



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Σχεδιασμός και Μελέτη Νέας Μονώροφης Κατοικίας με Υψηλή Ενεργειακή Απόδοση



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φίλιππος Καλαμάρας

Επιβλέπων: Ιωάννης Βάγιας

Συνεπιβλέπων: Ανδρέας Σπηλιόπουλος

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

EMK ΔΕ 2020/29

Καλαμάρας Φίλιππος (2020).
Σχεδιασμός και Μελέτη Νέας Μονώροφης Κατοικίας με Υψηλή Ενεργειακή Απόδοση
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2020/29
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Kalamaras Filippos (2020).
Design of a New Energy Efficient Single-Storey Residence
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2020/29
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	3
Abstract	4
Ευχαριστίες	5
1 Εισαγωγή.....	6
1.1 Το περιβαλλοντικό ζήτημα.....	6
1.2 Η συμμετοχή του κτηριακού τομέα στο περιβαλλοντικό πρόβλημα	6
1.3 Ευρωπαϊκή πολιτική.....	9
1.3.1 Στόχοι.....	9
1.3.2 Νομοθεσία για τον κτηριακό τομέα	9
2 Στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας σε κατοικίες.....	11
2.1 Εισαγωγή.....	11
2.2 Βιοκλιματικός σχεδιασμός	11
2.2.1 Σχήμα του κτηρίου και προσανατολισμός	11
2.2.2 Σκίαση κτηρίων και ανοιγμάτων	14
2.2.3 Διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων και ανοιγμάτων	15
2.2.4 Χρώμα εξωτερικών επιφανειών και φύτευση δώματος	15
2.2.5 Θερμομόνωση και κουφώματα	16
2.2.6 Διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου - μικροκλίμα	18
2.3 Ενσωμάτωση ΑΠΕ σε κατοικίες.....	19
2.3.1 Αντλία θερμότητας.....	19
2.3.2 Συστήματα εκμετάλλευσης ηλιακής ακτινοβολίας.....	20
2.3.3 Ανεμογεννήτριες.....	22
3 Τεκμηρίωση αρχιτεκτονικού σχεδιασμού κατοικίας.....	23
3.1 Εισαγωγή.....	23
3.2 Χωροθέτηση κατοικίας στο οικοπέδο	23
3.3 Διαρρύθμιση εσωτερικών χώρων και ανοιγμάτων.....	26
3.4 Διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου	28
4 Ανάλυση και διαστασιολόγηση φορέα.....	30
4.1 Εισαγωγή.....	30
4.2 Δράσεις Σχεδιασμού.....	31
4.2.1 Μόνιμες Δράσεις.....	31
4.2.2 Μεταβλητές Δράσεις.....	32
4.2.3 Δράσεις Χιονιού.....	32
4.2.4 Δράσεις Ανέμου	33
4.2.5 Σεισμικές Δράσεις.....	45
4.3 Συνδυασμός των Δράσεων	46
4.3.1 Συνδυασμοί φορτίσεων σε ΟΚΑ για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές.....	47
4.3.2 Συνδυασμοί φορτίσεων σε ΟΚΑ για καταστάσεις σεισμού	48
4.3.3 Συνδυασμοί φορτίσεων σε ΟΚΛ.....	49
4.4 Έλεγχος και διαστασιολόγηση μελών	50
4.4.1 Σύμμικτη πλάκα	50
4.4.2 Υποστυλώματα.....	53
4.4.3 Δοκοί.....	56
4.4.4 Χιαστί σύνδεσμοι δυσκαμψίας.....	57
4.5 Μετακινήσεις φορέα υπό σεισμικούς συνδυασμούς.....	58
4.5.1 Περιορισμός βλαβών.....	58
4.5.2 Έλεγχος επίδρασης της παραμορφωμένης γεωμετρίας του φορέα	58

5	Μελέτη ενεργειακής απόδοσης κατοικίας.....	60
5.1	Εισαγωγή.....	60
5.2	Κλιματικές ζώνες.....	60
5.3	Συνθήκες λειτουργίας και θερμικής άνεσης για κατοικίες.....	61
5.4	Σχεδίαση κτηρίων και τοποθέτηση κύκλου θέσεως ηλίου.....	62
5.5	Σκιάσεις.....	64
5.5.1	Υπολογισμός συντελεστή σκίασης ορίζοντα F_{hor}	65
5.5.2	Υπολογισμός συντελεστών σκίασης από προβόλους F_{ov}	67
5.5.3	Υπολογισμός συντελεστών σκίασης από πλευρικές προεξοχές F_{fin}	69
5.6	Θερμογέφυρες.....	72
5.7	Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας της κατοικίας.....	76
5.7.1	Συντελεστής θερμοπερατότητας αδιάφανων δομικών στοιχείων.....	78
5.7.2	Συντελεστής θερμοπερατότητας διάφανων δομικών στοιχείων.....	83
5.7.3	Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κατοικίας.....	85
5.8	Εκπεμπτικότητα ϵ , αναλαστικότητα ρ και απορροφητικότητα α	86
5.9	Συστήματα.....	87
5.9.1	Σύστημα θέρμανσης και ψύξης.....	87
5.9.2	Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.....	89
5.10	Ενεργειακή κατάταξη κατοικίας.....	91
5.11	Βελτιώσεις.....	93
5.11.1	Σενάριο 1: Βελτίωση θερμομονωτικής ικανότητας κελύφους.....	93
5.11.2	Σενάριο 2: Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.....	93
6	Συμπεράσματα.....	95
7	Βιβλιογραφία.....	97
	Παράρτημα Α. Συντελεστές σκίασης.....	99

Σχεδιασμός και Μελέτη Νέας Μονώροφης Κατοικίας με Υψηλή Ενεργειακή Απόδοση

Καλαμάρας Φίλιππος (Επιβλέπων: Βάγιας Ι., Συνεπιβλέπων: Σπηλιόπουλος Α.)

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός μιας νέας μονώροφης κατοικίας με μεταλλικό σκελετό και υψηλή ενεργειακή απόδοση, σύμφωνα με όσα ορίζει ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.).

Αρχικά, γίνεται περιγραφή του περιβαλλοντικού προβλήματος και των στόχων που έχουν τεθεί από την ΕΕ για την αντιμετώπισή του, ενώ αναφέρονται ορισμένες στρατηγικές, οι οποίες εφαρμόζονται στα κτήρια με σκοπό τη μείωση των ενεργειακών τους απαιτήσεων. Με γνώμονα αυτές τις στρατηγικές σχεδιάζεται η υπό μελέτη κατοικία και γίνεται η βέλτιστη χωροθέτησή της στο οικοπέδο.

Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα φορτία που δρουν επί της κατασκευής σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες και περιγράφονται οι συνδυασμοί τους. Με βάση τους συνδυασμούς αυτούς γίνεται έλεγχος και διαστασιολόγηση των μελών με τη χρήση των προγραμμάτων Sofistik και Sym Deck Designer 2.

Σε επόμενο στάδιο, γίνεται περιγραφή ορισμένων βασικών οδηγιών και προδιαγραφών του Κ.ΕΝ.Α.Κ. που αφορούν στις νέες κατοικίες. Σύμφωνα με τις οδηγίες αυτές και με τη βοήθεια προγραμμάτων της 4M («GCAD» και «Ενεργειακά – Κτήριο Αναφοράς») πραγματοποιείται τελικά ο υπολογισμός της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας της υπό μελέτη κατοικίας και των αερίων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που εκλύονται για τη λειτουργία της και γίνεται η κατάταξή της σε ενεργειακή κατηγορία.

Τέλος, εξετάζονται δύο εναλλακτικές παραδοχές για την επίτευξη υψηλότερης ενεργειακής απόδοσης της κατοικίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με την εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2020/29

Design of a New Energy Efficient Single-Storey Residence

Kalamaras Filippos (supervised by Vayas I., Spiliopoulos A.)

Abstract

The current diploma thesis focuses on the design of a new metal frame single-storey residence with high energy efficiency, according to the Greek Code related with the energy efficiency of buildings (K.EN.A.K.).

Initially, a basic description of the environmental issues and the objectives that have been specified by the European Union regarding their impacts, are presented. Also, specific strategies are mentioned, which are usually implemented in order to reduce the energy requirements of buildings. The site positioning of the building and its design is carried out in the light of these strategies.

Further on, loads acting on the construction are calculated in accordance with the Eurocodes and their combinations are described. Using programs such as Sofistik and Sym Deck Designer 2, analysis and dimensioning of the members will be carried out.

In the next step, basic specifications and standards set by the national Code (K.EN.A.K.) are defined. On the basis of this regulation and using the 4M programs “GCAD” and “Energeiaka–Ktirio Anaforas”, a study will be conducted to estimate the residence’s primary energy consumption and carbon dioxide (CO₂) emissions and also to classify its energy category.

Finally, two alternative scenarios are examined for achieving even higher energy efficiency.

The present diploma thesis is completed with the synopsis of the final conclusions.

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές μου κ. Βάγια Ιωάννη και κ. Σπηλιόπουλο Ανδρέα για την βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Εκτιμώ ιδιαίτερα την ευκαιρία που μου δόθηκε να ασχοληθώ με ένα θέμα ενδιαφέρον και ταυτόχρονα πολύ σημαντικό για την εποχή μας.

Στη συνέχεια, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξη όλα αυτά τα χρόνια. Το μεγάλο ευχαριστώ πηγαίνει στους γονείς μου, Αριστείδη και Ευαγγελία, για την ψυχολογική και οικονομική τους στήριξη κατά τη διάρκεια των μαθητικών και φοιτητικών μου χρόνων.

Τέλος, ευχαριστώ την εταιρεία 4M που μου παρείχε δωρεάν την άδεια χρήσης των προγραμμάτων της για όσο χρόνο διήρκησε η εκπόνηση της εργασίας, όπως και για την τηλεφωνική υποστήριξη σε διάφορες απορίες σχετικά με τη χρήση τους.

Φ. Καλαμάρας

1 Εισαγωγή

1.1 Το περιβαλλοντικό ζήτημα

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα σήμερα είναι η καταστροφή του περιβάλλοντος. Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς και η αύξηση της βιομηχανικής δραστηριότητας, σε συνδυασμό με την θέληση του ανθρώπου να βελτιώσει το βιοτικό του επίπεδο, οδήγησαν σε αλόγιστη χρήση των φυσικών αποθεμάτων με σκοπό να καλυφθούν οι απαιτούμενες ανάγκες με τα γνωστά καταστροφικά αποτελέσματα για το περιβάλλον. Ορισμένα από τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν από την ανθρώπινη δραστηριότητα είναι η περιβαλλοντική ρύπανση, η κλιματική αλλαγή, η τρύπα του όζοντος και η αποδάσωση. Η κλιματική αλλαγή και οι συνέπειες της είναι το μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα που έχει να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα σήμερα. Το κλίμα και η θερμοκρασία της γης επηρεάζονται από παράγοντες όπως είναι η καύση ορυκτών καυσίμων, η αποψίλωση των δασών και η κτηνοτροφία. Οι διάφορες αυτές δραστηριότητες προσθέτουν μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου στα ήδη υπάρχοντα αέρια στην ατμόσφαιρα (κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, υποξείδιο του αζώτου, μεθάνιο και φθοριούχα αέρια), προκαλώντας έτσι την όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

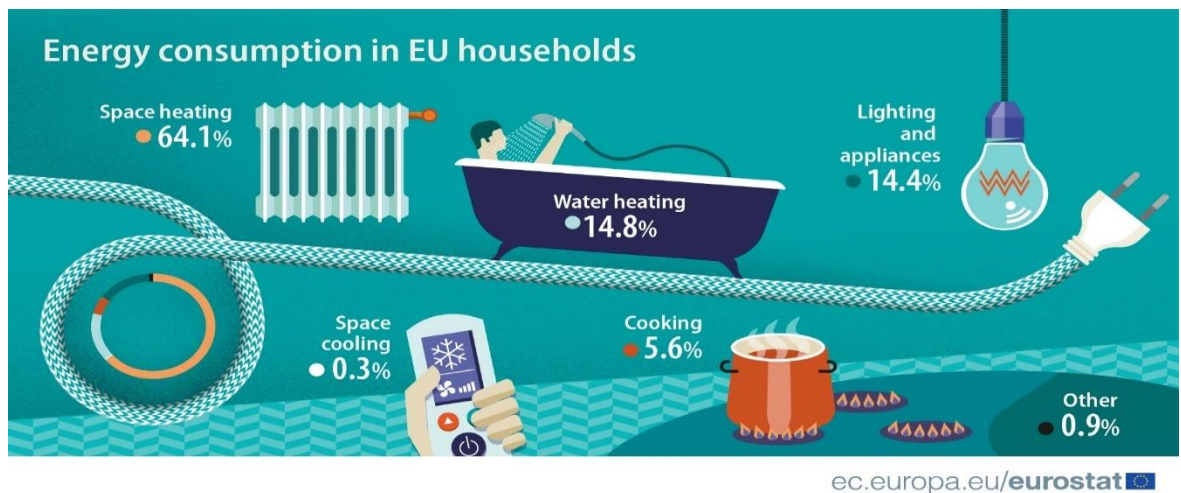
Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής έχουν ήδη αρχίσει να παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια, μία απ τις οποίες είναι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά περίπου 0.9 βαθμούς Κελσίου από το τέλος του 19^{ου} αιώνα. Ως αποτέλεσμα αυτής της αύξησης της θερμοκρασίας παρατηρείται τα τελευταία χρόνια το φαινόμενο της τήξης των πάγων στους πόλους της γης, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί στην αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Αυτό δημιουργεί τον κίνδυνο πλημμύρας σε διάφορες παράκτιες περιοχές, καθώς ακόμα και τον κίνδυνο να καταστούν μη κατοικήσιμες ολόκληρες πόλεις ή χωριά στο μέλλον. Επιπροσθέτως, η κλιματική αλλαγή οφείλεται για ακραία καιρικά φαινόμενα όπως είναι τα συχνότερα κύματα καύσωνα και η ξηρασία σε ορισμένες περιοχές (όπως η Μεσόγειος), οι εντονότερες βροχοπτώσεις σε περιοχές όπως η Βόρεια Ευρώπη κ.α. Είναι λοιπόν αυτονόητο πως εάν δεν ληφθούν άμεσα τα απαραίτητα μέτρα η κλιματική αλλαγή θα επιφέρει σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες, καθώς επίσης θα συνιστά πέρα από έμμεση και άμεση απειλή για τη ζωή των ανθρώπων και άλλων ειδών.

1.2 Η συμμετοχή του κτηριακού τομέα στο περιβαλλοντικό πρόβλημα

Η συμμετοχή των κτηρίων στο περιβαλλοντικό πρόβλημα είναι προφανής, αφού για τη λειτουργία τους απαιτείται κατανάλωση ενέργειας, για την παραγωγή της οποίας απαιτείται συνήθως καύση ορυκτών καυσίμων και συνεπώς εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα. Σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat τα κτήρια στην ΕΕ ευθύνονται για το 40 % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και για το 36 % της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Σύμφωνα με τα ίδια στοιχεία, επεμβάσεις με στόχο την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των υπαρχόντων κτηρίων θα μπορούσαν να μειώσουν την συνολική κατανάλωση ενέργειας της ΕΕ κατά 5 με 6 % και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 5 % .

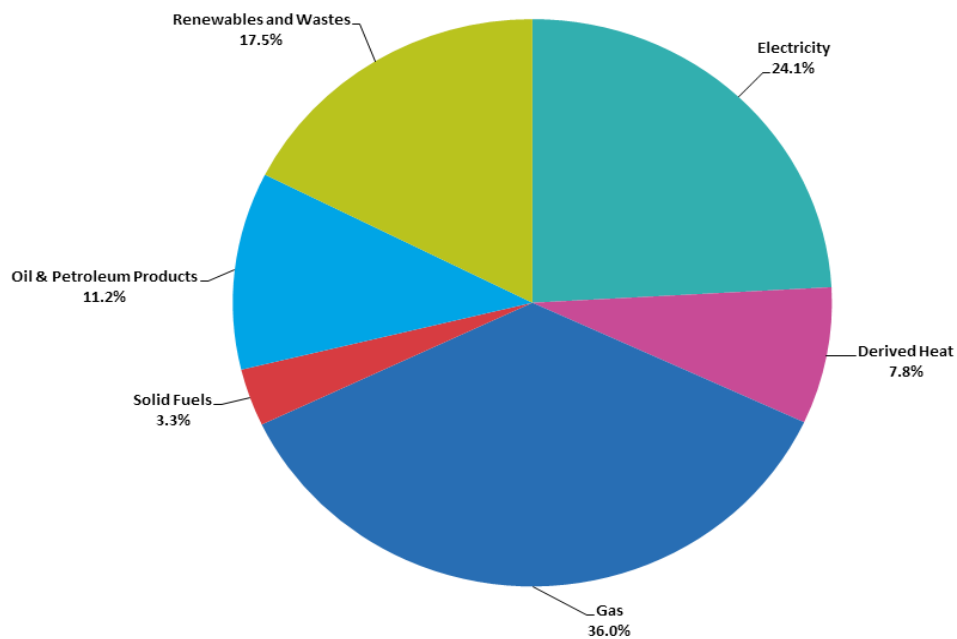
Ειδικότερα, οι κατοικίες ευθύνονται για το 27,7 % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας που λαμβάνει χώρα στην ΕΕ. Η κατανάλωση αυτή αφορά κυρίως τη θέρμανση και ψύξη των χώρων, την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, τον φωτισμό και το μαγειρέμα. Σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat για το 2017, η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε κατοικίες στην ΕΕ αφορά τη θέρμανση των χώρων και αποτελεί το 64 % της συνολικής τους κατανάλωσης. Στο σχήμα 1.1 φαίνονται τα ποσοστά που αντιστοιχούν σε κάθε χρήση της

ενέργειας από κατοικίες στην ΕΕ. Σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο καλύπτονται οι ανάγκες αυτές των κατοικιών, στην ΕΕ κυριαρχεί το φυσικό αέριο με ποσοστό 36% και ακολουθεί η ηλεκτρική ενέργεια με ποσοστό 24,1 %, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.1 : Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας ανά χρήση σε κατοικίες της ΕΕ για το έτος 2017
(Πηγή : <https://ec.europa.eu/eurostat>)

Final energy consumption in the residential sector by fuel, EU-28, 2017



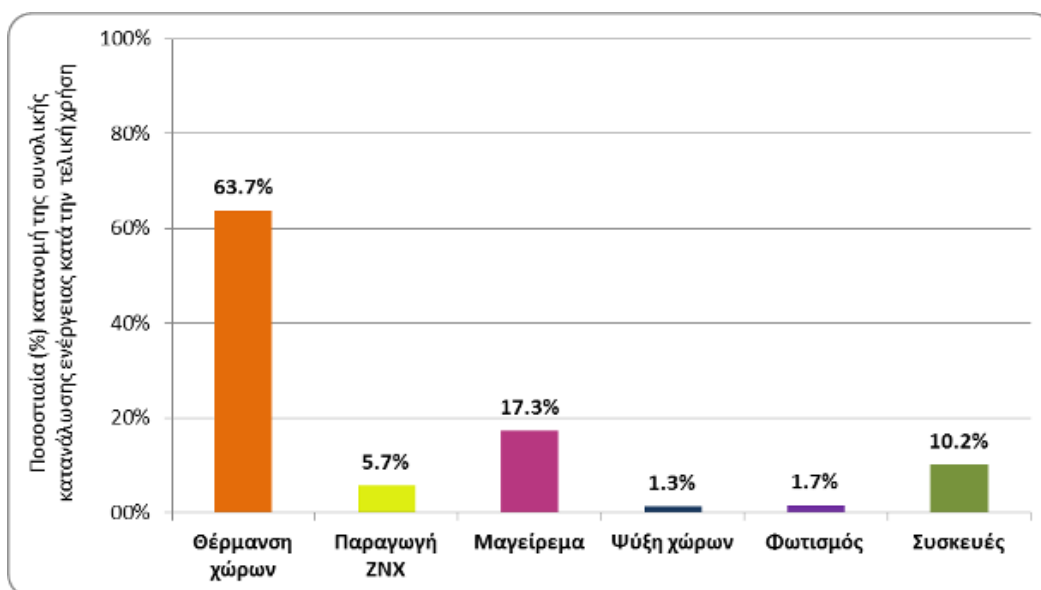
Source: Eurostat (online data code: nrg_bal_c)

eurostat

Σχήμα 1.2 : Ενέργεια τελικής χρήσης ανά καύσιμο σε κατοικίες της ΕΕ για το έτος 2017
(Πηγή : <https://ec.europa.eu/eurostat>)

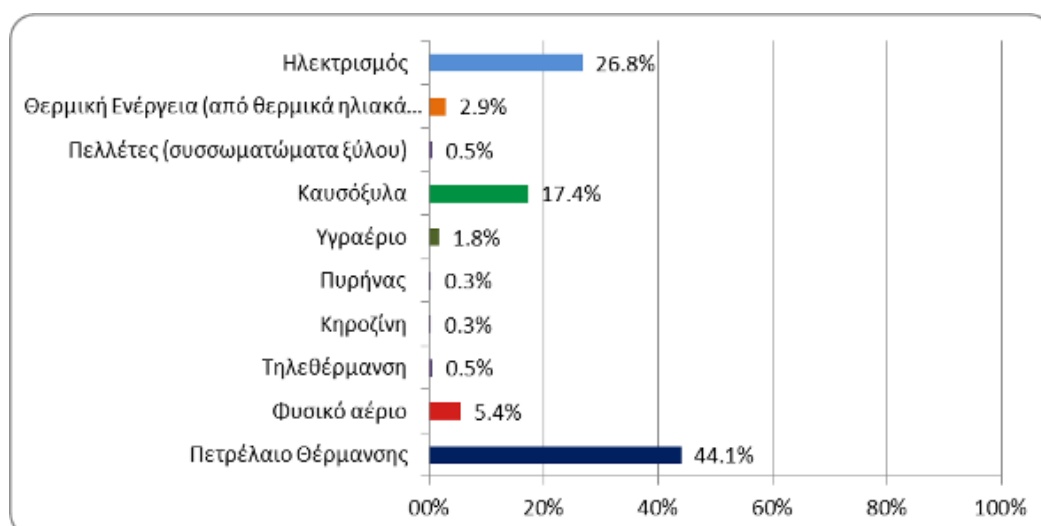
Όσον αφορά στην Ελλάδα, ο οικιακός και ο τριτογενής τομέας ευθύνονται για την κατανάλωση του 45% της συνολικής ενέργειας (Πηγή: Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτιριακού αποθέματος,

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας). Σύμφωνα με έρευνα της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (ΕΛΣΤΑΤ) σε συνεργασία με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) κατά το διάστημα 2011 – 2012, η θέρμανση των χώρων μίας κατοικίας του Ελλαδικού χώρου κατέλαβε ποσοστό 63,7 % στην συνολική κατανάλωση ενέργειας μίας κατοικίας. Στο γράφημα του σχήματος 1.3 που ακολουθεί φαίνονται τα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας για κάθε λειτουργία, ενώ στο γράφημα του σχήματος 1.4 φαίνεται το ποσοστό κατανάλωσης που αντιστοιχεί σε κάθε καύσιμο. Παρατηρείται λοιπόν πως στην Ελλάδα υπάρχει πολύ μεγάλη εξάρτηση από το πετρέλαιο θέρμανσης για τις κατοικίες σε σχέση με την συνολική εικόνα για όλη την ΕΕ.



Σχήμα 1.3 : Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας ανά χρήση σε κατοικίες της Ελλάδας για το έτος 2012-2013

(Πηγή : <http://www.cres.gr>)



Σχήμα 1.4 : Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας ανά καύσιμο σε κατοικίες της Ελλάδας για το έτος 2012-2013

(Πηγή : <http://www.cres.gr>)

1.3 Ευρωπαϊκή πολιτική

1.3.1 Στόχοι

Στην προσπάθεια για αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού προβλήματος έχουν θεσπιστεί ορισμένοι στόχοι για την προστασία του περιβάλλοντος από τους κινδύνους που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Οι στόχοι που έθεσε η ΕΕ μέχρι το 2020 είναι γνωστοί ως «20 – 20 – 20» και αναφέρονται σε :

- 1) Μείωση κατά 20 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου συγκριτικά με το 1990.
- 2) Συμμετοχή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε ποσοστό 20 % της συνολικής κατανάλωσης.
- 3) 20 % αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας

Οι μελλοντικοί στόχοι που έχουν τεθεί αφορούν τα έτη 2030 και 2050 και είναι οι παρακάτω:

- 1) Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40 % ως το 2030 σε σχέση με αυτές του 1990.
- 2) Συμμετοχή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε ποσοστό 32 % της συνολικής κατανάλωσης ως το έτος 2030.
- 3) 32.5 % αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας ως το 2030
- 4) Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 80 με 95 % ως το 2050, συγκριτικά με το 1990.

1.3.2 Νομοθεσία για τον κτηριακό τομέα

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει θεσπίσει οδηγίες που αφορούν την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων και πάνω στις οποίες πρέπει να εναρμονιστούν όλα τα κράτη μέλη. Οι πλέον σύγχρονες από αυτές τις οδηγίες (Οδηγία 2010/31/ΕΕ) αφορούν μία κοινή μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων σε εθνικό επίπεδο. Ένα από τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελούνται οι οδηγίες αυτές είναι τα κτήρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (nZEB), δηλαδή κτήρια με πολύ μικρή απαίτηση ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών τους, οι οποίες καλύπτονται σε μεγάλο βαθμό από ΑΠΕ.

