμένων κατοικιών, ανά κλιματική ζώνη, για την περίοδο 2011-2017. Περιλαμβάνονται μόνο τα κτήρια του ΚΕΝΑΚ 2010. [93, ρ. 18]





Εικόνα 37: Μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση κατοικιών ανά ενεργειακή κλάση και τύπο κατοικίας, για το έτος 2017. [93, p. 6]



Εικόνα 38: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας κατοικιών ανά κλιματική ζώνη, ενεργειακή κλάση και τύπο κατοικίας, για το έτος 2018. [94, p. 13]

Στα παραπάνω γραφήματα, διακρίνονται τα εξής:

- 1) Συγκρίνοντας τις Εικόνες 35-36, η μέση τιμή ενεργειακής κατανάλωσης των νέων μονοκατοικιών της κλιματικής ζώνης Β με τον ΚΕΝΑΚ του 2010 είναι κατά 69,28% μικρότερη της μέσης τιμής ενεργειακής κατανάλωσης όλων των μονοκατοικιών της κλιματικής ζώνης Β.
- 2) Συγκρίνοντας τις Εικόνες 37-38, η μέση ετήσια κατανάλωση μονοκατοικιών που ανήκουν στην Α+ κλάση, ανεξαρτήτως κλιματικής ζώνης, το 2017 ήταν 22,79 kWh/m<sup>2</sup>, ενώ το 2018 17,97 kWh/m<sup>2</sup> (αθροίζοντας τις τέσσερις τιμές, μία για κάθε κλιματική ζώνη, των ενεργειακών καταναλώσεων μονοκατοικιών). Έτσι, μέσα σε ένα έτος, η ενεργειακή κατανάλωση στις μονοκατοικίες που κατατάχθηκαν στην Ενεργειακή Κλάση Α+, μειώθηκε κατά 21,15%.
- 3) Παρατηρώντας την Εικόνα 38, διαπιστώνεται η γενική κατάσταση της ενεργειακής κατανάλωσης κατοικιών εν Ελλάδι, ενώ παράλληλα εξάγεται και η μέση τιμή των πραγματικών καταναλώσεων των ΚΣΜΚΕ (Ενεργειακές Κλάσεις Α και Α+) για κάθε Κλιματική Ζώνη και για κάθε τύπο κατοικίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Case Study

### 4.1 Παραδοχές και χαρακτηριστικά

Το κτήριο μελέτης σχεδιάστηκε βάσει των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού, με στόχο την βελτιστοποίηση της ποιότητας ζωής των χρηστών, την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος. Η Κλιματική Ζώνη στην οποία επιλέχθηκε να ανήκει το οικόπεδο, είναι η Β, ακολουθώντας τη λογική ότι άνω του 50% [95, p. 2] του πληθυσμού της Ελλάδος κατοικεί σε αυτή τη ζώνη, επομένως η περίπτωση αφορά τη μεγαλύτερη μερίδα του πληθυσμού<sup>29</sup>. Το οικόπεδο θεωρείται ότι βρίσκεται στην περιοχή του Τατοΐου, και ότι σχηματίζει ένα κανονικό παραλληλόγραμμο, το οποίο αποκλίνει 0° από τον νότο. Το κτήριο είναι μία κατοικία -και αυτή με νότιο προσανατολισμό- με ισόγειο και πρώτο όροφο, η οποία προορίζεται για μία τετραμελή οικογένεια και έχει διαστάσεις 13 μέτρα κατά τον άξονα ανατολής-δύσης και 7.5 μέτρα κατά τον άξονα βορρά-νότου. Τα γειτονικά κτήρια και τυχόν φύτευση είναι αρκετά μακριά και δεν σκιάζουν καθόλου το κτήριο κατά τη διάρκεια του έτους.

Η κατοικία είναι στο σύνολο 146.917 m<sup>2</sup>. Ο ισόγειος όροφος της κατοικίας έχει την κουζίνα, το σαλόνι, έναν διάδρομο, ένα WC, ένα γραφείο και το κλιμακοστάσιο. Ο πρώτος όροφος έχει τρία υπνοδωμάτια, δύο λουτρά, μία αποθήκη, έναν διάδρομο και το κλιμακοστάσιο. Τα τρία υπνοδωμάτια, το σαλόνι, το γραφείο και οι διάδρομοι έχουν νότιο προσανατολισμό, ενώ η κουζίνα, το WC, τα δύο λουτρά, η αποθήκη, το κλιμακοστάσιο έχουν βόρειο προσανατολισμό. Η κουζίνα είναι επίσης εκτεθειμένη και στη δύση, δίνοντας τη δυνατότητα για περισσότερο ηλιασμό και καλύτερο αερισμό, ενώ η κύρια είσοδος βρίσκεται και αυτή στη δυτική πλευρά. Το γραφείο, ο διάδρομος του ισόγειου και μέρος του δωματίου διημέρευσης σκιάζονται από τα υπνοδωμάτια του ορόφου καθώς αυτά είναι τοποθετημένα πάνω από μία πυλωτή. Επιπλέον, έχουν τοποθετηθεί στάσιμα οριζόντια σκίαστρα στα νότια, ανατολικά και δυτικά ανοίγματα της κατοικίας, με σκοπό την αποτροπή υπερθέρμανσης του κτηρίου κατά τους θερινούς μήνες. Η χωροθέτηση έγινε βάσει της TOTEE 20701-6 [13, p. 10] και ο υπολογισμός της κλίσης των σκιάστρων έγινε βάσει του ηλιακού διαγράμματος που παρέχεται στην TOTEE 20701-3 για περιοχές με γεωγραφικό πλάτος 38°Β, αφού η κατοικία τοποθετείται στην Αθήνα [73, p. 75].

Το κτήριο τοποθετείται στην περιοχή της Αττικής, και το κλίμα της Αττικής χαρακτηρίζεται θερμό και ξηρό. Έτσι, το κτήριο ιδανικά θα πρέπει να είναι

<sup>29</sup> Το ποσοστό προέκυψε αθροίζοντας τον πληθυσμό κάθε νομού ο οποίος ανήκει στη Β Κλιματική ζώνη, σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ.

πεπλατυσμένο κατά τον άξονα Ανατολής-Δύσης και να διαθέτει εσοχές και ανοίγματα για σκίαση και αερισμό [19, p. 65].

Ο φέρων οργανισμός του κτηρίου είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ η εξωτερική τοιχοποιία είναι μπατική και αποτελείται από διάτρητους πλίνθους. Η εσωτερική τοιχοποιία είναι δρομική και αποτελείται επίσης από διάτρητους πλίνθους, εκτός ενός χωρίσματος στο κύριο υπνοδωμάτιο, το οποίο είναι από γυψοσανίδα με πλαίσιο από αλουμίνιο. Για τη μόνωση προτιμήθηκε η εξωτερική θερμομόνωση, διότι αφενός εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την εξάλειψη των θερμογεφυρών, και αφετέρου φαίνεται να είναι ο πιο αποδοτικός τύπος θερμομόνωσης. [96, p. 94]

Το υλικό που επιλέχθηκε για την εξωτερική θερμομόνωση του κτηρίου είναι οι πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης. Αυτό διότι αποτελούν ένα ανθεκτικό και ελαφρύ υλικό, το οποίο έχει εξαιρετικά μικρή θερμική αγωγιμότητα και ικανοποιητικές θλιπτικές αντοχές. Παρακάτω φαίνονται ενδεικτικά τιμές του συντελεστή  $\lambda$  και της αντοχής σε τάση  $\sigma$  από εξηλασμένες (XPS) και διογκωμένες (EPS) πολυστερίνες διαφορετικών κατασκευαστών:

Κατασκευαστής / Όνομα προϊόντος	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, $\lambda$ (W/mK)	Αντοχή σε συμπίεση πάχους κατά 10%, $\sigma$ , (kPa)
Xtratherm / SR/TB [97]	0.020	-
Fibran / XPS 500 [98]	0.034	500
Kingspan / Kooltherm K5 [99, p. 5]	0.021	100
Neopor / EPS [100, p. 7]	0.030	200
ΕΡΓΑΤΕΞ / Γεωαφρός EPS 200 [101]	0.033	200
ΚΕΒΕ / XPS [102]	0.029	300

Πίνακας 4.1.1: Τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας,  $\lambda$ , και αντοχής σε συμπίεση 10%,  $\sigma$ , για διάφορα μονωτικά πολυστερίνης. Αναγράφονται μόνο οι τιμές που αφορούν σε πάχη >12 εκ.<sup>30</sup>

Για την κατάλληλη επιλογή του μονωτικού υλικού, αρχικά ελέγχθηκε και επιβεβαιώθηκε ότι όλα τα υλικά έχουν Ευρωπαϊκή πιστοποίηση (CE). Η πιστοποίηση είναι απαραίτητη κατά την Ευρωπαϊκή Οδηγία ETAG 004 περί Τεχνικών Πιστοποιήσεων για Συστήματα Εξωτερικής Θερμομόνωσης (ETICS) [103, p. 89]. Τα αγγλικά προϊόντα Kingspan και Xtratherm αποκλείστηκαν λόγω μικρής αντοχής σε συμπίεση. Επίσης, το προϊόν της Kingspan δεν είναι τόσο εύκολο στην τοποθέτηση όσο τα υπόλοιπα λόγω της σκληρής εξωτερικής στρώσης, η οποία δεν πρέπει να ξυστεί, να κοπεί ή να χαλάσει, ενώ το εσωτερικό δεν είναι τόσο αδιάβροχο όσο τα υπόλοιπα. [104] Από τα υπόλοιπα, επιλέχθηκε το προϊόν της ΚΕΒΕ, το οποίο όχι μόνο είχε την καλύτερη θερμική αγωγιμότητα, αλλά και τις καλύτερες μηχανικές αντοχές.

<sup>30</sup> Όλα τα στοιχεία προέρχονται από αρχεία .pdf που βρέθηκαν στις ιστοσελίδες των εταιρειών. Στις πηγές αναγράφονται οι τίτλοι των αρχείων.

Επίσης, για τα διαφανή στοιχεία, έπειτα από έρευνα των προϊόντων της Ελληνικής αγοράς, αλλά και έπειτα από εξέταση των προτεινόμενων ορίων συντελεστή θερμοπερατότητας που πρότειναν διάφορες εταιρείες, δημοσιεύσεις και οργανισμοί (όπως φαίνονται στο προηγούμενο κεφάλαιο), επιλέχθηκαν:

A) Η εξώθυρα από PVC από την εταιρεία Aluplast, με πάχος 85 χιλιοστών και  $U_d=0.74$   $W/m^2K$  [105] και

B) Τα υαλοστάσια SunGuard eXtra Selective SNX 50/23 από την εταιρεία Guardian Glass [106]. Πρόκειται για υαλοστάσια τριπλής υάλωσης, με πάχη στρώσεων 6-12-4-12-4, με 90% αργό στα διάκενα, και με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Transmission of visible light [%]	44
Reflection outside of visible light [%]	16
Reflection inside of visible light [%]	18
Direct transmission of solar energy [%]	19
Reflection outside of solar energy [%]	42
Absorption of solar energy [%]	39
Solar factor (g) [%]	21
U-value (Argon 90%) [ $W/m^2K$ ]	0.7

Πίνακας 4.1.2: Χαρακτηριστικά του προϊόντος SunGuard eXtra Selective SNX 50/23 [106]

Αναφορικά με το μέγεθος των ανοιγμάτων, υιοθετήθηκε ο εμπειρικός κανόνας που αναφέρεται στο Κεφ. 5.2.2.1 περί πλευρικών ανοιγμάτων της TOTEE 20701-6 [13, p. 92], ο οποίος αναφέρει ότι το εμβαδό ανοίγματος που αντιστοιχεί στο 20% της επιφάνειας του χώρου που χρήζει φυσικού φωτισμού παρέχει ικανοποιητικά επίπεδα φωτισμού, χωρίς να επιφέρει υπερβολικές θερμικές απώλειες τον χειμώνα ή υπερθέρμανση το καλοκαίρι και παρέχει μειωμένο κίνδυνο θάμβωσης.

Τέλος, η τaráτσα επιλέχθηκε να μονωθεί βάσει της λύσης που προτείνει η Fibran [107, p. 73]: ασφαλτόπανο, εξηλασμένη πολυστερίνη, γεωύφασμα και χαλίκι (το οποίο αντικαταστάθηκε από λευκά βότσαλα μαρμάρου για μεγαλύτερη ανακλαστικότητα), και όλες οι εξωτερικές επιφάνειες θεωρήθηκε ότι βιάφτηκαν με λευκό ακρυλικό χρώμα Vitex Acrylan [108], το οποίο έχει τα εξής ειδικά χαρακτηριστικά:

Αρχική ολοφασματική ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία, SR	0.86
Συντελεστής εκπομπής στην υπέρυθη ακτινοβολία, ε	0,88



Δείκτης ανακλαστικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία, SRI	108
---	-----

Πίνακας 4.1.3: Χαρακτηριστικά του προϊόντος Vitex Acrylan [108]

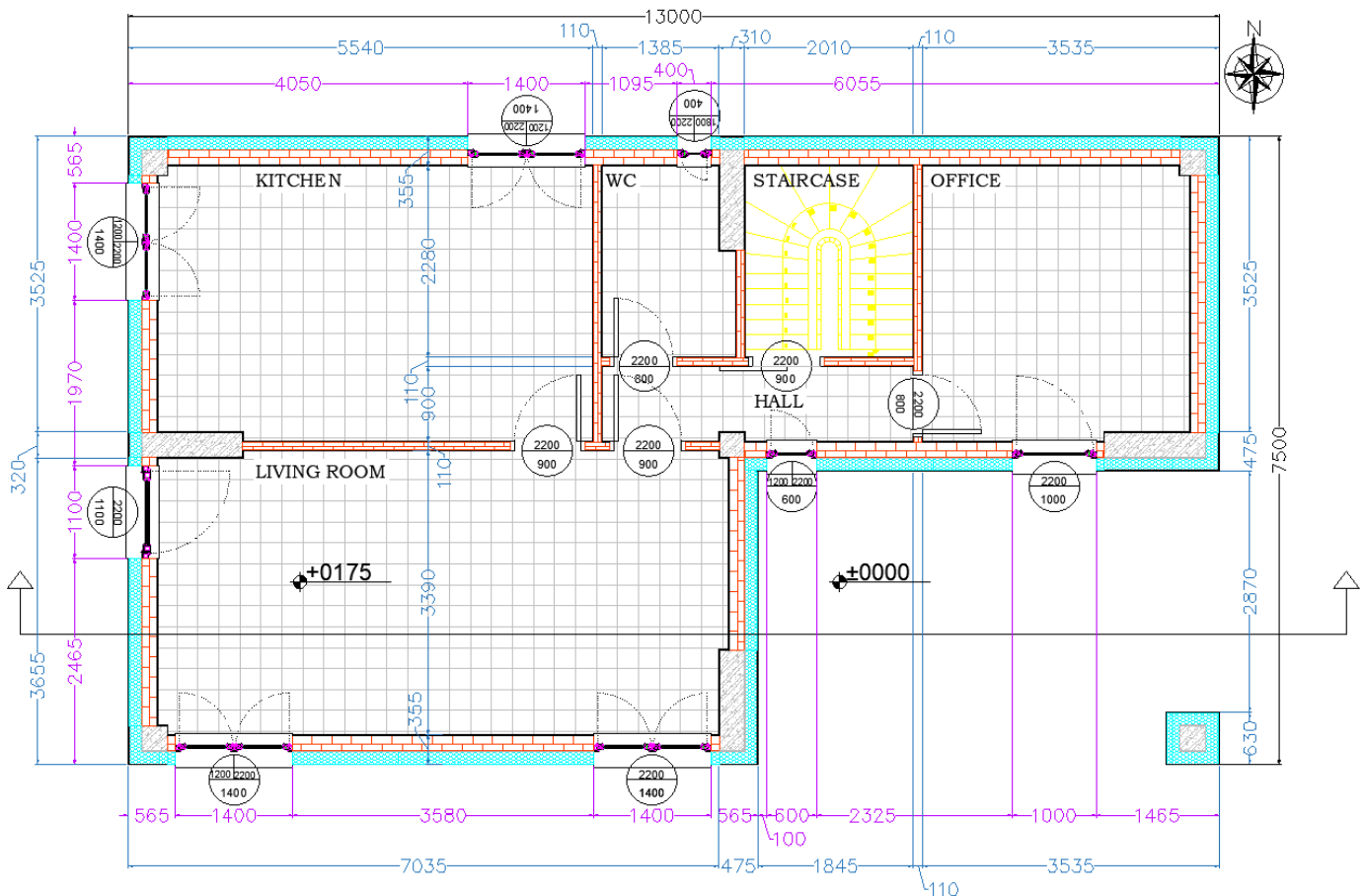
Σημειώνεται ότι όπου δεν αναφέρθηκαν τιμές U ή λ, αυτές λήφθηκαν όπως ορίζονται στην ΤΟΤΕΕ 20701-2 [48].

## 4.2 Παρουσίαση μοντέλου κτηρίου

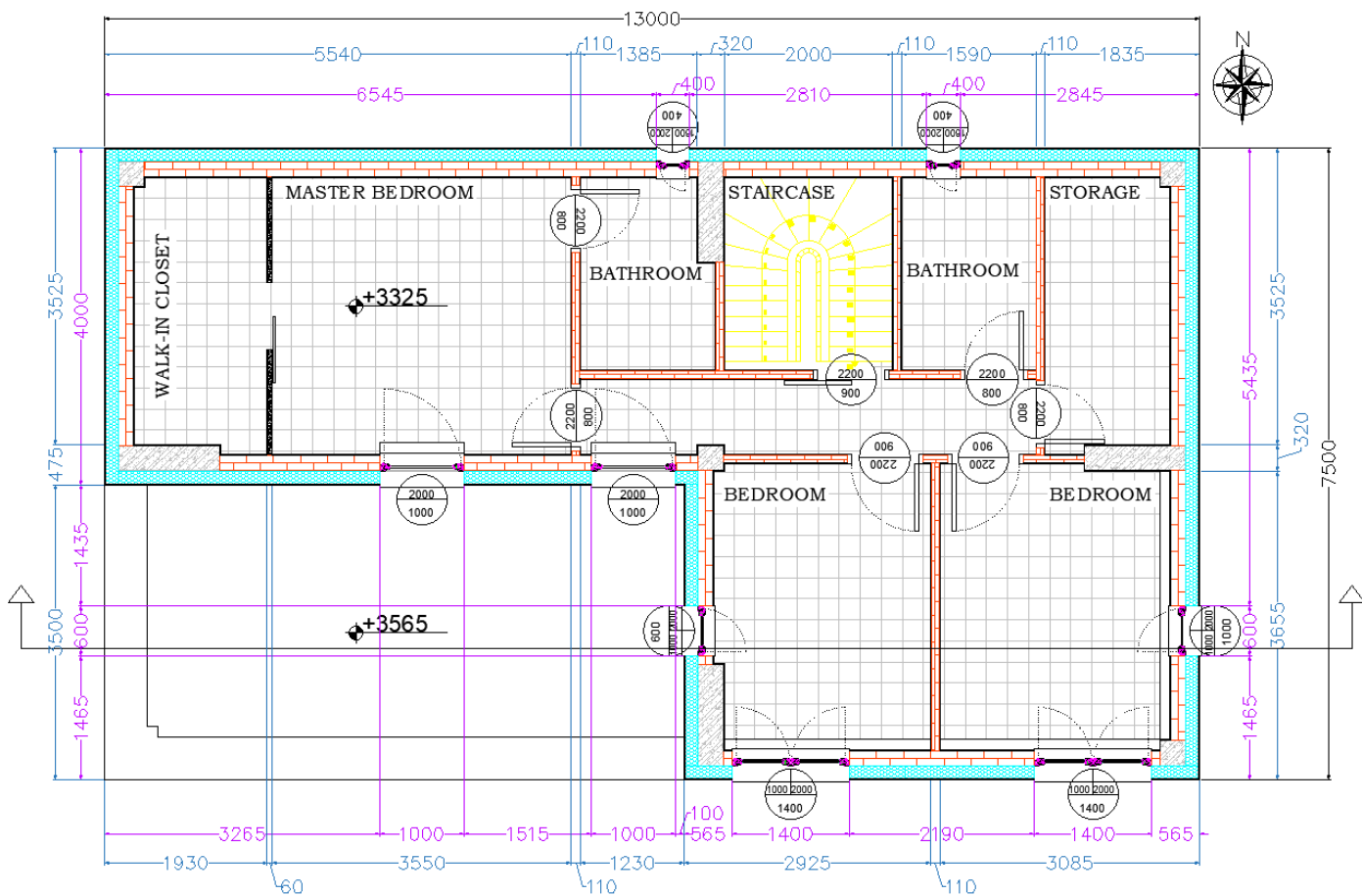
### 4.2.1 Σχέδια 2D

Παρακάτω παρουσιάζονται τα σχέδια δύο διαστάσεων (2D) που δημιουργήθηκαν σε περιβάλλον AutoCAD. Ειδικότερα παρακάτω παρουσιάζονται:

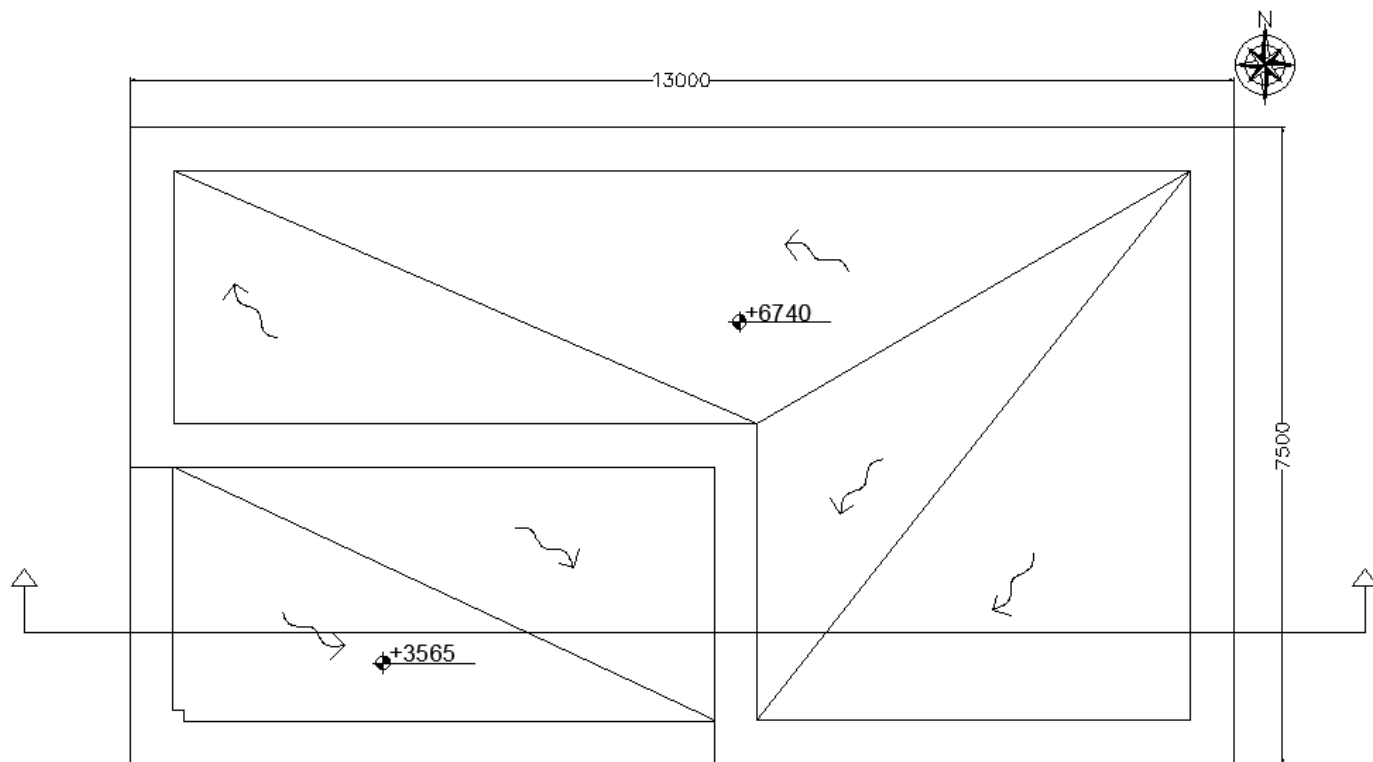
- οι κατόψεις των δύο ορόφων και η γενική κάτοψη
- μία κατακόρυφη τομή και
- οι τέσσερις όψεις.