Ο Ελληνικός κανονισμός που αποσκοπεί στην εναρμόνιση με τις Ευρωπαϊκές οδηγίες ονομάζεται Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.). Ο Κ.Εν.Α.Κ. εκδόθηκε για πρώτη φορά στις 9 Απριλίου 2010, όπως προέβλεπε ο νόμος 3661/2008 και από τότε έχει αναθεωρηθεί μόνο μία φορά, την 12^η Ιουλίου 2017, σύμφωνα με τον νόμο 3661/2013. Στόχος της δημιουργίας του Κανονισμού αυτού είναι η μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα συνθήκες άνεσης στους χρήστες των εσωτερικών χώρων του κτηρίου. Αξίζει να αναφερθεί ότι ως το 1979 στη χώρα μας δεν υπήρχε κανένας κανονισμός σχετικός με την ενεργειακή απόδοση κτηρίων, ενώ την 30ετία 1979 – 2010 ήταν σε ισχύ ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτηρίων (Κ.Θ.Κ.), ο οποίος προέβλεπε ορισμένες προδιαγραφές και απαιτήσεις των δομικών στοιχείων της κατασκευής σχετικά με τη θερμομονωτική τους ικανότητα. Με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ. ορίζονται όλες οι οδηγίες και προδιαγραφές που απαιτούνται για την εφαρμογή της μεθοδολογίας υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης. Το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (Τ.Ε.Ε.), υποστηρικτικά του κανονισμού, συνέταξε ορισμένες Τεχνικές Οδηγίες (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.) πάνω στις οποίες βασίζεται η μελέτη ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Οι τελευταίες εκδόσεις αυτών είναι οι εξής :

1. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 1/2017: <<Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης>>
2. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 2/2017: <<Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων>>
3. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 3/2017: <<Κλιματικά δεδομένα των ελληνικών περιοχών>>
4. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 4/2017: <<Οδηγίες και έντυπα εκθέσεων ενεργειακών επιθεωρήσεων κτηρίων, συστημάτων θέρμανσης και συστημάτων κλιματισμού>>
5. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 5/2017: <<Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήριο>>.

Όλα τα νέα ή ριζικώς ανακαινιζόμενα κτήρια, αλλά και τα υφιστάμενα κτήρια σε περίπτωση μίσθωσης ή αγοραπωλησίας οφείλουν να εκδίδουν πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης, το οποίο περιλαμβάνεται στο φάκελο που παραδίδεται στην αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία και η μορφή του οποίου περιγράφεται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 4/2017. Αυτό περιλαμβάνει μεταξύ άλλων την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτηρίου (kWh/m^2) και την κατάταξη του σε ενεργειακή κατηγορία, με τη μέθοδο που περιγράφεται στην ενότητα 5. Ακόμα, περιλαμβάνει το ποσοστό συμμετοχής της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στη συνολική κατανάλωση ενέργειας, τις υπολογιζόμενες και πραγματικές ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) σε kg/m^2 , την εκτίμηση του ενεργειακού επιθεωρητή σχετικά με την αξιολόγηση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος κ.α.

Με βάση τον ΚΕΝΑΚ, κατοικία σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης θεωρείται αυτή η οποία ανήκει στην ενεργειακή κλάση Α ή Α+, σύμφωνα με αυτά που περιγράφονται στην ενότητα 5. Η αρχική οδηγία απαιτούσε από 1/1/2020 όλα τα νέα ή ριζικώς ανακαινιζόμενα κτήρια της Ελλάδας να ανήκουν τουλάχιστον στην ενεργειακή κλάση Α, ωστόσο αυτό, λόγω της οικονομικής κατάστασης στην Ελλάδα και της πανδημίας του COVID-19, έχει πάρει παράταση ως την 1/6/2021. Ως τότε η απαίτηση για νέες κατοικίες είναι να ανήκουν στην ενεργειακή κατηγορία Β+, ενώ για άδειες που εκδόθηκαν το 2019 επιτρέπεται και η ενεργειακή κατηγορία Β. Αξίζει να αναφερθεί ότι για τα κτήρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας δίνεται το κίνητρο της αύξησης του συντελεστή δόμησης κατά 5 – 10 %.

Στην εργασία αυτή επιδιώκεται να γίνουν γνωστές οι βασικές προδιαγραφές και μέθοδοι που ορίζει ο Ελληνικός Κανονισμός σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των νέων κατοικιών. Ταυτόχρονα, σκοπός είναι να εφαρμοστούν οι προδιαγραφές αυτές σε μία νέα μονώροφη μεταλλική κατοικία, να διερευνηθούν οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζονται σε αυτή την κατηγορία κατασκευών και να μελετηθεί η δυνατότητα ένταξης της κατοικίας στην κατηγορία των nZEB.

2 Στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας σε κατοικίες

2.1 Εισαγωγή

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτήριο παίζει πάρα πολύ σημαντικό ρόλο, τόσο στην προστασία του περιβάλλοντος, όσο και στην οικονομία. Από αυτά που αναφέρονται στην ενότητα 1 γίνεται κατανοητό πως τα κτήρια αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους καταναλωτές ενέργειας. Τα μέτρα που αφορούν στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια βασίζονται είτε στον βιοκλιματικό σχεδιασμό του κτηρίου, είτε στην ενσωμάτωση σύγχρονων συστημάτων κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε αξιοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

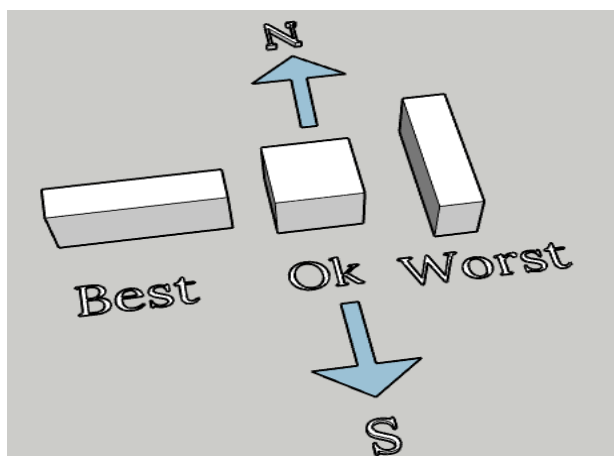
Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι στρατηγικές με τις οποίες επιτυγχάνεται ο στόχος του βιοκλιματικού σχεδιασμού για μικρή ενεργειακή κατανάλωση, οι οποίες αφορούν στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, του τοπικού κλίματος και των ιδιοτήτων των υλικών δόμησης και έχουν ως βασική επιδίωξη την επίτευξη συνθηκών άνεσης τόσο κατά τη χειμερινή, αλλά και κατά τη θερινή περίοδο. Ακόμα, παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μπορούν να εφαρμοστούν στον οικιακό τομέα και να συνεισφέρουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, ή να οδηγήσουν σε ένα κτήριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης.

2.2 Βιοκλιματικός σχεδιασμός

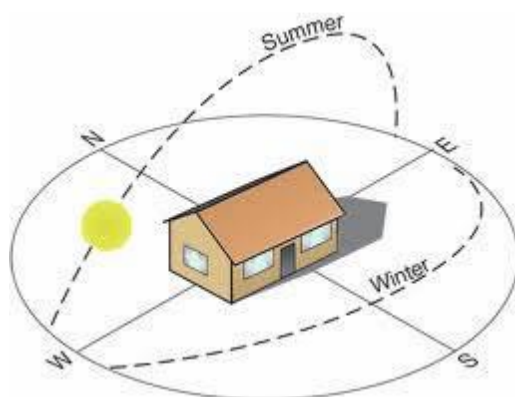
Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός (ή βιοκλιματική αρχιτεκτονική) αφορά τον σχεδιασμό κτηρίων τα οποία εκμεταλλεύονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις τοπικές κλιματικές συνθήκες με τακτικές που βοηθούν στη συλλογή και αποθήκη της ηλιακής ακτινοβολίας (χειμερινή περίοδος) ή αντίθετα στην αποφυγή ηλιασμού και στην αποδοχή φυσικής ψύξης (θερινή περίοδος). Αξίζει να αναφερθεί πως το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ), έχοντας επίγνωση της σημασίας του βιοκλιματικού σχεδιασμού, εξέδωσε την σχετική τεχνική οδηγία 20702 - 5/2010 «Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων», στην οποία αναλύονται σχετικές οδηγίες για τη σχεδίαση βιοκλιματικών κτηρίων. Στις επόμενες υποενότητες αναλύονται οι βασικές κατευθύνσεις που ορίζει ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτηρίου.

2.2.1 Σχήμα του κτηρίου και προσανατολισμός

Σύμφωνα με τις βιοκλιματικές αρχές, η μεγαλύτερη όψη του κτηρίου οφείλει να είναι στραμμένη προς τον Νότο, με επιτρεπόμενη απόκλιση 30 μοιρών προς τη Δύση ή την Ανατολή. Το βέλτιστο σχήμα του κτηρίου είναι, λοιπόν, το επίμηκες κατά τον άξονα της Ανατολής – Δύσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1. Ο λόγος που το κτήριο πρέπει να έχει αυτό το σχήμα και προσανατολισμό είναι το γεγονός ότι η κίνηση του ηλίου γίνεται από την Ανατολή ως τη Δύση, βρισκόμενος το μεγαλύτερο διάστημα της ημέρας προς τη μεριά του Νότου (σχήμα 2.2) και έτσι αξιοποιείται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την χειμερινή περίοδο.



Σχήμα 2.1: Βέλτιστο σχήμα κτηρίου



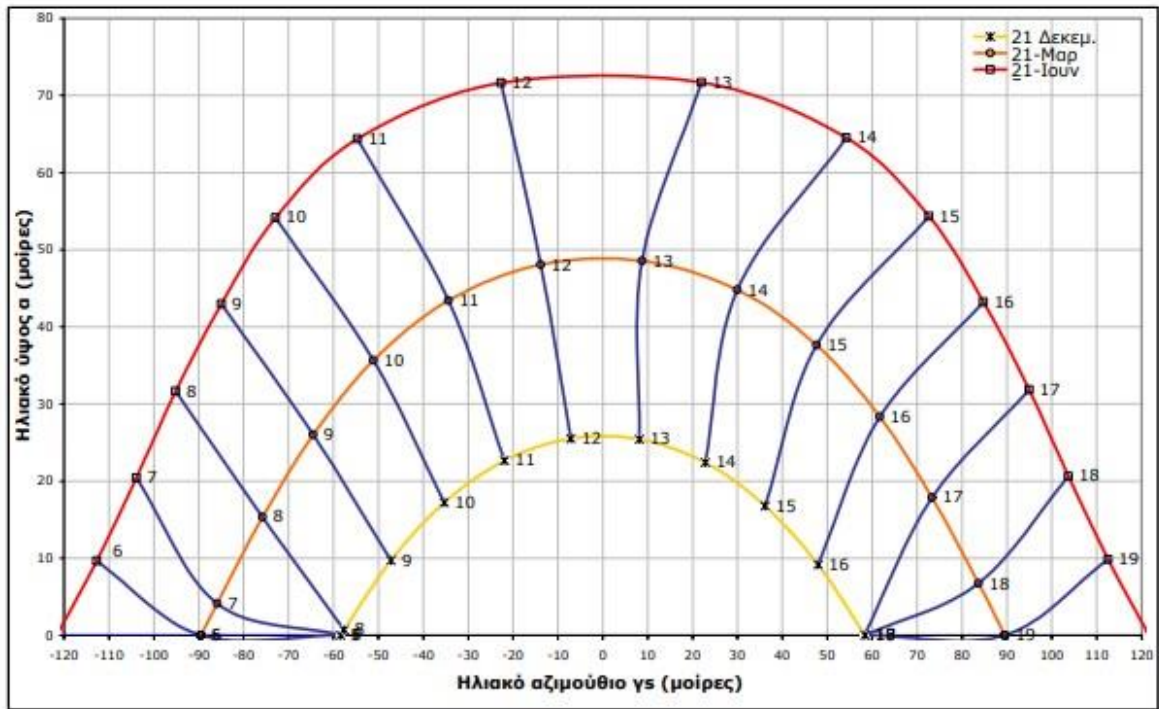
Σχήμα 2.2: Τροχιά ηλίου κατά τη χειμερινή και θερινή περίοδο
(Πηγή: <https://www.ktirio.gr>)

Ο ηλιασμός ή σκιασμός ενός κτηρίου μπορεί να υπολογιστεί γνωρίζοντας τη θέση του ηλίου, το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο βρίσκεται το κτήριο και τον προσανατολισμό των επιφανειών, με τη βοήθεια της οριζόντιας (HSA) και της κατακόρυφης (VSA) γωνίας σκίασης της επιφάνειας. Για να υπολογιστούν οι γωνίες αυτές πρέπει πρώτα να είναι γνωστά το ύψος του ηλίου α (σε μοίρες), δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της θέσης του ηλίου στον ουρανό και του οριζόντιου επιπέδου και το αζιμούθιο γ_s (μοίρες), δηλαδή η γωνία της ορθής προβολής του ηλίου επάνω στο οριζόντιο επίπεδο σε σχέση με τον τοπικό μεσημβρινό Βορρά – Νότου. Οι 2 γωνίες αυτές προσδιορίζονται με τη βοήθεια των ηλιακών χαρτών ανάλογα με την ημερομηνία, την ώρα της ημέρας και το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο βρίσκεται το υπό μελέτη κτήριο. Για παράδειγμα, στο σχήμα 2.3 φαίνεται ο ηλιακός χάρτης για γεωγραφικό πλάτος 40° Β. Από το σημείο τομής της ώρας και της τροχιάς του ηλίου για δεδομένη ημερομηνία φέρεται κάθετη γραμμή και το σημείο τομής με τον οριζόντιο άξονα αντιστοιχεί στην γωνία γ_s . Αντίστοιχα, φέρνοντας οριζόντια γραμμή από το ίδιο σημείο ως τον κάθετο άξονα, βρίσκεται η γωνία α . Η οριζόντια (HSA) και η κατακόρυφη (VSA) γωνία σκίασης, οι οποίες φαίνονται στο σχήμα 2.4, δίνονται από τις σχέσεις:

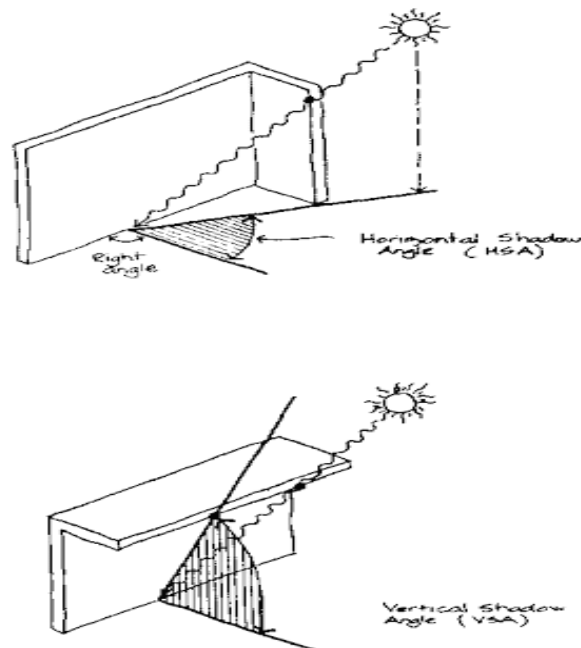
$$HSA = |\gamma_s - \gamma| \leq 90^\circ \quad 2.1$$

$$VSA = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \alpha}{\cos(HSA)} \right) \quad 2.2$$

Για επίπεδο με νότιο προσανατολισμό ισχύει $\gamma = 0^\circ$, για δυτικό προσανατολισμό $\gamma = 90^\circ$, για ανατολικό προσανατολισμό $\gamma = -90^\circ$, και τέλος για βόρειο προσανατολισμό $\gamma = 180^\circ$. Η διαδικασία υπολογισμού της σκίασης/ηλιασμού των κτηρίων συνολικά, αλλά και των ανοιγμάτων τους, στην πραγματικότητα γίνεται αρκετά εύκολα με τη χρήση λογισμικών που διατίθενται στην αγορά.



Σχήμα 2.3: Ηλιακός χάρτης (ηλιακή τροχιά) για γεωγραφικό πλάτος 40°
(Πηγή: Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-3/2010 Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών)

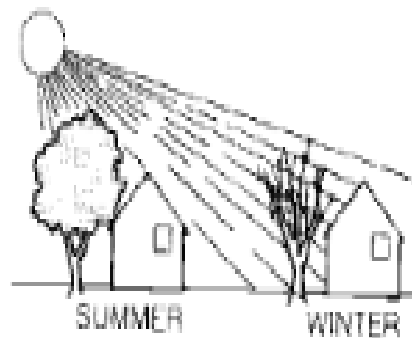


Σχήμα 2.4: Οριζόντια (HSA) και κατακόρυφη (VSA) γωνία σκίασης
(Πηγή: National design handbook prototype on passive solar heating and natural cooling of buildings, UN-Habitat 1990)

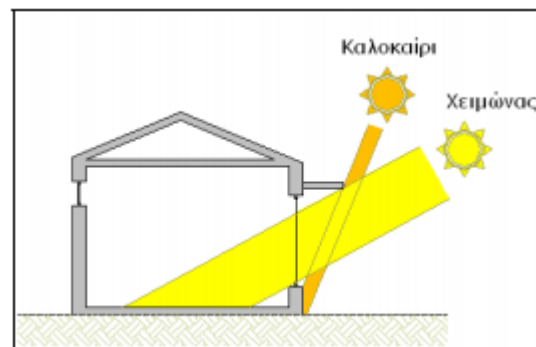
2.2.2 Σκίαση κτηρίου και ανοιγμάτων

Η σκίαση ολόκληρου ή μέρους του κτηρίου μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση βλάστησης. Καταλληλότερα δέντρα για αυτό το σκοπό είναι τα φυλλοβόλα δέντρα, τα οποία έχουν το πλεονέκτημα ότι παρέχουν ηλιοπροστασία από την άνοιξη έως το φθινόπωρο, ενώ το χειμώνα επιτρέπουν στις ωφέλιμες ηλιακές ακτίνες να εισχωρήσουν στο κτήριο. Αυτό συμβαίνει διότι τα φυλλοβόλα δέντρα ρίχνουν το φύλλωμά τους κατά τη χειμερινή περίοδο, κάτι το οποίο φαίνεται και στο σχήμα 2.5. Ιδιαίτερα ωφέλιμη είναι η σκίαση που παρέχουν όταν βρίσκονται νότια ή δυτικά του κτηρίου, καθώς είναι οι προσανατολισμοί που έχουν τη μεγαλύτερη ανάγκη για σκίαση.

Επιπροσθέτως, η σκίαση των ανοιγμάτων την καλοκαιρινή περίοδο επιτυγχάνεται με διάφορες μορφές περσίδων και προεξοχών. Βασική επιδίωξη είναι πάλι μία λύση η οποία δημιουργεί σκίαση την καλοκαιρινή περίοδο, αλλά επιτρέπει τις ακτίνες του ηλίου να εισέλθουν στο κτήριο τη χειμερινή περίοδο μέσω των ανοιγμάτων. Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 2.6. Το πιο διαδεδομένο σύστημα σκίασης των νοτίων ανοιγμάτων είναι οι οριζόντιες προεξοχές λόγω της υψηλής τροχιάς του ηλίου το καλοκαίρι, ενώ των δυτικών και ανατολικών ανοιγμάτων είναι οι κατακόρυφες περσίδες, κάθετες στην όψη ή υπό κλίση, καθώς ο ήλιος βρίσκεται πιο χαμηλά. Τέλος, για νοτιοανατολικά ή νοτιοδυτικά ανοίγματα καταλληλότερη είναι η επιλογή ενός συνδυασμού οριζοντίων και κατακόρυφων περσίδων, υπό μορφή εσχάρας.



Σχήμα 2.5: Χρήση φυλλοβόλων δέντρων για σκίαση κτηρίου
(Πηγή: A.W. Meerow and R.J. Black, *Enviroscaping to Conserve Energy: A Guide to Microclimate Modification*)



Σχήμα 2.6: Χρήση προεξοχών για σκίαση ανοιγμάτων κτηρίου
(Πηγή: Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων)

2.2.3 Διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων και ανοιγμάτων

Η διάταξη των εσωτερικών χώρων είναι ένας ακόμα παράγοντας που παίζει ρόλο για τον κατάλληλο ηλιασμό και φωτισμό καθενός από αυτούς. Η απόφαση του πως θα διαταχθούν οι εσωτερικοί χώροι στηρίζεται στο γεγονός ότι ανάλογα με τον προσανατολισμό κάθε χώρου υπάρχει και διαφορετικός ηλιασμός. Η βόρεια πλευρά δε δέχεται καθόλου ήλιο το χειμώνα, είναι η λιγότερο φωτεινή και φυσικά η πιο ψυχρή. Από την άλλη, η νότια πλευρά δέχεται τον περισσότερο ήλιο και προσφέρει πιο ευχάριστους και φωτεινούς χώρους το χειμώνα. Με βάση τη λογική αυτή στη βόρεια πλευρά τοποθετούνται οι χώροι των οποίων η χρήση είναι ολιγόωρη. Ταυτόχρονα, οι χώροι αυτοί λειτουργούν ως ζώνη προστασίας από ψυχρούς ανέμους και ως χώροι ανάσχεσης των θερμικών απωλειών των κυρίων χώρων. Για παράδειγμα, στην πλευρά αυτή είναι καλό να τοποθετούνται χώροι όπως το W.C., το κλιμακοστάσιο, η αποθήκη, το λεβητοστάσιο και ο χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων.

Αντίθετα, στη νότια πλευρά τοποθετούνται χώροι κύριας και πολύωρης χρήσης, ώστε να δέχονται επαρκή ηλιασμό το χειμώνα και να είναι ευχάριστοι και φωτεινοί. Τέτοιοι χώροι μπορεί να είναι για παράδειγμα ο χώρος των υπνοδωματίων και του καθιστικού. Ο ανατολικός προσανατολισμός είναι επίσης καλός για τη χωροθέτηση των υπνοδωματίων, καθώς προσφέρει ηλιασμό και φωτισμό κατά τις πρώτες πρωινές ώρες. Όσον αφορά το καλοκαίρι, ο ανατολικός προσανατολισμός επιτρέπει το δροσισμό ενός χώρου από το μεσημέρι και μετά. Τέλος, ο δυτικός προσανατολισμός θα μπορούσε να θεωρηθεί ευνοϊκός κυρίως για κάποιο χώρο που χρησιμοποιείται το χειμώνα, άλλα για το καλοκαίρι πρέπει σίγουρα να λαμβάνονται μέτρα προστασίας από τον ήλιο, καθώς τις απογευματινές ώρες ζεσταίνει υπερβολικά τον χώρο.

Επιπλέον, για να λειτουργεί το κτήριο ως φυσικός ηλιακός συλλέκτης παίζει μεγάλο ρόλο η θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων. Οι γυάλινες επιφάνειες των ανοιγμάτων ενός κτηρίου αποτελούν τον απλούστερο ηλιακό συλλέκτη τον χειμώνα, πρέπει όμως να είναι τοποθετημένες προς τον Νότο ή με απόκλιση 30 μοιρών. Για το λόγο αυτό προτείνονται μεγάλα ανοίγματα προς τον Νότο, μετρίου μεγέθους ανοίγματα προς την Ανατολή και τη Δύση και μικρά ανοίγματα προς το Βορρά.

Πέραν της διασφάλισης φυσικού φωτισμού και τη χρησιμότητα τους στην ηλιακή συλλογή, τα ανοίγματα είναι ιδιαίτερα σημαντικά στο σχεδιασμό γιατί παρέχουν τη δυνατότητα αερισμού το καλοκαίρι και συνεπώς φυσικού δροσισμού του κτηρίου. Ο φυσικός αερισμός είναι απαραίτητος σε χώρες όπως η Ελλάδα, στην οποία επικρατούν ιδιαίτερα θερμά κλίματα και πρέπει να γίνεται αερισμός κατά τις νυχτερινές ώρες του καλοκαιριού. Σημαντικό ρόλο παίζει η θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων. Όπου είναι εφικτό επιλέγονται περισσότερα του ενός ανοίγματα, ώστε να δημιουργείται ροή αέρα και ο αερισμός να καλύπτει μεγαλύτερο χώρο. Ακόμα, είναι σωστό τα ανοίγματα εισόδου και εξόδου αέρα να τοποθετούνται σε διαφορετικό ύψος, ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη ροή αέρα. Σε κάθε περίπτωση τον μεγαλύτερο ρόλο στον φυσικό δροσισμό του κτηρίου έχουν οι χρήστες του, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για το άνοιγμα των παραθύρων τη νύχτα ή τις πρώτες πρωινές ώρες του καλοκαιριού.

2.2.4 Χρώμα εξωτερικών επιφανειών και φύτευση δώματος

Η μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται τη θερινή περίοδο από τα δώματα και συνεπώς υπάρχει μεγαλύτερη θερμική επιβάρυνση στους τελευταίους ορόφους. Για τον λόγο αυτό συνίσταται να βάφονται τα δώματα (αλλά και οι εξωτερικές τοιχοποιίες) σε ψυχρά ανακλαστικά χρώματα (θερμομονωτικά χρώματα), ή λευκό. Ο συντελεστής ανακλαστικότητας α ενός υλικού κυμαίνεται από 0 έως 1 και δείχνει το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που ανακλάται από την επιφάνεια. Αντίθετα, ο συντελεστής

απορροφητικότητας α δείχνει το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται από αυτή (ισχύει $\rho + \alpha = 1$).

Ένας ακόμα τρόπος που βοηθά στο να μην εισέρχεται μεγάλη ποσότητα θερμότητας στο κτήριο είναι να επιλέγονται φυτεμένα δώματα ή αναρριχητικά φυτά στους εξωτερικούς τοίχους. Τα φυτά απορροφούν ένα μεγάλο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας και δεν το αφήνουν να φτάσει στο κτήριο. Οι 2 κατηγορίες φύτευσης ενός δώματος είναι ο εκτατικός τύπος και ο εντατικός τύπος φύτευσης. Η πρώτη κατηγορία αφορά τη φύτευση φυτών εδαφοκάλυψης και ποώδων, τα οποία απαιτούν χαμηλό πάχος υποστρώματος, φύτευσης, ελάχιστο νερό και δεν προσθέτουν πολύ μεγάλα στατικά φορτία στην κατασκευή. Η δεύτερη κατηγορία αφορά τη φύτευση υψηλότερων φυτών, τα οποία απαιτούν περισσότερο νερό, μεγαλύτερο υπόστρωμα φύτευσης και προσθέτουν μεγαλύτερα στατικά φορτία στην κατασκευή. Ταυτόχρονα, τα φυτεμένα δώματα έχουν και άλλα οφέλη, μερικά απ τα οποία είναι ο καθαρισμός του αέρα, η μείωση του εξωτερικού θορύβου και η αίσθηση ευημερίας. Στο σχήμα 2.7 παρουσιάζονται τα τυπικά στρώματα ενός φυτεμένου δώματος.



Σχήμα 2.7: Τυπικά στρώματα φυτεμένου δώματος
(Πηγή : <https://www.egreen.gr>)

2.2.5 Θερμομόνωση και κουφώματα

Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτηρίου σε επιθυμητά επίπεδα απαιτείται η κατάλληλη θερμομόνωση των δομικών στοιχείων (εξωτερικών τοίχων, δαπέδων, οροφών) και η σωστή επιλογή του τύπου των κουφωμάτων, με απαραίτητη αεροστεγάνωση των αρμών τους, ώστε να μην υπάρχουν απώλειες. Σκοπός της θερμομόνωσης είναι η ελάχιστη δυνατή ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Με την τοποθέτηση των κατάλληλων θερμομονωτικών υλικών επιτυγχάνεται η επιβράδυνση της ροής θερμότητας από το εσωτερικό στο εξωτερικό περιβάλλον.

Τα πιο συνηθισμένα μονωτικά υλικά είναι η διογκωμένη πολυστερίνη (σχήμα 2.8), η εξηλασμένη πολυστερίνη, ο πετροβάμβακας και ο υαλοβάμβακας. Τα θερμομονωτικά υλικά πρέπει να έχουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ για να είναι αποδοτικά. Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την ευκολία με την οποία η θερμότητα μεταδίδεται στην μάζα ενός υλικού και μετριέται σε $[W/m \cdot K]$. Τα υλικά αυτά οφείλουν την ιδιότητα της θερμικής αντίστασης στον αέρα (κακός αγωγός θερμότητας) που υπάρχει εγκλωβισμένος στο εσωτερικό τους. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος των μονωτικών πλακών τόσο καλύτερη

θερμομόνωση μπορεί να επιτευχθεί. Το πάχος επιλέγεται πρωτίστως με βάση τις ελάχιστες απαιτήσεις του κανονισμού και δευτερευόντως ανάλογα με την επιθυμία του πελάτη για ακόμα καλύτερη μόνωση από την οριακά επιτρεπόμενη του κανονισμού. Η θερμική αντίσταση R [$m^2/W \cdot K$], δηλαδή η αντίσταση στη διέλευση θερμότητας, είναι ανάλογη με το πάχος του υλικού και αντιστρόφως ανάλογη με τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ και δίνεται από τη σχέση:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad 2.3$$

Όπου,

d: το πάχος του στοιχείου [m]

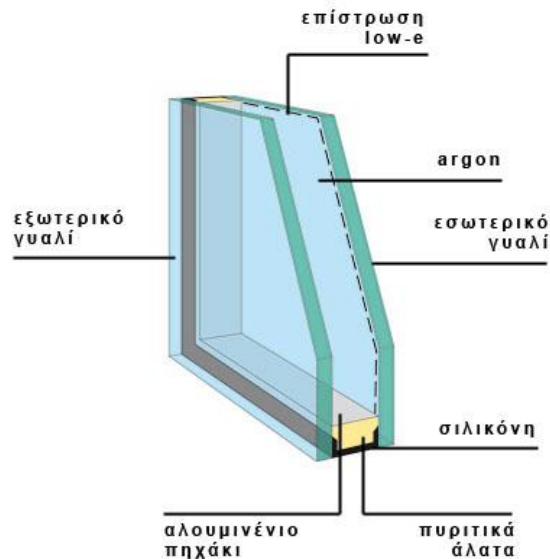
λ : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού [$W/m \cdot K$]



Σχήμα 2.8: Μονωτική πλάκα διογκωμένης πολυστερίνης (γραφιτούχας)
(Πηγή : <https://www.leroymerlin.gr/>)

Το είδος των παραθύρων και μπαλκονοπορτών που υπάρχουν σε ένα κτήριο παίζει και αυτό μεγάλο ρόλο στο μέγεθος της ανταλλαγής θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον. Με διάφορες επιλογές στο είδος του κουφώματος που θα χρησιμοποιηθεί μπορούν να ελαχιστοποιηθούν αυτές οι ανταλλαγές θερμότητας. Συγκεκριμένα:

1) Το είδος του υαλοπίνακα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, εφόσον αποτελεί το κύριο μέρος ενός παραθύρου και καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό σε αυτό. Αρχικά επιλέγεται το πλήθος των τζαμιών που θα τοποθετηθούν, δηλαδή αποφασίζεται εάν θα υπάρχει μονός, διπλός (όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9) ή τριπλός υαλοπίνακας και το πάχος του καθενός. Ταυτόχρονα, έχει σημασία η απόσταση που αφήνεται μεταξύ των υαλοπινάκων και το αέριο που τοποθετείται ενδιάμεσα. Το αέριο ARGON αποτελεί μία καλή λύση, λόγω των αυξημένων θερμομονωτικών ιδιοτήτων που διαθέτει. Τέλος, ιδιαίτερα για τα θερμά κλίματα, μία πρακτική είναι να εφαρμόζεται σε έναν από τους υαλοπίνακες (όταν πρόκειται για διπλό ή τριπλό υαλοπίνακα) μία επίστρωση χαμηλής εκπομπής (low – E), η οποία ανακλά μεγάλο μέρος την υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας και βοηθά στην αποφυγή μεταφοράς θερμότητας από το εξωτερικό στο εσωτερικό περιβάλλον, αλλά και το αντίστροφο.



Σχήμα 2.9: Τομή διπλού ενεργειακού υαλοπίνακα
(Πηγή: <https://worldenergynews.gr/>)

2) Το προφίλ του κουφώματος πρέπει να είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επιτρέπει την μεταφορά θερμότητας. Ειδικά στα προφίλ αλουμινίου, καθώς το αλουμίνιο είναι καλός αγωγός της θερμότητας, είναι απαραίτητο να υπάρχει θερμοδιακοπή, προκειμένου να είναι ενεργειακά αποδοτικά. Η θερμοδιακοπή γίνεται με μονωτικά υλικά (συνήθως πολυαμίδια) τα οποία τοποθετούνται εντός του προφίλ (σχήμα 2.10) και δεν επιτρέπουν τη μεταφορά θερμότητας μέσω του προφίλ από το εσωτερικό στο εξωτερικό περιβάλλον και αντίστροφα.



Εικόνα 2.10: Θερμοδιακοπτόμενο προφίλ κουφώματος αλουμινίου
(Πηγή : <https://fenestral.gr/>)

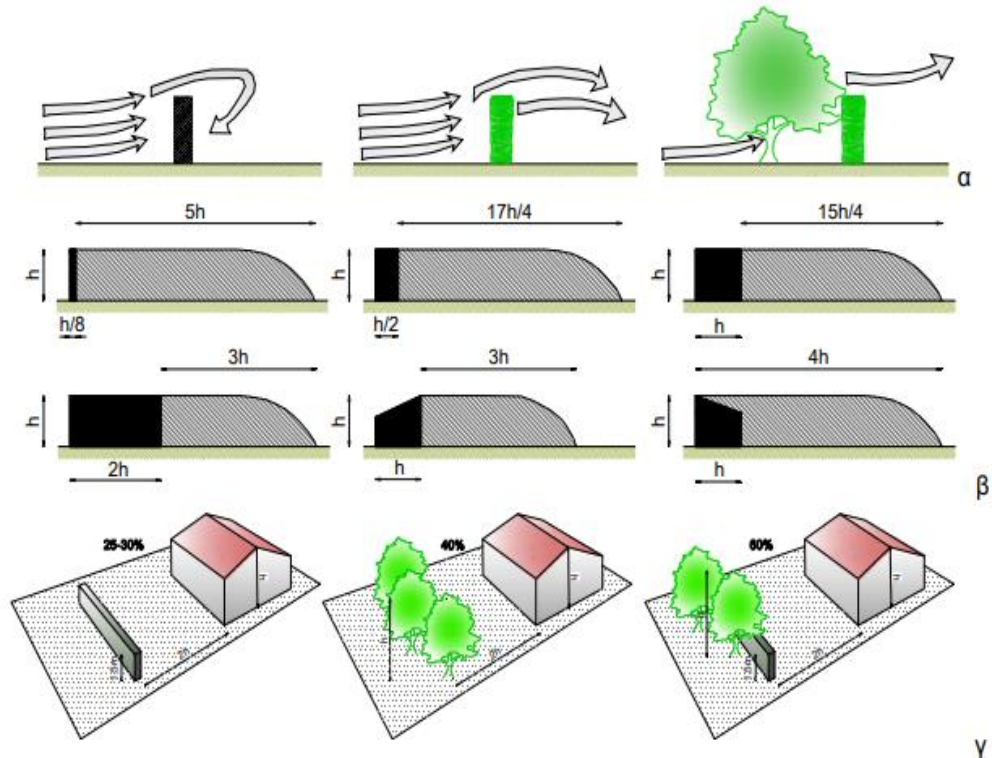
2.2.6 Διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου - μικροκλίμα

Η φύτευση φυτών και δέντρων είτε επάνω στο κτήριο, είτε στον περιβάλλοντα χώρο, βοηθά στην πτώση της θερμοκρασίας κατά τη θερινή περίοδο λόγω της εξατμισοδιαπνοής στα φυλλάματά τους. Είναι πρακτικό να επιλέγονται φυτά που είναι προσαρμοσμένα στο κλίμα της περιοχής, επιτυγχάνοντας έτσι αποτελεσματικότητα στην ανάπτυξη τους, αλλά και οικονομία στο νερό που χρειάζονται.

Ακόμα, το υγρό στοιχείο (π.χ. πισίνα ή δεξαμενή) μπορεί να συνεισφέρει και αυτό στη βελτίωση του μικροκλίματος, αλλά πρέπει να αποφεύγεται σε υγρά κλίματα. Οι υδάτινες επιφάνειες τροποποιούν το μικροκλίμα της περιοχής είτε μέσω της εξάτμισης,

απορροφώντας θερμότητα από τον θερμό αέρα, είτε με την άμεση επαφή του αέρα με το νερό, όπου γίνεται ψύξη του αέρα.

Η φύτευση δέντρων και θάμνων, εκτός από τη βελτίωση του μικροκλίματος, σε συνδυασμό με τεχνητούς ανεμοφράκτες, συμβάλλει και στην προστασία του κτηρίου από ψυχρούς ανέμους. Στο σχήμα 2.11 φαίνεται η επίδραση διάφορων ειδών ανεμοφρακτών και δέντρων στην εκτροπή του ανέμου. Σημειώνεται ότι οι συμπαγείς φράκτες δημιουργούν στροβιλισμούς, ενώ αντίθετα ο συνδυασμός δέντρων και θάμνων αυξάνει τη ζώνη ηρεμίας, κάτι που φαίνεται στην περίπτωση (α) του σχήματος 2.11. Στην (β) περίπτωση του σχήματος 2.11 παρατηρείται η ζώνη επίδρασης του ανεμοφράκτη, ανάλογα με τη μορφή και το πάχος του, ενώ στην περίπτωση (γ) φαίνεται η ικανότητα διείσδυσης του ανέμου από ανεμοφράκτες διαφόρων τύπων.



Σχήμα 2.11: Εκτροπή ψυχρού ανέμου με τη χρήση ανεμοφράκτη, δέντρων και θάμνων (Πηγή: Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων)

2.3 Ενσωμάτωση ΑΠΕ σε κατοικίες

2.3.1 Αντλία θερμότητας

Η αντλία θερμότητας (Α.Θ.) είναι ένα σύστημα το οποίο εκμεταλλεύεται την θερμική ενέργεια του περιβάλλοντος και αποδίδει ενέργεια σε ένα κτήριο, με τη βοήθεια ηλεκτρικής ενέργειας. Τον χειμώνα η αντλία θερμότητας αντλεί θερμότητα (θερμική ενέργεια) από το εξωτερικό περιβάλλον και τη μεταφέρει στο εσωτερικό του κτηρίου, ενώ το καλοκαίρι λειτουργεί αντίστροφα, μεταφέροντας τη θερμότητα από το εσωτερικό του σπιτιού προς το εξωτερικό. Είναι φανερό ότι οι αντλίες θερμότητας μεταφέρουν θερμική ενέργεια με φορά αντίθετη της φυσικής ροής, η οποία είναι από το ζεστό προς το κρύο. Η χρήση της μπορεί να αφορά θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και δύναται να συνδεθεί με τα περισσότερα συμβατικά συστήματα, όπως για παράδειγμα τα σώματα του καλοριφέρ, fan coils, ενδοδαπέδια θέρμανση κτλ.

Η Α.Θ. έχει συνήθως μεγάλο συντελεστή απόδοσης, κάτι το οποίο την κατατάσσει στα συστήματα που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτός υπολογίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας που αποδίδει προς την ενέργεια που καταναλώνει για να λειτουργήσει. Η απόδοση δίνεται ξεχωριστά για λειτουργία θέρμανσης (COP) και για λειτουργία ψύξης (EER). Και οι 2 τιμές, όμως, είναι ενδεικτικές και αναφέρονται σε συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος, συνεπώς στην πραγματικότητα μπορεί να διαφέρουν. Για παράδειγμα, βαθμός απόδοσης COP (ή EER αντίστοιχα) ίσος με 4 σημαίνει ότι για κάθε 1 kWh που καταναλώνεται για τη λειτουργία της αντλίας, αυτή αποδίδει 4 kWh ενέργειας.

Ανάλογα με την κατηγορία της αντλίας ο βαθμός απόδοσης των αντλιών θερμότητας μπορεί να έχει μεγάλες διαφορές. Η κατάταξη σε κατηγορίες γίνεται σχετικά με το μέσο από το οποίο γίνεται άντληση θερμικής ενέργειας και το μέσο το οποίο βρίσκεται εντός του κυκλώματος της αντλίας. Έτσι, προκύπτουν οι εξής περιπτώσεις:

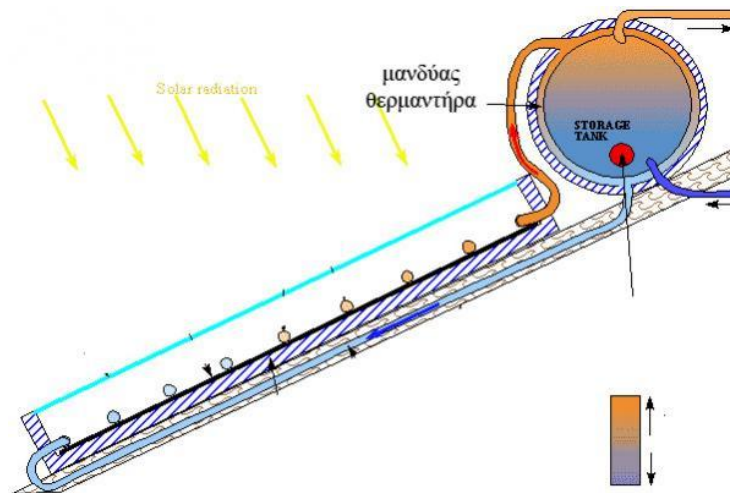
- 1) Α.Θ. αέρος – αέρος
- 2) Α.Θ. αέρος – νερού
- 3) Α.Θ. νερού – νερού
- 4) Α.Θ. εδάφους – νερού

2.3.2 Συστήματα εκμετάλλευσης ηλιακής ακτινοβολίας

2.3.2.1 Ηλιακός θερμοσίφωνα

Ο ηλιακός θερμοσίφωνα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού χρήσης σε μία κατοικία. Η λειτουργία του βασίζεται στην αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω φωτοβολταϊκού πάνελ και στη χρησιμοποίηση της ενέργειας που παράγεται για την θέρμανση του νερού. Ο τύπος που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στην Ελλάδα και στην Ευρώπη είναι οι θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος (σχήμα 2.12), στους οποίους το νερό χρήσης βρίσκεται στο boiler και η μεταφορά ενέργειας από τον συλλέκτη στο boiler γίνεται μέσω κλειστού κυκλώματος, στο οποίο γίνεται διέλευση διαφορετικού υγρού (νερό και αντιψυκτικό υγρό) από το νερό χρήσης. Έτσι, το κλειστό αυτό κύκλωμα με το υγρό ζεσταίνει έμμεσα το νερό χρήσης που βρίσκεται μέσα στο boiler. Η τοποθέτηση ηλιακών συστημάτων που προορίζονται για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης γίνεται σε κλίση 30° ως 45° και με βέλτιστο προσανατολισμό τον νότιο.

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες που αναφέρθηκαν μπορούν να ταξινομηθούν σε 2 κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία (ηλιακοί θερμοσίφωνες φυσικής ροής) εντάσσονται οι ηλιακοί στους οποίους το boiler βρίσκεται επάνω στο συλλέκτη και η ροή γίνεται με φυσικό τρόπο, κατά τον οποίο το θερμό νερό ανεβαίνει ψηλά και ωθεί το κρύο νερό του boiler να κατέβει στο συλλέκτη για να θερμανθεί ξανά. Στη δεύτερη κατηγορία (ηλιακοί θερμοσίφωνες εξαναγκασμένης ροής) εντάσσονται οι ηλιακοί θερμοσίφωνες των οποίων το boiler δεν τοποθετείται επάνω τους, αλλά τοποθετείται σε σημείο χαμηλότερο εντός της οικίας (π.χ. λεβητοστάσιο) και η ροή του νερού γίνεται με εξαναγκασμό. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι θερμοσίφωνες της πρώτης κατηγορία επικρατούν λόγω ευκολίας και χαμηλότερης τιμής.



Σχήμα 2.12: Ηλιακός θερμοσίφωνας κλειστού κυκλώματος (φυσικής ροής)
(Πηγή : <http://www.galaxysolar.gr>)

2.3.2.2 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα και Net - Metering

Η κατανάλωση ρεύματος μίας κατοικίας για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό κτλ μπορεί να καλυφθεί σε ένα βαθμό από αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα. Το ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που έχουν τοποθετηθεί στην κατοικία (συνήθως σε οροφή ή κεραμοσκεπή) μέσω της εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας διοχετεύεται σε πρώτο στάδιο στον ρυθμιστή φόρτισης και από εκεί στην μπαταρία. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι η χωρητικότητα της μπαταρίας επιλέγεται με σκοπό την αυτονομία κάποιων ημερών (στην Ελλάδα συνήθως 2), ώστε εάν μία ημέρα επικρατεί συννεφιά να υπάρχει αρκετό «απόθεμα» από κάποια προηγούμενη ημέρα. Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται οι αντιστροφείς τάσης (inverters) για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλασσόμενο, καθώς με αυτό λειτουργούν οι περισσότερες συσκευές.

Η διαδικασία αυτή, της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε μία κατοικία μέσω φωτοβολταϊκών πλαισίων, φαίνεται στο σχήμα 2.13.



Σχήμα 2.13: Διαδικασία παροχής ηλεκτρικού ρεύματος σε κατοικία από φωτοβολταϊκά πλαίσια
(Πηγή : <https://www.oleng.eu>)

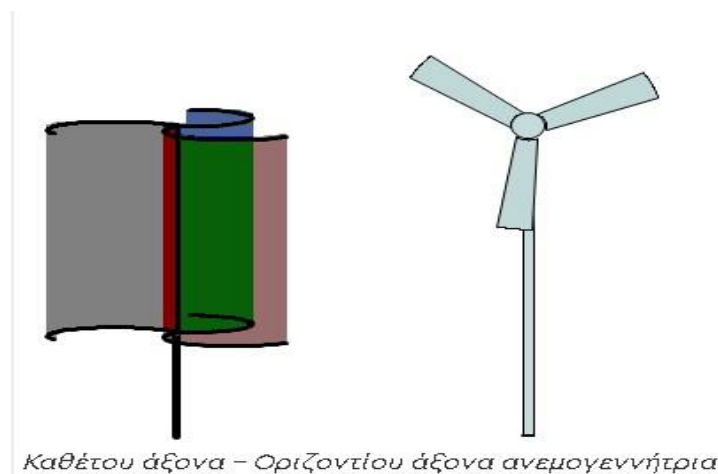
Ένας ακόμα τρόπος αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μέσω του συτήματος «net-metering» ή «Αυτοπαραγωγής με ενεργειακό συμφηρισμό». Σε αυτή την περίπτωση το ρεύμα που παράγεται και δεν καταναλώνεται από την κατοικία διοχετεύεται στο δίκτυο της ΔΕΗ, το οποίο χρησιμοποιείται και ως «αποθήκη» της περισσευούμενης ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό το σύστημα δε χρειάζεται μπαταρία για την αποθήκευση ενέργειας. Η

ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο της ΔΕΗ μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια άλλη στιγμή που θα είναι χρήσιμη. Για την εγκατεστημένη ισχύ των συστημάτων αυτών υπάρχουν περιορισμοί βάσει νομοθεσίας, οι οποίοι εξαρτώνται από την περιοχή στην οποία βρίσκεται η κατοικία.

2.3.3 Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν μία μορφή Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας, η οποία εκμεταλλεύεται τον άνεμο και μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική, έχοντας τη δυνατότητα να καλύψει ορισμένες από τις ανάγκες μίας κατοικίας. Ο άνεμος γυρίζει τα πτερύγια και αυτά με τη σειρά τους περιστρέφουν έναν άξονα, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Παρόλα αυτά, πρόκειται για ένα σύστημα που δεν έχει πάρει μεγάλη ανάπτυξη στον κτηριακό τομέα και ειδικά σε κατοικίες και χρησιμοποιείται κυρίως συμπληρωματικά με φωτοβολταϊκά συστήματα. Συνήθως, οι επενδύσεις που αφορούν αιολική ενέργεια γίνονται εκτός αστικού ιστού και σε τοποθεσίες με μεγάλο υψόμετρο και αρκετό άνεμο.

Η απόδοση των ανεμογεννητριών, εκτός από την ταχύτητα του ανέμου, εξαρτάται από το μήκος των πτερυγίων της και το είδος της, δηλαδή αν είναι οριζοντίου ή καθέτου άξονα (σχήμα 2.14). Οι καθέτου άξονα είναι πιο αποτελεσματικές στο αστικό περιβάλλον και λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες ανέμου, αλλά οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν πολύ υψηλότερη απόδοση.



Σχήμα 2.14: Τύποι ανεμογεννητριών
(Πηγή : <https://www.oleng.eu/>)

3 Τεκμηρίωση αρχιτεκτονικού σχεδιασμού κατοικίας

3.1 Εισαγωγή

Η τοποθεσία ανοικοδόμησης της υπό μελέτη κατοικίας βρίσκεται στην περιοχή της Κηφισιάς, ακριβώς στα όρια των συνόρων με την περιοχή του Αμαρουσίου. Συγκεκριμένα βρίσκεται στην οδό Αθηνάς, πλησίον του ηλεκτρικού σταθμού ΚΑΤ. Η Κηφισιά ανήκει στην Περιφέρεια Αττικής και ειδικότερα αποτελεί έναν από τους 12 Δήμους της Περιφερειακής ενότητας Βορείου τομέα Αττικής.

Η κατοικία σχεδιάζεται με σκοπό να στεγάσει μία τετραμελή οικογένεια και για αυτό τον λόγο θα αποτελείται από 3 υπνοδωμάτια. Εφαρμόζοντας τις βιοκλιματικές αρχές που περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο το σχήμα της κατοικίας προκύπτει ως «Π» και το συνολικό εμβαδόν της ίσο με 141.6 m².

Στην ενότητα αυτή γίνεται τεκμηρίωση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, δηλαδή περιγράφονται οι λόγοι για τους οποίους η κατοικία διαμορφώνεται κατά αυτό τον τρόπο όσον αφορά, το σχήμα, τον προσανατολισμό, τη διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων και τον περιβάλλοντα χώρο. Αξίζει να αναφερθεί ότι κατά τη διαδικασία της ενεργειακής μελέτης πρέπει να γίνεται περιγραφή των βιοκλιματικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν στην κατοικία (π.χ. μεγάλα νότια ανοίγματα), ενώ σε περίπτωση αδυναμίας τοποθέτησης της κατοικίας σε βέλτιστο σημείο στο οικόπεδο σε σχέση με τον ηλιασμό, αυτό πρέπει να τεκμηριώνεται.

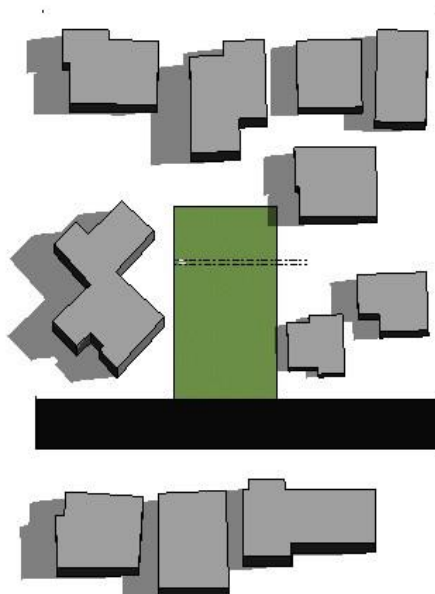
3.2 Χωροθέτηση κατοικίας στο οικόπεδο

Η κατοικία τοποθετείται εντός του αστικού ιστού, μη επιτρέποντας πιθανώς τη βέλτιστη εφαρμογή των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού σε κάθε θέση του οικοπέδου. Παρόλα αυτά η τοποθέτηση της κατοικίας στο οικόπεδο θα γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η όσο δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση των τοπικών κλιματικών συνθηκών. Το οικόπεδο μελέτης έχει εμβαδόν περίπου 900 m² και συνορεύει με οδό στην νότια πλευρά του. Στο σχήμα 3.1 παρατηρείται το οικόπεδο μελέτης, καθώς και τα κτίσματα που συνορεύουν με αυτό.