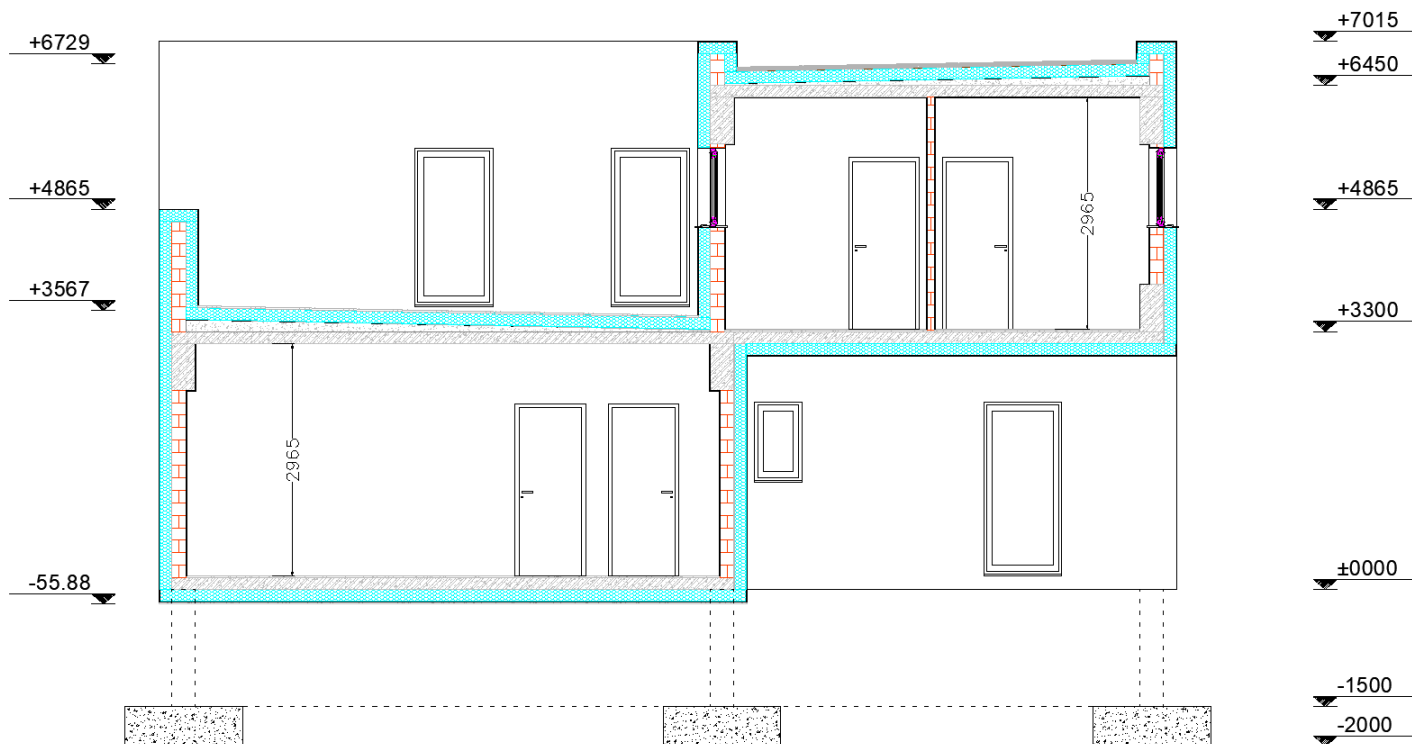
Εικόνα 39: Κάτοψη ισογείου



Εικόνα 40: Κάτοψη ορόφου



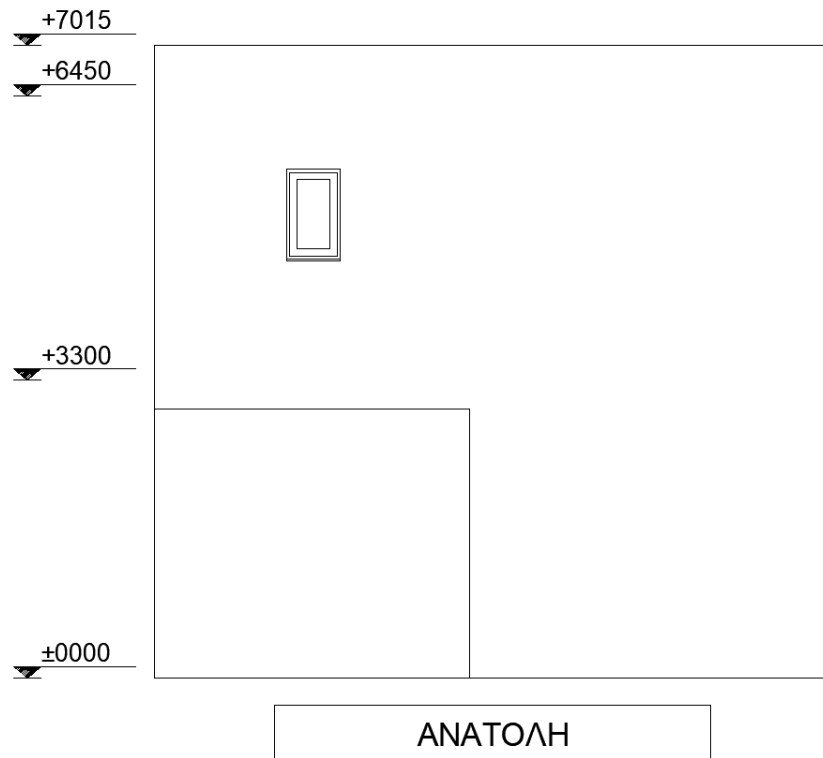
Εικόνα 41: Γενική κάτοψη



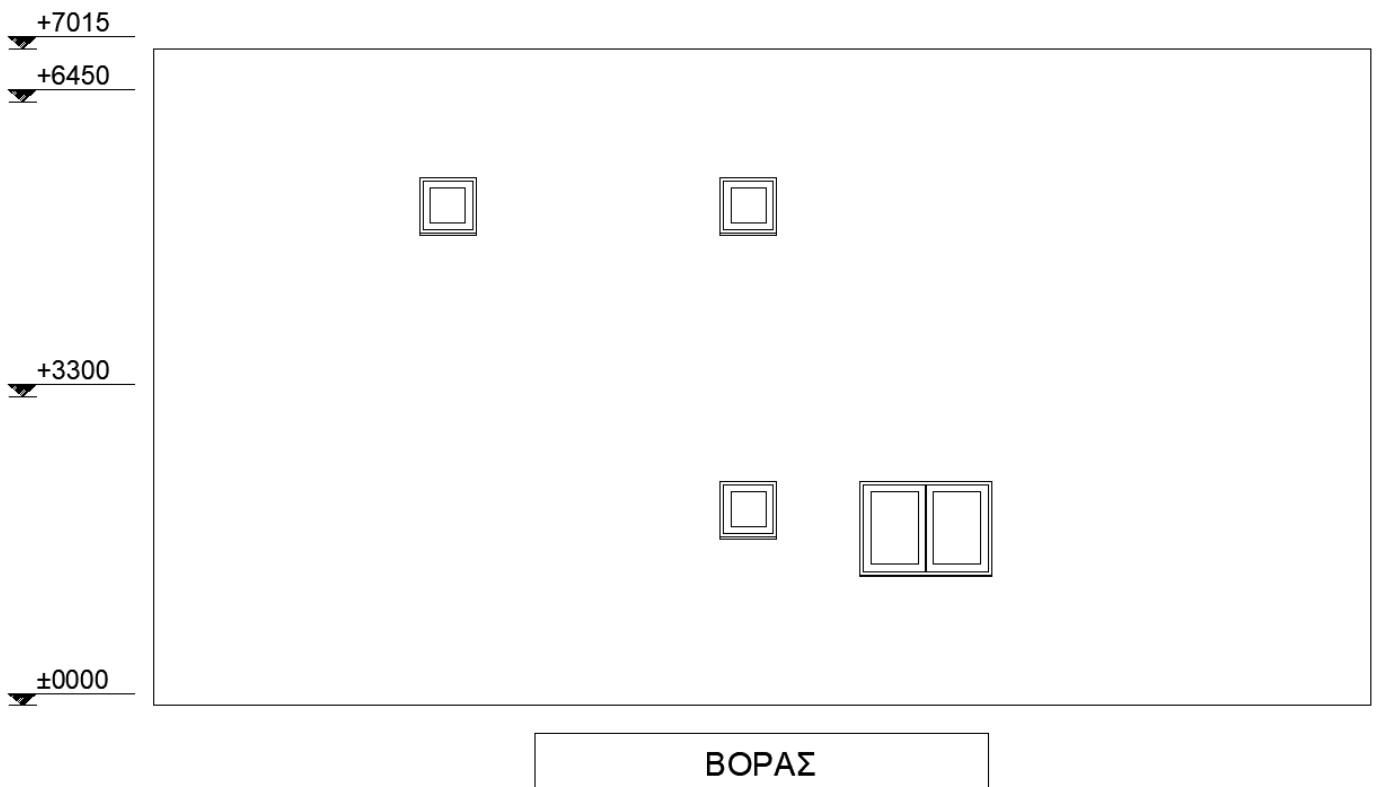
Εικόνα 42: Κατακόρυφη τομή



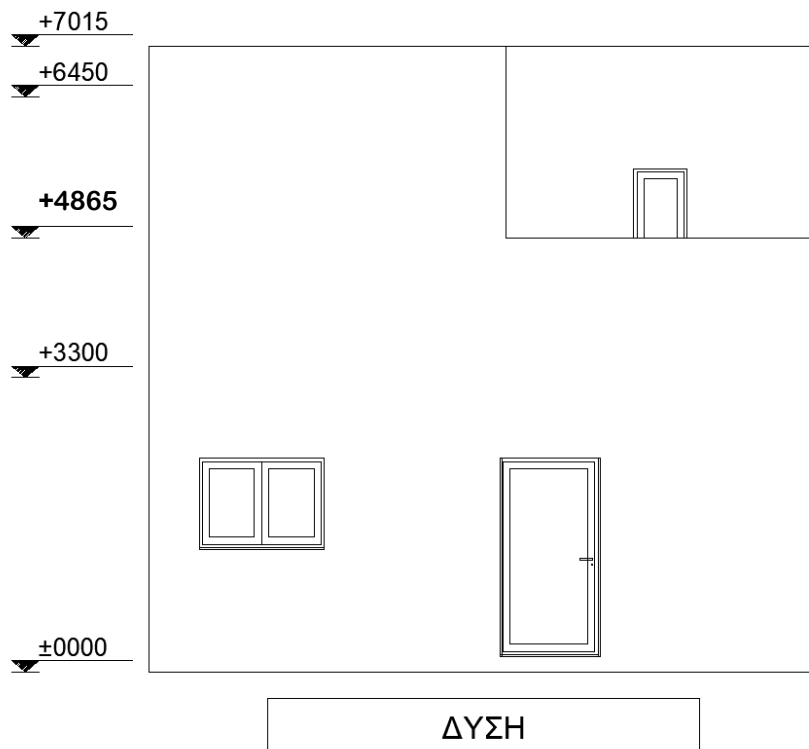
Εικόνα 43: Νότια όψη



Εικόνα 44: Ανατολική όψη



Εικόνα 45: Βόρεια όψη



Εικόνα 46: Δυτική όψη

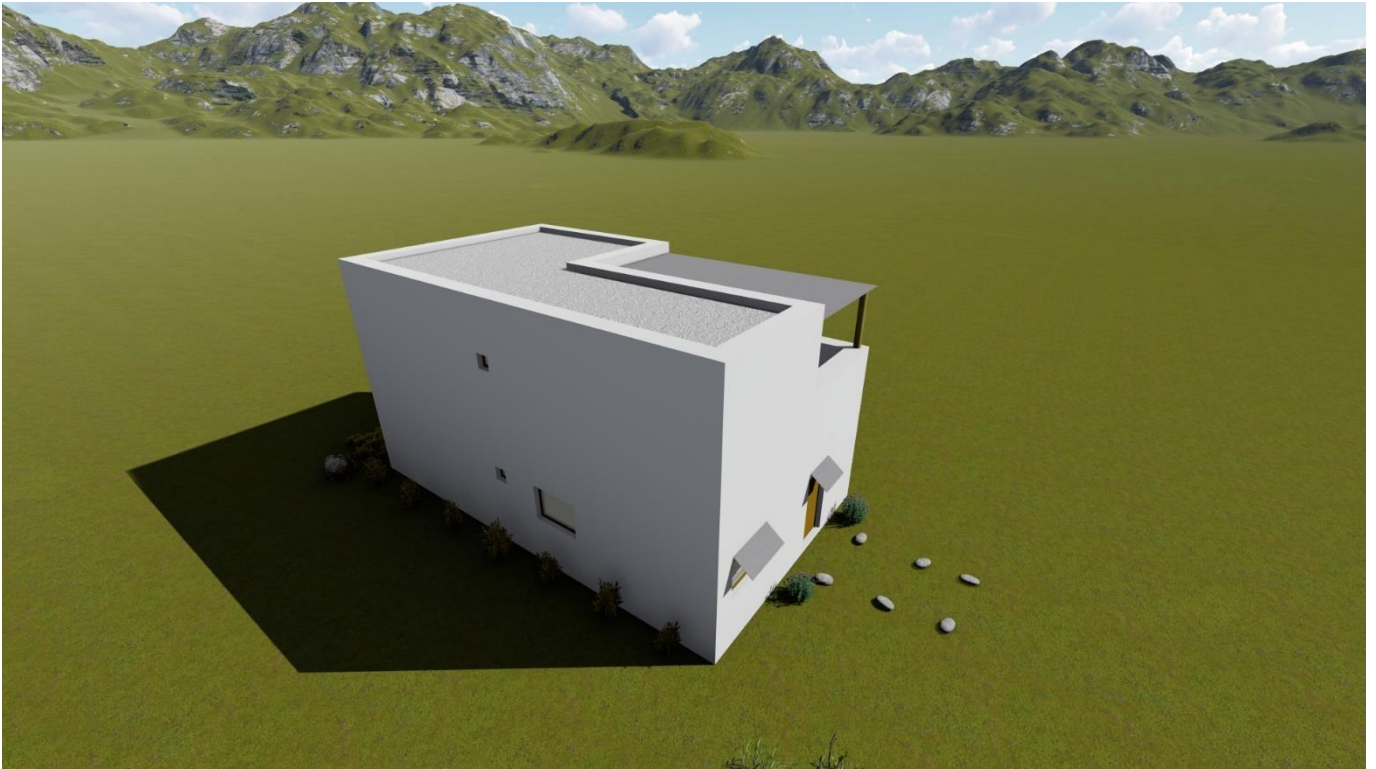
#### 4.2.2 Μοντέλο 3D

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές τρισδιάστατες (3D) απεικονίσεις του μοντέλου, και αυτές σχεδιασμένες σε περιβάλλον AutoCAD και έπειτα επεξεργασμένες φωτορεαλιστικά σε περιβάλλον Lumion.



Εικόνα 47: Φωτορεαλιστική προβολή Νότιας όψης





Εικόνα 48: Φωτορεαλιστική προβολή μή βατού δώματος, Βόρειας και Δυτικής όψης



Εικόνα 49: Φωτορεαλιστική απεικόνιση Νότιας και Δυτικής όψης

### 4.3 Θερμομονωτική επάρκεια

Προκειμένου να υπολογιστεί η ενεργειακή απόδοση του κτηρίου, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της θερμομονωτικής επάρκειας αυτού. Έτσι, για τη διευκόλυνση στους υπολογισμούς, δημιουργήθηκε ένα υπολογιστικό φύλλο στο πρόγραμμα Excel. Στην πρώτη καρτέλα σημειώθηκε για κάθε δομικό στοιχείο το σύνολο των υλικών από τα οποία αποτελείται, τα πάχη και οι θερμικές ιδιότητες των υλικών αυτών. Βάσει των παραπάνω υπολογίστηκε ο συντελεστής θερμοπερατότητας  $U$  για κάθε δομικό στοιχείο<sup>31</sup>. Στη δεύτερη καρτέλα αναγράφηκαν οι τύποι και τα μήκη των θερμογεφυρών. Η τρίτη καρτέλα περιέχει τον συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_m$  για το σύνολο του κτηρίου.

Παρακάτω αναγράφονται τα  $U$  των δομικών στοιχείων, καθώς και το  $U_m$  του συνολικού κελύφους, σε σύγκριση με τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του ΚΕΝΑΚ. Οι υπολογισμοί για την θερμομονωτική επάρκεια εμπεριέχονται στο Παράρτημα Ι της παρούσας εργασίας.

A/A	Τύπος δομικού στοιχείου	$U$ στοιχείου (W/m <sup>2</sup> K)	$U$ ΚΕΝΑΚ (W/m <sup>2</sup> K)
1	Τοίχος σε επαφή με εξωτερικό αέρα	0,173	0,45
2	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	0,179	0,80
3	Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (Πιλοτή)	0,183	0,45
4	Οριζόντια (βατή) οροφή σε επαφή με εξωτερικό αέρα	0,172	0,40
5	Οριζόντια (μη βατή) οροφή σε επαφή με εξωτερικό αέρα	0,171	0,40
6	Παράθυρο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,70	2,6
7	Εξώθυρα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,74	2,6
8	Μέσος συντελεστής θερμ/τας όλου του κτηρίου, $U_m$	0,175	0,696

Πίνακας 4.3: Συντελεστές θερμοπερατότητας  $U$  και  $U_m$ . Τιμές από θερμομονωτική επάρκεια μοντέλου και μέγιστες τιμές κατά ΚΕΝΑΚ.

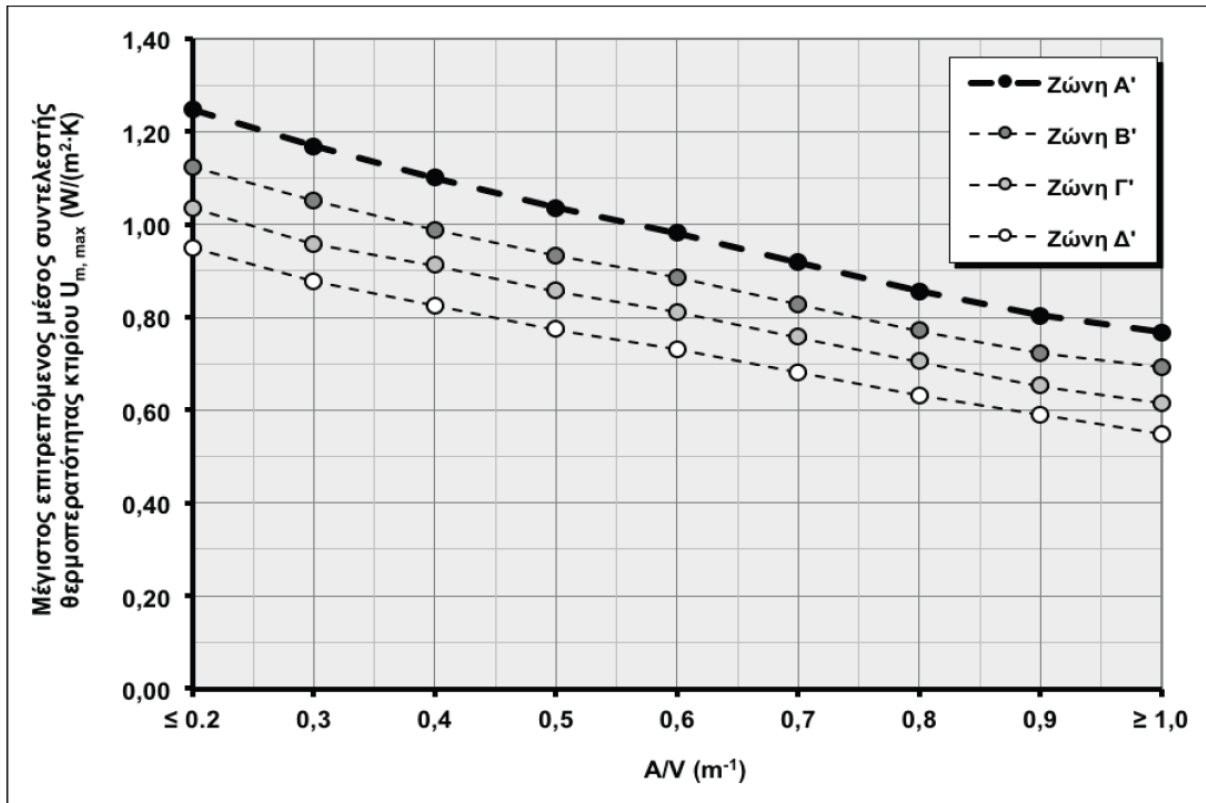
Ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής  $U_{m,max}$  υπολογίστηκε με γραμμική παρεμβολή σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα Γ3 του ΚΕΝΑΚ [7], για λόγο εμβαδού προς όγκο ίσο με:

$$\frac{A}{V} = \frac{521.728m^2}{530.097m^3} = 0.984 m^{-1}$$

Και βρέθηκε ίσος με:

$$U_{m,max} = 0.696 \frac{W}{m^2 * K}$$

<sup>31</sup> Οι συντελεστές θερμοπερατότητας για τα παράθυρα και την εξώθυρα ελήφθησαν έτοιμα από την ιστοσελίδα της εταιρείας.



Εικόνα 50: Διάγραμμα Γ.1 του ΚΕΝΑΚ από το οποίο προκύπτει ο Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας ( $U_m$ ), ανά Κλιματική Ζώνη, για νέα κτήρια [7]

Ενώ ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κτηρίου, βάσει των αδιαφανών και των διαφανών στοιχείων της κατασκευής προέκυψε ίσος με:

$$U_m = 0.175 \frac{W}{m^2 * K}$$

Έτσι, παρατηρείται ότι ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου, σε σχέση με τον μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή θερμοπερατότητας του κτηρίου είναι στο ένα τέταρτο της τιμής (το  $U_m$  αποτελεί το 25.11% του  $U_{m,max}$ ).

Σημειώνεται ότι στον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας,  $U_m$ , η ΤΟΤΕΕ 20701-2 δηλώνει πως θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας  $U'$  για δομικά στοιχεία σε επαφή με το έδαφος και όχι ο ονομαστικός συντελεστής θερμοπερατότητας,  $U$ . Ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας,  $U'$ , προκύπτει από τον Πίνακα 8α της προαναφερθείσας Τεχνικής Οδηγίας, και εξαρτάται από τον ονομαστικό συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου, το βάθος έδρασης του δομικού στοιχείου και την χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας,  $B'$ . Ο ισοδύναμος συντελεστής είναι μικρότερος του ονομαστικού συντελεστή και εάν χρησιμοποιήτο θα μείωνε περαιτέρω τον μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας του κτηρίου,  $U_m$ , ωστόσο, ο Πίνακας 8α δεν εμπεριέχει

την τιμή του ονομαστικού συντελεστή,  $U$ , που χαρακτηρίζει την πλάκα της παρούσας διπλωματικής. Η Τεχνική Οδηγία δίνει τιμές ισοδύναμου συντελεστή για ονομαστικούς συντελεστές έως και  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ενώ ο ονομαστικός συντελεστής πλάκας σε επαφή με το έδαφος της παρούσης διπλωματικής είναι  $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Επομένως, στους υπολογισμούς του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτηρίου διατηρήθηκε ο ονομαστικός συντελεστής θερμοπερατότητας της πλάκας σε επαφή με το έδαφος.