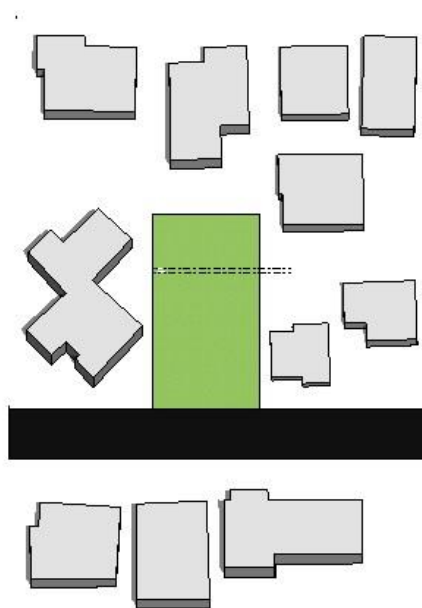


Σχήμα 3.1: Αεροφωτογραφία του υπό μελέτη οικοπέδου μέσω Google Earth

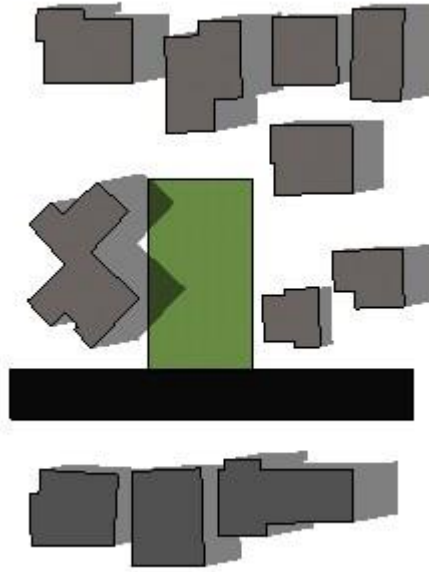
Στα σχήματα 3.2 έως 3.7 παρατηρείται ο σκιασμός του οικοπέδου την 21^η Δεκεμβρίου και την 21^η Ιουνίου για τις ώρες 9:00, 12:00 και 16:00. Με βάση τις εικόνες αυτές φαίνεται πως δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα σκίασης του οικοπέδου. Η κατοικία επιλέγεται περίπου στη μέση του οικοπέδου (σε απόσταση 18 μέτρων από το μπροστινό όριο του οικοπέδου), επιτυγχάνοντας έτσι εκμετάλλευση του χώρου που βρίσκεται πλησίον της οδού για την τοποθέτηση χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων αλλά και για την φύτευση δέντρων. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η σκίαση της κατοικίας τις απογευματινές ώρες του χειμώνα από το κτήριο που βρίσκεται δυτικά της (αριστερά), το οποίο όπως φαίνεται στο σχήμα 3.7 σκιάζει το οικόπεδο στις 4 μ.μ. Ταυτόχρονα, καθώς η διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερη το καλοκαίρι, το ίδιο κτήριο λειτουργεί ευνοϊκά, σκιάζοντας μέρος της κατοικίας τις απογευματινές ώρες του καλοκαιριού.



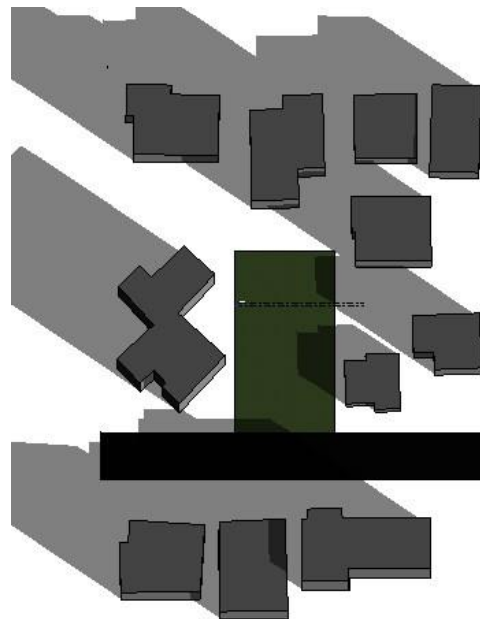
Σχήμα 3.2: Σκίαση οικοπέδου την 21^η Ιουνίου στις 9:00, Autodesk Revit



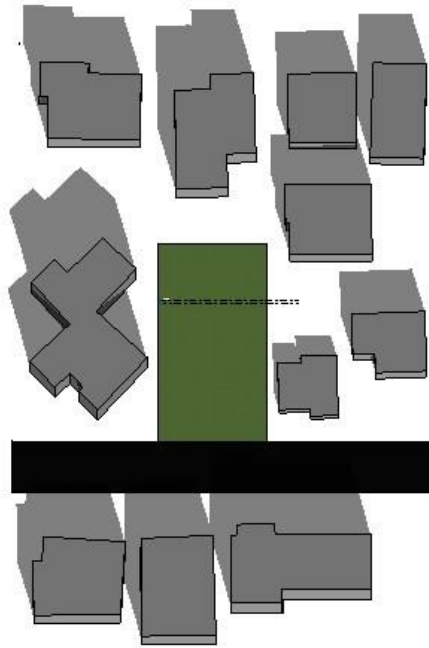
Σχήμα 3.3: Σκίαση οικοπέδου την 21^η Ιουνίου στις 12:00, Autodesk Revit



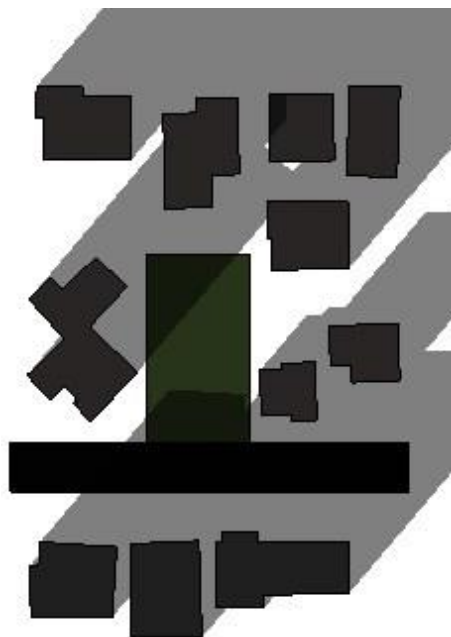
Σχήμα 3.4: Σκίαση οικοπέδου την 21^η Ιουνίου στις 16:00, Autodesk Revit



Σχήμα 3.5: Σκίαση οικοπέδου την 21^η Δεκεμβρίου στις 9:00, Autodesk Revit



Σχήμα 3.6: Σκίαση οικοπέδου την 21^η Δεκεμβρίου στις 12:00, Autodesk Revit

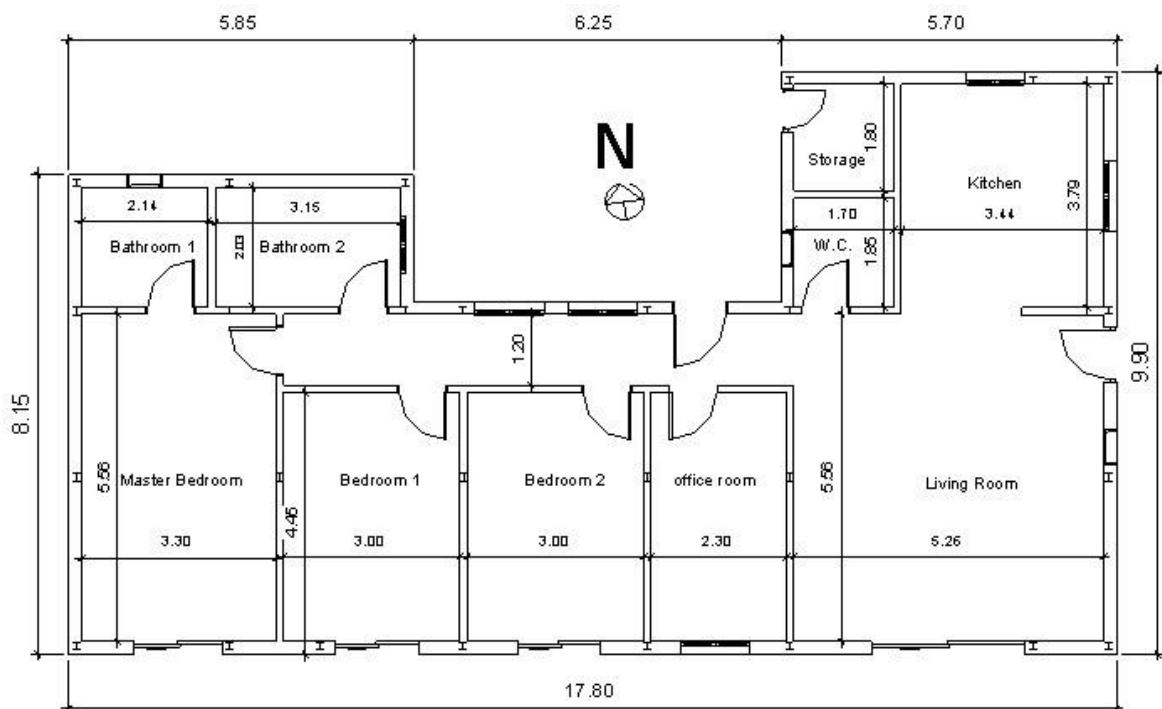


Σχήμα 3.7: Σκίαση οικοπέδου την 21^η Δεκεμβρίου στις 16:00, Autodesk Revit

3.3 Διαρρύθμιση εσωτερικών χώρων και ανοιγμάτων

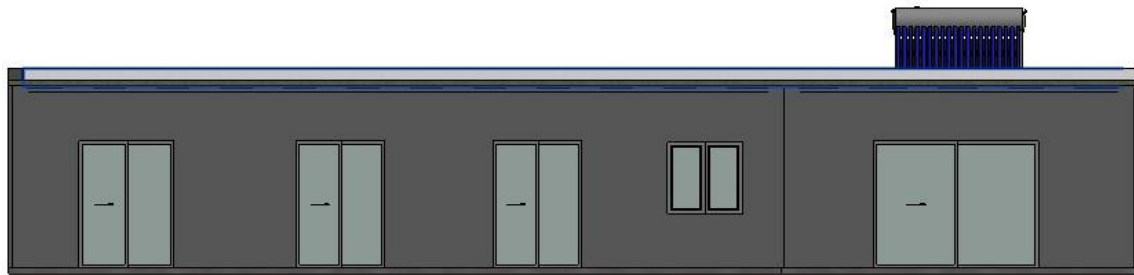
Η κατοικία σχεδιάζεται με βάση τις αρχές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, οι οποίες αναλύθηκαν στην 2^η ενότητα. Συγκεκριμένα, επιλέγεται η διαμόρφωση της κατοικίας ως επιμήκους κατά τον άξονα της Ανατολής – Δύσης, ώστε να αξιοποιείται με τον βέλτιστο τρόπο ο νότιος προσανατολισμός. Για τον λόγο αυτό επιλέγεται η λύση της ισόγειας κατοικίας, κάτι το οποίο είναι εφικτό λόγω του μεγάλου μεγέθους του οικοπέδου. Το καθαρό ύψος της οικίας επιλέγεται να είναι 3 m, με τη δυνατότητα μείωσης του με την εγκατάσταση ψευδοροφής, αναλόγως με τις αισθητικές ανάγκες.

Η διαμόρφωση των χώρων γίνεται και αυτή με γνώμονα τις βιοκλιματικές αρχές και φαίνεται στο σχήμα 3.8. Τα 3 υπνοδωμάτια, το σαλόνι και το γραφείο τοποθετούνται σε νότιο προσανατολισμό, ώστε να δέχονται επαρκή φωτισμό και ηλιασμό τον χειμώνα. Από την άλλη, μεριμνάται ο σκιασμός τους το καλοκαίρι με πέργκολα, η οποία τοποθετείται στην μπροστινή όψη του κτηρίου. Τα λουτρά, το W.C. και η αποθήκη τοποθετούνται σε βόρειο προσανατολισμό, καθώς αποτελούν χώρους με ολιγόωρη χρήση και ταυτόχρονα, σε συνδυασμό με τον διάδρομο που οδηγεί προς τα υπνοδωμάτια, αποτελούν ζώνες προστασίας από τους ψυχρούς βόρειους ανέμους το χειμώνα, αλλά και ως χώροι ανάσχεσης των θερμικών απωλειών των κυρίων χώρων. Τέλος, η κουζίνα επιλέγεται να έχει βόρειο – ανατολικό προσανατολισμό, καθώς από τη μία δεν έχει ιδιαίτερο πρόβλημα θέρμανσης λόγω των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται από τις ηλεκτρικές συσκευές και από την άλλη ο ανατολικός προσανατολισμός παρέχει τον απαραίτητο φωτισμό τις πρώτες πρωινές ώρες, κατά τις οποίες γίνεται εκτενής χρήση του χώρου από όλα τα μέλη της οικογένειας.

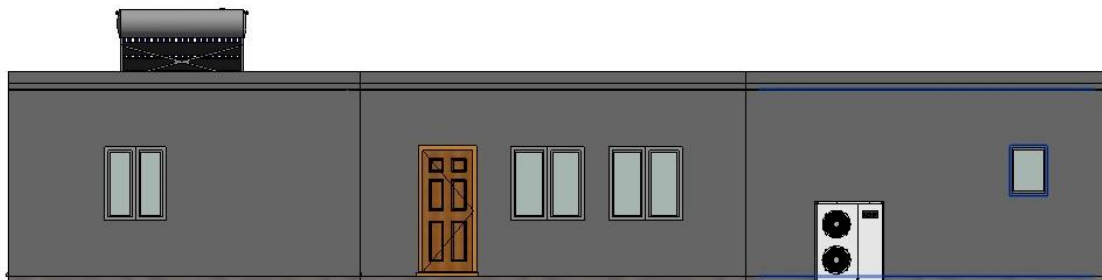


Σχήμα 3.8: Αρχιτεκτονική διαμόρφωση εσωτερικών χώρων κατοικίας, Autodesk Revit

Τα κουφώματα της κατοικίας τοποθετούνται και αυτά με βάση τις βιοκλιματικές αρχές. Για τον λόγο αυτό επιλέγονται μεγάλα ανοίγματα προς τον Νότο ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας τον χειμώνα (παθητικό σύστημα άμεσου κέρδους). Από την άλλη, τοποθετούνται μικρότερα ανοίγματα σε Βορρά και Ανατολή, τα οποία συνεισφέρουν στον φυσικό φωτισμό και τον αερισμό της κατοικίας. Στη Δύση με βάση την αρχιτεκτονική διαμόρφωση των εσωτερικών χώρων δεν προβλέπονται καθόλου ανοίγματα, παρά μόνο στο W.C. Τέλος, αναφέρεται ότι τα παράθυρα της κατοικίας σχεδιάζονται με κατωκάσι σε ύψος 0.9 m (εκτός του W.C. και των λουτρών που είναι σε ύψος 1.10), ενώ το ανωκάσι βρίσκεται σε ύψος 2.1 m για όλα τα κουφώματα της κατοικίας. Στα σχήματα 3.9 έως 3.12 απεικονίζονται οι 4 όψεις της κατοικίας, όπου φαίνεται η μεγάλη διαφορά που έχουν οι επιφάνειες των κουφωμάτων ανάλογα με τον προσανατολισμό.



Σχήμα 3.9: Νότια όψη κατοικίας, Autodesk Revit



Σχήμα 3.10: Βόρεια όψη κατοικίας, Autodesk Revit



Σχήμα 3.11: Δυτική όψη κατοικίας, Autodesk Revit

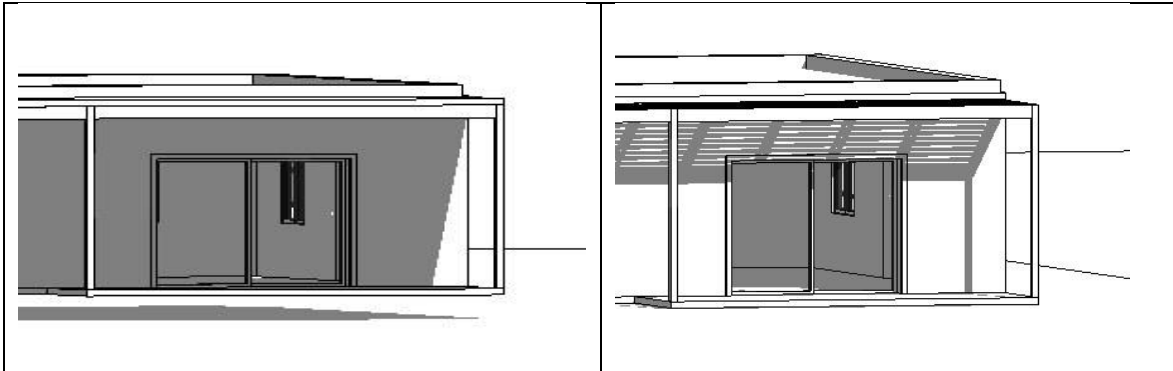


Σχήμα 3.12: Ανατολική όψη κατοικίας, Autodesk Revit

3.4 Διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου

Η ύπαρξη μεγάλου οικοπέδου βοηθά στην φύτευση δέντρων και θάμνων. Αυτά όχι μόνο βελτιώνουν την αισθητική του χώρου, αλλά, ταυτόχρονα, βοηθούν στην επίτευξη των

βιοκλιματικών αρχών που αναφέρονται στο κεφάλαιο 2. Η φύτευση φυλλοβόλων δέντρων ανατολικά και νότιο – δυτικά της κατοικίας δημιουργεί σκίαση στο κέλυφος το καλοκαίρι, βοηθώντας έτσι στο να μην αναπτύσσονται ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες. Στη νότια πλευρά η κατοικία σκιάζεται από πέργκολα μήκους 1.7 μέτρων. Το μήκος επιλέγεται τόσο ύστερα από δοκιμές, ώστε το χειμώνα να επιτρέπεται η είσοδος του ηλίου στην κατοικία μέσω των ανοιγμάτων του προς το Νότο, ενώ το καλοκαίρι οριακά να αποτρέπεται, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.13. Στον Βορρά φυτεύονται αιθαλή δέντρα, τα οποία λειτουργούν ως ανεμοφράκτης για τους ψυχρούς ανέμους το χειμώνα, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην ενότητα 2.



Σχήμα 3.13: Σκίαση νοτίων ανοιγμάτων στις 12 για την ημέρα 21/6 (αριστερά) και 21/12 (δεξιά)

Εκτός από τη σκίαση και την αποτροπή των ψυχρών ανέμων, η φύτευση δέντρων και θάμνων βοηθά στη βελτίωση του μικροκλίματος. Για τον ίδιο λόγο προτείνεται η τοποθέτηση φυσικού χλοοτάπητα στη μεγαλύτερη επιφάνεια του οικοπέδου. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι στην βελτίωση του μικροκλίματος συνεισφέρει και η στέγη, η οποία διαμορφώνεται ως φυτεμένη. Συγκεκριμένα, επιλέγεται εκτατικός τύπος φύτευσης για μικρό ίδιο βάρος και περιορισμένες ανάγκες σε νερό. Εκτείνεται σχεδόν σε όλη την επιφάνεια της στέγης, καθώς, ως μη βατή, δεν παρουσιάζει ιδιαίτερους περιορισμούς. Πραγματοποιώντας έρευνα εμπορίου επιλέγεται το σύστημα υποδομής [Floradrain FD 25-E](#) που είναι κατάλληλο για εκτατικούς τύπους φυτεμένων δωματίων και για επίπεδες στέγες με κλίση μικρότερη από 8%. Για το σύστημα αυτό δίνονται:

- Ύψος υποστρώματος ανάπτυξης φυτών ίσο με $h_{\text{υπ}} = 110 \text{ mm}$
- Βάρος κορεσμένου χώματος ίσο με 108 kg/m^2

Μία άποψη του περιβάλλοντα χώρου φαίνεται στο σχήμα 3.14.

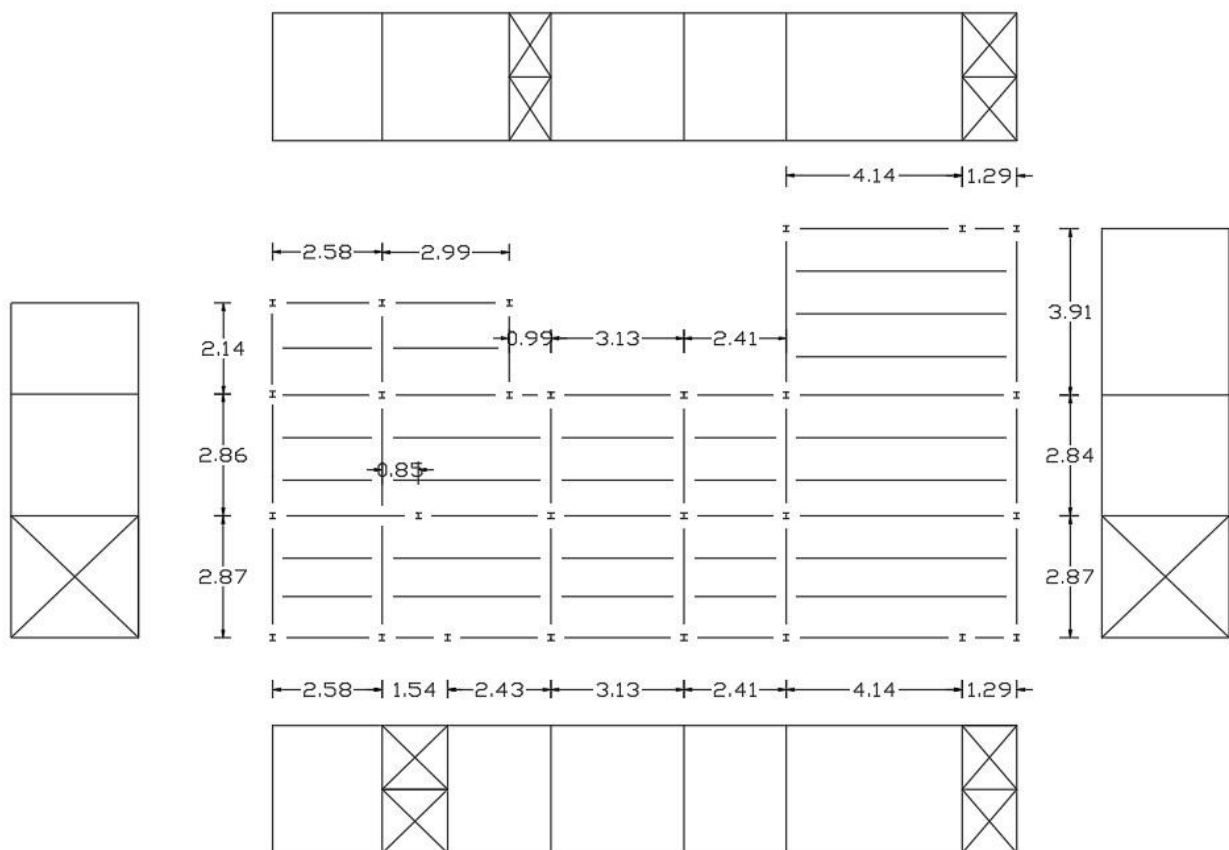


Σχήμα 3.14: Νοτιοδυτική όψη της υπό μελέτη κατοικίας, Autodesk Revit

4 Ανάλυση και διαστασιολόγηση φορέα

4.1 Εισαγωγή

Ο φέρων οργανισμός της κατοικίας αποτελείται από σύμμικτη πλάκα και μεταλλικά στοιχεία. Τα μεταλλικά στοιχεία είναι οι κύριες δοκοί, οι δευτερεύουσες δοκοί (τοποθετούνται ανά 1 m), τα υποστυλώματα και οι χιαστί σύνδεσμοι δυσκαμψίας. Η θέση των υποστυλωμάτων και των χιαστί συνδέσμων επιλέγεται με βάση την αρχιτεκτονική μορφή της κατοικίας που περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα και γίνεται προσπάθεια ώστε τα υποστυλώματα και οι χιαστί σύνδεσμοι δυσκαμψίας να μην εμποδίζουν την επιθυμητή διαμόρφωση των ανοιγμάτων.



Σχήμα 4.1: Μεταλλικός φέρων οργανισμός κατοικίας σε κάτοψη και όψεις



Σχήμα 4.2: Τρισδιάστατη απεικόνιση μεταλλικού φορέα (Sofistik)

Σε όλη την κατασκευή χρησιμοποιείται χάλυβας S275 με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μέτρο ελαστικότητας: $E_s = 210 \text{ GPa}$
- Μέτρο διάτμησης: $G = 80769 \text{ MPa}$
- Ειδικό βάρος: $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$
- Όριο διαρροής: $f_y = 275 \text{ MPa}$
- Εφελκυστική αντοχή: $f_u = 430 \text{ MPa}$

Η ποιότητα του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε στην σύμμικτη πλάκα είναι κατηγορίας C20/25 με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Χαρακτηριστική αντοχή: $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$
- Αντοχή σχεδιασμού: $f_{cd} = 20 \text{ MPa}/1.5 = 13.33 \text{ MPa}$
- Μέτρο ελαστικότητας: $E_{cm} = 30 \text{ GPa}$
- Ειδικό βάρος: $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

Στη συνέχεια περιγράφονται όλες οι φορτίσεις που δρουν επί του εξεταζόμενου κτηρίου, σύμφωνα με όσα ορίζουν οι Ευρωκώδικες και τα αντίστοιχα Εθνικά Προσαρτήματα. Οι φορτίσεις αυτές τοποθετούνται στο στατικό πρόγραμμα Sofistik ως γραμμικά φορτία (kN/m) στα μεταλλικά μέλη, ανάλογα με την επιφάνεια επιρροής τους. Επιπροσθέτως, στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι τελικοί συνδυασμοί δράσεων για τους οποίους θα γίνει ο έλεγχος του φέροντος οργανισμού του κτηρίου και επιλέγονται οι τελικές διατομές.

4.2 Δράσεις Σχεδιασμού

4.2.1 Μόνιμες Δράσεις

Οι μόνιμες δράσεις αφορούν τα φορτία που αναμένεται να υπάρχουν στην κατασκευή καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της, χωρίς σημαντικές μεταβολές. Οι δράσεις αυτές σχετίζονται με τα κατακόρυφα φορτία που αφορούν το ίδιο βάρος της κατασκευής, όπως είναι το ίδιο βάρος των δοκαριών, των υποστυλωμάτων, της πλάκας, της τοιχοποιίας κτλ.

Στην υπό μελέτη κατοικία οι μόνιμες δράσεις που λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς είναι οι εξής :

- Ίδιο βάρος φερόντων μεταλλικών στοιχείων, το οποίο υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό Sofistik για ειδικό βάρος χάλυβα 78.5 kN/m^3 .
- Ίδιο βάρος σύμμικτης πλάκας, το οποίο υπολογίζεται στην υποενοότητα 4.4.1 ίσο με $2,70 \text{ kN/m}^2$.
- Φορτίο λόγω στηθαίου ύψους 0.5 m και πάχους 0.15 m από οπλισμένο σκυρόδεμα με ειδικό βάρος 25 kN/m^3 . Συνεπώς το φορτίο λόγω στηθαίου, το οποίο ενεργεί στην περίμετρο του δώματος (γραμμικό) είναι ίσο με: $0.5 \text{ m} * 0.15 \text{ m} * 25 \text{ kN/m}^3 = 1.875 \text{ kN/m}$.
- Πρόσθετο μόνιμο επιφανειακό φορτίο λόγω του κορεσμένου χώματος, το οποίο για το σύστημα Floradrain – FD25 – E δίνεται ως $108 \text{ kg/m}^2 = 1.06 \text{ kN/m}^2$.
- Συντηρητικά θεωρείται επιπλέον 1 kN/m^2 για να συμπεριληφθούν ορισμένα πρόσθετα μόνιμα φορτία, τα οποία είναι δύσκολο να υπολογιστούν με ακρίβεια. Αυτά είναι τα φορτία από τα αποστραγγιστικά στοιχεία του φυτεμένου δώματος, το I.B. της μόνωσης, κ.α.
- Πρόσθετο μόνιμο φορτίο λόγω της στρώσης μεπτόν κλίσεως. Αυτό υπολογίζεται για πυκνότητα 800 kg/m^3 (Πρότυπο – Πηγή : Κ.Θ.Κ.), η οποία ισούται με 7.85 kN/m^3 και συνεπώς για πάχος 0.1 m το φορτίο υπολογίζεται ως 0.785 kN/m^2 .