Η επιλογή της μεθόδου τοποθέτησης της εξηλασμένης πολυστερίνης έγινε με τη βοήθεια του φυλλαδίου Τεχνικών Οδηγιών της Fibran [107]. Έτσι, για τη θερμογέφυρα δαπέδου σε επαφή με το έδαφος επιλέχθηκε η πλήρης επένδυση με εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS) εξωτερικά τόσο της πλάκας σκυροδέματος, όσο και των πεδίων (εκτός της κάτω πλευράς τους). Για τη θερμογέφυρα του στηθαίου, παρομοίως επιλέχθηκε η επένδυση όλων των πλευρών του που είναι εκτεθειμένες στον εξωτερικό αέρα.

Οι δύο αυτές θερμογέφυρες, δεν προβλέπονταν με αυτή τη λύση στην ΤΟΤΕΕ 20701-2 [48], οπότε ο συντελεστής  $\psi$  θεωρήθηκε ίσος με μηδέν. Στο Παράρτημα στο τέλος της παρούσας διπλωματικής παρατίθενται οι υπολογισμοί θερμοπερατότητας των αδιαφανών και διαφανών στοιχείων, καθώς και ο υπολογισμός των όγκων και η λίστα με τις θερμογέφυρες που εντοπίστηκαν. Επιπλέον, η πυλωτή είναι πλήρως μονωμένη εξωτερικά, όπως και ο στύλος που τη στηρίζει στο ένα άκρο.

Τα  $U$  των στοιχείων επιλέχθηκαν ώστε να βρίσκονται στο εύρος που ορίζουν τα  $U$  στοιχείων από πραγματικά παραδείγματα, όπως αυτά φαίνονται στους Πίνακες 3.1.1 και 3.1.2 της παρούσης. Κατά μέσο όρο, τα  $U$  των επιμέρους στοιχείων του κτηρίου μελέτης είναι περίπου στο 40% των τιμών που ορίζει ο ΚΕΝΑΚ (με εξαίρεση του  $U$  εδάφους που είναι περίπου στο 23% της τιμής που ορίζει ο ΚΕΝΑΚ).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ενεργειακή μοντελοποίηση κτηρίου

### 5.1 Προσομοίωση

Καθώς οι ανθρώπινες ανάγκες αυξάνονται και τα προβλήματα ενέργειας εντείνονται, καθίστανται απαραίτητα εργαλεία τα οποία βοηθούν στον ακριβή ορισμό της κατανάλωσης ενέργειας. Με αυτά τα εργαλεία είναι δυνατός ο έλεγχος της ενεργειακής επάρκειας μιας κατασκευής πριν την ανέγερση αυτής αλλά και η μελέτη και η βελτίωση των ήδη υπάρχοντων συστημάτων μόνωσης, θέρμανσης και ψύξης, αφού προσφέρουν τη δυνατότητα πρόβλεψης της ενέργειας που δαπανάται με ακρίβεια και ταχύτητα. Η μέτρηση γίνεται με τη χρήση προγραμμάτων ενεργειακής προσομοίωσης.

Ενεργειακή προσομοίωση χαρακτηρίζεται η μαθηματική αναπαράσταση των αλληλεπιδράσεων όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν τις εσωτερικές συνθήκες ενός κτηρίου και της ενέργειας που καταναλώνεται. Μεταξύ των παραμέτρων αυτών, το κτηριακό κέλυφος, το εξωτερικό περιβάλλον, ο χρήστης και τα συστήματα θέρμανσης-ψύξης-αερισμού-φωτισμού κατά τη λειτουργία του κτηρίου. [109, p. 4]

Η προσομοίωση γίνεται συνήθως δυναμικά. Η δυναμική προσομοίωση παρέχει τη δυνατότητα αξιολόγησης της κτηριακής συμπεριφοράς σε μεταβλητό βήμα, για διάστημα πολλών ημερών, έως και ένα έτος. Έτσι συνυπολογίζεται ένα πλήθος παραγόντων, όπως η θερμική αγωγιμότητα του κελύφους, η ηλιακή ακτινοβολία διαμέσου των παραθύρων, η μετάδοση θερμότητας λόγω συναγωγής μεταξύ επιφανειών και αέρα, η ροή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό του κτηρίου αλλά και μεταξύ των εσωτερικών χώρων, τα θερμικά φορτία από εξοπλισμό, φωτισμό, ανθρώπινη δραστηριότητα, κλπ.

Πραγματοποιώντας δυναμική ανάλυση σε πολύ μικρό χρονικό βήμα συμπεριλαμβάνονται η θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων, η πραγματική θέση του ηλίου σε σχέση με τα δομικά στοιχεία, τα επίπεδα φυσικού φωτισμού ο φυσικός δροσισμός, η αλληλεπίδραση του χρήστη με τις η/μ εγκαταστάσεις, η χρονική υστέρηση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης, η διαφορετική απόδοση των συστημάτων σε πλήρη και μερικά φορτία και οι διαφορετικές χρεώσεις ενέργειας ανάλογα με τη χρονική στιγμή κατανάλωσης και την ισχύ αιχμής. [109, pp. 5–7]

#### 5.1.1 Λογισμικά

Υπάρχει πληθώρα προγραμμάτων ενεργειακής προσομοίωσης. Ενδεικτικά αναφέρονται: το TRNSYS, το ESPr, το IES-VE, το eQuest και το EnergyPlus. Επιπλέον υπάρχουν εξίσου πολλά εργαλεία για αυτά τα προγράμματα όπως το JEPPlus



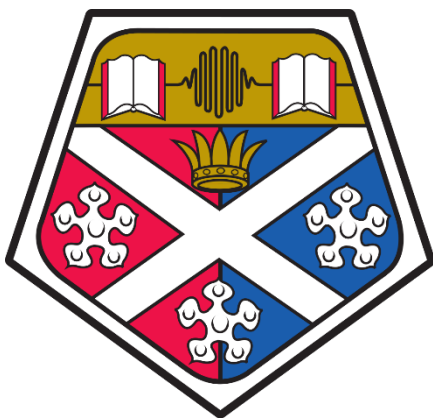
(παραμετρικό εργαλείο για TRNSYS και EnergyPlus), το ClimateConsultant και το OpenStudio (εργαλείο λογισμικής ανάπτυξης). Επίσης υπάρχουν διάφορες διεπαφές που χρησιμοποιούν τις παραπάνω μηχανές, όπως το Simergy και το DesignBuilder.

Παρακάτω σημειώνονται βασικές πληροφορίες για μερικά από τα προγράμματα, τις διεπαφές και τα εργαλεία που αναφέρθηκαν.



Εικόνα 51: Λογότυπο του προγράμματος TRNSYS (Έκδοση 18) [110]  
μηχανικούς ανά τον κόσμο. Οι κύριες εφαρμογές του περιλαμβάνουν τα ηλιακά συστήματα (θερμικά και φωτοβολταϊκά), τα ΚΣΜΚΕ, τα συστήματα ΘΨΚ, τα συστήματα ΑΠΕ και τη συμπαραγωγή. [110]

Το TRNSYS (Transient System Simulation Tool) είναι ένα πρόγραμμα μεταβατικής (transient) προσομοίωσης συστημάτων με αρθρωτή δομή. Είναι διαθέσιμο από το 1975, ενώ δημιουργήθηκε από το Πανεπιστήμιο του Wisconsin. Η βιβλιοθήκη του περιλαμβάνει πολλά από τα στοιχεία που βρίσκονται συνήθως σε συστήματα θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και δυνατότητα ορισμού δεδομένων καιρού ή άλλων λειτουργιών εξαρτώμενων από τον χρόνο. Πρόκειται για ένα δύσχρηστο πρόγραμμα το οποίο όμως χρησιμοποιείται κατά κόρον από ερευνητές και



Εικόνα 52: Έμβλημα του Πανεπιστημίου του Strathclyde [111]

λεπτομερή στα μετέπειτα στάδια και 3) επιτρέπει ολοκληρωμένες αξιολογήσεις επιδόσεων κατά τις οποίες κανένα μεμονωμένο ζήτημα δεν λαμβάνει μεγαλύτερης προσοχής. Δύναται να μοντελοποιήσει μετάδοση θερμότητας, αέρα, υγρασία, φως, ροή ηλεκτρικού ρεύματος, σε καθορισμένες από τον χρήστη χωρική και χρονικές αναλύσεις. Έχει σχεδιαστεί για το λειτουργικό σύστημα Linux, αλλά υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας του και σε περιβάλλον Windows. [111], [112]

Το ESP-r (Environmental Systems Performance – Research) αποτελεί ένα εργαλείο μοντελοποίησης για την μεταβατική προσομοίωση ενεργειακής απόδοσης κτηρίων. Είναι ελεύθερο λογισμικό για ερευνητική κυρίως χρήση. Δημιουργήθηκε το 1974 στο Πανεπιστήμιο του Strathclyde στη Γλασκώβη της Σκωτίας, και ο κύριος στόχος του είναι η προσομοίωση των επιδόσεων του κτηρίου, κατά τρόπο που 1) αντιστοιχεί στην πραγματικότητα, 2) υποστηρίζει τον τόσο τον προσχεδιασμό στα αρχικά στάδια, όσο και τον



Εικόνα 53: Λογότυπο της εταιρείας IES [113]

Το IES-VE (Integrated Environmental Solutions – Virtual Environment) είναι ένα εμπορικό λογισμικό μοντελοποίησης, που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση ενεργειακής κατανάλωσης. Έχει επίσης δημιουργηθεί στο Πανεπιστήμιο της Γλασκώβης. Περιλαμβάνει δομοστοιχεία (modules) που καλύπτουν διάφορους τομείς της ενεργειακής κατανάλωσης, όπως η σκίαση, ο σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση συστημάτων ΘΨΚ, η ροή αέρα, η ανάλυση κλίματος και καιρού, κα. Δέχεται γεωμετρία 3D από CAD προγράμματα, δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού για πιστοποίηση LEED, για σχεδιασμό βάσει των κανονισμών Βορείου Αμερικής, Ηνωμένου Βασιλείου και Ιρλανδίας, αλλά και τη δυνατότητα για ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής (Life-Cycle Cost Analysis). [113], [114]



Εικόνα 54: Λογότυπο του προγράμματος eQUEST [115]

Το eQUEST είναι ένα δωρεάν, γρήγορο και εύχρηστο πρόγραμμα, βασισμένο στο πρόγραμμα προσομοίωσης DOE 2 (που δημιουργήθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ). Δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής αρχείων γεωμετρίας από τρίτα προγράμματα, αλλά και τη δυνατότητα σχεδιασμού στο περιβάλλον του. Με τον Οδηγό Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Efficiency Wizard) παρέχεται η δυνατότητα εισαγωγής διαφόρων παραμέτρων αλλά και κλιματικών δεδομένων για πλήθος τοποθεσιών στη Βόρεια Αμερική. [115]



Εικόνα 55: Λογότυπο του προγράμματος Simergy [116]

Το Simergy είναι ένα πρόγραμμα GUI (Graphical User Interface) που χρησιμοποιεί τη μηχανή προσομοίωσης EnergyPlus. Και τα δύο προγράμματα έχουν αναπτυχθεί από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ. Παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής σχεδίου από πρόγραμμα BIM (Building Information Modeling) ή 2D CAD (2-Dimensional Computer Aided Design), αλλά και τη δυνατότητα άμεσης δημιουργίας γεωμετρίας. Το σύνολο προτύπων (templates) HVAC που διαθέτει χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες: 1) Επιλογές υψηλής απόδοσης για σχεδιασμό κτηρίου μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, 2) Βασικά συστήματα κατά ASHRAE 90.1, 3) Τυπικά συστήματα. [116]



Εικόνα 56: Λογότυπο του προγράμματος DesignBuilder [117]

Το DesignBuilder είναι ένα βρετανικό πρόγραμμα που χρησιμοποιεί τη μηχανή προσομοίωσης EnergyPlus. Επικεντρώνεται σε τέσσερις τύπους ενεργειακής προσομοίωσης: 1)

προσομοίωση συστημάτων ψύξης, 2) προσομοίωση συστημάτων θέρμανσης, 3) προσομοίωση πραγματικών καιρικών δεδομένων και 4) προσομοίωση δείκτη ενεργειακής απόδοσης. Βοηθά στην αξιολόγηση της περιβαλλοντικής απόδοσης νέων και υφιστάμενων κτηρίων. Δέχεται αρχεία από προγράμματα BIM, ενώ είναι δυνατός και ο σχεδιασμός στο περιβάλλον του. Η ανάλυση περιλαμβάνει παραμέτρους όπως η θερμική άνεση, τα HVAC, τον φυσικό φωτισμό και επιλογές όπως ο σχεδιασμός για πιστοποίηση LEED και BREEAM. [114], [117]

Το λογισμικό που είναι πιο διαδεδομένο αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα είναι το TEE KENAK, το οποίο αναπτύχθηκε από την Ομάδα Εκοικονόμησης Ενέργειας του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) σε συνεργασία με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ). Υπολογίζει την ενεργειακή απόδοση και ενεργειακή κατάταξη των κτηρίων βάσει της μεθόδου ημισταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος, σύμφωνα με το Άρθρο 5 του ΚΕΝΑΚ [7], [118]. Γνωστές διεπαφές για το πρόγραμμα αυτό αποτελούν το 4M-KENAK και το Energyplus.

### 5.1.2 Το πρόγραμμα EnergyPlus

Τη δεκαετία του '60 έγιναν τα πρώτα βήματα δημιουργίας εργαλείων που καλούνται Building Energy Modeling (BEM). Πρώτοι οι ακαδημαϊκοί και οι κρατικοί υπάλληλοι είχαν πρόσβαση σε αυτά. Ειδικότερα, η Ταχυδρομική Υπηρεσία των ΗΠΑ επένδυσε σε ένα λογισμικό που θα εκτιμούσε τη θερμική απόδοση των κτηρίων. Τη δεκαετία του '70 το Εθνικό Γραφείο Τυποποίησης (τότε NBS, πλέον NIST) των ΗΠΑ δημιούργησε το πρόγραμμα NBSLD (National Bureau of Standards Load Determination) σε γλώσσα FORTRAN για να μελετήσει την διαρκώς αυξάνουσα κατανάλωση ενέργειας. Έπειτα, το Υπουργείο Αμύνης (DOD) των ΗΠΑ προσαρμοσε τον κώδικα του NBSLD σε ένα νέο λογισμικό προσομοίωσης ονόματι BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics). Παράλληλα, το Υπουργείο Ενέργειας (DOE) των ΗΠΑ μετέτρεψε το λογισμικό της Ταχυδρομικής Υπηρεσίας σε FORTRAN και δημιούργησε το DOE-2. Το 1998 το BLAST καταργείται και το DOE-2 σταματά να λαμβάνει χρηματοδοτήσεις από το Υπουργείο Αμύνης. Την ίδια περίοδο, το Υπουργείο Ενέργειας δημοσιεύει άρθρα κάνοντας λόγο για ένα πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης νέας γενιάς, το οποίο είναι πέρα από τα BLAST και DOE-2. Η μηχανή προσομοίωσης δημιουργείται εκ νέου και ονομάζεται EnergyPlus. Αρχικά σε κώδικα FORTRAN, το 2014 το EnergyPlus επαναπρογραμματίζεται σε C++ και γίνεται προσβάσιμη σε εθνικά εργαστήρια, πανεπιστήμια και εταιρείες. [119, pp. 3, 4]



Εικόνα 57: Λογότυπο του EnergyPlus [120]

Το EnergyPlus είναι πλέον μία μηχανή προσομοίωσης που χρησιμοποιείται από μηχανικούς, αρχιτέκτονες και ερευνητές οι οποίοι επιθυμούν να σχεδιάσουν σε ένα κτήριο τις ενεργειακές ροές. Έχει δυνατότητα ταυτόχρονης επίλυσης συνθηκών για πολλαπλές θερμικές ζώνες καθώς και για τα συστήματα ΘΨΚ. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού χρονοδιαγραμμάτων με την ακρίβεια βήματος μικρότερου της ώρας και υπολογίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ θερμικών ζωνών και περιβάλλοντος. Στο μοντέλο λαμβάνεται υπόψη η μεταφορά θερμότητας και μάζας που ευθύνεται για την κίνηση του αέρα μεταξύ των θερμικών ζωνών. Επιπλέον, τα μοντέλα παραθύρων (fenestration models) δύνανται να προσομοιώσουν ελεγχόμενες περσίδες, ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες, και υπολογίζουν την ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από τους υαλοπίνακες παραθύρων, αλλά και την οπτική άνεση και τη θάμβωση.

Ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε ότι το EnergyPlus θα ήταν αποκλειστικά μία μηχανή προσομοίωσης, στην οποία θα εισάγονται αρχεία κειμένου και από την οποία θα εξάγονται αποτελέσματα. Τα αρχεία εισαγωγής, Input Data Files (.idf), για περίπλοκα κτήρια μπορεί να περιέχουν δεκάδες χιλιάδες γραμμές πληροφοριών όπως η γεωμετρία, οι κατασκευές, τα θερμικά φορτία, τα συστήματα ΘΨΚ, κλπ. Καθώς η δημιουργία τέτοιων αρχείων χειροκίνητα θα ήταν, όχι μόνο χρονοβόρα, αλλά και επιρρεπής σε σφάλματα, το Υπουργείο Ενέργειας επέτρεψε σε τρίτες εταιρείες λογισμικών να αναλάβουν τη δημιουργία Γραφικής Διεπαφής Χρήστη (Graphical user-interface, GUI) η οποία θα μπορούσε να δημιουργήσει αρχεία .idf. Έτσι σχεδιάστηκε το OpenStudio SketchUp Plug-In. [119, pp. 3, 4], [120]

### 5.1.3 Η διεπαφή OpenStudio

Το 2008 ένας ερευνητής στο Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας (NREL) των ΗΠΑ δημιούργησε το OpenStudio SketchUp Plug-In. Το -τότε- Google SketchUp ήταν δωρεάν και αρκετά διαδεδομένο και έτσι το Plug-In διαδόθηκε γρήγορα και διευκόλυε τη δημιουργία των αρχείων .idf. Έμενε να βρεθεί ευκολότερος τρόπος να εισάγονται οι υπόλοιπες παράμετροι που χρειαζόταν το EnergyPlus. [119, pp. 3, 4]



Εικόνα 58: Λογότυπο του OpenStudio [121]

Το 2010, το NREL εξέδωσε μία νέα εκδοχή του OpenStudio, το οποίο πλέον ήταν ένα Σετ Εργαλείων Ανάπτυξης Λογισμικού (Software Development Kit, SDK), ελαχιστοποιώντας έτσι τον χρόνο και το κόστος νέων BEM εφαρμογών. Στις επόμενες εκδοχές του, το OpenStudio διευρύνει τις δυνατότητες του EnergyPlus, υποστήριξε τη μηχανή ανάλυσης ημερήσιας ακτινοβολίας (Radiance daylight analysis), προσέθεσε εφαρμογές-παραδείγματα και εισήγαγε νέα πρότυπα BEM. Τέλος, το OpenStudio όπως και το EnergyPlus είναι προγράμματα ανοιχτού κώδικα (open source). [119, pp. 4, 5], [121]

## 5.2 Διαδικασία προετοιμασίας μοντέλου προσομοίωσης

Για τον σχεδιασμό του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SketchUp Pro 2021 και το OpenStudio plug-in, εκδοχή 1.3.0, ενώ για την προσομοίωση καθ'εαυτή, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή OpenStudio, εκδοχή 1.3.0. Για να οπτικοποιηθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, εγκαταστάθηκε η εφαρμογή/εργαλείο DView, η οποία είναι συμβατή με το OpenStudio και προσφέρει πίνακες αποτελεσμάτων, πίτες και αρχεία μορφής .html.

Η διαδικασία σχεδιασμού και συμπλήρωσης των παραμέτρων για την επιτυχή εκτέλεση της προσομοίωσης απαιτεί παράλληλη εργασία και στα δύο περιβάλλοντα (SketchUp και OpenStudio). Κάτωθι αναπτύσσονται αρχικά οι λειτουργίες και τα εργαλεία στο περιβάλλον του SketchUp και στη συνέχεια αναπτύσσονται και επεξηγούνται οι λειτουργίες στο περιβάλλον του OpenStudio.

Τα εργαλεία που προσφέρει το OpenStudio plug-in στο πρόγραμμα SketchUp και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική είναι τα εξής:

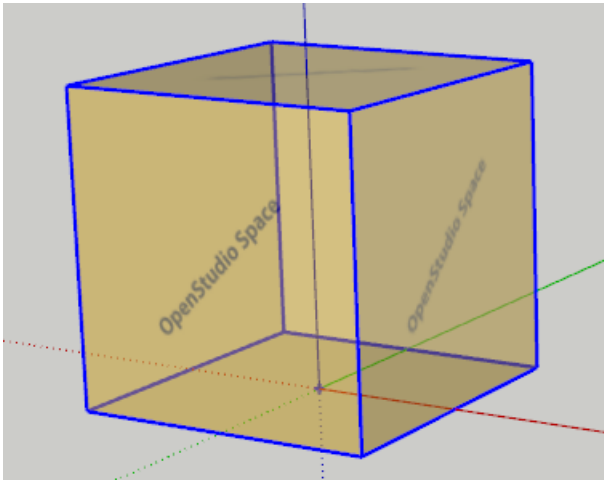
### 1. Αποθήκευση Μοντέλου OpenStudio (*Save Openstudio Model*)

Η επιλογή αυτή αποθηκεύει το μοντέλο που έχει σχεδιαστεί σε αρχείο .osm, το οποίο ανοίγει και με την εφαρμογή OpenStudio.

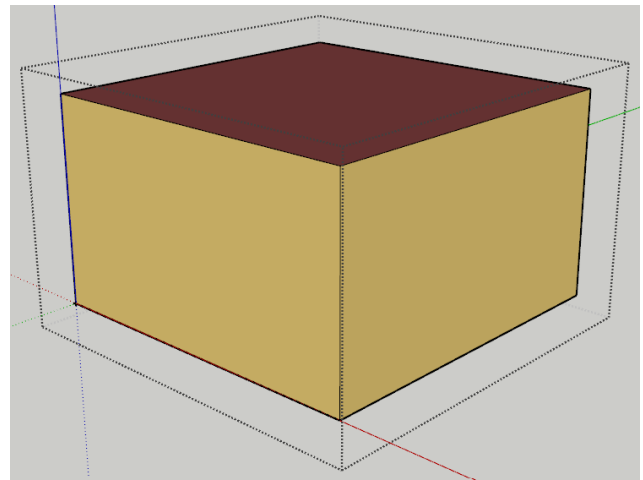


## 2. Νέος Χώρος (*New Space*)

Με αυτή την επιλογή ορίζεται η αρχή ενός νέου χώρου. Αφού επιλεγθεί το σημείο έναρξης, εμφανίζεται ένας κύβος εντός του οποίου βρίσκονται όλα τα στοιχεία που ανήκουν σε αυτό τον χώρο. Με διπλό αριστερό κλικ ενεργοποιείται ο χώρος και είναι δυνατή η σχεδίαση εντός του κύβου. Με τα βασικά εργαλεία του SketchUp, όπως τα line, rectangle, select, move, κλπ, δημιουργούνται οι επιφάνειες που αποτελούν το κέλυφος του χώρου (δάπεδο, οροφή, περιμετρικοί τοίχοι).



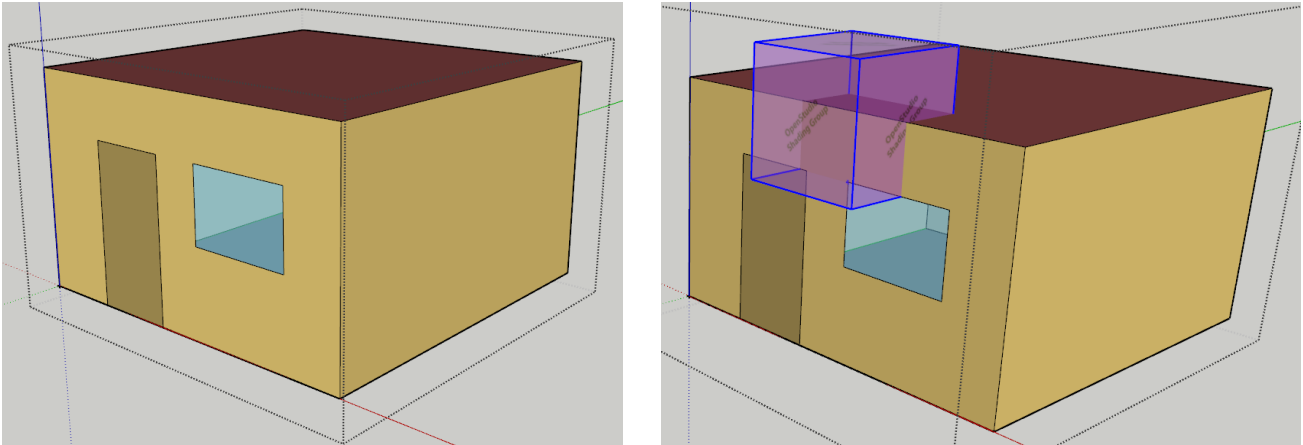
Εικόνα 59: Έναρξη σχεδιασμού Νέου Χώρου



Εικόνα 60: Παράδειγμα σχεδιασμού επιφανειών

Διαφορετικοί τύποι επιφανειών έχουν διαφορετικό χρώμα. Το δάπεδο είναι γκρι, η οροφή κόκκινη και η τοιχοποιία κίτρινη. Κάθε επιφάνεια που σχεδιάζεται έχει δύο όψεις. Η εσωτερική είναι ανοιχτόχρωμη και η εξωτερική σκουρόχρωμη. Αν κάποια επιφάνεια έχει τις δύο όψεις της λάθος ορισμένες, με δεξί κλικ πάνω στη συγκεκριμένη επιφάνεια επιλέγεται το “Reverse Faces”. Αν κάποια επιφάνεια έχει οριστεί με διαφορετικό τύπο επιφάνειας (π.χ. δάπεδο αντί για οροφή), επιλέγεται ο επιθεωρητής (*Inspector*), ο οποίος αναλύεται παρακάτω.

Για τον σχεδιασμό ανοιγμάτων (υποεπιφανειών), χρησιμοποιούνται τα ίδια εργαλεία με προηγουμένως, αλλά οι υποεπιφάνειες σχεδιάζονται επί των επιθυμητών επιφανειών. Αν η μία μεριά της υποεπιφάνειας αγγίζει την κάτω ακμή της επιφάνειας-γονέα (*parent-surface*), τότε η πρώτη ορίζεται αυτόματα ως πόρτα, διαφορετικά ως παράθυρο. Η πόρτα έχει χρώμα καφέ και το παράθυρο είναι γαλάζιο και ημιδιαφανές. Η αλλαγή της ταυτότητας ενός ανοίγματος, λ.χ. από πόρτα σε παράθυρο, γίνεται από τον επιθεωρητή (*Inspector*).

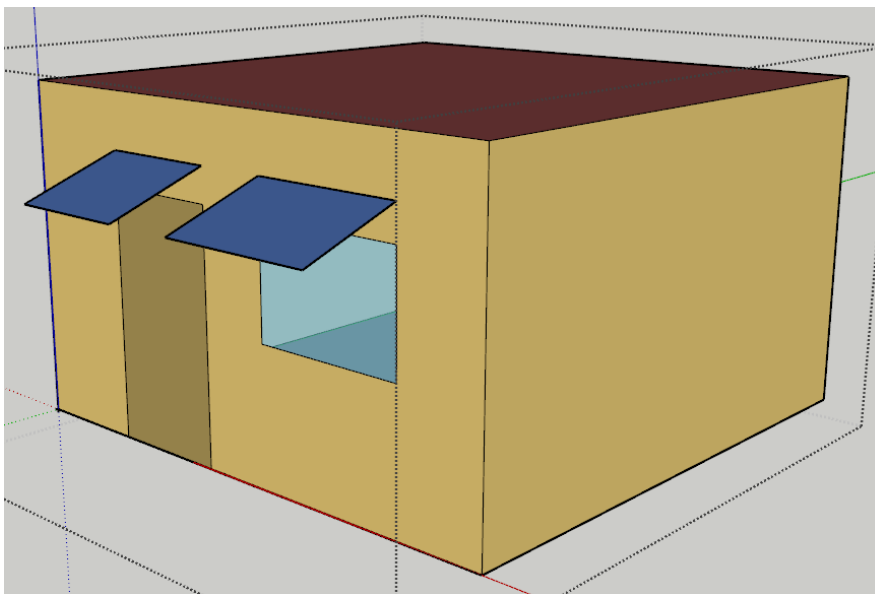


Εικόνα 61 (αριστερά): Παράδειγμα σχεδιασμού υποεπιφανειών σε έναν νέο χώρο

Εικόνα 62 (δεξιά): Έναρξη σχεδίασης επιφάνειας σκίασης

### 3. Νέα Ομάδα Επιφανειών Σκίασης (*New Shading Surface Group*)

Για τον σχεδιασμό επιφανειών σκίασης επιλέγεται το αντίστοιχο εικονίδιο και αφού επιλεχθεί το σημείο έναρξης της ομάδας επιφανειών, εμφανίζεται, όπως και στην έναρξη σχεδίασης νέου χώρου, ένας κύβος. Με διπλό αριστερό κλικ ενεργοποιείται και ο χρήστης καλείται να σχεδιάσει τις επιθυμητές επιφάνειες σκίασης. Οι επιφάνειες σκίασης έχουν βαθιά μπλε απόχρωση, και πρέπει η σκουρόχρωμη πλευρά να είναι αυτή η οποία είναι άμεσα εκτεθειμένη στον ήλιο.

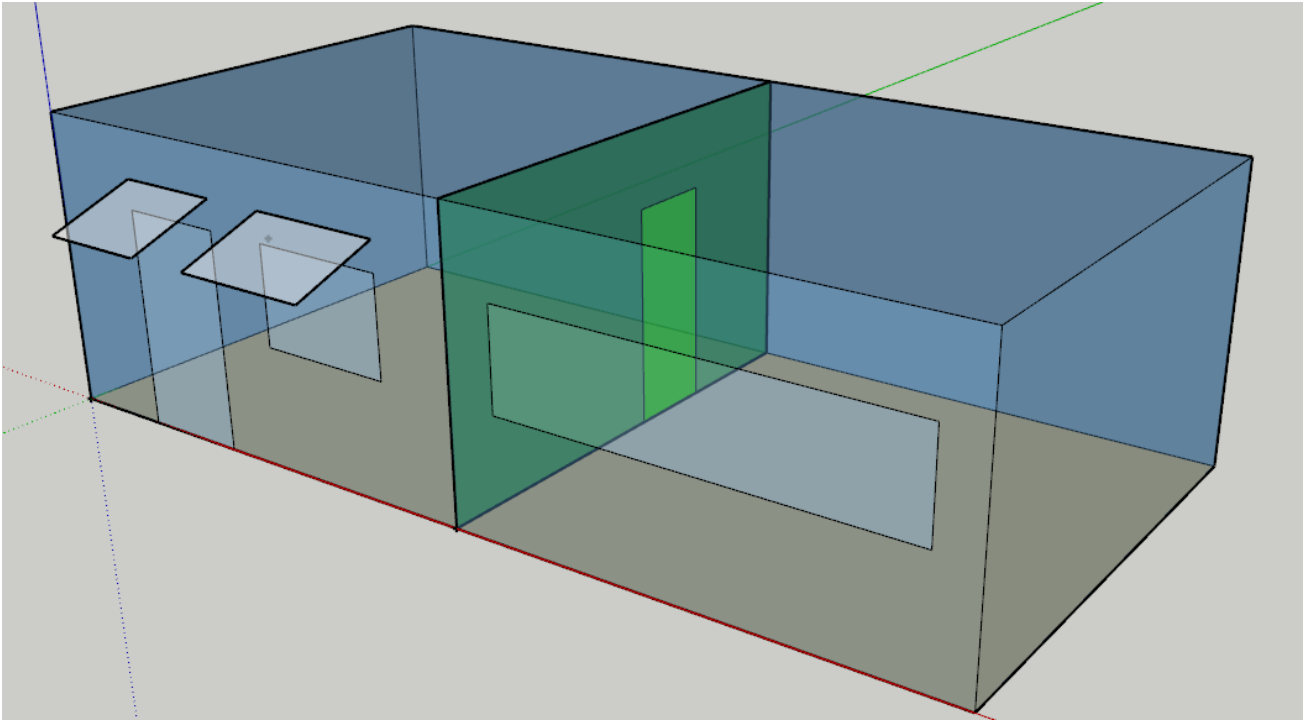


Εικόνα 63: Παράδειγμα σκιάστρων εξώθυρας και παραθύρου

### 4. Αντιστοίχιση Επιφανειών (*Surface Matching*)

Εφόσον έχουν δημιουργηθεί όλοι οι χώροι, και μερικοί από αυτούς μοιράζονται κοινές επιφάνειες, πρέπει να οριστούν στο πρόγραμμα οι επιφάνειες αυτές. Πατώντας το εικονίδιο και το “Match in Entire Model”, ορίζονται ως κοινές (και επομένως εσωτερικές) όλες οι επιφάνειες οι οποίες ανήκουν σε παραπάνω από έναν χώρους.

Επιλέγοντας την προβολή του μοντέλου βάσει οριακής κατάστασης (*Boundary Condition*), οι επιφάνειες του κτηρίου οι οποίες έχουν επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον εμφανίζονται με μπλε απόχρωση. Οι επιφάνειες που έχουν επαφή με το έδαφος έχουν χρώμα ανοιχτό καφέ, και οι εσωτερικές, αντιστοιχισμένες επιφάνειες έχουν χρώμα πράσινο.



Εικόνα 64: Απεικόνιση των οριακών καταστάσεων σε προβολή X-Ray. Οι κοινές επιφάνειες και υποεπιφάνειες δύο χώρων λαμβάνουν χρώμα πράσινο εάν έχει γίνει σωστά η διαδικασία της αντιστοίχισης.

#### 5. Ορισμός Ιδιοτήτων σε Επιλεγμένους Χώρους (*Set Attributes to Selected Spaces*)

Το συγκεκριμένο εργαλείο χρησιμοποιείται για να οριστούν σε έναν χώρο ιδιότητες όπως ο τύπος χώρου (καθημερινό, κουζίνα, λουτρό, κλπ), ο όροφος, τα υλικά από τα οποία αποτελείται, η θερμική ζώνη στην οποία ανήκει, κα. Ενώ δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας νέων τύπων χώρων, ορόφων κλπ και από το συγκεκριμένο εργαλείο, στην παρούσα διπλωματική αυτές οι ιδιότητες αρχικά δημιουργήθηκαν στο περιβάλλον του OpenStudio και στη συνέχεια ορίστηκαν στον εκάστοτε χώρο με αυτό το εργαλείο.

#### 6. Επιθεωρητής (*Inspector*)

Εν συνεχεία, ο επιθεωρητής αποτελεί ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία του συγκεκριμένου plug-in. Είναι ένα παράθυρο το οποίο δίνει τη δυνατότητα ορισμού και επεξεργασίας πληροφοριών για όλα τα αντικείμενα του μοντέλου. Για το κτήριο στο σύνολο δύναται να οριστεί η γωνία από τον Βορά, τα χρονοδιαγράμματα θερμοστατών, ΖΝΧ, κα για όλους τους χώρους, κλπ. Για έναν χώρο προσφέρεται η επιλογή ορισμού των υλικών από τα οποία αποτελείται, των χρονοδιαγραμμάτων που μπορεί να τηρεί

τα οποία διαφοροποιούνται από αυτά του συνόλου του κτηρίου, του ορόφου, της θερμικής ζώνης, και πολλά άλλα. Για μία επιφάνεια ορίζεται ο τύπος της (δάπεδο, οροφή, τοίχος), τα υλικά της, η οριακή της κατάσταση (εσωτερική, εξωτερική, σε επαφή με δάπεδο) και η έκθεσή της στον ήλιο και τον αέρα. Για μία υποεπιφάνεια ορίζεται ο τύπος της (ανοιγόμενο/σταθερό παράθυρο, πόρτα, φεγγίτης, γυάλινη πόρτα, κλπ), τα υλικά της και η οριακή της κατάσταση.

7. Απεικόνιση βάσει Τύπου Επιφάνειας, Οριακής Κατάστασης, Κατασκευής, Τύπου Χώρου, Θερμικής Ζώνης, Ορόφου Κτηρίου (*Render by SurfaceType, Boundary Condition, Construction, Space Type, Thermal Zone, Building Story*)

Τέλος, οι λειτουργίες που αναφέρονται παραπάνω προσφέρουν τη δυνατότητα προβολής του κτηρίου ανάλογα με την κατηγορία χαρακτηριστικών που επιθυμάται να ελεγχθούν.

Αναφορικά με τα εργαλεία σχεδιασμού στο περιβάλλον του SketchUp, ένα αρχείο .osm δεν αναγνωρίζει συμπαγή στοιχεία τριών διαστάσεων, οπότε εντολές όπως η PressPull χρίζονται ακατάλληλες. Το μοντέλο της ανά χειράς διπλωματικής συστάθηκε εξ ολοκλήρου από δισδιάστατες επιφάνειες και υποεπιφάνειες, στις οποίες έπειτα αποδόθηκαν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά.

### 5.3 Εργαλεία παραμετροποίησης μοντέλων στο OpenStudio

Το περιβάλλον του OpenStudio είναι αρκετά εύχρηστο. Διαθέτει 15 καρτέλες σε στήλη στο αριστερά μέρος της οθόνης, οι οποίες πρέπει να ελεγχθούν και να διαμορφωθούν προκειμένου να πραγματοποιηθεί σωστά κάποια προσομοίωση. Παρακάτω σημειώνονται οι 15 αυτές καρτέλες, ενώ στη συνέχεια επεξηγείται η λειτουργία κάθε καρτέλας (και υποκαρτέλας), και πώς αυτές χρησιμοποιήθηκαν στο κτήριο της παρούσας διπλωματικής:

A/A	Όνομα καρτέλας
1	Χαρακτηριστικά τοποθεσίας ( <i>Site</i> )
2	Χρονοδιαγράμματα ( <i>Schedules</i> )
3	Κατασκευές ( <i>Constructions</i> )
4	Φορτία ( <i>Loads</i> )
5	Τύποι χώρων ( <i>Space Types</i> )
6	Γεωμετρία ( <i>Geometry</i> )
7	Λειτουργία ( <i>Facility</i> )
8	Χώροι ( <i>Spaces</i> )
9	Θερμικές ζώνες ( <i>Thermal Zones</i> )
10	Συστήματα ΘΨΚ και ΖΝΧ ( <i>HVAC Systems</i> )
11	Μεταβλητές εξόδου ( <i>Output Variables</i> )
12	Ρυθμίσεις προσομοίωσης ( <i>Simulation Settings</i> )
13	Μετρήσεις ( <i>Measures</i> )
14	Εκκίνηση προσομοίωσης ( <i>Run Simulation</i> )
15	Σύνοψη αποτελεσμάτων ( <i>Results Summary</i> )

Πίνακας 5.2.1: Όλες οι καρτέλες που διαθέτει το OpenStudio

Παρακάτω αναφέρονται οι λειτουργίες κάθε καρτέλας (και υποκαρτέλας), και πώς χρησιμοποιήθηκε στο κτήριο της παρούσας διπλωματικής:

#### 1. Χαρακτηριστικά τοποθεσίας (*Site*)

Σε αυτή την καρτέλα εισάγονται τα στοιχεία της τοποθεσίας, όπως είναι τα καιρικά δεδομένα σύμφωνα με την τοποθεσία του κτηρίου μελέτης, η χρονιά από την οποία έχουν αντληθεί τα δεδομένα αυτά, η ημερομηνία αλλαγής της ώρας, και οι ημέρες σχεδιασμού (με δεδομένα για θερμοκρασίες, υγρασία, στοιχεία ανέμου και στοιχεία ηλιοφάνειας).

Στην ιστοσελίδα του EnergyPlus [120] παρέχονται για λήψη, δωρεάν αρχεία καιρικών δεδομένων (υπό τη μορφή .erw) και δεδομένων ημερών σχεδιασμού (υπό τη μορφή .ddy), ανάλογα με την τοποθεσία που ζητείται. Πιο συγκεκριμένα, για την εισαγωγή του αρχείου .erw, ο χρήστης επιλέγει το “Change Weather File” και βρίσκει την τοποθεσία του αρχείου εντός της συσκευής του και το επιλέγει. Για την εισαγωγή του αρχείου .ddy, επιλέγεται το “Import from DDY” και με την ίδια μέθοδο επιλέγεται το αρχείο. Στη συνέχεια επιλέγεται η χρονιά προσομοίωσης, για την οποία επιλέχθηκε το *First Day of Year* και η επιλογή *UseWeatherFile*, ώστε το OpenStudio να αντλήσει αυτή την πληροφορία από το αρχείο καιρού.



## 2. Χρονοδιαγράμματα (*Schedules*)

Η καρτέλα με τα χρονοδιαγράμματα περιλαμβάνει δύο υποκαρτέλες. Τα χρονοδιαγράμματα (*Schedules*) και τα σετ χρονοδιαγραμμάτων (*Schedule Sets*). Στην πρώτη, ο χρήστης δύναται να κατασκευάσει εκ του μηδενός ή να επεξεργαστεί ήδη υπάρχοντα χρονοδιαγράμματα. Τα χρονοδιαγράμματα αυτά, ανάλογα με το είδος που επιθυμεί ο χρήστης θα έχουν στον ένα άξονα τον χρόνο, και στον άλλο τη θερμοκρασία, την ταχύτητα, την πίεση, τη χωρητικότητα, ένα ποσοστό, κα. Έτσι δημιουργούνται χρονοδιαγράμματα για τις ώρες λειτουργίας του κτηρίου, τον αριθμό των ατόμων που το χρησιμοποιούν, τη δραστηριότητά τους, τον φωτισμό, τις ηλεκτρικές συσκευές, το αέριο, το ZNX, τον αερισμό, κα.

Όταν δημιουργηθούν όλα τα επιθυμητά χρονοδιαγράμματα, πρέπει να τοποθετηθούν σε ένα (ή περισσότερα, αναλόγως τον τρόπο που λειτουργούν οι χώροι του κτηρίου) σετ χρονοδιαγραμμάτων. Αυτά τα σετ θα τοποθετηθούν αργότερα στις εκάστοτε θερμικές ζώνες και θα χρησιμεύσουν στον σχεδιασμό των συστημάτων ZNX και ΘΨΚ.

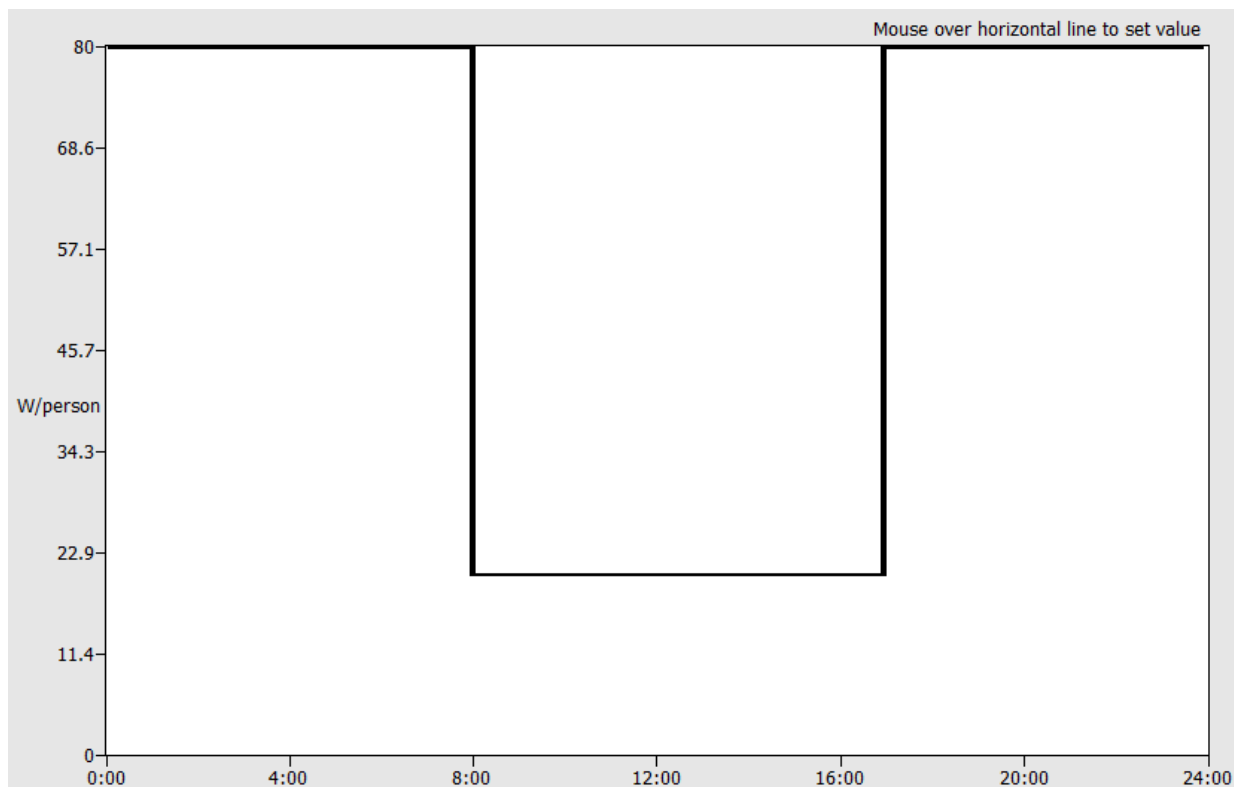
Στην περίπτωση μελέτης της κατοικίας που περιγράφεται στη συγκεκριμένη διπλωματική, έχουν δημιουργηθεί τα εξής χρονοδιαγράμματα:

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1) Θέρμανση (°C)                    | 4) Ώρες λειτουργίας (αδιάστατο, τιμές 0-1) |
| 2) Ψύξη (°C)                        | 5) Θέρμανση Αποθήκης (°C)                  |
| 3) Δραστηριότητα κατοίκων (W/άτομο) | 6) Αερισμός (αδιάστατο, τιμές              |

Για να δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα, επιλέγεται η υποκαρτέλα “Schedules” και στη συνέχεια το σύμβολο “+” για να προστεθεί νέο χρονοδιάγραμμα. Αφού επιλεγθεί ο επιθυμητός τύπος χρονοδιαγράμματος, είναι δυνατή η σχεδίαση ενός διαγράμματος το οποίο να τίθεται σε ισχύ καθ’όλο το έτος, αλλά και η σχεδίαση διαφορετικών διαγραμμάτων για διαφορετικές ημέρες του έτους (λ.χ. εργάσιμες ημέρες και αργίες).

Για την πρώτη επιλογή, συμπληρώνεται το διάγραμμα στην προκαθορισμένη επιλογή “Default”. Για τη δεύτερη επιλογή, είναι αναγκαίος ο ορισμός περιόδων «Προτεραιότητας», δηλαδή ημερών που υπερβαίνουν το προεπιλεγμένο (*Default*) χρονοδιάγραμμα. Για τον ορισμό των περιόδων αυτών, επιλέγεται το “Run Period Profiles”.