4.2.2 Μεταβλητές Δράσεις

Οι μεταβλητές δράσεις περιλαμβάνουν τα φορτία που οφείλονται στην παρουσία ανθρώπων, σε έπιπλα, σε μηχανήματα, σε οχήματα, ή σε διάφορα άλλα αντικείμενα. Αυτά μπορεί να είναι είτε συγκεντρωμένα, είτε ομοιόμορφα κατανεμημένα.

Η στέγη της υπό μελέτη κατοικίας θεωρείται μη προσβάσιμη για χρήση και το γεγονός ότι δεν προβλέπεται άλλος όροφος οδηγεί στο να μη γίνει θεώρηση φορτίων χωρισμάτων, τοιχοποιίας και ανθρώπινης παρουσίας. Το μοναδικό φορτίο που υπολογίζεται είναι 0.5 kN/m^2 (επιφανειακό), το οποίο αφορά στέγες κατηγορίας H, δηλαδή προσβάσιμες μόνο για συντήρηση και επισκευή. (Πηγή : εθνικό προσάρτημα EN 1991-1-1)

4.2.3 Δράσεις Χιονιού

Ο υπολογισμός του φορτίου χιονιού γίνεται βάσει του Ευρωκώδικα 1 – Μέρος 1.3 (EN1991-1-3) και του Εθνικού Προσαρτήματος. Το φορτίο χιονιού για μονοκλινή στέγη υπολογίζεται από τη σχέση :

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad 4.1$$

Όπου :

μ_i : συντελεστής μορφής φορτίου χιονιού

C_e : συντελεστής έκθεσης (για κανονικές συνθήκες λαμβάνεται ίσος με 1)

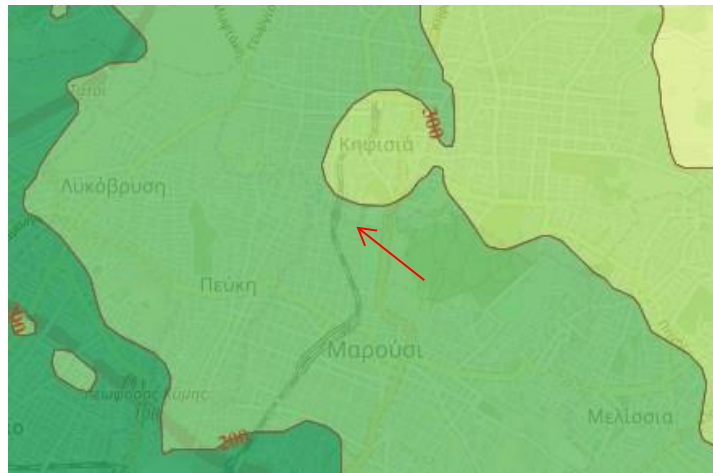
C_t : θερμικός συντελεστής (για κανονικές συνθήκες λαμβάνεται ίσος με 1)

s_k : χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού επί εδάφους, όπου:

$$s_k = s_{k,0} \cdot [1 + (A/917)^2] \quad 4.2$$

Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, για ζώνη II και υψόμετρο κάτω των 1500 μέτρων, κατηγορία στην οποία ανήκει η Κηφισιά, το $s_{k,0}$ λαμβάνεται ίσο με 0.8 kN/m^2 . Το A είναι το υψόμετρο της περιοχής μελέτης σε σχέση με τη στάθμη της θάλασσας και μετριέται με ακρίβεια 100 m με στρογγυλοποίηση προς τα πάνω, οπότε στην περίπτωση του εξεταζόμενου κτηρίου λαμβάνεται ίσο με 300 m σύμφωνα με το σχήμα 4.3.

Για μονοκλινή στέγη με κλίση α από 0° έως 30° ο συντελεστής μ λαμβάνεται ίσος με 0.8. Ακόμα, καθώς η κλίση της στέγης είναι μικρή, δε λαμβάνεται υπόψη γραμμικό φορτίο χιονιού λόγω ολίσθησης και συγκέντρωσης στην άκρη της στέγης. Με αντικατάσταση των παραπάνω δεδομένων στη σχέση 4.1, το φορτίο χιονιού υπολογίζεται ίσο με $s = 0.71 \text{ kN/m}^2$ (επιφανειακό).



Σχήμα 4.3: Χάρτης υψομετρικών ζωνών
(Πηγή: <http://mapsportal.yopen.gr>)

4.2.4 Δράσεις Ανέμου

Ο σχεδιασμός των φορτίων του ανέμου γίνεται με βάση τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 1 (EN 1991-1-4) και οι δράσεις του ανέμου υπολογίζονται για 4 περιπτώσεις, δηλαδή άνεμος κατά τη διεύθυνση +X, άνεμος κατά τη διεύθυνση -X, άνεμος κατά τη διεύθυνση +Y και άνεμος κατά τη διεύθυνση -Y. Η πίεση του ανέμου που δρα σε εξωτερικές επιφάνειες υπολογίζεται από τη σχέση:

$$W_e = q(z_e) \cdot C_{pe} \quad 4.3$$

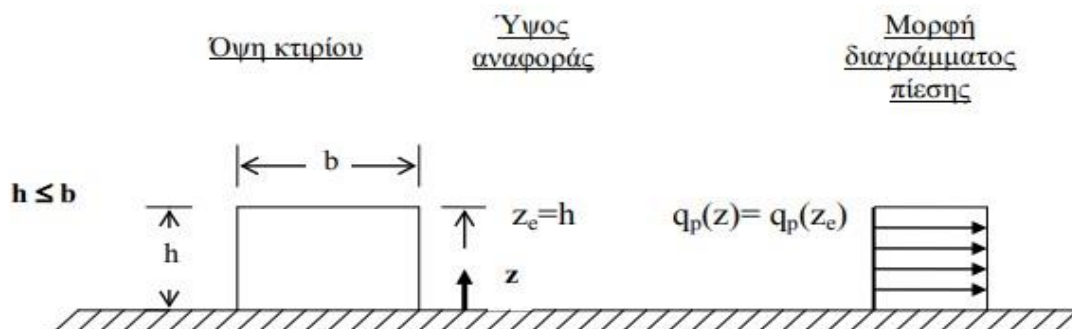
Όπου:

z_e : Ύψος αναφοράς για την εξωτερική πίεση

C_{pe} : Συντελεστής πίεσης για την εξωτερική πίεση

4.2.4.1 Ύψος αναφοράς z_e

Για τον προσδιορισμό του ύψους αναφοράς z_e λαμβάνεται υπόψη η σχέση μεταξύ του ύψους h του κτηρίου και του πλάτους b . Στο εξεταζόμενο κτήριο το συνολικό ύψος μαζί με το ύψος του μικρού περιμετρικού στηθαίου λαμβάνεται προσεγγιστικά ίσο με 3.5 m. Προκύπτει, λοιπόν, ότι για κάθε διεύθυνση ανέμου ισχύει $h = 3.5 \text{ m} < b$, οπότε, σύμφωνα με τον κανονισμό, λαμβάνεται ύψος αναφοράς ίσο με $z_e = h = 3.5 \text{ m}$ (σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4: Ύψος αναφοράς z_e και κατανομή πιέσεων για την περίπτωση όπου $h \leq b$

4.2.4.2 Βασική ταχύτητα ανέμου

Η βασική ταχύτητα ανέμου υπολογίζεται από τη σχέση :

$$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad 4.4$$

Όπου,

c_{dir} : ο συντελεστής διεύθυνσης που λαμβάνεται ίσος με 1

c_{season} : ο συντελεστής εποχής που λαμβάνεται ίσος με 1

$v_{b,0}$: η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας ανέμου, η οποία σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, λαμβάνεται ίση με $v_{b,0} = 27 \text{ m/s}$ για κατασκευές που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από 10 km από την ακτή, όπως είναι η υπό μελέτη κατοικία.

Με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών στη σχέση 4.4 προκύπτει: $V_b = 27 \text{ m/s}$.

4.2.4.3 Πίεση ταχύτητας αιχμής

Η πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z)$ προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad 4.5$$

Όπου,

$I_v(z)$: η ένταση στροβιλισμού, η οποία υπολογίζεται από τις σχέσεις 4.6, 4.7

ρ : η πυκνότητα του αέρα, η οποία λαμβάνεται ίση με 1.25 kg/m^3

$v_m(z)$: η μέση ταχύτητα του ανέμου, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση 4.8.

Ένταση στροβιλισμού $I_v(z)$:

$$I_v(z) = \frac{kI}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} \quad \text{για } z_{min} \leq z \leq z_{max} = 200 \text{ m} \quad 4.6$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad \text{για } z \leq z_{min} \quad 4.7$$

Όπου,

k_I : ο συντελεστής στροβιλισμού και λαμβάνεται ίσος με 1

$c_0(z)$: ο συντελεστής αναγλύφου και για κλίση εδάφους μικρότερη από 5% λαμβάνεται ίσος με 1

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.1, το κτήριο ανήκει στην κατηγορία εδάφους III (προάστιο), οπότε το z_0 είναι ίσο με 0.3 m, ενώ το z_{min} ίσο με 5 . Εφόσον $z = 3.5 \text{ m} \leq z_{min} = 5$, από τη σχέση 4.7 προκύπτει ότι $I_v(z) = 0.355$.

Μέση ταχύτητα ανέμου $v_m(z)$:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b \quad 4.8$$

Όπου,

$c_r(z)$: ο συντελεστής τραχύτητας, ο οποίος υπολογίζεται από τις σχέσεις 4.9 και 4.10.

$c_0(z)$: ο συντελεστής αναγλύφου, ο οποίος όπως αναφέρθηκε προηγουμένως λαμβάνεται ίσος με 1

V_b : η βασική ταχύτητα ανέμου, η οποία υπολογίστηκε ίση με 27 m/s από τη σχέση 4.4

Συντελεστής τραχύτητας $c_r(z)$:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} \quad \text{για } z_{min} \leq z \leq z_{max} = 200 \text{ m} \quad 4.9$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{για } z \leq z_{min} \quad 4.10$$

Όπου,

k_r : ο συντελεστής εδάφους, ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} \quad 4.11$$

Καθώς $z = 3.5 \text{ m} \leq z_{min} = 5 \text{ m}$ και από πίνακα 4.1 $z_0 = 0.3$ και $z_{0,II} = 0.05$, προκύπτει τελικά ότι $c_r(z) = c_r(z_{min}) = 0.606$.

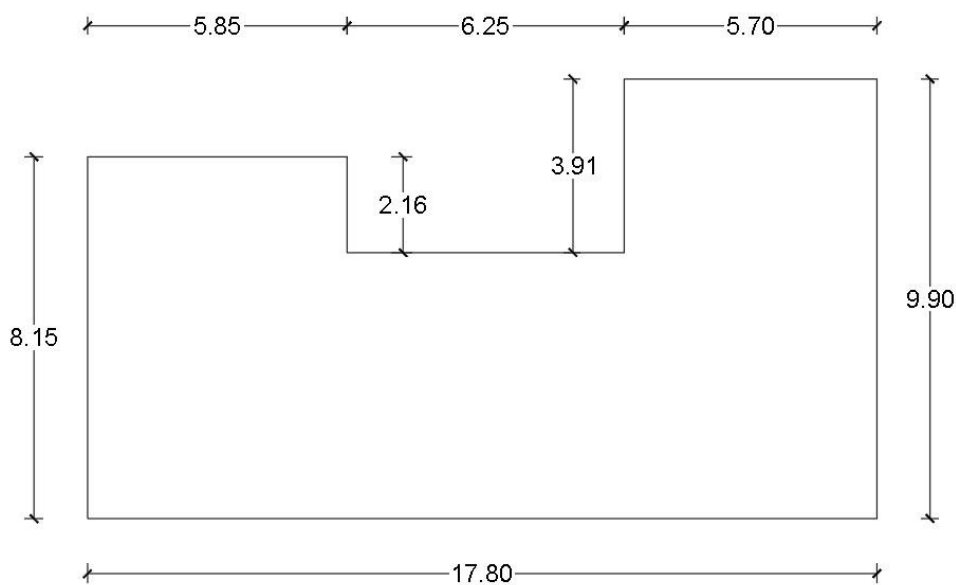
Τελικά, με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών στη σχέση 4.5, προκύπτει ότι $q_p(z) = 0.584 \text{ kN/m}^2$.

Πίνακας 4.1: Κατηγορία εδάφους και αντίστοιχες παράμετροι

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ		z_0 (m)	z_{min} (m)
0	Θάλασσα ή παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα	0,003	1
I	Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια	0,01	1
II	Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασιδί και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων	0,05	2
III	Περιοχή με κανονική κάλυψη βλάστησης ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (π.χ. χωριά, προάστια, μόνιμα δάση)	0,3	5
IV	Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια και το μέσο ύψος τους ξεπερνά τα 15m	1,0	10

4.2.4.4 Εξωτερικές πιέσεις κατακόρυφων επιφανειών

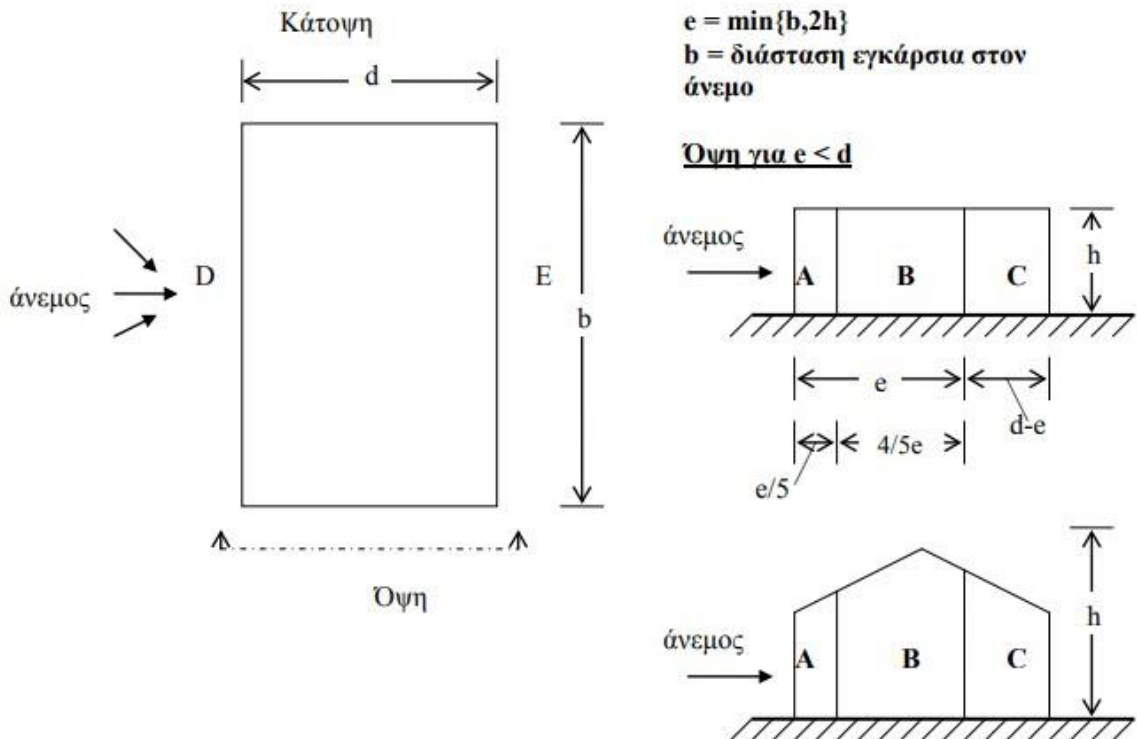
Για να υπολογιστούν οι εξωτερικές πιέσεις των κατακόρυφων επιφανειών χρησιμοποιούνται οι διαστάσεις τους, οι οποίες δίνονται στο σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5: Διαστάσεις εξωτερικών κατακόρυφων επιφανειών κατοικίας

Για κάθε διεύθυνση ανέμου ισχύει ότι $2h < b$ (όπου b σύμφωνα με σχήμα 4.6) και συνεπώς σύμφωνα με τον κανονισμό $e = \min(b, 2h) = 7$ m (ίδιο και για τις 4 διευθύνσεις ανέμου). Ακόμα, για $e = 7$ m, σε κάθε διεύθυνση ανέμου θα ισχύει ότι $e < d$ (όπου d σύμφωνα με το σχήμα 4.6). Συνεπώς, ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου, οι 2 παράλληλες στο άνεμο πλευρές χωρίζονται στις ζώνες A, B, C που υποδεικνύονται στο σχήμα 4.6. Στη συνέχεια, υπολογίζονται με βάση τον πίνακα 4.2 οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης που αφορούν τα τμήματα A, B, C, D, E του σχήματος 4.6. Για επιφάνεια A μεγαλύτερη από 10

m^2 επιλέγεται ο συντελεστής $c_{pe,10}$. Επισημαίνεται πώς, καθώς τα σχήματα του κανονισμού αφορούν κτήριο ορθογώνιου σχήματος, στην περίπτωση της υπό μελέτη κατοικίας θα πρέπει να γίνουν ορισμένες παραδοχές.



Σχήμα 4.6: Ορισμός ζωνών για εξωτερικές πιέσεις κατακόρυφων επιφανειών με βάση τον Ευρωκώδικα 1

Πίνακας 4.2: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης κατακόρυφων επιφανειών με βάση τον Ευρωκώδικα 1

Ζώνη	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	
Για ενδιάμεσες τιμές του λόγου h/d χρειάζεται γραμμική παρεμβολή.										

Δ) Διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$ (+X)

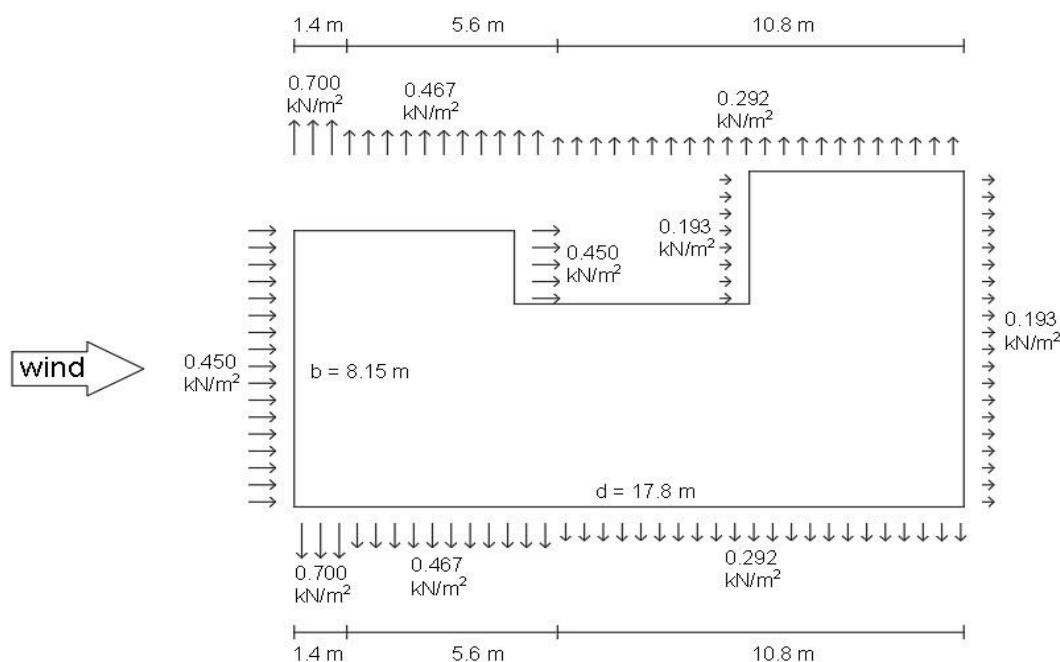
Για τη διεύθυνση αυτή γίνονται οι εξής προσεγγίσεις και παραδοχές :

- $b = 8.15 \text{ m}$
- $d = 17.8 \text{ m}$
- $h/d \approx 0.2$

Αρα με γραμμική παρεμβολή από τον πίνακα 4.2 προκύπτουν για τις διάφορες ζώνες οι τιμές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης $c_{pe,10}$. Στη συνέχεια, αυτές πολλαπλασιάζονται με την πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z) = 0.584 \text{ kN/m}^2$ και δίνουν την τελική τιμή των εξωτερικών πιέσεων στις κατακόρυφες επιφάνειες (πίνακας 4.3). Στο σχήμα 4.7 φαίνονται οι εξωτερικές πιέσεις και η διεύθυνση τους ανά επιφάνεια για την περίπτωση ανέμου +X. Οι εξωτερικές πιέσεις με αρνητικό πρόσημο απομακρύνονται από την επιφάνεια (υποπίεσεις), ενώ το αντίθετο συμβαίνει για αυτές με θετικό πρόσημο (πιέσεις). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, για την περίπτωση αυτή, όπως και για τις υπόλοιπες περιπτώσεις ανέμου, πρέπει να γίνουν ορισμένες παραδοχές, οι οποίες αφορούν κυρίως την εξωτερική πίεση της εσοχής του βόρειου τοίχου.

Πίνακας 4.3 : Υπολογισμός εξωτερικών πιέσεων ανέμου ανά επιφάνεια για άνεμο διεύθυνσης +X και -X

Επιφάνεια	Συντελεστής εξωτερικής πίεσης $c_{pe,10}$	Τελική εξωτερική πίεση (kN/m^2)
A	-1.2	-0.7
B	-0.8	-0.467
C	-0.5	-0.292
D	+0.77	+0.45
E	-0.33	-0.193



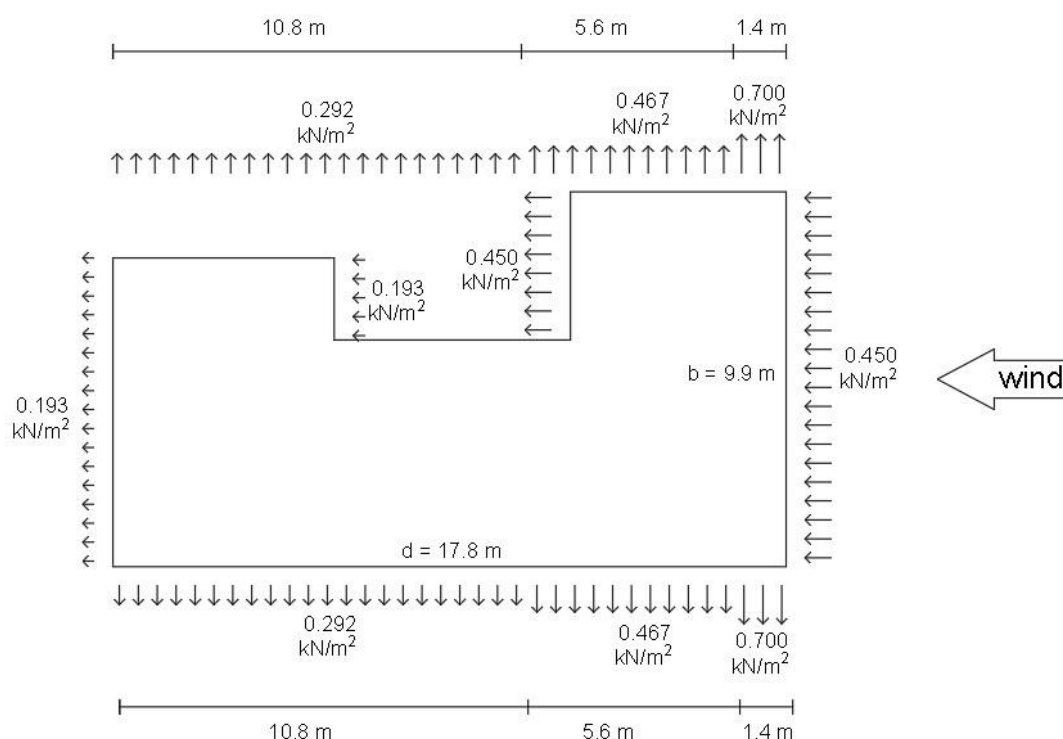
Σχήμα 4.7: Εξωτερικές πιέσεις επί εξωτερικών τοίχων για άνεμο κατά τη διεύθυνση +X

II) Διεύθυνση ανέμου $\theta = 180^\circ$ (-X)

Αντίστοιχα με την περίπτωση I, με τη μόνη διαφορά ότι ο άνεμος σε αυτή την περίπτωση συναντά πρώτα τον ανατολικό τοίχο μήκους 9.9 μέτρων, γίνονται οι εξής παραδοχές :

- $b = 9.9$ m
- $d = 17.8$ m
- $h/d \approx 0.2$

Άρα, όπως και στην περίπτωση I, προκύπτουν οι τιμές του πίνακα 4.3, οι οποίες σχηματικά φαίνονται στο σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8: Εξωτερικές πιέσεις επί εξωτερικών τοίχων για άνεμο κατά τη διεύθυνση -X

III) Διεύθυνση ανέμου $\theta = 90^\circ$ (+Y)

Στην περίπτωση αυτή ο άνεμος συναντά πρώτα τον νότιο τοίχο μήκους 17.8 m. Από την άλλη, στην παράλληλη με τον άνεμο διεύθυνση υπάρχει ο τοίχος μήκους 8.15 m και ο τοίχος μήκους 9.9 m. Γίνονται, λοιπόν, οι εξής παραδοχές :

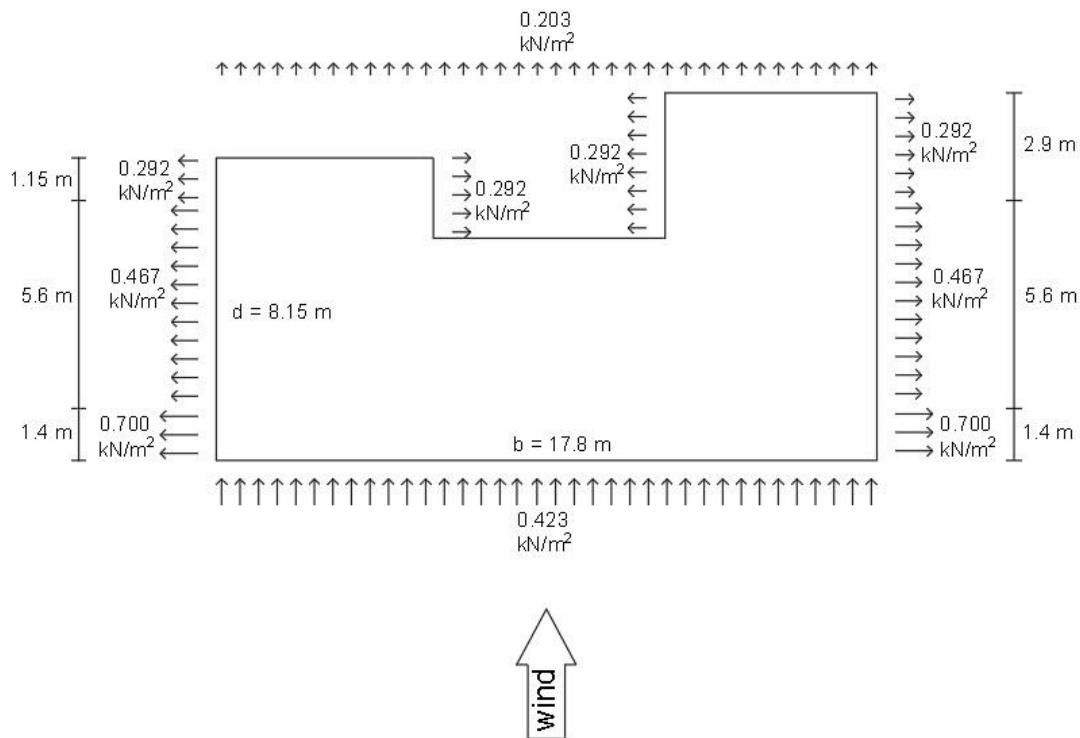
- $b = 17.8$ m
- $d = 8.15$ m
- $h/d \approx 0.43$

Με γραμμική παρεμβολή στον πίνακα 4.2 προκύπτουν για τις διάφορες ζώνες οι τιμές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης $c_{pe,10}$, οι οποίες φαίνονται στον πίνακα 4.4 και

πολλαπλασιαζόμενες με την πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z) = 0.584 \text{ kN/m}^2$ δίνουν την τελική τιμή των εξωτερικών πιέσεων στις κατακόρυφες επιφάνειες.