Προαιρετικά δίνεται ένα όνομα στην Προτεραιότητα αυτή (λ.χ. Χριστούγεννα), και στη συνέχεια ορίζεται η περίοδος, σύμφωνα με το εύρος των ημερών του έτους που ισχύει η συνθήκη (λ.χ. 25 Δεκεμβρίου με 2 Ιανουαρίου) και σύμφωνα με τις ημέρες της εβδομάδας (Δευτέρα – Κυριακή).



Εικόνα 65: Παράδειγμα χρονοδιαγράμματος για την εκλυόμενη θερμική ισχύ λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας

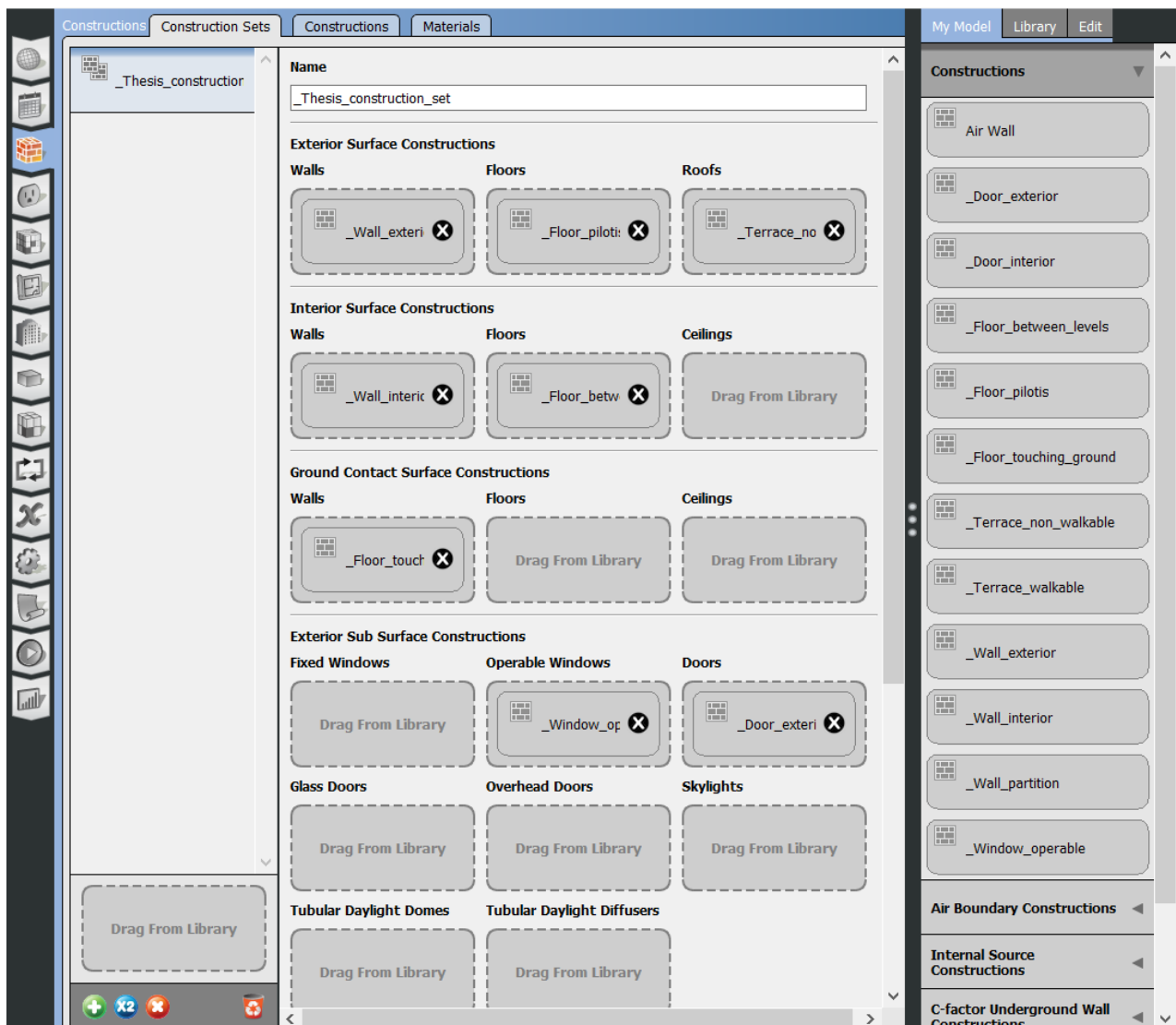
Στη συνέχεια, αφού δημιουργηθούν όλα τα χρονοδιαγράμματα, γίνεται η μετάβαση στην υποκαρτέλα “Schedule Sets”. Εκεί, για τη δημιουργία νέου σετ χρονοδιαγραμμάτων, επιλέγεται το “+” και στο δεξί μέρος της οθόνης, από τη λίστα “My Model” με τη λειτουργία “Drag and drop” τοποθετούνται τα χρονοδιαγράμματα στους αντίστοιχους τίτλους (ώρες λειτουργίας, αριθμός ατόμων, κλπ).

### 3. Κατασκευές (*Constructions*)

Η καρτέλα των Κατασκευών περιλαμβάνει τις υποκαρτέλες Υλικών (*Materials*), των Κατασκευών (*Constructions*), και των Σετ Κατασκευών (*Construction Sets*).

Στην καρτέλα των Υλικών εισάγονται (ή αντλούνται από την βιβλιοθήκη του OpenStudio) τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή (λ.χ. πλίνθοι, σοβάδες, μονωτικά υλικά, σκυρόδεμα, κλπ). Εκεί ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει και τα ειδικά χαρακτηριστικά των Υλικών, όπως το πάχος τους, ο συντελεστής λ, η πυκνότητα και η τραχύτητα της επιφάνειας αυτών.

Αφού συμπληρωθούν τα υλικά που θα τοποθετηθούν στο κτήριο, δημιουργούνται οι Κατασκευές (*Constructions*). Πρόκειται ουσιαστικά για συνθέσεις των επιμέρους υλικών, ώστε να συγκροτηθούν όλοι οι τύποι επιφανειών που υπάρχουν στο κτήριο.



Εικόνα 66: Συμπλήρωση των Σετ Κατασκευών

Στα Σετ Κατασκευών (*Construction Sets*) περιλαμβάνονται όλες οι Κατασκευές που θα χρησιμοποιηθούν στο κτήριο. Με χρήση της λειτουργίας drag and drop, από την λίστα **My Model**, και αναπτύσσοντας τη λίστα **Constructions**, εισάγονται όλες οι Κατασκευές στις κατάλληλες θέσεις, έτσι ώστε να συμπληρωθούν αυτόματα οι κατασκευές στις επιφάνειες του ήδη σχεδιασμένου κτηρίου.

Για τον τρόπο χρήσης των λειτουργιών αυτής της καρτέλας, τηρείται η ίδια λογική με την προηγούμενη καρτέλα. Στην υποκαρτέλα “Materials” και στη λίστα “Materials”, δημιουργείται νέο υλικό, στο οποίο προεραϊκά δίνεται όνομα, και στο οποίο ορίζονται τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του. Αντίστοιχα, στην υποκαρτέλα “Constructions” δημιουργείται νέα κατασκευή, στην οποία τα υλικά προστίθενται από τη λίστα βάσει της λειτουργίας “Drag and drop”. Τέλος, στην υποκαρτέλα “Construction Sets” προστίθενται οι κατασκευές από τη λίστα “My Model” όπως και προηγουμένως.

#### 4. Φορτία (*Loads*)

Τα Φορτία είναι η καρτέλα στην οποία ορίζονται τα θερμικά φορτία που προέρχονται από συγκεκριμένες λειτουργίες ή δραστηριότητες. Δύναται να οριστεί ο αριθμός των χρηστών (*People Definitions*), η ισχύς των λαμπτήρων φωτισμού (*Lights Definitions*), η ισχύς του ηλεκτρονικού εξοπλισμού της κατοικίας (*Electric Equipment Definitions*), κα.

Όπως και προηγουμένως, έτσι και σε αυτή την καρτέλα, επιλέγεται το φορτίο που εκκρεμεί να οριστεί, λ.χ. το “People Definitions” και στη συνέχεια συμπληρώνονται τα απαραίτητα πεδία, πληκτρολογώντας τις επιθυμητές τιμές.

#### 5. Τύποι Χώρων (*Space Types*)

Αυτή η καρτέλα περιλαμβάνει κατηγορίες χώρων, ορισμένες από τον σχεδιαστή. Χώροι ίδιου τύπου συνήθως χαρακτηρίζονται από παρόμοια Σετ Κατασκευών (*Construction Sets*), Σετ Χρονοδιαγραμμάτων (*Schedule Sets*), Προδιαγραφές Σχεδιασμού Εξωτερικού Αέρα (*Design Specification Outdoor Air*), κλπ. Έτσι, για διαφορετικούς χώρους του σπιτιού (λ.χ. λουτρό, αποθήκες, υπνοδωμάτια, κουζίνες κλπ), ορίζεται η ανθρώπινη δραστηριότητα, ο ηλεκτρικός εξοπλισμός, οι αλλαγές αέρα ανά ώρα, οι τιμές του θερμοστάτη, κα.

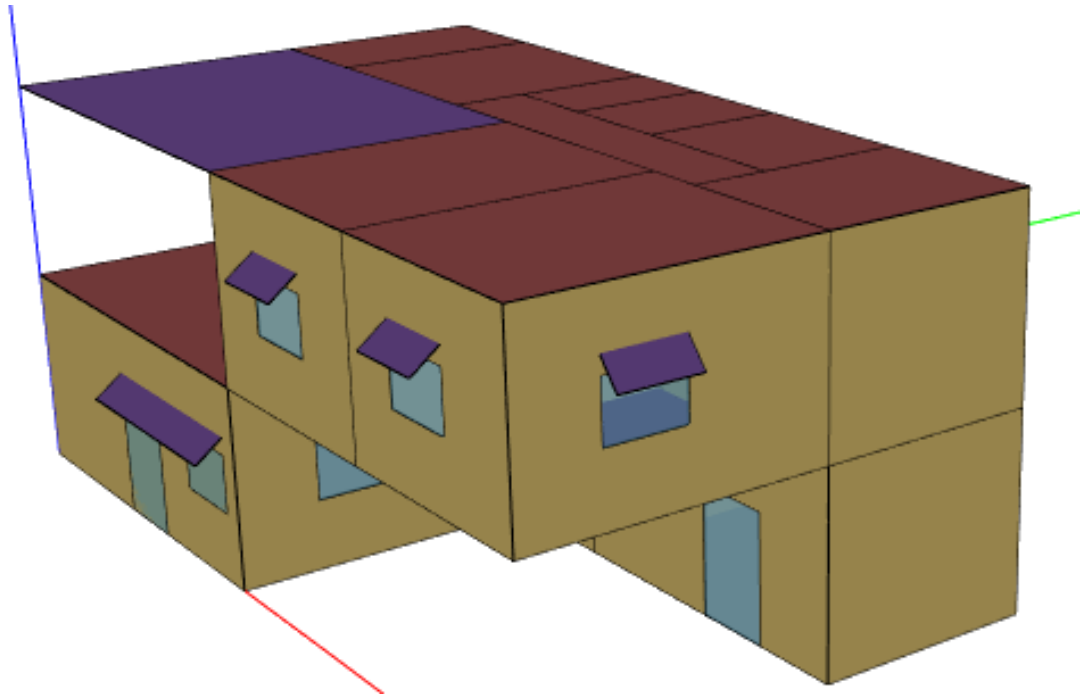
Για τη συμπλήρωση της υποκαρτέλας “General”, ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τις προηγούμενες καρτέλες. Για την υποκαρτέλα “Loads”, κάτω από τη λίστα “Definition” με τη λειτουργία “Drag and drop” τοποθετούνται τα φορτία που συμπληρώθηκαν στην προηγούμενη καρτέλα σε κάθε τύπο χώρου στον οποίο θα ισχύουν τα εκάστοτε φορτία. Εν συνεχεία, στη λίστα “Schedule”, ανάλογα με το φορτίο που εφαρμόστηκε στον εκάστοτε χώρο, τοποθετείται το χρονοδιάγραμμα που εκφράζει τη λειτουργία του φορτίου αυτού, και στη λίστα “Activity Schedule” τοποθετείται το χρονοδιάγραμμα που εκφράζει την ανθρώπινη δραστηριότητα σε αυτό τον τύπο χώρου.

#### 6. Γεωμετρία (*Geometry*)

Η καρτέλα αυτή δίνει τη δυνατότητα να προβληθεί το μοντέλο που έχει σχεδιαστεί (είτε μέσω OpenStudio είτε μέσω SketchUp). Το μοντέλο προβάλλεται, ανάλογα με την ανάγκη του σχεδιαστή, σύμφωνα με τον τύπο επιφάνειας (οροφή, δάπεδο, τοίχος, σκίαστρο, κλπ – *Surface Type*), την κατάσταση ορίων (*Boundary*), τις Κατασκευές (*Construction*), τις θερμικές ζώνες (*Thermal Zone*), τους τύπους χώρων (*Space Type*) και τον όροφο (*Building Story*). Υπάρχει η δυνατότητα να αναζητηθεί μία συγκεκριμένη

επιφάνεια ή υπο-επιφάνεια, ώστε να εξακριβωθεί η κατάστασή της, η κατασκευή από την οποία αποτελείται, η τοποθεσία της, κλπ.

Ενώ υπάρχει η υποκαρτέλα “Editor”, αν το μοντέλο έχει σχεδιαστεί στο περιβάλλον του SketchUp τότε δεν υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας της γεωμετρίας του μοντέλου στο περιβάλλον του OpenStudio.



Εικόνα 67: Προβολή αρχικού μοντέλου της παρούσας διπλωματικής στο περιβάλλον του OpenStudio, όπως φαίνεται στην καρτέλα Geometry

## 7. Λειτουργία (Facility)

Σε αυτό το σημείο αναγράφονται οι λεπτομέρειες του κτηρίου, όπως η απόκλιση του από τον Βορά, ο αριθμός των ορόφων, οι επιφάνειες σκιασμού και ο εξωτερικός εξοπλισμός. Επίσης προσφέρεται η δυνατότητα ορισμού ενός τύπου χώρων, ενός σετ κατασκευών και ενός σετ χρονοδιαγραμμάτων σε όλη την κατασκευή αυτόματα.

Για τη συμπλήρωση της υποκαρτέλας “Building” απαιτείται μόνο η πληκτρολόγηση των επιθυμητών τιμών στα κατάλληλα κενά. Στην την υποκαρτέλα “Stories” δημιουργείται νέος όροφος, στον οποίο είναι αναγκαίο να οριστεί η υψομετρική θέση του ορόφου, αλλά και το ύψος του από πλάκα σε πλάκα. Στην υποκαρτέλα “Shading” εμφανίζονται όλα τα στοιχεία σκιασμού που έχουν τοποθετηθεί. Αν η σκίαση ανήκει στο κτήριο, τότε κάτω από τη στήλη “Type” επιλέγεται το “Building”, διαφορετικά, αν η σκίαση είναι στον περιβάλλοντα χώρο (γειτονικό κτήριο, φυτά, κλπ), τότε επιλέγεται το “Site”. Και τέλος, στην καρτέλα “Exterior Equipment” φαίνεται ο εξωτερικός εξοπλισμός του κτηρίου, όπως λ.χ. ο εξωτερικός φωτισμός.



## 8. Χώροι (*Spaces*)

Η πρώτη υποκαρτέλα, “Properties”, περιλαμβάνει τους Χώρους. Οι Χώροι αποτελούν το σύνολο των δωματίων της κατασκευής, ενώ κάθε δωμάτιο (δηλ. κάθε χώρος) ανήκει σε κάποιον όροφο, σε κάποια θερμική ζώνη, σε έναν τύπο χώρου, αποτελείται από ένα σετ κατασκευών και έχει ένα σετ χρονοδιαγραμμάτων. Έτσι, σε αυτή την υποκαρτέλα, με τη λειτουργία “Drag and drop” ορίζονται όλα τα παραπάνω απαραίτητα στοιχεία.

Στην επόμενη υποκαρτέλα, “Loads”, ορίζονται τα θερμικά φορτία (μόνο εφόσον δεν έχουν οριστεί στην καρτέλα Τύπων Χώρων).

Προχωρώντας στην υποκαρτέλα “Surfaces”, ορίζονται, για κάθε Χώρο, ο τύπος επιφάνειας, η κατασκευή από την οποία αποτελείται, η Οριακή Εξωτερική Κατάσταση (*Outside Boundary Condition*), ποια επιφάνεια επαφείται με γειτονική επιφάνεια άλλου Χώρου (*Outside Boundary Condition Object*), ποια επιφάνεια είναι εκτεθειμένη στον ήλιο και ποια στον αέρα.

Στις “Subsurfaces” ορίζεται η επιφάνεια-γονέας (*Parent Surface*), επί της οποίας βρίσκεται η εκάστοτε υποεπιφάνεια, ο τύπος υποεπιφάνειας (ανοιγόμενο/ μη ανοιγόμενο παράθυρο, πόρτα, κλπ), από ποια κατασκευή αποτελείται, ποια υποεπιφάνεια επαφείται με γειτονική υποεπιφάνεια άλλου Χώρου (*Outside Boundary Condition Object*).

Η υποκαρτέλα “Interior Partitions” περιλαμβάνει τυχόν διαχωριστικά εντός ενός χώρου, τα οποία όμως δεν τέμνουν τον χώρο σε επιμέρους χώρους. Δύναται να χαρακτηριστούν και ως μέρος της θερμικής μάζας του χώρου.

Τέλος, η υποκαρτέλα “Shading” περιλαμβάνει σκίαστρα τα οποία τοοπθετούνται εντός ενός χώρου.

## 9. Θερμικές Ζώνες (*Thermal Zones*)

Σε αυτή την καρτέλα ορίζονται οι Θερμικές Ζώνες και τα χαρακτηριστικά τους. Ενεργοποιούνται/απενεργοποιούνται τα Ιδανικά Φορτία Αέρα (*Ideal Air Loads*), ορίζονται τα χρονοδιαγράμματα θερμοστάτη για τις περιόδους ψύξης και θέρμανσης, καθώς και χρονοδιαγράμματα για ύγρανση και αφύγρανση των Θερμικών Ζωνών. Σημειώνεται ότι τα Ιδανικά Φορτία Αέρα είναι μία επιλογή, η οποία προσφέρει τη δυνατότητα να μην σχεδιαστεί ένα σύστημα ΘΨΚ, αλλά η Θερμική Ζώνη να περιέχει ένα ιδεατό σύστημα που να διατηρεί τις θερμοκρασίες ψύξης και θέρμανσης που έχουν οριστεί στα Χρονοδιαγράμματα. [119, p. 88]

#### 10. Συστήματα ΘΨΚ και ΖΝΧ (*HVAC Systems*)

Η καρτέλα αυτή περιλαμβάνει όλα τα συστήματα Θέρμανσης/Ψύξης/Κλιματισμού, καθώς και το σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης. Εδώ ορίζονται οι ηλιακοί συλλέκτες, τα φωτοβολταϊκά πάνελ, οι παροχές ζεστού νερού, κλπ.

#### 11. Μεταβλητές εξόδου (*Output Variables*)

Σε αυτή την καρτέλα ενεργοποιούνται/απενεργοποιούνται οι μεταβλητές, οι οποίες μετά το πέρας της προσομοίωσης είναι επιθυμητό να εμφανιστούν στην καρτέλα Σύνοψης Αποτελεσμάτων (*Result Summary*).

#### 12. Ρυθμίσεις Προσομοίωσης (*Simulation Settings*)

Στην καρτέλα αυτή ρυθμίζονται παράμετροι της προσομοίωσης, όπως το εύρος περιόδου προσομοίωσης (*Run Period*), το βήμα της προσομοίωσης (*Timestep*),

#### 13. Μετρητές (*Measures*)

Οι μετρητές είναι αλγόριθμοι γραμμένοι στη γλώσσα προγραμματισμού Ruby, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή μετασχηματισμών σε μοντέλα και μετρούν την ενεργειακή απόδοση. Είναι εύκολοι στη χρήση και λειτουργούν αυτόνομα, πάνω από το μοντέλο του OpenStudio. Υπάρχουν μετρητές για πληθώρα λειτουργιών, π.χ. για την εφαρμογή αερισμού με ανάκτηση θερμότητας, για τον σχεδιασμό των κατάλληλων ανοιγμάτων με τα βέλτιστα επίπεδα φωτισμού/σκίασης, για δημιουργία εκθέσεων που προβάλλουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, κα.

#### 14. Έναρξη Προσομοίωσης (*Run Simulation*)

Η προσομοίωση εκκινείται επιλέγοντας το πράσινο εικονίδιο.

#### 15. Σύνοψη Αποτελεσμάτων (*Results Summary*)

Εφόσον τελειώσει η προσομοίωση, στην επόμενη καρτέλα συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν και που έχουν ενεργοποιηθεί από την καρτέλα Μεταβλητών Εξόδου (*Output Variables*).

### 5.3 Δεδομένα εισαγωγής

Για την παρούσα διπλωματική, θεωρήθηκαν τα παρακάτω:

Τοποθεσία	Αθήνα (Τατόι)
Προσανατολισμός	Νότιος
Χρήση	Κατοικία
Χρήστες	4
Ώρες, ημέρες, μήνες λειτουργίας (hr, day, month) <sup>32</sup>	18, 7, 12
Περίοδος θέρμανσης <sup>33</sup>	1 <sup>η</sup> Νοεμβρίου – 15 <sup>η</sup> Απριλίου
Περίοδος ψύξης <sup>33</sup>	15 <sup>η</sup> Μαΐου – 15 <sup>η</sup> Σεπτεμβρίου
Απαιτούμενος νωπός αέρας (ach)	0,6
Θερμοκρασία χειμερινής περιόδου (°C) <sup>34</sup>	20
Θερμοκρασία εαρινής περιόδου (°C) <sup>34</sup>	26
Σχετική υγρασία χειμερινής περιόδου (%) <sup>34</sup>	40
Σχετική υγρασία εαρινής περιόδου (%) <sup>34</sup>	45
Εκλυόμενη θερμότητα ανά χρήστη (W/person) <sup>35</sup>	80

Πίνακας 5.3.1: Βασικά δεδομένα εισαγωγής στο αρχείο .osm

Το σύστημα ΘΨΚ δεν σχεδιάστηκε, αλλά υπολογίστηκε αυτόματα από το OpenStudio, διότι ενεργοποιήθηκε η επιλογή Ιδανικών Φορτίων Αέρα (*Ideal Air Loads*) σε όλες τις θερμικές ζώνες του κτηρίου. Τα επίπεδα αερισμού που τέθηκαν είναι 0.6 ach για όλους τους χώρους. [55]

Ενεργοποιήθηκε η επιλογή αλλαγής ώρας (*Daylight Savings Time*), η οποία ορίζεται ως η περίοδος από την τελευταία Κυριακή του Οκτωβρίου ως την τελευταία Κυριακή του Μαρτίου.

Ο φωτισμός δεν συνυπολογίστηκε στην κατανάλωση, καθώς το Άρθρο 3 του ΚΕΝΑΚ [7] ορίζεται ότι για κτήρια κατοικίας δεν συνυπολογίζεται ο φωτισμός στη συνολική τελική ενεργειακή κατανάλωση.

<sup>32</sup> Βάσει ΤΟΤΟΕΕ 20701-1, Πίνακας 2.1 περί τυπικού ωραρίου λειτουργίας κτηρίων, για μονοκατοικία

<sup>33</sup> Βάσει ΤΟΤΕΕ 20701-1, Κεφ. 3.3, για Β Κλιματική Ζώνη

<sup>34</sup> Βάσει ΤΟΤΕΕ 20701-1, Πίνακας 2.2, περί τιμών θερμοκρασίας για τον υπολογισμό ενεργειακής απόδοσης κτηρίων. Τιμές προορισμένες για μονοκατοικία.

<sup>35</sup> Βάσει ΤΟΤΕΕ 20701-1, Πίνακας 2.7, περί εκλυόμενη θερμότητα χρηστών ανά χρήση κτηρίου, για χρήση μονοκατοικίας

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με όλα τα υλικά και τα χαρακτηριστικά αυτών, σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-2 [48] ή σύμφωνα με τους κατασκευαστές των υλικών:

Υλικό	Πάχος υλικού (m)	Θερμική αγωγ. (W/m*K)	Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )
asphalt_cloth (Ασφαλτόπανο)	0,002	0,23	1100
brick_18cm (Μπατική εξωτερική τοιχοποιία)	0,18	0,45	1200
brick_9cm (Δρομική εσωτερική τοιχοποιία)	0,09	0,45	1200
cement_mortar (Τσιμεντοκονία)	0,04	1,4	2000
ceramic_tiles (Κεραμικά πλακίδια)	0,005	1,84	2000
geotextile (Γεωύφασμα)	0,002	0,04	60
gravel (Χαλίκι)	0,05	2	2200
KEBE_XPS (Εξηλασμένη πολυστερίνη από την ΚΕΒΕ)	0,15	0.029	35
light_concrete_8cm (Ελαφροσκυρόδεμα κλίσεων)	0,08	0,2	500
light_concrete_3cm (Ελαφροσκυρόδεμα καθαριότητας)	0,03	0,2	500
plaster (Σοβάς)	0,01	0,87	1800
plasterboard (Γυψοσανίδα)	0,05	21	700
reinforced_concrete (Οπλισμένο σκυρόδεμα)	0,15	2,5	2400
synthetic_mortar (Συνθετικό κονίαμα)	0,005	0,87	1800
door_aluplast (Κύρια είσοδος)	0,051	0,74	1000
door_interior (Εσωτερικές πόρτες) <sup>36</sup>	0,05	3	400
Υλικά άνευ μάζας	Θερμική αντίσταση (m <sup>2</sup> *K/W)	Ηλιακή απορροφητικότητα	
acrylic_paint (ακρυλική μπογιά)	0.007593	0.14	
Υλικά υάλωσης	Πάχος υλικού (m)	Θερμική αγωγ. (W/m*K)	
window_Sunguard (παράθυρο Sunguard)	0.038	0,65	
Υλικά τοίχου αέρα			
Air Wall Material			

Πίνακας 5.3.2: Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα χαρακτηριστικά τους

Στον πίνακα κάτωθι παρουσιάζονται οι Κατασκευές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική:

Κατασκευές	Υλικό 1 (έξω)	Υλικό 2	Υλικό 3	Υλικό 4	Υλικό 5	Υλικό 6	Υλικό 7 (μέσα)
Air Wall	Air Wall Material						
Door_exterior	door_aluplast						
Door_interior	door_interior						
Floor_between_levels	acrylic_paint	plaster	reinforced_concrete	cement_mortar	ceramic_tiles		
Floor_pilotis	acrylic_paint	plaster	KEBE_XPS	synthetic_mortar	reinforced_concrete	cement_mortar	ceramic_tiles

<sup>36</sup> Τιμή θερμικής αγωγιμότητας αντλημένη από [123]

Floor_touching_ground	light_concr_3cm	asphalt_cloth	asphalt_cloth	KEBE_XPS	reinforced_concrete	cement_mortar	ceramic_tiles
Terrace_non_walkable	gravel	geotextile	KEBE_XPS	asphalt_cloth	light_concrete_8cm	reinforced_concrete	plaster
Terrace_walkable	ceramic_tiles	cement_mortar	KEBE_XPS	asphalt_cloth	light_concrete_8cm	reinforced_concrete	plaster
Wall_exterior	acrylic_paint	plaster	KEBE_XPS	synthetic_mortar	brick_18cm	plaster	
Wall_interior	plaster	brick_9cm	Plaster				
Wall_partition	plasterboard						
Window_operable	window_sunguard						

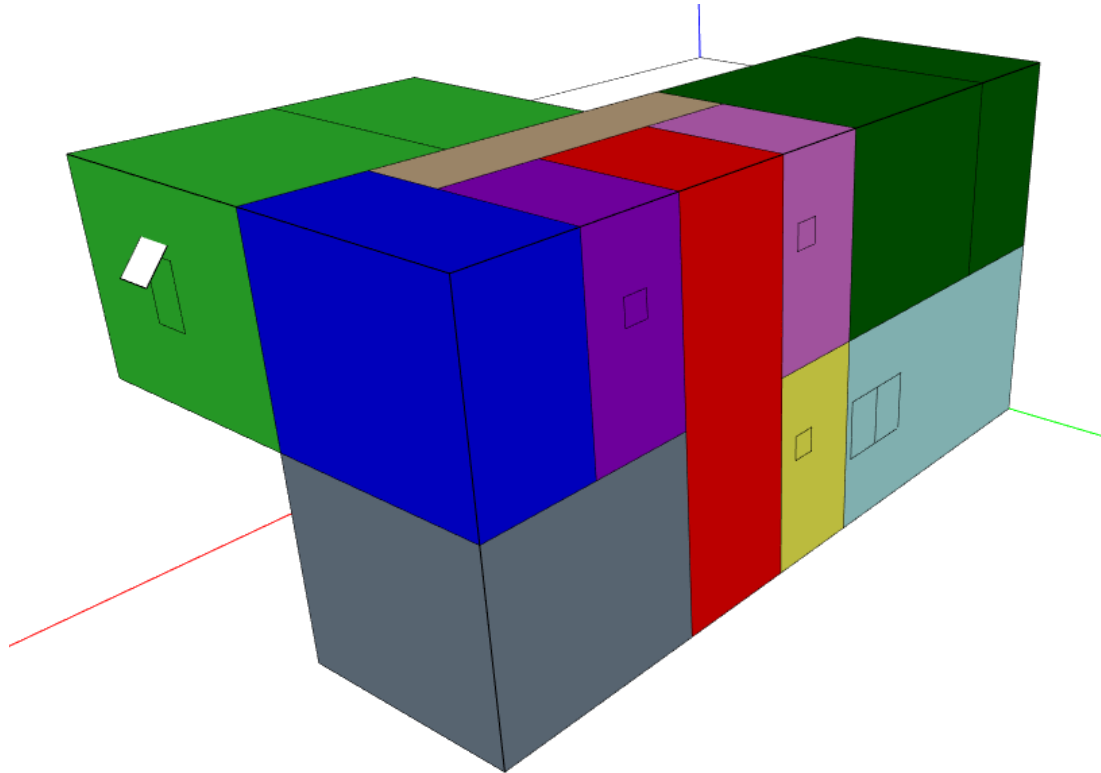
Πίνακας 5.3.3: Κατασκευές που συντέθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην κατοικία μελέτης

Οι θερμικές ζώνες του κτηρίου είναι:

A/A	Όροφος	Θερμική Ζώνη	Μικτό Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )
1	0	Διάδρομος	5
2	0	Κουζίνα	20,7
3	0	Σαλόνι	28,5
4	0	Γραφείο	14,4
5	0	WC	4,6
6	0	Κλιμακοστάσιο	5,7
7	1	Λουτρό	4,6
8	1	Υπνοδωμάτια	21,4
9	1	Διάδρομος	7,2
10	1	Κύριο υπνοδωμάτιο	22,4
11	1	Αποθήκη	7,6
12	1	Λουτρό κύριου υπνοδωματίου	4,6

Πίνακας 5.3.4: Οι θερμικές ζώνες που ορίστηκαν για τη μελέτη





Εικόνα 68: Προβολή των θερμικών ζωνών του κτηρίου σε περιβάλλον OpenStudio

Στις ρυθμίσεις προσομοίωσης η περίοδος προσομοίωσης τέθηκε από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου έως την 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου, και η συχνότητα υπολογισμού στα 10 λεπτά.

Τέλος, για το ζεστό νερό χρήσης, σύμφωνα με τον Πίνακα 5.11 της ΤΟΤΕΕ 20701-1 [36, p. 171] για κτήριο κατοικίας, τα δεδομένα ήταν τα εξής:

Ημερήσια ζήτηση ΖΝΧ (l/person/day)	Θερμοκρασία ΖΝΧ (C°)	Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη (m <sup>2</sup> )
50	45	5
Ζήτηση για 4 άτομα (l/day)		Επιλεχθείσα επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη (m <sup>2</sup> )
200		6

Πίνακας 5.3.5: Προφίλ εγκατάστασης για παραγωγή ΖΝΧ για κτήριο κατοικίας

Το μέσο απαιτούμενο θερμικό φορτίο ανά μήνα υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο της ίδιας ΤΟΤΕΕ, περί ημερήσιου απαιτούμενου θερμικού φορτίου,  $Q_d$ . Ο τύπος είναι:

$$Q_d = V_d * \frac{c}{3600} * \rho * \Delta T$$

$V_d$  = ημερήσιο φορτίο (l/day)

$\rho$  = πυκνότητα νερού = 1 kg/l

$c$  = ειδική θερμότητα = 4,18 kJ/(kg\*K)

$\Delta T$  = διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ νερού δικτύου και ΖΝΧ (C°)

Η μέση θερμοκρασία δικτύου νερού στην Αθήνα λήφθηκε από τον Πίνακα 6.1 της ΤΟΤΕΕ 20701-3. [73, p. 53] Το απαιτούμενο θερμικό φορτίο για ΖΝΧ υπολογίσθηκε κατ'έτος στην τιμή των 2642,67 kWh/a.

Προκειμένου να υπολογισθεί η αξιοποιούμενη ηλιακή ενέργεια από ηλιακούς συλλέκτες, χρησιμοποιήθηκε η μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο για την περιοχή της Φιλαδέλφειας (Πίνακας 4.1 της ΤΟΤΕΕ 20701-3 [73, p. 53]. Επιλέχθηκε ένας ηλιακός συλλέκτης κενού, ο οποίος τοποθετήθηκε στις 45°, και είχε συντελεστή αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή ΖΝΧ στην Αθήνα ίσο με 0,381 (Πίνακας 5.8 της ΤΟΤΕΕ 20701-1 [36, p. 170]).

Υπολογίστηκε η αξιοποίηση που επιτεύχθηκε ανά μήνα και κατ'έτος (=3687,55 kWh/a) και ελέγχθηκε για κάθε μήνα εάν ο συλλέκτης κάλυπτε τις ανάγκες της κατοικίας σε ΖΝΧ. Διαπιστώθηκε ότι με αυτή την επιλογή καλύπτεται το 84,16% των αναγκών της κατοικίας σε ΖΝΧ και υπολείπονται 418,69 kWh/a οι οποίες θα πρέπει να καλυφθούν συμβατικά μέσω ηλεκτρικής ενέργειας που θα δίνεται στην αντίσταση του τοπικού θερμαντήρα<sup>37</sup>. Ο ΚΕΝΑΚ, Άρθρο 8, παρ. 3.1.3 [7] ορίζει ότι το ελάχιστο ποσοστό του ηλιακού μεριδίου για την παραγωγή ΖΝΧ σε ετήσια βάση καθορίζεται σε 60%, οπότε η ο συγκεκριμένος ηλιακός συλλέκτης καλύπτει την απαίτηση του κανονισμού.

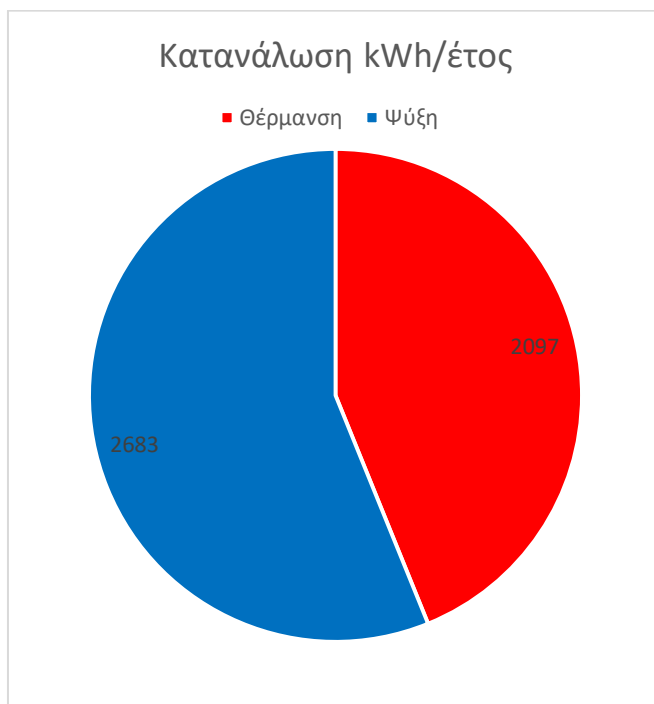
---

<sup>37</sup> Στα Παραρτήματα στο τέλος της παρούσης βρίσκονται οι αναλυτικοί πίνακες υπολογισμών.

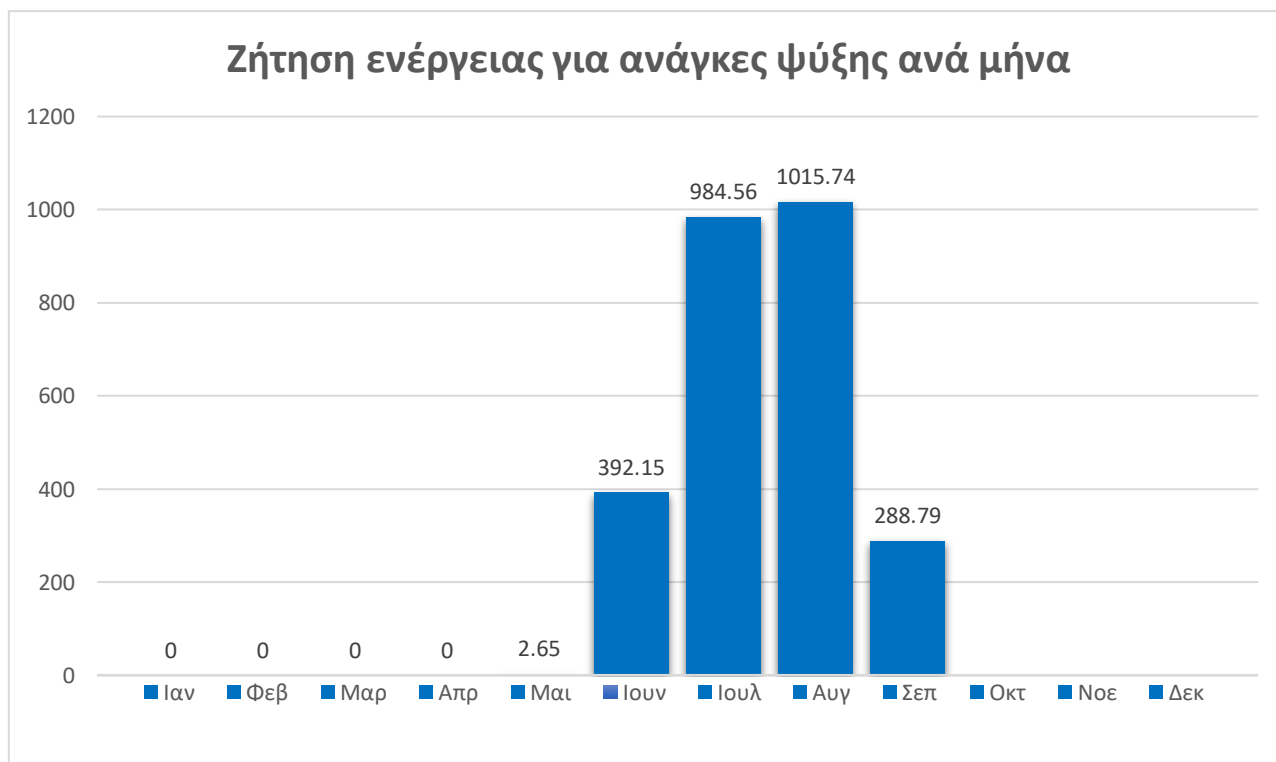
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Προσομοίωση και ανάλυση αποτελεσμάτων αυτής

### 6.1 Αποτελέσματα – ανάλυση

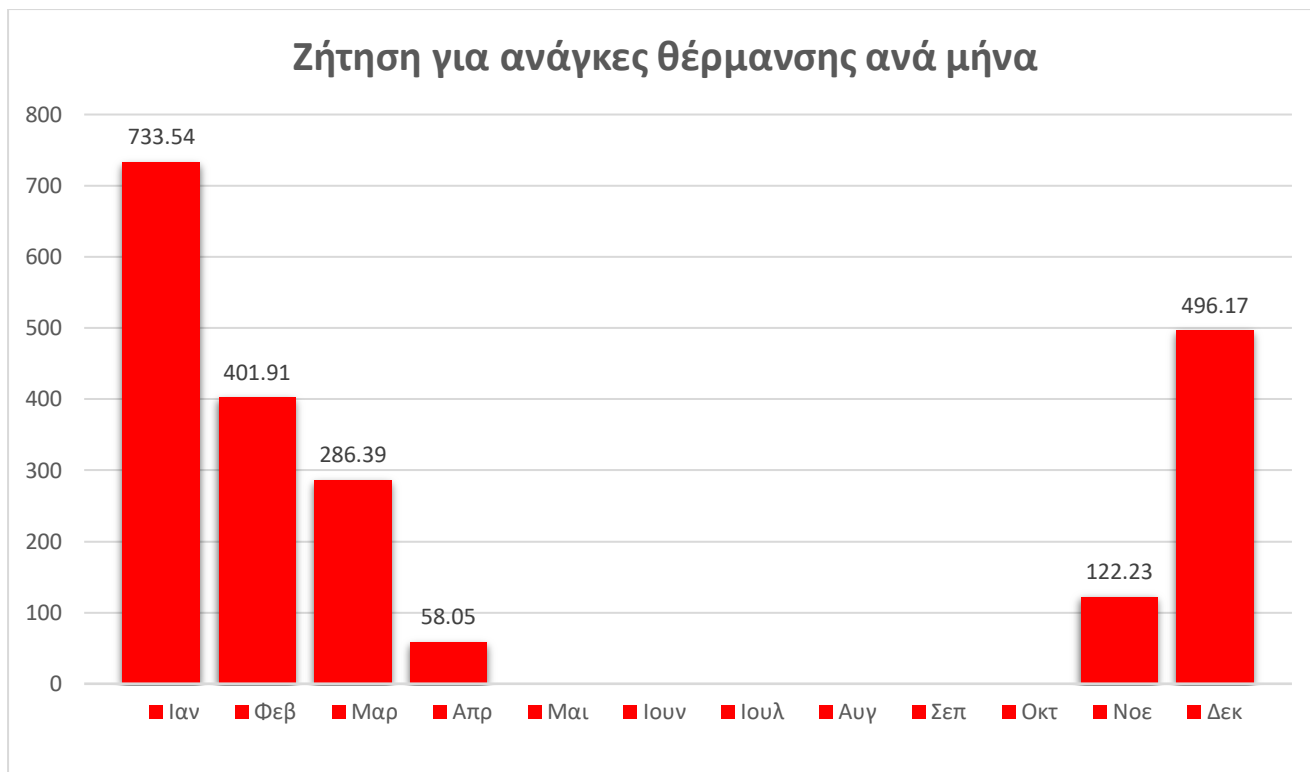
Παρακάτω παρουσιάζονται οι καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες θέρμανσης και ψύξης ανά έτος και ανά μήνα:



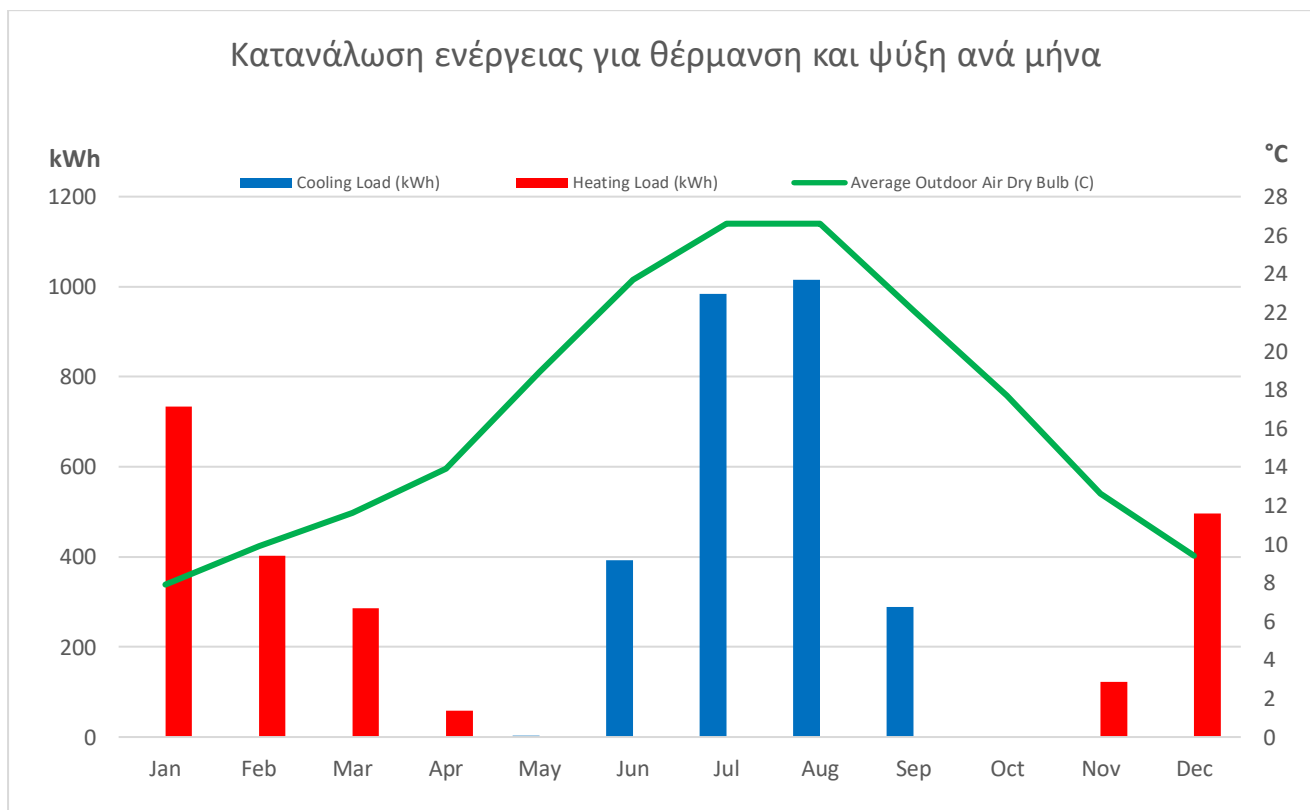
Γράφημα 6.1.1: Σχέση κατανάλωσης ενέργειας για ανάγκες ψύξης και θέρμανσης εντός ενός έτους



Γράφημα 6.1.2: Ζήτηση σε kWh/μήνα για κάλυψη των αναγκών ψύξης σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης



Γράφημα 6.1.3: Ζήτηση σε kWh/μήνα για κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης



Γράφημα 6.1.4: Μηνιαία ενεργειακά φορτία για ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης

Επιπλέον, οι θερμοκρασιακές μεταβολές εντός του μοντέλου βρίσκονται εντός των ορίων θερμικής άνεσης που ορίζονται στην TOTEE 20701-1 [36] (20°C την περίοδο θέρμανσης και 26°C και την περίοδο ψύξης). Τα επίπεδα σχετικής υγρασίας βρέθηκαν σε ικανοποιητικά επίπεδα, και εντός των ορίων της TOTEE (40% και 45% για τις περιόδους θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα). Παρακάτω φαίνονται οι θερμοκρασίες ανά ζώνη για όλο το έτος, ενώ στο Παράρτημα στο τέλος της εργασίας παρατίθενται και οι τιμές σχετικής υγρασίας.