Πίνακας 4.4 : Υπολογισμός εξωτερικών πιέσεων κατακόρυφων επιφανειών ανά επιφάνεια για άνεμο διεύθυνσης +Y και -Y

Επιφάνεια	Συντελεστής εξωτερικής πίεσης $c_{pe,10}$	Τελική εξωτερική πίεση (Kn/m^2)
A	-1.2	-0.7
B	-0.8	-0.467
C	-0.5	-0.292
D	+0.724	+0.423
E	-0.348	-0.203



Σχήμα 4.9: Εξωτερικές πιέσεις επί εξωτερικών τοίχων για άνεμο κατά τη διεύθυνση +Y

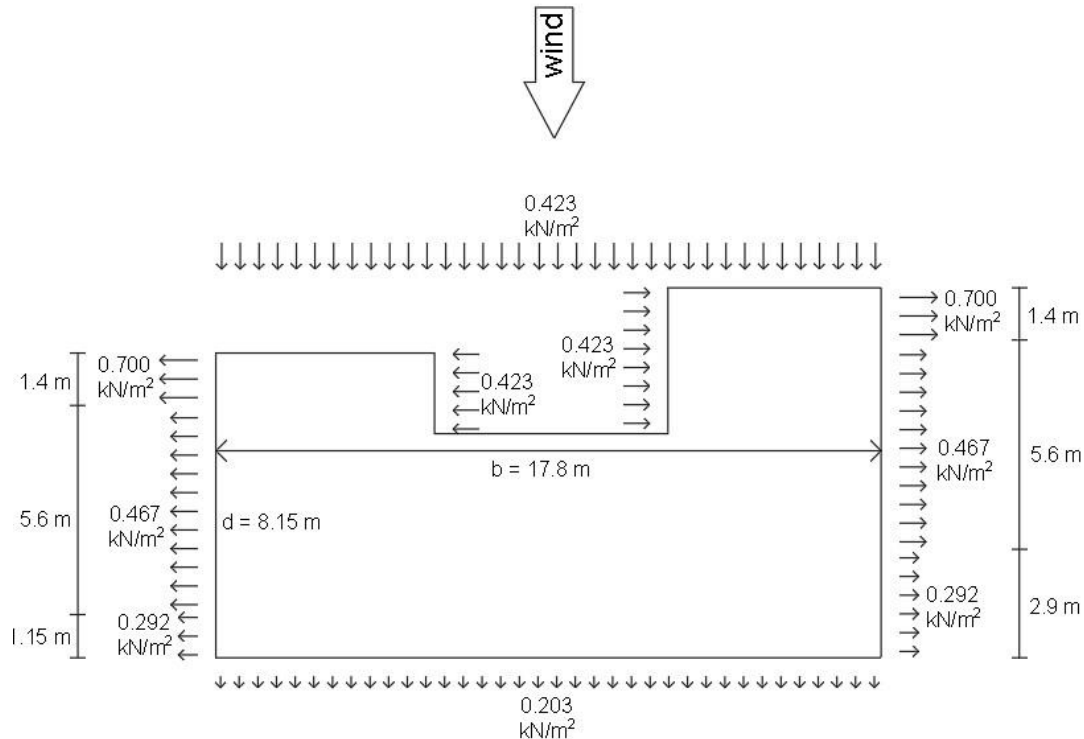
IV) Διεύθυνση ανέμου $\theta = 270^\circ$ (-Y)

Αντίστοιχα με την περίπτωση III, το κτήριο θεωρείται πάλι σχήματος ορθογωνίου και μελετάται για :

- $b = 17.8 \text{ m}$
- $d = 8.15 \text{ m}$

- $h/d \approx 0.43$

Συνεπώς, προκύπτουν οι ίδιοι συντελεστές με την περίπτωση III και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο σχήμα 4.7.

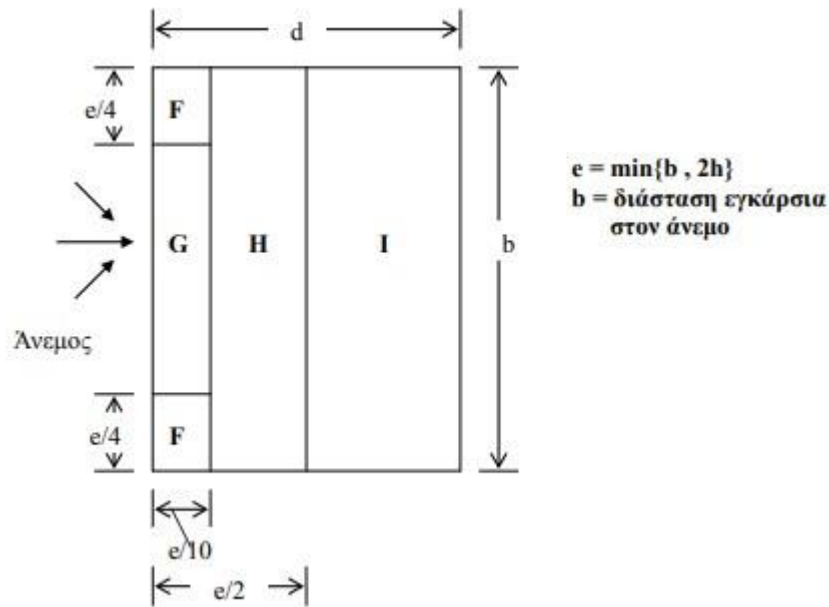


Σχήμα 4.10: Εξωτερικές πιέσεις επί εξωτερικών τοίχων για άνεμο κατά τη διεύθυνση -Y

4.2.4.5 Εξωτερικές πιέσεις στέγης

Η στέγη μελετάται και πάλι σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 (EN 1991-1-4). Και σε αυτή την περίπτωση το σχήμα του κτηρίου οδηγεί στην ανάγκη να γίνουν ορισμένες παραδοχές ώστε η μελέτη να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβής με βάση τον κανονισμό, ο οποίος εξετάζει κτήριο με ορθογώνιο σχήμα.

Για επίπεδες στέγες με κλίση α , για την οποία ισχύει $-5^\circ < \alpha < +5^\circ$, η στέγη χωρίζεται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 σε ζώνες, οι οποίες φαίνονται στο σχήμα 4.11. Για τις ζώνες αυτές το e παραμένει ίδιο με αυτό που προέκυψε για τις πιέσεις των κατακόρυφων επιφανειών, δηλαδή ίσο με 7 m. Από τον πίνακα 4.5 επιλέγονται οι συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για επίπεδες στέγες $c_{pe,10}$, με βάση την αναλογία του ύψους στηθαίου προς το συνολικό ύψος του κτηρίου. Στην περίπτωση του εξεταζόμενου κτηρίου ισχύει ότι $h_p/h > 0.1$ και συνεπώς οι τιμές που επιλέγονται είναι αυτές που αφορούν την περίπτωση όπου $h_p/h = 0.1$. Οι τιμές των εξωτερικών πιέσεων που προκύπτουν για τις ζώνες F,G,H,I είναι ίδιες για κάθε διεύθυνση ανέμου και φαίνονται στον πίνακα 4.6. Αυτές προκύπτουν πάλι με πολλαπλασιασμό της πίεσης ταχύτητας αιχμής $q_p(z) = 0.584 \text{ kN/m}^2$ με τους αντίστοιχους συντελεστές $c_{pe,10}$. Τέλος, στα σχήματα 4.12, 4.13, 4.14 και 4.15 φαίνεται ο καθορισμός των ζωνών για τις περιπτώσεις ανέμου +X, -X, +Y και -Y, αντίστοιχα.



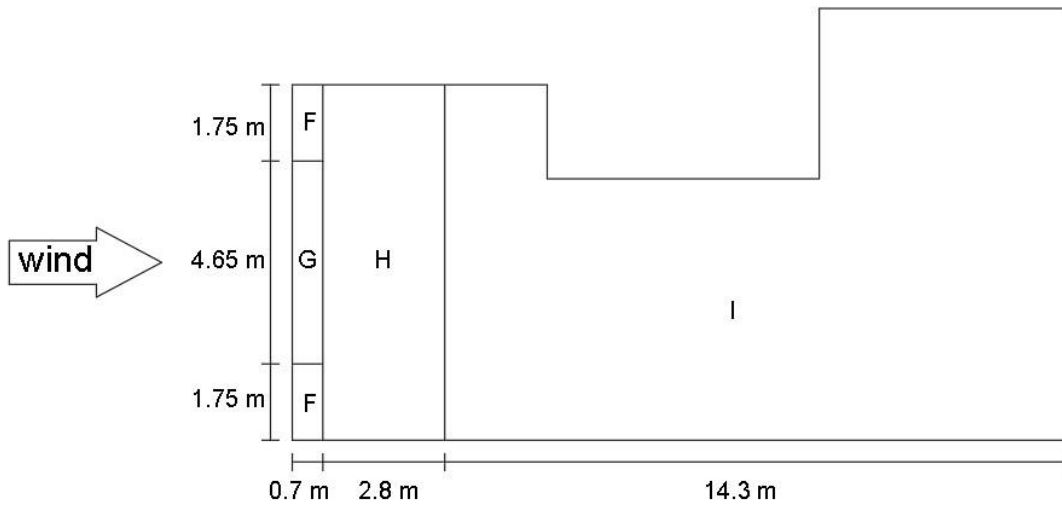
Σχήμα 4.11: Ορισμός ζωνών για επίπεδες στέγες

Πίνακας 4.5 : Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για επίπεδες στέγες

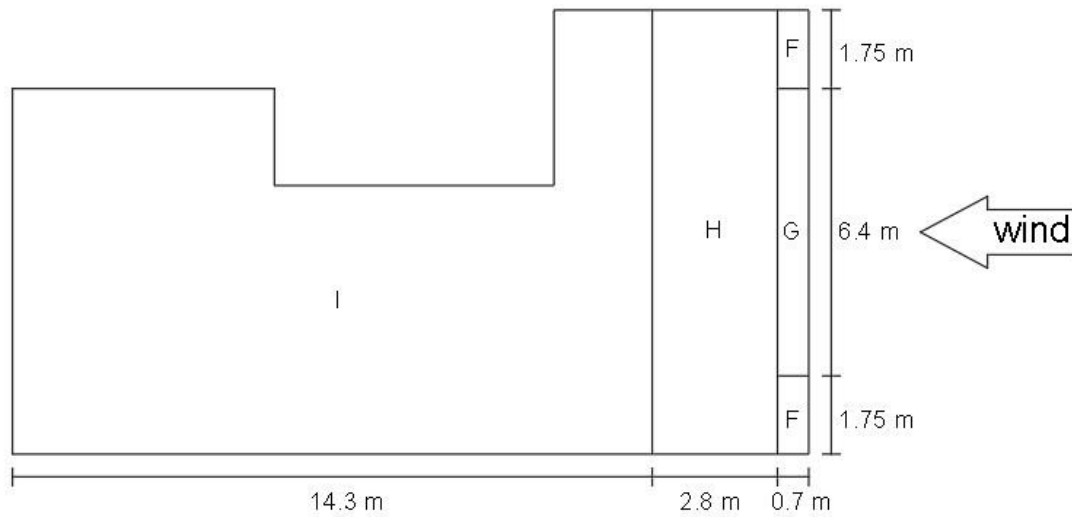
Τύπος στέγης		Ζώνη							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Λιχμηρά άκρα		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	±0,2	
Με στηθαία	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	±0,2	
	$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	±0,2	
	$h_p/h=0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	±0,2	
Καμπύλα Άκρα	$r/h=0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		±0,2	
	$r/h=0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		±0,2	
	$r/h=0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		±0,2	
Κεκλιμένα άκρα	$\alpha=30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		±0,2	
	$\alpha=45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		±0,2	
	$\alpha=60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		±0,2	

Πίνακας 4.6 : Υπολογισμός εξωτερικών πιέσεων στέγης ανά επιφάνεια για άνεμο κάθε διεύθυνσης

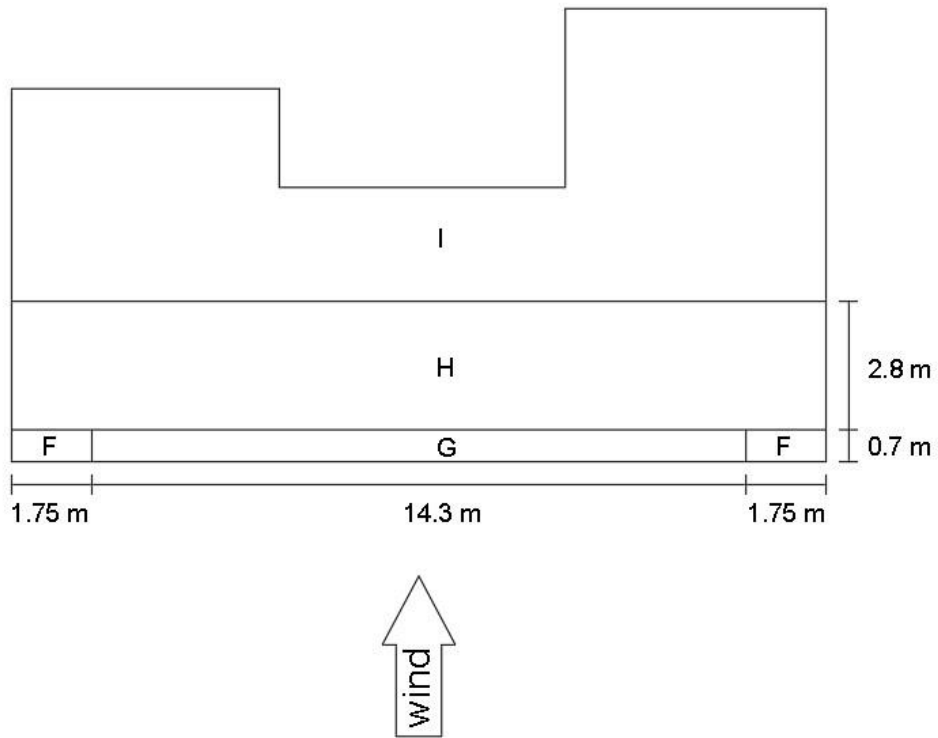
Επιφάνεια	Συντελεστής εξωτερικής πίεσης $c_{pe,10}$	Τελική εξωτερική πίεση (Kn/m^2)
F	-1.2	-0.700
G	-0.8	-0.467
H	-0.7	-0.409
I	±0.2	±0.117



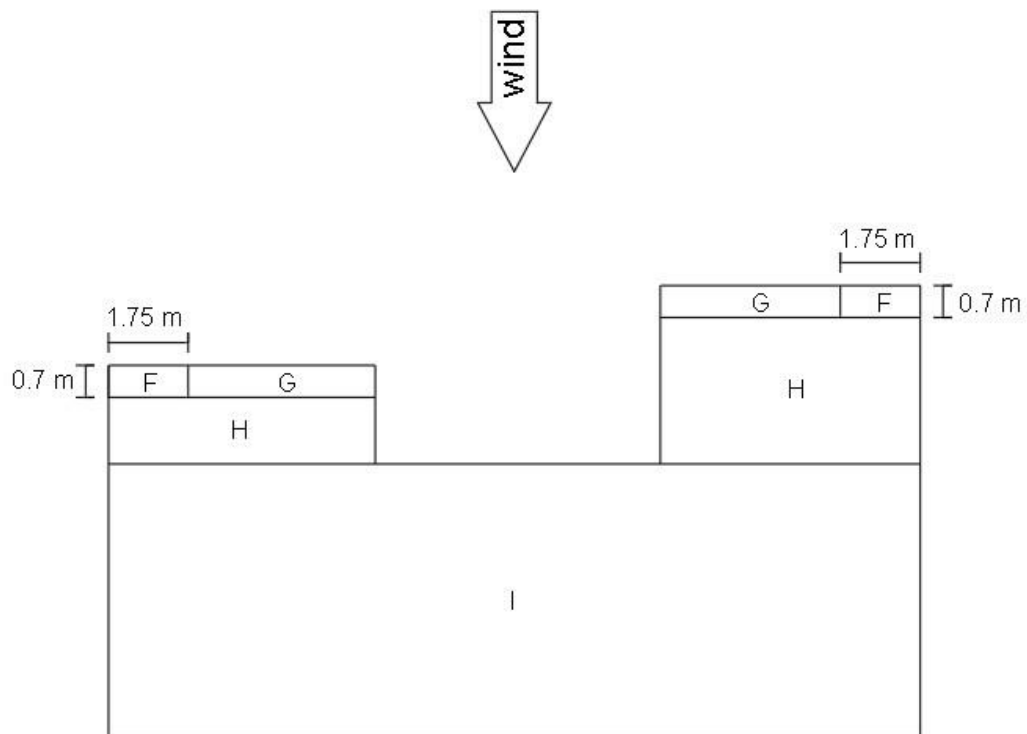
Σχήμα 4.12: Ορισμός ζωνών στέγης για άνεμο κατά τη διεύθυνση +X



Σχήμα 4.13: Ορισμός ζωνών στέγης για άνεμο κατά τη διεύθυνση -X



Σχήμα 4.14: Ορισμός ζωνών στέγης για άνεμο κατά τη διεύθυνση +Y



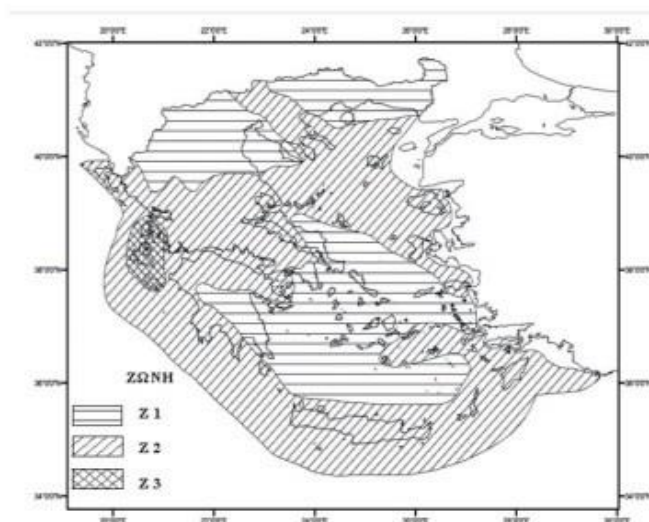
Σχήμα 4.15: Ορισμός ζωνών στέγης για άνεμο κατά τη διεύθυνση -Y

4.2.5 Σεισμικές Δράσεις

Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού αναπτύσσονται στο έδαφος επιταχύνσεις, οι οποίες έχουν ως συνέπεια την ανάπτυξη αδρανειακών δυνάμεων επί των κατασκευών, από τις οποίες οι πιο καταστροφικές θεωρούνται οι οριζόντιες. Τα αποτελέσματα της σεισμικής απόκρισης σε ένα κτήριο υπολογίζονται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 (EN 1998-1) με τη μέθοδο ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης, ή με την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε η δεύτερη μέθοδος, με την οποία υπολογίζεται η μέγιστη σεισμική απόκριση για κάθε ιδιομορφή. Η μέθοδος αυτή πραγματοποιήθηκε κατά την ανάλυση με το πρόγραμμα Sofistik.

Η κατοικία μελέτης ανήκει στην Αττική και συγκεκριμένα στον Δήμο Κηφισιάς. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.16, η κατοικία ανήκει σε Ζώνη 1 σεισμικής επικινδυνότητας και συνεπώς η μελέτη γίνεται για $a_{gR} = 0.16 g$. Ακόμα, σύμφωνα με τον πίνακα 4.7 για την κατοικία επιλέγεται κατηγορία σπουδαιότητας II με συντελεστή $\gamma_I = 1$. Συνεπώς, η επιτάχυνση σχεδιασμού υπολογίζεται ίση με $a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} = 1.6 \text{ m/s}^2$.

Ζώνη	a_{gR}/g
Z1	0.16
Z2	0.24
Z3	0.36



Σχήμα 4.16: Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας στην Ελλάδα

Πίνακας 4.7: Κατηγορίες σπουδαιότητας κτηρίων

Κατηγορία σπουδαιότητας	γ_I	Περιγραφή
I	0.80	Κτίρια δευτερεύουσας σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. γεωργικά κτίρια, κλπ.
II	1.00	Συνήθη κτίρια, που δεν ανήκουν στις άλλες κατηγορίες.
III	1.20	Κτίρια των οποίων η σεισμική ασφάλεια είναι σημαντική, λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες κατάρρευσης, π.χ. σχολεία, αιθουσές συνάθροισης, πολιτιστικά ιδρύματα κλπ.
IV	1.40	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κλπ.

Ως κατηγορία εδάφους επιλέγεται η κατηγορία C, η οποία περιλαμβάνει ένα ενδιάμεσης σκληρότητας έδαφος και σύμφωνα με τον πίνακα 4.8 επιλέγονται τα χαρακτηριστικά : $S = 1.15$, $T_B = 0.20 \text{ sec}$, $T_C = 0.60 \text{ sec}$, $T_D = 2.50 \text{ sec}$. Ανάλογα με την περίοδο T της κατασκευής και τη σχέση του με τις T_B , T_C , T_D ορίζονται οι σχέσεις για την επιταχυνση σχεδιασμού:

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B \quad 4.12$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C \quad 4.13$$

$$S_d(T) = \max \left[a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right), 0.2 \cdot a_g \right] \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D \quad 4.14$$

$$S_d(T) = \max \left[a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right), 0.2 \cdot a_g \right] \quad \text{για } T_D \leq T \quad 4.15$$

Το q είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς και εξαρτάται από την κατηγορία πλαστιμότητας. Αυτή αναφέρεται στην ικανότητα της κατασκευής να αναπτύσσει μεγάλες παραμορφώσεις πέρα από το σημείο διαρροής χωρίς θραύση και μπορεί να είναι υψηλή (ΚΠΥ), μέση (ΚΠΜ) ή χαμηλή (ΚΠΧ). Ο συντελεστής q λαμβάνεται ίσος με 1.5 στην εξεταζόμενη κατασκευή.

Πίνακας 4.8 : Χαρακτηριστικές περιόδους και συντελεστής εδάφους S ανάλογα με την κατηγορία εδάφους

Κατηγορία Εδάφους	S	T_B (sec)	T_C (sec)	T_D (sec)
A	1,00	0,15	0,40	2,50
B	1,20	0,15	0,50	2,50
C	1,15	0,20	0,60	2,50
D	1,35	0,20	0,80	2,50
E	1,40	0,15	0,50	2,50

4.3 Συνδυασμός των Δράσεων

Οι οριακές καταστάσεις ενός φορέα είναι αυτές πέρα από των οποίων ο φορέας δεν ικανοποιεί πλέον τα κριτήρια σχεδιασμού του. Διακρίνονται σε:

- Οριακή κατάσταση αστοχίας ή ultimate limit states (OKA ή ULS), η οποία σχετίζεται με πλαστική αντοχή, απώλεια ευστάθειας, θραύση, κόπωση, ανατροπή κ.α., δηλαδή καταστάσεις που απειλούν την ασφάλεια του φορέα με κατάρρευση ή αστοχία.
- Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας ή serviceability limit states (OKΛ ή SLS), η οποία αφορά ρηγματώσεις, μετατοπίσεις, ταλαντώσεις κ.α., δηλαδή καταστάσεις που επηρεάζουν τη λειτουργικότητα του φορέα ή μέρους του και την άνεση των χρηστών.

Οι 2 παραπάνω καταστάσεις προσεγγίζονται με προσαύξηση των φορτίων λειτουργίας του φορέα, ενώ τα φορτία που προκύπτουν ονομάζονται φορτία ή δράσεις σχεδιασμού και χρησιμοποιούνται σε διάφορους συνδυασμούς προκειμένου να γίνει η διαστασιολόγηση ή ο έλεγχος των μελών του φορέα. Οι δράσεις που υπολογίστηκαν προηγουμένως, πολλαπλασιαζόμενες με τους κατάλληλους συντελεστές (συντελεστές ασφαλείας γ), συνδυάζονται μεταξύ τους με τους συντελεστές ψ , οι οποίοι δίνονται στον πίνακα 4.9. Το αποτέλεσμα του συνδυασμού των δράσεων, δηλαδή οι δυνάμεις και ροπές που αναπτύσσονται, συγκρίνεται με την αντοχή του κάθε μέλους του φορέα ($E_d \leq R_d$).

Πίνακας 4.9: Προτεινόμενες τιμές των συντελεστών ψ

Δράσεις	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια, κατηγορία (βλέπε EN 1991-1-1)			
Κατηγορία A: κατοικίες, συνήθη κτήρια κατοικιών	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία B: χώροι γραφείων	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία C: χώροι συνάθροισης	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία D: χώροι καταστημάτων	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης	1,0	0,9	0,8
Κατηγορία F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων βάρος οχημάτων $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων $30\text{kN} < \text{βάρος οχημάτων} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία H: στέγες	0	0	0
Φορτία χιονιού επάνω σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-3)*			
Φιλανδία, Ισλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H > 1000\text{ m}$	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H \leq 1000\text{ m}$	0,50	0,20	0
Φορτία ανέμου σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Θερμοκρασία (μη-πυρκαϊάς) σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι τιμές ψ μπορούν να καθορισθούν από το Εθνικό Προσάρτημα.			
* Για χώρες οι οποίες δεν αναφέρονται παρακάτω, βλέπε συναφείς τοπικές συνθήκες.			

4.3.1 Συνδυασμοί φορτίσεων σε ΟΚΑ για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές

Ο συνδυασμός των φορτίσεων σε ΟΚΑ που αφορά καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές δίνεται από τη σχέση:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad 4.16$$

Όπου:

$G_{k,j}$: χαρακτηριστική τιμή των μονίμων δράσεων

P : χαρακτηριστική τιμή της προεντάσεως, όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχει.

$Q_{k,1}$: χαρακτηριστική τιμή της επικρατέστερης μεταβλητής δράσης

$Q_{k,i}$: χαρακτηριστική τιμή των λοιπών μεταβλητών δράσεων

Οι τιμές που προτείνονται για τους συντελεστές γ είναι οι εξής:

- $\gamma_{G,J} = 1,35$ όταν το μόνιμο φορτίο δρα δυσμενώς ή $\gamma_{GJ} = 1$ όταν το μόνιμο φορτίο δρα ευμενώς
- $\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 1,5$ όταν το μεταβλητό φορτίο δρα δυσμενώς ή $\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 0$ όταν το μεταβλητό φορτίο δρα ευμενώς

Οι βασικοί συνδυασμοί σε ΟΚΑ που πραγματοποιούνται για την υπό μελέτη κατοικία είναι οι εξής:

1. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S$
2. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q$
3. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_0$
4. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_{90}$
5. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_{270}$
6. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_{360}$
7. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_0$
8. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{90}$
9. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{270}$
10. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{360}$
11. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_0$
12. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{90}$
13. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{270}$
14. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{360}$
15. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_0 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$
16. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_{90} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$
17. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_{270} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$
18. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_{360} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$
19. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_0 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q$
20. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_{90} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q$
21. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_{270} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q$
22. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_{360} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q$

Στους παραπάνω συνδυασμούς G είναι τα συνολικά μόνιμα φορτία, S είναι το φορτίο χιονιού, Q είναι το κινητό φορτίο της στέγης και W είναι το φορτίο ανέμου (δίνεται για τις 4 διευθύνσεις). Μία πρώτη παρατήρηση είναι πως σε κανέναν συνδυασμό δεν εμφανίζονται ταυτόχρονα οι δράσεις Q και S . Αυτό συμβαίνει καθώς γίνεται η παραδοχή πως κατά τη διάρκεια χιονόπτωσης δεν πραγματοποιείται συντήρηση στη στέγη. Ακόμα, για κάθε διεύθυνση ανέμου θεωρείται μόνο μία περίπτωση φόρτισης της στέγης (φορτίο προς τα κάτω σε όλη τη στέγη) ως δυσμενέστερη. Τέλος, κάποιοι συνδυασμοί μπορούν να απορριφθούν εξ αρχής από τους ελέγχους καθώς υπάρχουν άλλοι που είναι προφανώς δυσμενέστεροι. Έτσι, ο συνδυασμός 2 δε χρειάζεται να ελεγχθεί, καθώς καλύπτεται από τον συνδυασμό 1 ($S > Q$). Επίσης, δε θα ελεγχθούν οι συνδυασμοί 19,20,21,22, καθώς καλύπτονται από τους συνδυασμούς 15,16,17,18 ($0,5 \cdot S > 0,7 \cdot Q$).

4.3.2 Συνδυασμοί φορτίσεων σε ΟΚΑ για καταστάσεις σεισμού

Ο συνδυασμός των φορτίσεων σε ΟΚΑ που αφορά σεισμικές καταστάσεις δίνεται από τη σχέση:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \cdot P \cdot A_{ED} \cdot \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad 4.17$$

Όπου:

A_{ED} : η τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης, η οποία υπολογίζεται από το πρόγραμμα Sofistik.

Στην περίπτωση επαλληλίας των συνιστωσών του σεισμού επιτρέπεται να εφαρμοστούν απλούστεροι κανόνες. Δημιουργούνται έτσι οι 8 συνδυασμοί που παρουσιάζονται στη συνέχεια:

1. $1 \cdot G + 0,3 \cdot Q \pm E_x + 0,3 \cdot E_y$
2. $1 \cdot G + 0,3 \cdot Q \pm E_x - 0,3 \cdot E_y$
3. $1 \cdot G + 0,3 \cdot Q \pm 0,3 \cdot E_x + E_y$
4. $1 \cdot G + 0,3 \cdot Q \pm 0,3 \cdot E_x - E_y$

4.3.3 Συνδυασμοί φορτίσεων σε ΟΚΛ

Ο χαρακτηριστικός συνδυασμός των φορτίσεων σε ΟΚΛ δίνεται από τη σχέση:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \cdot P \cdot Q_{k,1} \cdot \sum_{l > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad 4.18$$

Οι συνδυασμοί που προκύπτουν για ΟΚΛ είναι οι εξής:

1. $G + S$
2. $G + Q$
3. $G + W_0$
4. $G + W_{90}$
5. $G + W_{270}$
6. $G + W_{360}$
7. $G + S + 0,6 \cdot W_0$
8. $G + S + 0,6 \cdot W_{90}$
9. $G + S + 0,6 \cdot W_{270}$
10. $G + S + 0,6 \cdot W_{360}$
11. $G + Q + 0,6 \cdot W_0$
12. $G + Q + 0,6 \cdot W_{90}$
13. $G + Q + 0,6 \cdot W_{270}$
14. $G + Q + 0,6 \cdot W_{360}$
15. $G + W_0 + 0,5 \cdot S$
16. $G + W_{90} + 0,5 \cdot S$
17. $G + W_{270} + 0,5 \cdot S$
18. $G + W_{360} + 0,5 \cdot S$
19. $G + W_0 + 0,7 \cdot Q$
20. $G + W_{90} + 0,7 \cdot Q$
21. $G + W_{270} + 0,7 \cdot Q$
22. $G + W_{360} + 0,7 \cdot Q$

Όπως και στην περίπτωση της ΟΚΑ, ορισμένοι συνδυασμοί μπορούν να απορριφθούν εξ αρχής από τους ελέγχους καθώς υπάρχουν άλλοι που είναι προφανώς δυσμενέστεροι. Έτσι, για άλλη μια φορά ο συνδυασμός 2 δε χρειάζεται να ελεγχθεί, καθώς καλύπτεται από τον συνδυασμό 1 ($S > Q$). Επίσης, δε θα ελεγχθούν οι συνδυασμοί 19,20,21,22, καθώς καλύπτονται από τους συνδυασμούς 15,16,17,18 ($0,5 \cdot S > 0,7 \cdot Q$).

4.4 Έλεγχος και διαστασιολόγηση μελών

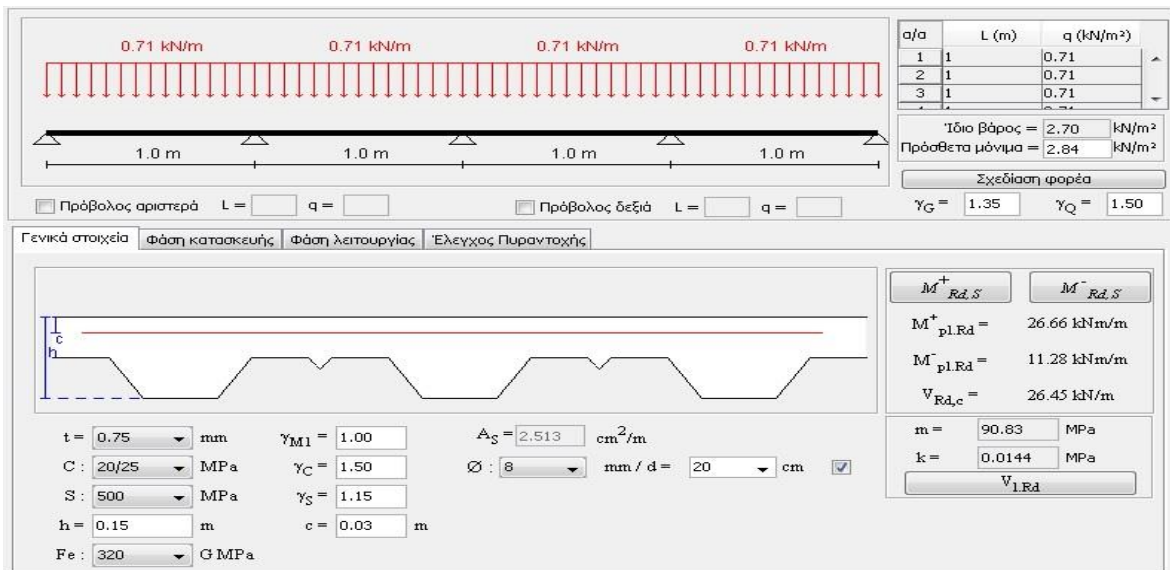
4.4.1 Σύμμικτη πλάκα

Η πλάκα της οροφής επιλέχθηκε ως σύμμικτη, αποτελούμενη από χαλυβδόφυλλο και έγχυτο σκυρόδεμα. Το χαλυβδόφυλλο λειτουργεί ευνοϊκά στη φάση κατασκευής της πλάκας, καθώς παραλαμβάνει το ίδιο βάρος και λοιπά φορτία. Στη φάση λειτουργίας το χαλυβδόφυλλο συνεργάζεται με το έγχυτο σκυρόδεμα (σκληρυμένο πλέον) και λειτουργούν μαζί ως σύμμικτη πλάκα.

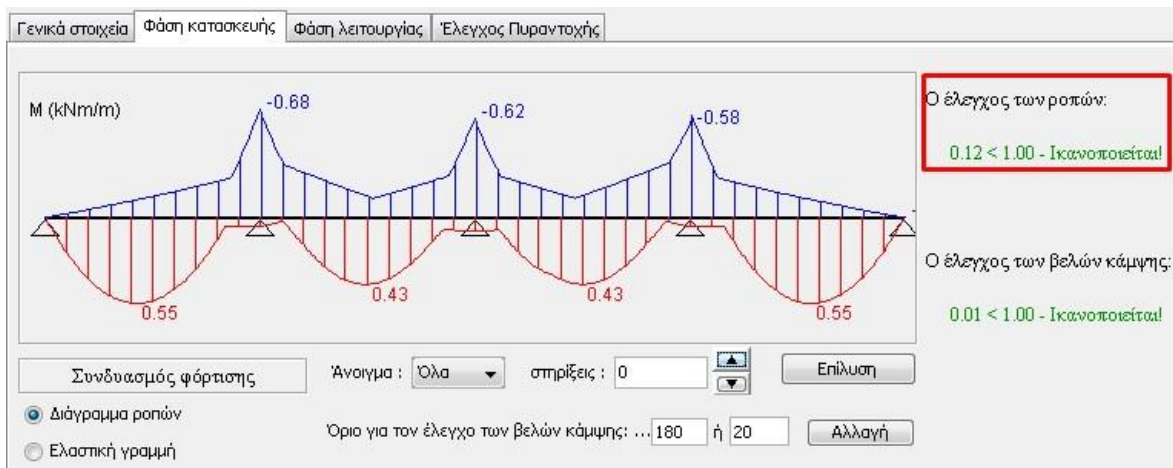
Για τον σχεδιασμό της σύμμικτης πλάκας χρησιμοποιήθηκε χαλυβδόφυλλο τύπου SYDECK 73 της εταιρείας ΕΛΑΣΤΡΟΝ. Τα χαρακτηριστικά που επιλέγονται για την σύμμικτη πλάκα είναι τα εξής:

- Συνολικό ύψος πλάκας: $h = 150 \text{ mm}$
- Πάχος χαλυβδόφυλλου: $t_p = 0.75 \text{ mm}$
- Οπλισμός $\Phi 8/20 = 2,513 \text{ cm}^2/\text{m}$ άνω (για αποφυγή ρηγμάτωσης)
- Οπλισμός $\Phi 8/\text{αυλάκι}$ για ασφάλεια σε περίπτωση πυρκαγιάς
- Επικάλυψη οπλισμών: $c = 30 \text{ mm}$
- Σκυρόδεμα ποιότητας C20/25
- Χάλυβας οπλισμού κατηγορίας B500C

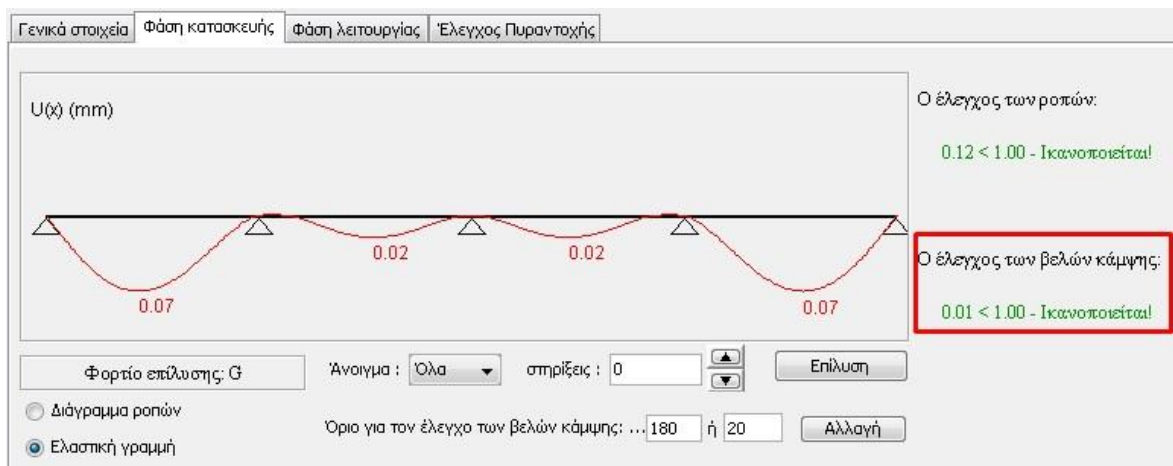
Ο έλεγχος της σύμμικτης πλάκας γίνεται στο πρόγραμμα Sym Deck Designer 2 σε ΟΚΑ και ΟΚΛ για την φάση κατασκευής, την φάση λειτουργίας και σε πυρκαντοχή. Στην φάση κατασκευής μόνιμα φορτία θεωρούνται τα ίδια βάρη του χαλυβδόφυλλου και του νωπού σκυροδέματος, ενώ κινητό φορτίο θεωρείται το φορτίο διάστρωσης το οποίο λαμβάνεται ίσο με 0.75 kN/m^2 . Στη φάση λειτουργίας τα μόνιμα φορτία είναι το φορτίο της σύμμικτης πλάκας (σκυρόδεμα και χαλυβδόφυλλο) και τα πρόσθετα μόνιμα φορτία, ενώ ως κινητό φορτίο επιλέγεται το φορτίο χιονιού, το οποίο είναι ίσο με $S = 0.71 \text{ kN/m}^2$. Στα σχήματα 4.17 έως 4.23 δίνονται οι απαιτούμενοι έλεγχοι σε ΟΚΑ και ΟΚΛ, οι οποίοι ικανοποιούνται στο σύνολο τους.



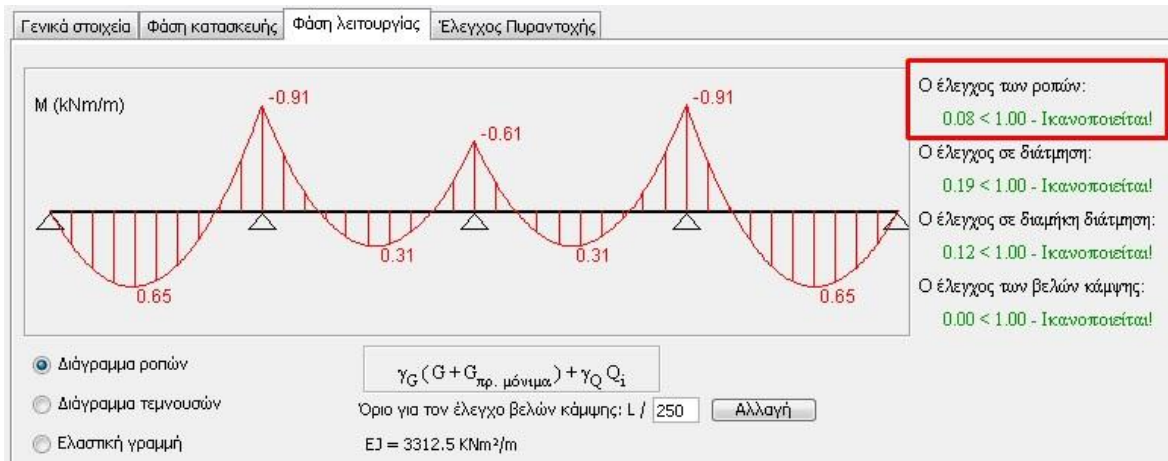
Σχήμα 4.17: Γενικά στοιχεία σύμμεκτης πλάκας (Sym Deck Designer 2)



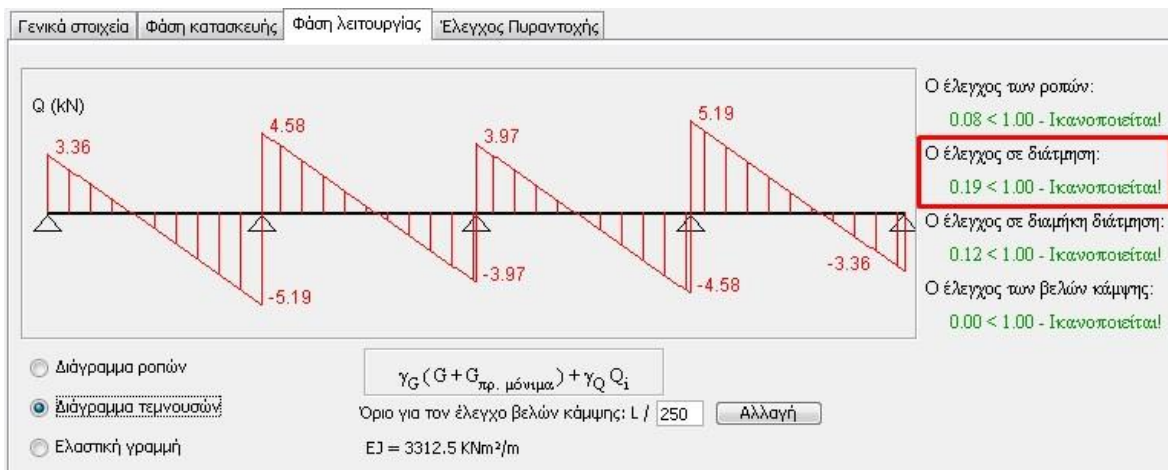
Σχήμα 4.18: Διάγραμμα ροπών κάμψης σύμμεκτης πλάκας στη φάση κατασκευής και έλεγχος (Sym Deck Designer 2)



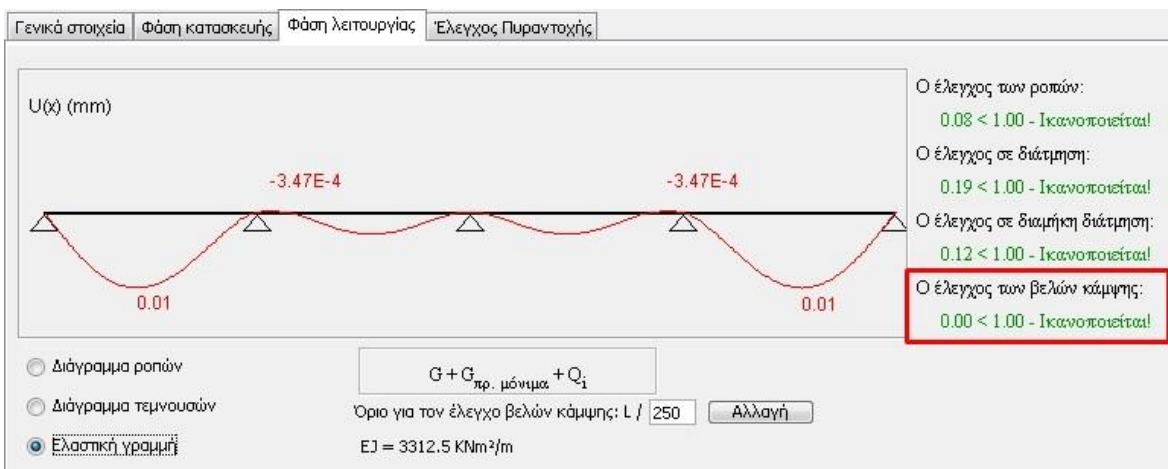
Σχήμα 4.19: Διάγραμμα βελών κάμψης σύμμεκτης πλάκας στη φάση κατασκευής και έλεγχος (Sym Deck Designer 2)



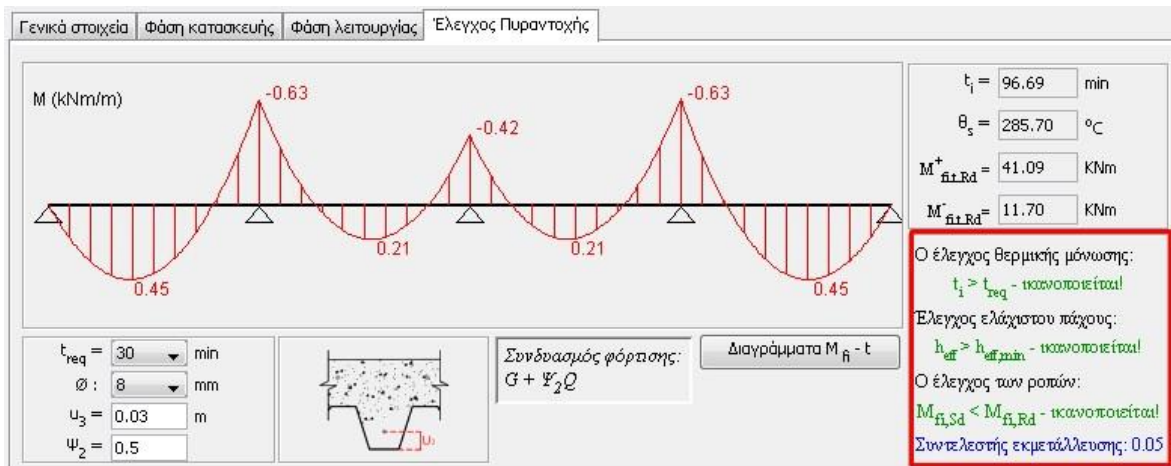
Σχήμα 4.20: Διάγραμμα ροπών κάμψης σύμμικτης πλάκας στη φάση λειτουργίας και έλεγχος (Sym Deck Designer 2)



Σχήμα 4.21: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων σύμμικτης πλάκας στη φάση λειτουργίας και έλεγχος (Sym Deck Designer 2)



Σχήμα 4.22: Διάγραμμα βελών κάμψης σύμμικτης πλάκας στη φάση λειτουργίας και έλεγχος (Sym Deck Designer 2)



Σχήμα 4.23: Έλεγχος πυραντοχής (Sym Deck Designer 2)

4.4.2 Υποστυλώματα

Τα υποστυλώματα σχεδιάζονται ώστε να παραλάβουν όλα τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής. Λόγω των θλιπτικών δυνάμεων που καταπονούν τα υποστυλώματα οι έλεγχοι σε λυγισμό είναι ιδιαίτερα κρίσιμοι.

Επιλέγονται υποστυλώματα διατομής HEA140 σε όλο το κτήριο συντηρητικά, καθώς το κτήριο με μικρότερες διατομές δε θα ήταν πρακτικά κατασκευάσιμο. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των ελέγχων για καμπτικό λυγισμό, στρεπτοκαμπτικό λυγισμό και έλεγχο υπό θλίψη και κάμψη για τα υποστυλώματα (σχήμα 4.24). Επιπλέον, γίνεται αναλυτικότερη παρουσίαση των ελέγχων του δυσμενέστερου υποστυλώματος για τον κρίσιμο συνδυασμό σε Ο.Κ.Α. $1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W_{270} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S$. Οι έλεγχοι του συγκεκριμένου υποστυλώματος δίνονται στο σχήμα 4.25.