Zone	< 16 (C)	16-18 (C)	18-20 (C)	20-21 (C)	21-22 (C)	22-23 (C)	23-24 (C)	24-26 (C)	26-28 (C)	28-30 (C)	>= 30 (C)	Mean Temp (C)
0-HALL	0	1	626	2215	1015	306	373	1368	2843	13	0	23.3 (C)
0-KITCHEN	0	70	651	2007	946	457	337	1349	2880	63	0	23.4 (C)
0-LIVING_ROOM	0	76	537	2773	545	430	553	1486	1998	362	0	23.1 (C)
0-OFFICE	0	35	782	3044	349	386	672	1509	1981	2	0	22.7 (C)
0-STAIRS	0	31	809	2965	318	332	600	1492	2213	0	0	22.8 (C)
0-WC	0	5	654	2025	1037	417	320	1411	2876	15	0	23.4 (C)
1-BATHROOM	0	11	745	2508	736	303	419	1373	2665	0	0	23.1 (C)
1-BEDROOMS	0	88	942	2993	302	453	548	1289	2104	41	0	22.7 (C)
1-BED_MASTER	0	112	875	3034	289	318	588	1565	1974	5	0	22.6 (C)
1-HALL	0	17	734	2852	484	289	478	1406	2494	6	0	23.0 (C)
1-STORAGE	0	79	1172	2954	304	628	428	1668	1527	0	0	22.4 (C)
1-WC_MASTER	0	11	710	2329	863	316	363	1335	2828	5	0	23.2 (C)

Πίνακας 6.1.1: Για κάθε Ζώνη του μοντέλου, παρουσιάζονται οι ώρες του έτους, κατά τις οποίες διατηρήθηκε το εύρος θερμοκρασίας που αναγράφεται στην κορυφή κάθε στήλης.

Υποθέτοντας ότι τα υπολογισθέντα ψυκτικά και θερμικά φορτία (Ideal Air Loads) είναι τα πραγματικά φορτία θέρμανσης και ψύξης, είναι δυνατή η μετατροπή των φορτίων σε πρωτογενή ενέργεια ως εξής:

- Θεωρείται ότι οι ανάγκες θέρμανσης καλύπτονται με φυσικό αέριο
- Θεωρείται ότι οι ανάγκες ψύξης καλύπτονται με αντλία με μέσο εποχιακό βαθμό απόδοσης (SEER) ίσο με 3,6<sup>38</sup>

Για να μετατραπεί η καταναλισκόμενη ενέργεια σε πρωτογενή, χρησιμοποιούνται οι συντελεστές μετατροπής του Πίνακα Β.1 του KENAK [7]. Συγκεκριμένα για τις ανάγκες ψύξης, ο συντελεστής μετατροπής διαιρείται με τον εποχιακό βαθμό απόδοσης (2.9/3.6).

Παρακάτω φαίνονται αναλυτικά οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση και ψύξη και η μετατροπή τους σε πρωτογενή ενέργεια:

<sup>38</sup> Η τιμή προκύπτει για αντλία θερμότητας με Ενεργειακή Σήμανση SEER<sub>ΕΣ</sub>=6, η οποία ανήκει στην Ενεργειακή Κλάση A+ (SEER = SEER<sub>ΕΣ</sub> \* 0,6)

Τύπος ενέργειας	Καταναλισκόμενη ενέργεια (kWh/a)	Ποσοστό κάλυψης φορτίου <sup>39</sup>	Εποχιακός βαθμός απόδοσης (SEER)	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια	Σύνολο πρωτογενούς ενέργειας (kWh/a)
Θέρμανση (φυσικό αέριο)	2097	1		1,05	2201,85
Ψύξη (αντλία θερμότητας)	2683	0,5	3,6	2,9	1081,25
ZNX από ηλιακό συλλέκτη	3687,55			0,0	0,00
ZNX (ηλεκτρισμός)	418,69			2,9	1214,20
				Τελική τιμή:	4497,30
				Συνολική επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	146,92
				Τελική τιμή (kWh/m <sup>2</sup> /a)	30,61

Πίνακας 6.1.2: Ανάλυση αποτελεσμάτων καταναλισκόμενης ενέργειας ανάλογα με τη χρήση

Σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση του 2018 [72] για να θεωρηθεί ένα κτήριο που ανήκει στην Β Κλιματική Ζώνη ως ΚΣΜΚΕ πρέπει να εντάσσεται τουλάχιστον στην Ενεργειακή Κατηγορία Α και άρα να καταναλώνει το πολύ 55 kWh/m<sup>2</sup>. Συνεπώς, το κτήριο κρίνεται ως ΚΣΜΚΕ. Επιπλέον, για να ενταχθεί στην Ενεργειακή Κατηγορία Α+, πρέπει να καταναλώνει το πολύ 35 kWh/m<sup>2</sup>, επομένως το μοντέλο της παρούσας εργασίας εντάσσεται στην Ενεργειακή Κατηγορία Α+. Σημειώνεται επίσης ότι υπάρχει η δυνατότητα περαιτέρω μείωσης της πρωτογενούς ενέργειας, αν εγκατασταθούν αντλίες θερμότητας με μεγαλύτερο εποχιακό βαθμό απόδοσης, φωτοβολταϊκά πάνελ για την κάλυψη των αναγκών σε ψύξη και boiler για τις ανάγκες ZNX.

	Κατανάλωση (kWh/m <sup>2</sup> /a)
Μοντέλο	30.61
Όρια Κατηγορίας Α+	14-35
Μέση κατανάλωση κτηρίων Α+	16,63

Πίνακας 6.1.3: Σύγκριση αποτελεσμάτων α) της τελικής ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του μοντέλου της παρούσας διπλωματικής, β) των ορίων Ενεργειακής Κατηγορίας Α+ κατά την ΥΑ ΥΠΕΝ ΔΕΠΕΑ 82521/242/2018 και γ) της μέσης ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης πραγματικών κτηρίων Ενεργειακής Κατάταξης Α+ για την Κλιματική Ζώνη Β και για μονοκατοικίες, από δεδομένα του 2018 [94, p. 13]

<sup>39</sup> Ο ΚΕΝΑΚ αναφέρει ότι «Η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος ψύξης για το κτήριο αναφοράς λαμβάνεται ίση με το 50% της κατανάλωσης που υπολογίζεται με βάση την ωφέλιμη επιφάνεια της κατοικίας».



## Συμπεράσματα

Αντικειμενικός σκοπός της διπλωματικής ανά χείρας ήταν η διερεύνηση των ορισμών και των ορίων των ΚΣΜΚΕ και η δημιουργία ενός μοντέλου που να ορίζεται ως ΚΣΜΚΕ. Οι τρεις βασικοί στόχοι που αναφέρονται στις πρώτες σελίδες της διπλωματικής θεωρείται ότι κατακτήθηκαν:

- Έγινε αναφορά στις θεμελιώδεις έννοιες των ΚΣΜΚΕ
- Έγινε αναφορά τόσο στον Ευρωπαϊκό όσο και στον Ελληνικό κανονισμό, αλλά και σε τιμές θερμοχωρητικότητας και κατανάλωσης πραγματικών ΚΣΜΚΕ και
- Σχεδιάστηκε μία κατοικία η οποία πλοιοί τόσο τις προδιαγραφές της θερμικής άνεσης, όσο και τα επίπεδα κατανάλωσης που ορίζει ο ΚΕΝΑΚ, ώστε να θεωρηθεί ΚΣΜΚΕ.

Το μοντέλο διαθέτει τα χαρακτηριστικά ενός βιοκλιματικού κτηρίου, τόσο σπό σχήμα και τον προσανατολισμό, όσο και στην χωροταξική διαρρύθμιση και τη σκιάσή του. Παράλληλα είναι εναρμονισμένο με τον ΚΕΝΑΚ και τις ΤΟΤΕΕ, ενώ βασίστηκε στην εθνική και διεθνή βιβλιογραφία, τόσο αναφορικά με το είδος θερμομόνωσης και την επιλογή των υλικών όσο και αναφορικά με τις προδιαγραφές που πρέπει να πλοιοί και τα αποτελέσματα που πρέπει να παρουσιάζει ένα ΚΣΜΚΕ. Τέλος, τα επίπεδα θερμικής άνεσης βρίσκονται εντός των ορίων που θέτουν οι κανονισμοί.

Η πρόταση της παρούσας διπλωματικής διαθέτει χώρο βελτίωσης. Θα μπορούσε να σχεδιαστεί το ακριβές σύστημα ΘΨΚ, να εγκατασταθεί boiler για το ΖΝΧ που υπολείπεται και δεν καλύπτει ο ηλιακός συλλέκτης, να εγκατασταθούν μηχανικά σκίαστρα και να υπολογισθούν τα θερμικά κέρδη από τον εξοπλισμό και από τον φωτισμό. Επίσης θα ήταν εξαιρετικά χρήσιμη η ακριβέστερη προσομοίωση των θερμογεφυρών, η προσομοίωση του φυσικού αερισμού αλλά και η θερμική μάζα των αντικειμένων εντός της οικίας. Τέλος, εξαιρετικό ενδιαφέρον θα είχε και μία κοστολόγηση των επιμέρους υλικών και της ανέγερσης της κατασκευής, καθώς και η προβολή του χρόνου απόσβεσης στον χρήστη ανάλογα με τα διαφορετικά συστήματα που έχουν εγκατασταθεί στο μοντέλο.

## Βιβλιογραφία

- [1] Σ. Σ. Κουρής and Β. Α. Σωτηρόπουλος, *Ηλεκτρολογικές και μηχανολογικές εγκαταστάσεις σε κτίρια*. Σύγχρονη Παιδεία, 1996.
- [2] Eurostat, “Smarter, greener, more inclusive?,” 2019.
- [3] E. W. E. A. EWEA, “No fuel - Europe’s energy crisis, the no fuel solution,” 2006.
- [4] EU, “Καθαρός πλανήτης για όλους,” 2018.
- [5] EU, *ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ*. 2009.
- [6] EU, “EU energy in figures - Statistical pocketbook 2019,” 2019.
- [7] Φ. Β2367, *Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων*. 2017.
- [8] Ε. Γ. Δασκαλάκη, Κ. Δρούτσα, Κ. Α. Μπαλαράς, and Σ. Κοντογιαννίδης, “Τυπολογία Ελληνικών κτιρίων κατοικίας,” Αθήνα, 2014.
- [9] S. Lehmann, *Energy-Efficient building design: towards climate-responsive architecture*. 2011. [Online]. Available: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c15/E1-32-19-00.pdf>
- [10] Σ. Αρτέμη, Α. Μαΐδου, Ν. Δίντσιος, and Χ. Πολάτογλου, “8ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ιστορίας, Φιλοσοφίας και Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών,” 2014.
- [11] D. Watson, “Bioclimatic Design,” in *Sustainable Built Environments*, V. Loftness and D. Haase, Eds. New York, NY: Springer New York, 2013, pp. 1–30. doi: 10.1007/978-1-4614-5828-9\_225.
- [12] ΚΑΠΕ, *Βιοκλιματικός σχεδιασμός στην Ελλάδα - Ενεργειακή απόδοση και κατευθύνσεις εφαρμογών*. Πικέρμι: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών & Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), 2002.
- [13] ΤΟΤΕΕ\_20701-6, *Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων*. 2010.
- [14] ΚΑΠΕ, “Energy efficiency trends and policies in Greece,” 2018.
- [15] M. F. Gonzalez, “TRIF House,” 2017. <https://www.archdaily.com/904730/trif-house-sergey-fedotov>
- [16] S. Roaf, M. Fuentes, and S. Thomas, *Εκδόσεις Ψύχαλου*, 2009.
- [17] Κ. Ν. Αξαρλή, “Ενεργειακός σχεδιασμός και ενεργειακή απόδοση κτιρίων - Γενικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού,” 2009.
- [18] Χ. Αθανασόπουλος, *Κατασκευή κτιρίων - Σύνοψη και τεχνολογία*, 8th ed. Γραφικές τέχνες Ζαχαρόπουλος, 2010.
- [19] Ε. Ανδρεαδάκη-Χρονάκη, *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός: Κλιματική αλλαγή, Περιβάλλον, Βιωσιμότητα*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press, 2017.
- [20] C. Schittich, *In Detail - Solar Architecture - Strategies, Visions, Concepts*. Edition Detail - Institut fur internationale, 2003.
- [21] Π. Στεφανίδης, “Κατοικία Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας,” Ξάνθη, 2018.
- [22] U. C. D. The Energy Research Group, *Ενέργεια στην αρχιτεκτονική - Το Ευρωπαϊκό εγχειρίδιο για τα παθητικά ηλιακά κτίρια*. Μάλλιαρης Α. - Παιδεία Α.Ε., 1996.

- [23] K. Imessad, N. Ait Messaoudene, and M. Belhamel, “Performances of the Barra-Constantini passive heating system under Algerian climate conditions,” Blida, 2003.
- [24] J. New, “Cool Roofing: Analysis of Energy Consumption for Cool Roofing,” *Western Roofing - Insulation and Siding*, vol. 37, pp. 50–56, 2014.
- [25] Coolroofs-eu.eu, “Cool Roofs in Europe - Initiatives and Examples,” 2010.
- [26] J. Kumar, A. Raj, and H. M. Sharma, “Enhancement of natural ventilation using solar chimney: A numerical investigation,” *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, vol. 4, no. 3, 2017.
- [27] M. Nakielska and K. Pawlowski, “Increasing natural ventilation using solar chimney,” *Energy and Fuels*, 2016.
- [28] P. Seferis, P. Strachan, A. Dimoudi, and A. Androutsopoulos, “Investigation of the performance of a ventilated wall,” *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 2167–2178, 2011, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.04.023.
- [29] Aliva.it, “Cladding, systems and components.” [https://www.aliva.it/en/prodotti\\_e\\_soluzioni.asp#b-a](https://www.aliva.it/en/prodotti_e_soluzioni.asp#b-a)
- [30] Marazzigroup.com, “Technology of ventilated facade.” <https://www.marazzigroup.com/architectural-solutions/ventilated-facades/structure-and-technology/#>
- [31] R. Colombo, A. Landabaso, and A. Sevilla, *Passive solar architecture for Mediterranean area*. Joint Research Centre, 1994.
- [32] B. Ford, R. Schiano-Phan, and D. Zhongcheng, “The Passivhaus Standard in European warm climates: Design guidelines for comfortable low energy homes. Part 3. Comfort, climate and passive strategies,” 2007.
- [33] H. F. Castleton, V. Stovin, S. B. M. Beck, and J. B. Davison, “Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit,” *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 10, pp. 1582–1591, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.004>.
- [34] Θ.-Μ. Δαρβίρης, “Η συνεισφορά των φυτεμένων οροφών στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια και στο αστικό περιβάλλον,” 2012.
- [35] Ά. Τσαγκρασούλης, *Φυσικός φωτισμός*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2016.
- [36] ΤΟΤΕΕ\_20701-1, *Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης*. 2017.
- [37] ΚΑΠΕ, “Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού.” [http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_bioclimatic\\_fotismos.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_bioclimatic_fotismos.htm)
- [38] ΔΙΠΕ and ΥΠΕΧΩΔΕ, *Οικολογική Δόμηση*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα, 2000.
- [39] Φ. Σταθόπουλος, *Περιβαλλοντική επιστήμη, νομοθεσία & πολιτική*. Εκδόσεις Αρναούτη, 2016.
- [40] R. Brimblecombe and K. Rosemeier, *Positive Energy Homes - Creating Passive Houses for Better Living*. CSIRO, 2017.
- [41] ΚΑΠΕ, *Εγχειρίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για δυνητικούς χρήστες*. 2006.

- [42] Φ.-Μ. Μπουγατιώτη, *Διάλεξη/Σημειώσεις: Το αστικό μικροκλίμα. Βιοκλιματικές παρεμβάσεις για τη βελτίωσή του*. Αθήνα, 2009.
- [43] “[https://urbanland.uli.org/sustainability/four-approaches-to-reducing-the-urban-heat-island-effect.](https://urbanland.uli.org/sustainability/four-approaches-to-reducing-the-urban-heat-island-effect/)”
- [44] D. Quattrochi *et al.*, “Urban Heat Islands,” in *Our Changing Planet*, 2018, pp. 179–181.
- [45] ΥΕΕΒΤ, “Τεχνικός οδηγός για τα κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας.” Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών, 2015.
- [46] Μ. Παπαδόπουλος, *Θερμομόνωση κτιρίων*. Θεσσαλονίκη: ΜΟΝΥΑΛ Α.Ε. Τεχνικές Εκδόσεις, 1979.
- [47] Δ. Τσιώρα and Κ. Δάλκου, *Οδηγός Θερμομόνωσης & στεγανοποίησης*. Θεσσαλονίκη: Κτίριο Εκδόσεις, 2011.
- [48] ΤΟΤΕΕ\_20701-2, *Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων*. 2017.
- [49] Cielo, “<https://www.cielowigle.com/blog/types-of-insulation/>,” Aug. 27, 2021.
- [50] ENFORCE EU, “Πρακτικός οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια.”
- [51] N. Joshi and R. Pujala, “Silica Aerogel,” 2020, pp. 109–132. doi: 10.21741/9781644900994-4.
- [52] M. Saboktakin and A. Saboktakin, “Vacuum Insulation Panels Applications as Building Insulators,” vol. 2, pp. 1–9, 2019.
- [53] Inc. RDH Building Science, “Illustrated Guide - Achieving Airtightness.” Vancouver, 2017.
- [54] Ι. Θεοδωρίδου, “Βιοκλιματικός σχεδιασμός και συνθήκες άνεσης.” Πάτρα, 2015.
- [55] Passive House, “[https://passiv.de/en/02\\_informations/02\\_passive-house-requirements/02\\_passive-house-requirements.htm](https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm),” 2015.
- [56] Alumil, “Alumil.com.” <https://www.alumil.com/>
- [57] Aluplast, “aluplast.gr/.” <https://aluplast.gr/>
- [58] Alpilegno, “alpilegno.com.” <http://www.alpilegno.com/en/>
- [59] Tsokani, “tsokani.gr.” [https://www.tsokani.gr/tzamia\\_yalopinakes/dipla-tzamia/](https://www.tsokani.gr/tzamia_yalopinakes/dipla-tzamia/)
- [60] Theadvancedgroup, “theadvancedgroup.co.uk.” <https://www.theadvancedgroup.co.uk/double-glazing-news/double-glazed-windows-whats-in-the-gap>
- [61] J. Perlin, *Let it shine*. New World Library, 2013.
- [62] A. Marsh, “drajmarsh.bitbucket.io,” 2014. <https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath-on-map.html>
- [63] TEE, “[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/P\\_KONIAMATA/ko3.1.htm](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko3.1.htm).”
- [64] G. Borsoi, C. Esteves, I. Flores-Colen, and R. Veiga, “Effect of Hygrothermal Aging on Hydrophobic Treatments Applied to Building Exterior Claddings,” *Coatings*, vol. 10, no. 4, 2020, doi: 10.3390/coatings10040363.
- [65] Γ. Βαμβακούσης and Ρίζος Περικλής, “Ενεργειακή προσομοίωση πρότυπης κατοικίας με εισαγωγή νέων τεχνολογιών κελύφους,” 2018.

- [66] Δ. Αραβαντινός, “Επίδραση των θερμογεφυρών στην ενεργειακή απόδοση κτιρίων. Προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισής τους,,” Θεσσαλονίκη, 2009.
- [67] T. G. Theodosiou and A. M. Papadopoulos, “The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions,” *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 11, pp. 2083–2089, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.006>.
- [68] Φ. Α. 42/19-02-2013, *Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις*. 2013.
- [69] ΕΥ, *ΟΔΗΓΙΑ 2010/31/ΕΕ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ*. 2010.
- [70] ΒΡΠΕ, “Principles for nearly zero-energy buildings: Paving the way for effective implementation of policy requirements,” 2011.
- [71] ZEBRA2020, “Nearly Zero-Energy Building Strategy 2020 (Deliverable 5.1),” 2016.
- [72] ΥΑ, *ΥΠΕΝ-ΔΕΠΕΑ-85251-242-2018*. 2018.
- [73] ΤΟΤΕΕ\_20701–3, *Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών*. 2014.
- [74] U. Santa, M. Bancher, M. Demattio, and U. Klammsteiner, “The CasaClima building assessment scheme: A key to design and construction quality, energy efficiency, and sustainability,” *ce/papers*, vol. 3, pp. 182–188, 2019, doi: 10.1002/cepa.965.
- [75] J. Hines *et al.*, “How to build a Passivhaus: Rules of thumb,” *Passivhaus Trust*. Passivhaus Trust, 2015.
- [76] E. Touloupaki and T. Theodosiou, “Optimization of External Envelope Insulation Thickness: A Parametric Study,” *Energies*, vol. 10, p. 270, 2017, doi: 10.3390/en10030270.
- [77] Neopor, “Passive House.” 2010.
- [78] Fibran, “Λύσεις θερμομόνωσης - Ενεργειακή αναβάθμιση υφιστάμενων κτηρίων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του νέου ΚΕΝΑΚ και τα επιδοτούμενα προγράμματα.” 2018.
- [79] Ecofys, *U-Values for better energy performance of buildings*. 2007.
- [80] W. Feng *et al.*, “A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34 case study buildings,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 114, p. 109303, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109303>.
- [81] [Passivehouse-international.org](https://passivehouse-international.org/index.php?page_id=80), “[https://passivehouse-international.org/index.php?page\\_id=80](https://passivehouse-international.org/index.php?page_id=80).”
- [82] [www.agenziacasaclima.it](http://www.agenziacasaclima.it/it/certificazione-edifici/classi-casaclima-1409.html), “[www.agenziacasaclima.it/it/certificazione-edifici/classi-casaclima-1409.html](http://www.agenziacasaclima.it/it/certificazione-edifici/classi-casaclima-1409.html).”
- [83] D. D’Agostino and L. Mazzarella, “Data on energy consumption and Nearly zero energy buildings (NZEBS) in Europe,” *Data in Brief*, vol. 21, 2018, doi: 10.1016/j.dib.2018.11.094.
- [84] AIDA, “House Pillon,” 2010.
- [85] H. Erhorn and H. Erhorn-Kluttig, “Selected examples of Nearly Zero-Energy Buildings,” 2014.
- [86] F. Ascione, M. Borrelli, F. Rossi, and G. P. Vanoli, “A framework for NZEB design in Mediterranean climate: Design, building and set-up monitoring of a lab-small villa,” *Solar Energy*, vol. 184, pp. 11–29, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.03.083.

- [87] Δ. Αραβαντινός *et al.*, “Κατάρτιση ενεργειακών επιθεωρητών - Α. Επιθεώρηση κτηρίων - Θεματική ενότητα: ΔΚ1 - Θεσμικό πλαίσιο - Μεθοδολογία ενεργειακής απόδοσης κτηρίων.” ΤΕΕ, Αθήνα, 2011.
- [88] D. d’Agostino, P. Zangheri, and L. Castellazzi, “Towards Nearly Zero Energy Buildings in Europe: A Focus on Retrofit in Non-Residential Buildings,” *Energies*, vol. 10, no. 1, 2017.
- [89] ΕΥ, “Στρατηγική για έξυπνη ανάπτυξη,” Βρυξέλλες, 2010.
- [90] Κ. Λάσκος, “ΚΕΝΑΚ - Ενεργειακή Επιθεώρηση - Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης - Κτίρια nZEB για αρχάριους,” 2019.
- [91] ΥΠΕΚΑ, “Εθνικό Σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας,” Αθήνα, 2017.
- [92] ΥΠΕΚΑ, “Εθνικό σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα - ΕΣΕΚ,” Αθήνα, 2019.
- [93] Μ. Πετρολιάγκη, “Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων: Στατιστική ανάλυση για το έτος 2017,” 2018.
- [94] Μ. Πετρολιάγκη, “Ενεργειακές επιθεωρήσεις κτηρίων: Στατιστική ανάλυση για το έτος 2018 και της χρονικής περιόδου 2011-2018,” 2019.
- [95] ΕΛΣΤΑΤ, “Υπολογιζόμενος Πληθυσμός (1.1.2020) και Μεταναστευτικές Ροές της Χώρας (2019),” Πειραιάς, 2020.
- [96] D. SERGHIDES and C. Georgakis, “The building envelope of Mediterranean houses: Optimization of mass and insulation,” *Journal of Building Physics - J BUILD PHYS*, vol. 36, pp. 83–98, 2012, doi: 10.1177/1744259112448369.
- [97] Xtratherm, “Superior Performance Phenolic Insulation - SR/TB Insulation for Drylining Walls Fixed with Adhesive Dabs.”
- [98] Fibran, “FIBRANxps 500 - Θερμομονωτικές πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης για υψηλές μηχανικές αντοχές και παρουσία νερού.” 2018.
- [99] Kingspan, “Product overview Export - Premium and high performance insulation for all applications,” 2020.
- [100] Neopor, “Building and Modernizing with Neopor.” 2010.
- [101] ΕΡΓΑΤΕΞ, “Προδιαγραφές διογκωμένης πολυστερίνης βάσει EN 13163.”
- [102] ΚΕΒΕ, “Τεχνικά χαρακτηριστικά ΚΕΒΕ xps - ΚΕΒΕ grey xps.”
- [103] ΕΟΤΑ, *ETAG 004 - Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering*. 2013.
- [104] S. Ewi, “Tips for Installing Kingspan K5 Insulation,” 2019.  
<https://www.youtube.com/watch?v=yDB3J3oBhHw>
- [105] Aluplast, “<https://www.aluplast.net/eng-int/produkte/haustuer/haustuer-85mm/>.”
- [106] GUARDIAN Industries Corp., “Sunguard Extra Selective - SNX 50/23,” 2014
- [107] Fibran, “Σύνθετα Συστήματα Εξωτερικής Θερμομόνωσης.”
- [108] Vitex, “<https://www.vitex.gr/Product/12/41/ACRYLAN/>.”



- [109] Κ. Λάσκος, “Ενεργειακή προσομοίωση μέσω λογισμικών ως εργαλείο στο σχεδιασμό κτιρίων υψηλής ενεργειακής απόδοσης,” 2015.
- [110] TRNSYS, “TRNSYS,” 2021. <https://sel.me.wisc.edu/trnsys/features/features.html>
- [111] Strathclyde University,  
“<https://www.strath.ac.uk/research/energysystemsresearchunit/applications/esp-r/>.”
- [112] M. Barták *et al.*, “ESP-r: integrated simulation tool for design of buildings and systems,” Dec. 2021.
- [113] IES, “<https://www.iesve.com/software/virtual-environment/>.”
- [114] A. H. al Ka’bi, “Comparison of energy simulation applications used in green building,” *Annals of Telecommunications*, vol. 75, no. 7, pp. 271–290, 2020, doi: 10.1007/s12243-020-00771-6.
- [115] Energy-Models.com, “eQUEST,” 2021. <https://energy-models.com/equest>
- [116] Energy-Models.com, “Simergy,” 2021. <https://energy-models.com/software/simergy>
- [117] DesignBuilder, “DesignBuilder website,” 2021. <https://designbuilder.co.uk/about-us>
- [118] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος,  
“[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/GR\\_ENERGEIAS/kenak/tee\\_kenak](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak/tee_kenak).”
- [119] L. Brackney, A. Parker, D. Macumber, and K. Benne, *Building Energy Modeling with OpenStudio*. Springer International Publishing AG, 2018.
- [120] Energyplus.net, “EnergyPlus Website,” 2021. <https://energyplus.net/>
- [121] Openstudio.net, “OpenStudio Website,” 2021. <https://openstudio.net/>
- [122] D. Staniaszek, A. Mayer, I. Jankovic, and X. Fernandez Alvarez, “Nearly Zero: A review of EU Member State implementation of new build requirements,” Jun. 2021.
- [123] *6.A Tables of U-values and thermal conductivity*. Scotland: <https://www.gov.scot/publications/tables-of-u-values-and-thermal-conductivity/>, 2007.

Παράρτημα Ι: Έλεγχος θερμικής επάρκειας

<b>ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>				
<b>ΤΟΙΧΟΣ ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΑΕΡΑ</b>				
A/A	ΥΛΙΚΟ	ΠΑΧΟΣ d (m)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ λ (W/m*K)	ΛΟΓΟΣ d/λ (m <sup>2</sup> *k/W)
ΕΞΩ	1	Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ra		0.040
	2	Ακρυλική μπογιά	0.001	0.500
	3	Ασβεστοκονίαμα	0.01	0.870
	4	ΚΕΒΕ xps	0.15	0.029
	5	Συνθετικό κονίαμα	0.005	0.870
	6	Οπτόπλινθοι	0.18	0.450
	7	Ασβεστοκονίαμα	0.01	0.870
	8	Ακρυλική μπογιά	0.001	0.500
ΜΕΣΑ	9	Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ri		0.130
<b>ΣΥΝΟΛΟ d</b>		0.357	<b>ΣΥΝΟΛΟ R</b>	5.775
			<b>U=1/R</b>	0.173

<b>ΔΑΠΕΔΟ ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ</b>				
A/A	ΥΛΙΚΟ	ΠΑΧΟΣ d (m)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ λ (W/m*K)	ΛΟΓΟΣ d/λ (m <sup>2</sup> *k/W)
ΕΞΩ	1	Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ra		0.000
	2	Ελαφροσκυρόδεμα καθαριότητας	0.03	0.200
	3	2*Ασφαλτόπανο	0.004	0.230
	4	ΚΕΒΕ xps	0.15	0.029
	6	Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.15	2.500
	7	Τσιμεντοκονίαμα	0.02	1.400
	8	Κεραμικά πλακίδια δαπέδου	0.005	1.840
	ΜΕΣΑ	9	Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ri	
<b>ΣΥΝΟΛΟ d</b>		0.359	<b>ΣΥΝΟΛΟ R</b>	5.587
			<b>U=1/R</b>	0.179

<b>ΔΑΠΕΔΟ ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΤΟΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΑΕΡΑ (ΠΙΛΟΤΗ)</b>				
A/A	ΥΛΙΚΟ	ΠΑΧΟΣ d (m)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ λ (W/m*K)	ΛΟΓΟΣ d/λ (m <sup>2</sup> *k/W)
ΕΞΩ	1	Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ra		0.040
	2	Ακρυλική μπογιά	0.001	0.500
	3	Ασβεστοκονίαμα	0.01	0.870
	4	ΚΕΒΕ xps	0.15	0.029
	5	Συνθετικό κονίαμα	0.005	0.870
	6	Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.15	2.500
	7	Τσιμεντοκονίαμα	0.02	1.400
	8	Κεραμικά πλακίδια δαπέδου	0.005	1.840
ΜΕΣΑ	9	Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ri		0.170
<b>ΣΥΝΟΛΟ d</b>		0.341	<b>ΣΥΝΟΛΟ R</b>	5.479
			<b>U=1/R</b>	0.183

<b>ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΟΡΟΦΗ (ΒΑΤΗ) ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΑΕΡΑ</b>					
	<b>A/A</b>	<b>ΥΛΙΚΟ</b>	<b>ΠΑΧΟΣ d (m)</b>	<b>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ λ (W/m*K)</b>	<b>ΛΟΓΟΣ d/λ (m<sup>2</sup>*k/W)</b>
<b>ΕΞΩ</b>	1	Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ra			0.040
	2	Κεραμικά πλακίδια δαπέδου	0.005	1.84	0.003
	3	Τσιμεντοκονίαμα	0.02	1.400	0.014
	4	ΚΕΒΕ xps	0.15	0.029	5.172
	5	Συνθετικό κονίαμα	0.005	0.870	0.006
	6	Ασφαλτόπανο	0.002	0.230	0.009
	7	Ελαφροσκυρόδεμα κλίσεων	0.08	0.200	0.400
	8	Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.15	2.500	0.060
	9	Ασβεστοκονίαμα	0.01	0.870	0.011
	10	Ακρυλική μπογιά	0.001	0.500	0.002
<b>ΜΕΣΑ</b>	11	Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ri			0.100
		<b>ΣΥΝΟΛΟ d</b>	0.423	<b>ΣΥΝΟΛΟ R</b>	5.817
				<b>U=1/R</b>	0.172

<b>ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΟΡΟΦΗ (ΜΗ ΒΑΤΗ) ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΑΕΡΑ</b>					
	<b>A/A</b>	<b>ΥΛΙΚΟ</b>	<b>ΠΑΧΟΣ d (m)</b>	<b>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ λ (W/m*K)</b>	<b>ΛΟΓΟΣ d/λ (m<sup>2</sup>*k/W)</b>
<b>ΕΞΩ</b>	1	Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ra			0.040
	2	Λευκό βότσαλο θάσου	0.05	3.500	0.014
	3	Γεώφασμα	0.002	0.040	0.050
	4	ΚΕΒΕ xps	0.15	0.029	5.172
	5	Συνθετικό κονίαμα	0.005	0.870	0.006
	6	Ασφαλτόπανο	0.002	0.230	0.009
	7	Ελαφροσκυρόδεμα κλίσεων	0.08	0.200	0.400
	8	Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.15	2.500	0.060
	9	Ασβεστοκονίαμα	0.01	0.870	0.011
	10	Ακρυλική μπογιά	0.001	0.500	0.002
<b>ΜΕΣΑ</b>	11	Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ri			0.100
		<b>ΣΥΝΟΛΟ d</b>	0.450	<b>ΣΥΝΟΛΟ R</b>	5.865
				<b>U=1/R</b>	0.171

ΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΤΟΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΑΕΡΑ)									
					ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ				
A/A	ΤΥΠΟΣ	ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ	ΟΝΟΜΑ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	U <sub>w</sub>	ΜΗΚΟΣ	ΥΨΟΣ	ΠΑΧΟΣ	ΕΜΒΑΔΟΝ	
ΙΣΟΓΕΙΟ	1	Παράθυρο ανοιγόμενο δίφυλλο	Δυτική όψη 1 (κουζίνα)	SNX 50/23	0.7	1.40	1.00	0.038	1.40
	2	Πόρτα εισόδου	Δυτική όψη 2 (σαλόνι)	Aluplast door	0.74	1.10	2.20	0.085	2.42
	4	Παράθυρο ανοιγόμενο δίφυλλο	Νότια όψη 1 (σαλόνι)	SNX 50/23	0.7	1.40	1.00	0.038	1.40
	5	Μπαλκονόπορτα	Νότια όψη 2 (σαλόνι)	SNX 50/23	0.7	1.40	2.20	0.038	3.08
	6	Παράθυρο ανοιγόμενο	Νότια όψη 3 (διάδρομος)	SNX 50/23	0.7	0.60	1.00	0.038	0.60
	7	Μπαλκονόπορτα	Νότια όψη 4 (γραφείο)	SNX 50/23	0.7	1.00	2.20	0.038	2.20
	8	Παράθυρο ανοιγόμενο	Βόρρεια όψη 2 (WC)	SNX 50/23	0.7	0.40	0.40	0.038	0.16
	9	Παράθυρο ανοιγόμενο δίφυλλο	Βόρρεια όψη 3 (κουζίνα)	SNX 50/23	0.7	1.40	1.00	0.038	1.40
	ΟΡΟΦΟΣ	1	Παράθυρο ανοιγόμενο δίφυλλο	Δυτική όψη 1 (υ/δ 2)	SNX 50/23	0.7	0.60	1.00	0.038
2		Μπαλκονόπορτα	Νότια όψη 1 (υ/δ 1)	SNX 50/23	0.7	1.00	2.00	0.038	2.00
3		Μπαλκονόπορτα	Νότια όψη 2 (διάδρομος)	SNX 50/23	0.7	1.00	2.00	0.038	2.00
4		Παράθυρο ανοιγόμενο δίφυλλο	Νότια όψη 3 (υ/δ 2)	SNX 50/23	0.7	1.40	1.00	0.038	1.40
5		Παράθυρο ανοιγόμενο δίφυλλο	Νότια όψη 4 (υ/δ 3)	SNX 50/23	0.7	1.40	1.00	0.038	1.40
6		Παράθυρο ανοιγόμενο δίφυλλο	Ανατολική όψη 1 (υ/δ 3)	SNX 50/23	0.7	0.60	1.00	0.038	0.60
8		Παράθυρο ανοιγόμενο	Βόρρεια όψη 2 (λουτρό 1)	SNX 50/23	0.7	0.40	0.40	0.038	0.16
9		Παράθυρο ανοιγόμενο	Βόρρεια όψη 3 (λουτρό 2)	SNX 50/23	0.7	0.40	0.40	0.038	0.16

20.98

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΜΒΑΔΟΥ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ <sup>40</sup>		
A/A	ΟΨΗ	ΕΜΒΑΔΟΝ
1	Δυτική	51,85
2	Νότια	89,87
3	Ανατολική	51,85
4	Βόρεια	89,87
5	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	97,50
6	Δάπεδο σε επαφή με εξ. Αέρα	19,22
7	Βατή οροφή	24,08
8	Μη βατή οροφή	97,50
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΜΒΑΔΟΝ</b>		<b>521,728</b>

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΩΝ				
	Όγκος 1 (κτήριο μαζί με κενά)	Όγκος 2 (πιλοτή)	Όγκος 2 (μπαλκόνι)	ΣΥΝΟΛΟ 01-(02+03)
Μήκος	13.00	5.49	6.88	<b>530,297</b>
Πλάτος	7.50	3.50	3.50	
Ύψος	6,913	3.169	3,448	

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ $U_m$ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΖΩΝΗ Β			
	A/V	$U_m, \max$	ΠΡΟΚΥΠΤΕΙ ΑΠΌ ΠΙΝΑΚΑ Γ3 ΤΟΥ ΚΕΝΑΚ
ΑΠΟ ΚΕΝΑΚ, ΠΙΝΑΚΑ Γ3 ΓΙΑ A/V=0,7	0.90	0.73	
A/V ( $m^{-1}$ )	0.984	<b>0.696</b>	
ΑΠΟ ΚΕΝΑΚ, ΠΙΝΑΚΑ Γ3 ΓΙΑ A/V=0,8	1,00	0.69	

<sup>40</sup> «Για τον υπολογισμό του λόγου A/V λαμβάνονται υπόψη όλες οι εξωτερικές επιφάνειες που διαμορφώνουν το κέλυφος του κτηρίου, είτε έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα είτε έρχονται σε επαφή με το έδαφος είτε με χώρο χαμηλότερης θερμοκρασίας», ΤΟΤΕΕ 20701-2, Παρ. 2.5.2 [48, p. 47]. Έτσι οι διαστάσεις καθ' ύψος της παρούσας εργασίας φαίνονται στην κατακόρυφη τομή της σελίδας 73 (το κατώτατο υψόμετρο και το υψόμετρο της άνω πλάκας).

<b>1</b>	<b>ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΕΣ</b>
----------	--------------------------------

	A/A	ΦΟΡΕΣ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ	ΤΥΠΟΣ	Ψ	ΜΗΚΟΣ (L) [m]	Σ(L*Ψ) [W/K]
<b>ΙΣΟΓΕΙΟ</b>	1	5	ΞΓ-5	-0.15	2.40	-1.80
	2	5	ΞΓ-2	-0.10	0.60	-0.30
	3	4	ΣΣ-1	0.00	2.40	0.00
	4	1	ΣΓ-4	0.05	2.40	0.12
	5	1	ΣΓ-2	0.05	0.60	0.03
	6	2	ΛΠ-19	0.05	0.60	0.06
	7	8	ΛΠ-19	0.05	1.00	0.40
	8	6	ΛΠ-19	0.05	2.20	0.66
<b>ΟΡΟΦΟΣ</b>	9	3	ΞΓ-5	-0.15	2.40	-1.08
	10	2	ΞΓ-5	-0.15	1.80	-0.54
	11	1	ΞΓ-3	-0.10	3.00	-0.30
	12	5	ΞΓ-2	-0.10	0.60	-0.30
	13	4	ΣΣ-1	0.00	2.40	0.00
	14	1	ΣΓ-4	0.05	2.40	0.12
	15	1	ΣΓ-2	0.05	0.60	0.03
	16	4	ΛΠ-19	0.05	2.00	0.40
	17	4	ΛΠ-19	0.05	1.00	0.20
	18	4	ΛΠ-19	0.05	0.60	0.12

**ΣΥΝΟΛΟ**      -2.18



<b>2</b>	<b>ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΕΣ</b>
----------	---------------------------------

Α/Α	ΟΨΗ	ΤΥΠΟΣ	Ψ (W/mK)	ΜΗΚΟΣ (L) [m]	Σ(L*Ψ) [W/K]
1	Δυτική	ΔΣ-36	-0.10	6.28	-0.63
2	Δυτική	ΔΣ-34	-0.05	1.22	-0.06
3	Δυτική	ΔΥ-3	0.05	3.04	0.15
4	Δυτική	ΔΥ-1	0.05	0.46	0.02
5	Δυτική	ΕΔ-3	0.00	3.08	0.00
7	Δυτική	ΔΦ <sup>41</sup>	0.00	7.50	0.00
9	Δυτική	ΥΠ-19	0.10	5.10	0.51
11	Νότια	ΔΣ-36	-0.10	18.35	-1.84
12	Νότια	ΔΣ-34	-0.05	1.40	-0.07
13	Νότια	ΔΥ-3	0.05	6.58	0.33
14	Νότια	ΔΥ-1	0.05	0.65	0.03
15	Νότια	ΔΠ-29	-0.05	5.19	-0.26
17	Νότια	ΔΦ-	0.00	13.00	0.00
19	Νότια	ΟΕ-2	0.05	5.19	0.26
20	Νότια	ΟΕ-1	0.05	0.45	0.02
21	Νότια	ΥΠ-19	0.10	18.40	1.84
23	Ανατολική	ΔΣ-36	-0.10	6.58	-0.66
24	Ανατολική	ΔΣ-34	-0.05	0.92	-0.05
25	Ανατολική	ΔΠ-29	-0.05	3.50	-0.18
27	Ανατολική	ΔΦ-	0.00	7.50	0.00
29	Ανατολική	ΟΕ-2	0.05	3.04	0.15
30	Ανατολική	ΟΕ-1	0.05	0.46	0.02
31	Ανατολική	ΕΔ-3	0.00	3.08	0.00
33	Ανατολική	ΥΠ-19	0.10	1.20	0.12
34	Βόρεια	ΔΣ-36	-0.10	11.78	-1.18
35	Βόρεια	ΔΣ-34	-0.05	1.22	-0.06
36	Βόρεια	ΕΔ-3	0.00	11.78	0.00
37	Βόρεια	ΕΔ-1	0.00	1.22	0.00
38	Βόρεια	ΔΦ-	0.00	13.00	0.00
41	Βόρεια	ΥΠ-19	0.10	5.20	0.52

**ΣΥΝΟΛΟ**

-0.99

<sup>41</sup> Δε βρέθηκε εντός της ΤΟΤΕΕ 20701-2 μία πρόταση μονωμένης πλάκας σε επαφή με το έδαφος η οποία να ταυτίζεται με τη λύση της παρούσας διπλωματικής. Ο συντελεστής ψ θεωρήθηκε ίσος με 0,00.

<b>ΜΕΣΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΔΙΑΦΑΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ</b>			
	U	U max	A*U
ΤΟΙΧΟΣ ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ	0.173	0.450	45.445
ΔΑΠΕΔΟ ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	0.179	0.800	14.012
ΔΑΠΕΔΟ ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ	0.183	0.450	3.507
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΒΑΤΗ ΟΡΟΦΗ ΣΕ ΕΞΩΤ. Α.	0.172	0.400	4.139
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΗ ΒΑΤΗ ΟΡΟΦΗ ΣΕ ΕΞΩΤ.	0.171	0.400	12.519
<b>ΜΕΣΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ</b>			
	U	U max	A*U
ΠΑΡΑΘΥΡΑ/ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΕΣ	0.7	2.6	12.992
ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΠΟΡΤΑ	0.74	2.6	1.79
<b>ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΩΝ</b>			
	$\Sigma(L*\Psi)$ [W/K]		
Θ/Γ	-3.17		
<b>ΜΕΣΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΟΛΟΥ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ</b>			
	U <sub>m</sub>	U <sub>m, max</sub>	ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΟΥ U <sub>m</sub> ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ U <sub>m, max</sub>
ΚΤΗΡΙΟ	<b>0.175</b>	<b>0.696</b>	25.11

## Παράρτημα ΙΙ: ΖΝΧ

Μέση θερμοκρασία δικτύου νερού στην Αθήνα	Ημερήσιο απαιτούμενο θερμικό φορτίο Qd [kwh/day]	Qd [kwh/month]	Μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο [kwh/m <sup>2</sup> /month]	Αξιοποίηση ηλιακής ακτινοβολίας από ηλιακό συλλέκτη κενού σε 45° (1m <sup>2</sup> ) [kwh/m <sup>2</sup> /month]	Αξιοποίηση ηλιακής ακτινοβολίας από ηλιακό συλλέκτη κενού σε 45° (6m <sup>2</sup> ) [kwh/m <sup>2</sup> /month]	ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕΙΟΝ ΑΝΑΓΚΑΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (ΦΥΛΑΔΕΥΘΕΙΑ)
Ι	11.3	278.59	63.3	24.12	144.70	133.88
Φ	10.9	254.61	77.7	29.60	177.62	76.99
Μ	11.8	274.45	118.9	45.30	271.81	2.65
Α	14.3	245.60	152.7	58.18	349.07	-103.47
Μ	17.7	225.68	190.4	72.54	435.25	-209.57
Ι	21.6	187.20	207.4	79.02	474.12	-286.92
Ι	24.7	167.81	214.5	81.72	490.35	-322.53
Α	25.7	159.55	198.6	75.67	454.00	-294.45
Σ	24.2	166.40	156	59.44	356.62	-190.22
Ο	21.1	197.57	111.1	42.33	253.97	-56.40
Ν	16.9	224.80	68.1	25.95	155.68	69.12
Δ	13.5	260.40	54.4	20.73	124.36	136.04
(Τοτε 1, σελ 144)		SUM [kwh/year]		SUM [kwh/year]	SUM [kwh/year]	
		<b>2642.67</b>		<b>614.59</b>	<b>3687.55</b>	<b>418.69</b>
					Ποσοστό (%):	2223.98
						84.16

Παράρτημα III: Συγκέντρωση σχετικής υγρασίας

Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
0-HALL	477	736	1005	1803	1696	1421	842	530	177	67	6	0	46.2 (%)
0-KITCHEN	472	782	1070	1778	1769	1372	856	455	151	52	3	0	45.8 (%)
0-LIVING_ROOM	653	930	1453	1989	1644	1091	588	235	131	35	11	0	43.6 (%)
0-OFFICE	535	803	1170	1773	1671	1321	874	365	162	66	20	0	45.4 (%)
0-STAIRS	520	797	1108	1784	1722	1345	858	381	168	69	8	0	45.5 (%)
0-WC	453	727	966	1720	1686	1465	937	522	196	82	6	0	46.5 (%)
1-BATHROOM	439	721	925	1689	1661	1467	953	538	260	90	17	0	46.9 (%)
1-BEDROOMS	533	841	1288	1877	1667	1256	774	304	144	58	18	0	44.9 (%)
1-BED_MASTER	531	833	1200	1805	1736	1319	765	341	142	63	25	0	45.1 (%)
1-HALL	506	767	1132	1856	1740	1349	764	408	180	51	7	0	45.5 (%)
1-STORAGE	541	840	1218	1701	1648	1383	829	336	165	69	30	0	45.3 (%)
1-WC_MASTER	442	730	943	1750	1675	1476	928	513	205	87	11	0	46.6 (%)

Πίνακας IV.1: Για κάθε Ζώνη του μοντέλου, παρουσιάζονται οι ώρες του έτους, κατά τις οποίες διατηρήθηκε το εύρος σχετικής υγρασίας που αναγράφεται στην κορυφή κάθε στήλης