Steel Buckling Resistance (Beams)

Summary of the Results

ID	LC	LCST	n-y	n-z	m-y	m-z	nm-y	nm-z	Check
1001	1014	951	0.04	0.05	0.16	0.13	0.292	0.267	Passed✓
1002	1011	951	0.04	0.06	0.05	0.00	0.096	0.092	Passed✓
1003	1011	951	0.02	0.02	0.03	0.04	0.075	0.079	Passed✓
1004	1012	951	0.07	0.10	0.00	0.01	0.077	0.105	Passed✓
1005	1011	951	0.07	0.10	0.03	0.00	0.106	0.119	Passed✓
1006	1014	951	0.06	0.09	0.07	0.00	0.127	0.123	Passed✓
1007	1012	951	0.15	0.22	0.00	0.07	0.200	0.288	Passed✓
1008	1012	951	0.08	0.12	0.04	0.07	0.174	0.207	Passed✓
1009	1012	951	0.05	0.06	0.06	0.00	0.103	0.093	Passed✓
1010	1014	951	0.05	0.08	0.02	0.02	0.086	0.108	Passed✓
1011	1014	951	0.06	0.08	0.00	0.10	0.124	0.176	Passed✓
1012	1013	951	0.09	0.13	0.00	0.10	0.163	0.231	Passed✓
1013	1013	951	0.03	0.05	0.03	0.08	0.122	0.147	Passed✓
1014	1012	951	0.06	0.09	0.02	0.00	0.087	0.104	Passed✓
1015	1011	951	0.04	0.05	0.03	0.00	0.073	0.070	Passed✓
1016	1011	951	0.07	0.10	0.04	0.00	0.113	0.125	Passed✓
1017	1013	951	0.06	0.09	0.05	0.00	0.110	0.113	Passed✓
1018	1012	951	0.08	0.12	0.06	0.00	0.143	0.153	Passed✓
1019	1012	951	0.04	0.05	0.05	0.00	0.091	0.081	Passed✓
1020	1011	951	0.05	0.07	0.01	0.01	0.060	0.078	Passed✓
1021	1012	951	0.11	0.16	0.00	0.10	0.177	0.253	Passed✓
1022	1012	951	0.13	0.19	0.00	0.12	0.214	0.306	Passed✓
1023	1009	951	0.10	0.14	0.00	0.00	0.100	0.144	Passed✓
1024	1008	951	0.11	0.16	0.01	0.00	0.113	0.161	Passed✓
1025	1010	951	0.14	0.20	0.00	0.00	0.139	0.201	Passed✓
1026	1007	951	0.11	0.17	0.00	0.00	0.114	0.166	Passed✓
1027	1007	951	0.16	0.23	0.00	0.00	0.160	0.233	Passed✓

n-y buckling resistance according to EN 1993-1-1, Eq. 6.46 (N-Ed / N-b,y,Rd)

n-z buckling resistance according to EN 1993-1-1, Eq. 6.46 (N-Ed / N-b,z,Rd)

m-y buckling resistance according to EN 1993-1-1, Eq. 6.54 (M-y,Ed / M-b,Rd)

m-z M-z,Ed / M-z,Rk/y-M1

nm-y buckling resistance according to EN 1993-1-1, Eq. 6.61

nm-z buckling resistance according to EN 1993-1-1, Eq. 6.62

Σχήμα 4.24: Έλεγχος υποστυλωμάτων (Sofistik)

Sectional Values

SNo	Mat	A [m ²]	It [m ⁴]	Iy [m ⁴]	N-pl,Rk [kN]	M-pl,y,Rk [kNm]	M-pl,z,Rk [kNm]
			CM [m ⁶]	Iz [m ⁴]	N-el,Rk [kN]	M-el,y,Rk [kNm]	M-el,z,Rk [kNm]
1	1	3.1423E-03	7.9892E-08	1.0333E-05	864.1	47.72	23.34
			1.5064E-08	3.8934E-06	864.1	42.73	15.30

SNo cross-section number
 Mat material number
 A sectional area
 N-pl,Rk,M-pl,y,Rk,M-pl,z,Rk,N-el,Rk,M-el,y,Rk,M-el,z,Rk characteristic value of resistance to compression and bending moments
 CM warping resistance
 It torsional moment of inertia
 Iy,Iz bending moment of inertia

Materials

Mat	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	f-y [N/mm ²]
1	209999	80769	275

Mat material number
 E Young's modulus
 G shear modulus
 f-y yield stress

Maximum width-to-thickness ratios for compression parts acc. EN 1993-1-1, Table 5.2

Position [m]	SNo	f-y [MPa]	ε	Part	σ(z-) [MPa]	σ(z+) [MPa]	ψ	k-σ	c [mm]	t [mm]	c/t	c/t-lim	SCL
0.000	1	275.00	0.924	1 ¹	-29.77	-29.77	1.00	0.44	55.2	8.5	6.50	< 8.32(1) ²	1
				2 ¹	-29.77	-29.77	1.00	0.44	55.2	8.5	6.50	< 8.32(1) ²	1
				4 ³	-29.65	-28.95	0.98	4.05	92.0	5.5	16.73	< 30.51(1) ²	1
				7 ¹	-28.83	-28.83	1.00	0.44	55.2	8.5	6.50	< 8.32(1) ²	1
				8 ¹	-28.83	-28.83	1.00	0.44	55.2	8.5	6.50	< 8.32(1) ²	1

¹ outstand flanges acc. to Table 5.2 (Sheet 2 of 3)
² part subject to compression
³ internal compression parts acc. to Table 5.2 (Sheet 1 of 3)
 Position section position
 z factor depending on fy
 σ(z-),σ(z+) stress at extreme upper/lower fibre
 c width or depth of a part of a cross-section or outer diameter of circular tubular sections
 t thickness
 c/t maximum c/t or d/t-ratio
 c/t-lim limit of stress distribution in cross-section parts
 ψ stress ratio
 k-σ buckling factor

Steel Buckling Resistance (Beams)

c/t-lim limit of stress distribution in cross-section parts
 SCL cross-section class

Design Values

Selection	Length [m]	SNo	SCL	γ-M1	γ-M0	Loadcase	N-Ed [kN]	M-y,Ed [kNm]	M-z,Ed [kNm]
SLN 1022	3.000	1	1	1.100	1.000	1012	-92.1	0.08	2.56

SNo cross-section number
 SCL cross-section class
 γ-M1 partial safety factor for resistance of members to instability assessed by member (EN 1993-1-1, 6.1)
 γ-M0 partial safety factor for resistance of cross-sections (EN 1993-1-1, 6.1)

Flexural Buckling/Torsional Buckling (6.3.1)

N-cr [kN]	L-cr [m]	y-y	z-z	α	λ	φ	χ	N-b,Rd [kN]
2392.6 ¹	3.000	a		0.210	0.601	0.723	0.890	698.9
901.5 ¹	3.000		b	0.340	0.979	1.112	0.610	479.5

¹ determined by eigenvalue analysis
 N-cr elastic critical flexural buckling force
 L-cr comparative buckling length
 y-y,z-z EN 1993-1-1, Table 6.2: Selection of buckling curve for a cross-section
 α imperfection factor
 λ non-dimensional slenderness
 φ reduction factor for flexural buckling
 χ design buckling resistance of a compression member

Lateral Buckling (6.3.2)

M-cr [kNm]	C-1	LTB	α-LT	λ-LT	λ-LT0	β	φ-LT	χ-LT	k-c	f	χ-LT,mod	M-b,Rd [kNm]
172.75 ¹	1.832	a	0.210	0.526	0.200	1.000	0.672	0.916	0.739	0.889	1.000	43.38

¹ determined by eigenvalue analysis
 M-cr elastic critical moment for lateral torsional buckling
 C-1 moment factor, depending on bending moment diagram and support conditions
 LTB EN 1993-1-1, Table 6.4: Recommended lateral torsional buckling curves
 α-LT imperfection factor for lateral torsional buckling
 λ-LT non-dimensional slenderness
 λ-LT0,β according to EN 1993-1-1, 6.3.2.2; λ-LT0 = 0.2, β = 1.0
 χ-LT reduction factor for lateral torsional buckling according to EN 1993-1-1, 6.3.2.3
 k-c correction factor according to EN 1993-1-1, resulting from C-1
 f factor according to EN 1993-1-1, 6.3.2.3(2)
 χ-LT,mod modified reduction factor for lateral torsional buckling according to EN 1993-1-1, 6.3.2.3
 M-b,Rd design buckling resistance moment

Interaction Factors (Annex A, Method 1, Tab. A.1)

k-yy	k-yz	k-zy	k-zz
0.837	0.672	0.434	0.941

Steel Buckling Resistance (Beams)

Auxiliary Terms (Annex A, Method 1, Tab. A.1 - A.2)

w-y	w-z	μ -y	μ -z	n-pl	a-LT	λ - θ	N-cr,T [kN]	ϵ -y
C-my, θ	C-my	C-mz, θ	C-mz	C-mLT	C-yy	C-yz	C-zy	C-zz
1.117	1.500	0.996	0.958	0.107	0.992	0.711	2203.5	0.017
0.785	0.810	0.898	0.898	1.000	1.002	1.030	0.962	1.018

λ - θ non-dimensional slenderness for lateral torsional buckling due to uniform bending
 N-cr,T elastic critical torsional buckling force
 C-my, θ ,C-mz, θ equivalent uniform moment factor according to EN 1993-1-1, Table A.2 ($|\delta$ -x|= 0.00, 2.95mm)

Check of Lateral Torsional Buckling (6.3.3)

n-y	n-z	m-y	m-z	nm-y	nm-z
0.132	0.192	0.002	0.121	0.214 < 1.0	0.306 < 1.0
				Passed✓	Passed✓

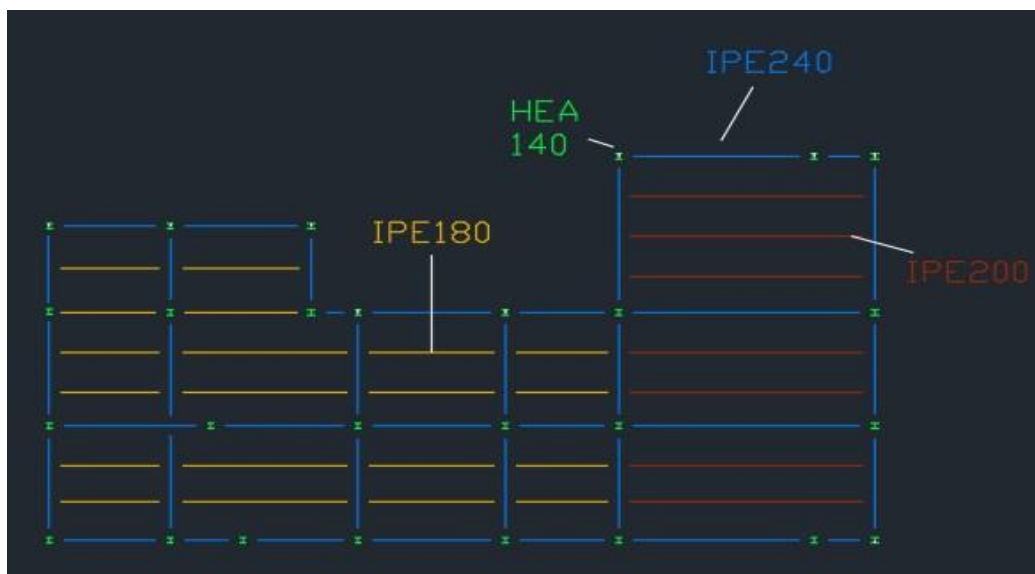
n-y buckling resistance according to EN 1993-1-1, Eq. 6.46 (N-Ed / N-b,y,Rd)
 n-z buckling resistance according to EN 1993-1-1, Eq. 6.46 (N-Ed / N-b,z,Rd)
 m-y buckling resistance according to EN 1993-1-1, Eq. 6.54 (M-y,Ed / M-b,Rd)
 m-z M-z,Ed / M-z,Rk/y-M1
 nm-y buckling resistance according to EN 1993-1-1, Eq. 6.61
 nm-z buckling resistance according to EN 1993-1-1, Eq. 6.62

Σχήμα 4.25: Έλεγχος του δυσμενέστερου υποστυλώματος για την κρίσιμη φόρτιση (Sofistik)

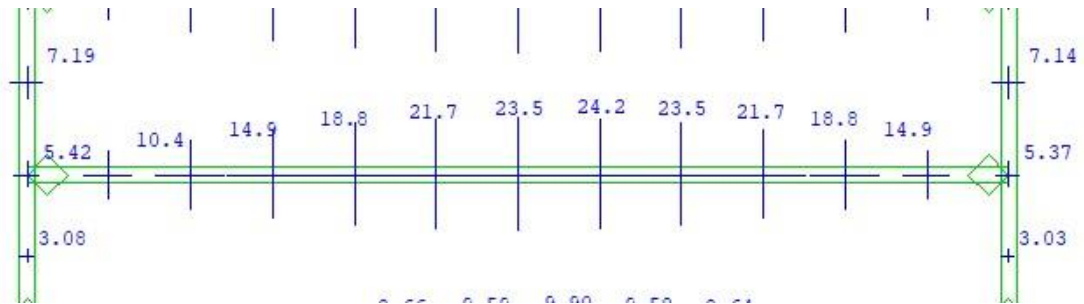
4.4.3 Δοκοί

Οι κύριες δοκοί του φορέα μετά από επαναληπτική διαδικασία επιλέγονται να είναι διατομής IPE240. Ο έλεγχος σε ΟΚΑ και ΟΚΛ ικανοποιείται, ενώ ο έλεγχος σε πλευρικό λυγισμό αγνοείται λόγω της εξασφάλισης από την σύμμικτη πλάκα.

Οι δευτερεύουσες δοκοί επιλέγονται διατομής IPE 180 και IPE200 (στο μεγάλο φάτνωμα). Καθοριστικός έλεγχος για τις δευτερεύουσες δοκούς είναι ο έλεγχος των βελών κάμψης σε Ο.Κ.Λ. Ενδεικτικά, για τη δυσμενέστερη δευτερεύουσα δοκό του μεγάλου φάτνωματος φαίνονται στο σχήμα 4.27 τα βέλη υπό τον κρίσιμο συνδυασμό σε Ο.Κ.Λ. : $G + S + 0.6*W_0$. Το τελικό βέλος προκύπτει ως η διαφορά της βύθισης στο μέσο της δοκού με αυτή στη στήριξη και είναι ίσο με $24.2 - 5.37 = 18.83$ mm. Το μέγιστο όριο του κανονισμού για φόρτιση σε Ο.Κ.Λ. είναι ίσο με $L/250 = 5430/250$ mm = 21.72 mm.



Σχήμα 4.26: Σχηματική απεικόνιση δοκών και διαδοκίδων



Σχήμα 4.27: Βέλη δυσμενέστερης δευτερεύουσας δοκού σε Ο.Κ.Λ. (Sofistik)

4.4.4 Χιαστί σύνδεσμοι δυσκαμψίας

Συντηρητικά τοποθετείται ίδια διατομή σε όλους τους συνδέσμους της ίδιας διεύθυνσης, ενώ αυτοί διαστασιολογούνται μόνο για αξονική δύναμη. Η μέγιστη εφελκυστική αξονική δύναμη που προκύπτει από τους σεισμικούς συνδυασμούς σε χιαστί σύνδεσμο της διεύθυνσης X είναι ίση με 126.6 kN, ενώ για τη διεύθυνση Y είναι ίση με 113.6 kN. Η διατομή των συνδέσμων επιλέγεται με σκοπό την αντοχή σε εφελκυσμό σύμφωνα με τη σχέση 4.19 και με περιορισμό της λυγηρότητας στα όρια $1.3 \leq \lambda \leq 2$.

$$N_{ED} \leq N_{RD} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{\mu 0}} \quad 4.19$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} \quad 4.20$$

$$\text{Όπου } \lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 86.81$$

Στον πίνακα 4.10 δίνονται οι έλεγχοι και οι τελικές διατομές που επιλέγονται για τους χιαστί συνδέσμους.

Πίνακας 4.10: Έλεγχοι χιαστί συνδέσμων δυσκαμψίας

Στοιχείο	Διατομή	L (cm)	i (cm)	λ	N_{ED}/N_{RD}
Χιαστί σύνδεσμοι διεύθυνσης X, 1	SHS40x4	180	1.45	1.43	0.82
Χιαστί σύνδεσμοι διεύθυνσης X, 2	SHS40x4	198	1.45	1.57	0.82
Χιαστί σύνδεσμοι διεύθυνσης X, 3	SHS40x4	215	1.45	1.71	0.82
Χιαστί σύνδεσμοι διεύθυνσης Y	SHS70x3	415	2.73	1.75	0.52

4.5 Μετακινήσεις φορέα υπό σεισμικούς συνδυασμούς

Με βάση τη μέθοδο της ιδιομορφικής ανάλυσης υπολογίζονται οι ιδιομορφές της κατασκευής. Από αυτές λαμβάνονται υπόψη τόσες ιδιομορφές, ώστε το άθροισμα των ιδιομορφικών μαζών κατά τις διευθύνσεις x και y να είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το 90% της συνολικής ταλαντευόμενης μάζας. Προκύπτουν 5 απαιτούμενες ιδιομορφές, οι οποίες φαίνονται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 4.11: Ποσοστά ταλαντευόμενης μάζας για κάθε ιδιομορφή και αντίστοιχες ιδιοπερίοδοι

Ιδιομορφή	T (sec)	Ποσοστό ταλανταυόμενης μάζας κατά X (%)	Ποσοστό ταλανταυόμενης μάζας κατά Y (%)
1	0.387	0.0	29.0
2	0.273	0.0	16.5
3	0.253	0.0	11.6
4	0.200	97.9	0.1
5	0.187	0.3	34.8
Σύνολο		98.2	92.0

4.5.1 Περιορισμός βλαβών

Ο έλεγχος για τον περιορισμό των βλαβών σε μία κατασκευή είναι σημαντικός σε κτήρια τα οποία βρίσκονται σε περιοχές με υψηλή σεισμικότητα. Η σχετική μετακίνηση κάθε ορόφου πρέπει να περιορίζεται στα όρια που επιβάλλονται από τον Ευρωκώδικα 8. Για κτήριο με ψαθυρά μη φέροντα στοιχεία που συνδέονται με τον φορέα η μετακίνηση αυτή ελέγχεται με τη σχέση:

$$dr \cdot v \leq 0.5\% \cdot h \quad 4.21$$

Όπου,

dr: η σχετική μετακίνηση του ορόφου

v: συντελεστής που για κτήρια κατηγορίας II λαμβάνεται ίσος με 0.5

h: το ύψος του ορόφου

Για τον φορέα μελέτης η μετακίνηση αυτή περιορίζεται σε:
 $dr \leq (0.005 * 3000)/0.5 \text{ mm} \Leftrightarrow dr \leq 30 \text{ mm}$. Η μέγιστη σεισμική μετακίνηση που υπολογίζεται από το πρόγραμμα Sofistik είναι ίση με 20 mm για τον σεισμικό συνδυασμό κατά Y και συνεπώς ο έλεγχος του περιορισμού βλαβών ικανοποιείται.

4.5.2 Έλεγχος επίδρασης της παραμορφωμένης γεωμετρίας του φορέα

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8, τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως μπορούν να αγνοηθούν εάν ικανοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0.1$$

4.22

Όπου,

θ : συντελεστής ευαισθησίας σχετικής μετακίνησης ορόφου

P_{tot} : το συνολικό φορτίο βαρύτητας στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού

V_{tot} : η συνολική τέμνουσα του ορόφου

d_r : η σχετική μετακίνηση του ορόφου

Με βάση την ανάλυση του φορέα προκύπτουν:

- Συνολικό κατακόρυφο φορτίο στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού (συνδυασμός $G + 0.3Q$) $P_{tot} = 996.8 \text{ kN}$
- Συνολική τέμνουσα για σεισμό κατά X $V_{tot} = 300.2 \text{ kN}$
- Συνολική τέμνουσα για σεισμό κατά Y $V_{tot} = 165.5 \text{ kN}$
- Μέγιστη μετακίνηση κατά X $d_r = 3.3 \text{ mm}$
- Μέγιστη μετακίνηση κατά Y $d_r = 20 \text{ mm}$
- $h = 3000 \text{ mm}$

Προκύπτει λοιπόν

- Για σεισμό κατά X $\theta = 0.003 < 0.1$
- Για σεισμό κατά Y $\theta = 0.04 < 0.1$,

οπότε τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως μπορούν να αγνοηθούν.

5 Μελέτη ενεργειακής απόδοσης κατοικίας

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται ορισμένες από τις πιο σημαντικές προδιαγραφές και οδηγίες που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ. για τις νέες κατοικίες, όπως είναι το υπό μελέτη κτήριο. Οι προδιαγραφές αυτές απαιτούνται για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης και με βάση αυτές πραγματοποιείται η μελέτη ενεργειακής απόδοσης και η κατάταξη σε ενεργειακή κλάση της εξεταζόμενης κατοικίας.

Η μοντελοποίηση γίνεται με το σχεδιαστικό πρόγραμμα GCAD της εταιρείας 4M. Συγκεκριμένα, στο πρόγραμμα αυτό σχεδιάζεται εκ νέου η κάτοψη της κατοικίας, και το περίγραμμα των γειτονικών κτηρίων. Στη συνέχεια, δίνεται το ύψος όλων αυτών των κτηρίων, ώστε να μελετηθεί η επίδραση τους όσον αφορά το σκιασμό της ύπο μελέτη κατοικίας. Για να μελετηθεί ο σκιασμός της κατοικίας πρέπει να δοθεί πρώτα η διεύθυνση του Βορρά σε σχέση με την κάτοψη. Επιπλέον, περιγράφεται η σημασία και οι περιπτώσεις των θερμογεφυρών και αυτές τοποθετούνται στις ενώσεις των δομικών στοιχείων.

Στη συνέχεια, τα δεδομένα της σχεδίασης εξάγονται στο υπολογιστικό πρόγραμμα «Ενεργειακά - Κτήριο Αναφοράς». Εκεί δίνονται επιπλέον στοιχεία της μελέτης, όπως είναι οι στρώσεις που συνθέτουν τα επιμέρους δομικά στοιχεία, τα χαρακτηριστικά των συστημάτων (θέρμανσης, ψύξης, παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, φωτοβολταϊκά), η χρήση του κτηρίου, οι επιθυμητές συνθήκες θερμικής άνεσης κ.α. Με το πρόγραμμα αυτό και με τη χρήση της ειδικής μηχανής του TEE «TEE – KENAK» γίνεται τελικά η ενεργειακή κατάταξη της κατοικίας με τη μέθοδο του κτηρίου αναφοράς που θα αναλυθεί στην ενότητα αυτή.

5.2 Κλιματικές ζώνες

Για την μελέτη ενεργειακής απόδοσης ενός κτηρίου η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε 4 διαφορετικές κλιματικές ζώνες. Οι ζώνες αυτές ονομάζονται Α, Β, Γ και Δ, με την Α να είναι η θερμότερη από αυτές και η Δ η ψυχρότερη. Σε κάθε κλιματική ζώνη οι περιοχές με υψόμετρο άνω των 500 m εντάσσονται στην αμέσως επόμενη ζώνη, θεωρώντας ότι το κλίμα τους είναι αρκετά πιο ψυχρό ώστε να μείνει στην ίδια κατηγορία με μικρού υψομέτρου περιοχές. Όπως είναι λογικό, οι περιοχές άνω των 500 m της ζώνης Δ παραμένουν στην ίδια ζώνη. Στον πίνακα 5.1 φαίνεται η διαίρεση των νομών της Ελλάδας στις 4 κλιματικές ζώνες, όπου συμπεραίνεται πως η εξεταζόμενη κατοικία ανήκει στην κλιματική ζώνη Β.

Ανάλογα με την κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκεται το υπό μελέτη κτήριο ορίζονται και διαφορετικές περίοδοι ψύξης και θέρμανσης. Συγκεκριμένα για τις ζώνες Α και Β η περίοδος θέρμανσης είναι από 1^η Νοεμβρίου έως και 15 Απριλίου, ενώ η περίοδος ψύξης από τις 15 Μαΐου έως και 15 Σεπτεμβρίου. Από την άλλη, για τις ζώνες Β και Γ η περίοδος θέρμανσης ορίζεται από τις 15 Οκτωβρίου έως και τις 30 Απριλίου, ενώ η περίοδος ψύξης από 1^η Ιουνίου έως και 31 Αυγούστου.

Πίνακας 5.1: Νομοί ανά κλιματική ζώνη, από Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 3/2017

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

5.3 Συνθήκες λειτουργίας και θερμικής άνεσης για κατοικίες

Για την εκπόνηση μίας ενεργειακής μελέτης ή ενεργειακής επιθεώρησης πρέπει να καθοριστεί ο σκοπός που εξυπηρετεί κάθε κτήριο. Για τον λόγο αυτό τα κτήρια διαχωρίζονται σε 8 κατηγορίες, ανάλογα με τη χρήση τους;

1. Κατοικίας
2. Προσωρινής διαμονής
3. Συνάθροισης κοινού
4. Εκπαίδευσης
5. Υγείας και κοινωνικής πρόνοιας
6. Σωφρονισμού
7. Εμπορίου
8. Γραφείων

Σε περίπτωση μεικτής χρήσης ενός κτηρίου, τότε κάθε τμήμα του θα πρέπει να μελετηθεί ξεχωριστά, ενώ εάν η χρήση του κτηρίου δεν μπορεί να συμπεριληφθεί σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες, τότε εντάσσεται στην πλησιέστερη. Το υπό μελέτη κτήριο εντάσσεται προφανώς στην πρώτη κατηγορία.

Για κάθε χρήση κτηρίου στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 1/2017 ορίζεται ένα τυπικό ωράριο λειτουργίας, το οποίο αφορά στο ποιους μήνες λειτουργεί το κτήριο, πόσες φορές την εβδομάδα και τελικώς πόσες ώρες την ημέρα. Μία κατοικία θεωρείται ότι «λειτουργεί» 12 μήνες τον χρόνο, 7 ημέρες την εβδομάδα και σύνολο 18 ώρες ημερησίως. Φυσικά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι τιμές αυτές είναι τυπικές, καθώς οι ώρες αυτές εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι οι συνθήκες των κατοίκων, οι κλιματικές συνθήκες κ.α.

Όσον αφορά τις συνθήκες θερμικής άνεσης, πρόκειται για μία τελειώς υποκειμενική έννοια, η οποία εξαρτάται από αρκετές παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των επιφανειών ενός χώρου, η σχετική υγρασία, η ένδυση των χρηστών, η δραστηριότητα των χρηστών και η ταχύτητα εσωτερικών ρευμάτων του αέρα. Αναγκαστικά θεωρούνται περίπου σταθερές όλες οι παράμετροι εκτός από την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία του εσωτερικού αέρα. Η εσωτερική θερμοκρασία με την οποία

αισθάνεται άνεση κάποιος χρήστης είναι κάτι τελείως υποκειμενικό, ωστόσο στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. δίνονται οι καθοριζόμενες τιμές θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων για κάθε χρήση κτηρίου, οι οποίες για κατοικίες ορίζονται ως 20° C για τη χειμερινή περίοδο και 26° C για τη θερινή περίοδο. Αντίστοιχα, δίνονται οι καθοριζόμενες τιμές σχετικής υγρασίας για κάθε χρήση κτηρίου, οι οποίες για χρήση κατοικίας ορίζονται ως 40 % για τη χειμερινή περίοδο και 45 % για τη θερινή.

Για λόγους εξασφάλισης συνθηκών υγιεινής η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. ορίζει την ελάχιστη ποσότητα νωπού αέρα που χρειάζεται για να καλύψει τις ανάγκες αερισμού για κάθε κατηγορία κτηρίου. Για κατοικίες αυτή η ποσότητα ορίζεται ίση με 15 m³/h/άτομο, ή αλλιώς 0,75 m³/h/m², θεωρώντας πυκνότητα πληθυσμού ίση με 5 άτομα ανά 100 m².

Σχετικά με τις απαιτήσεις φωτισμού και πάλι η Τεχνική Οδηγία ορίζει τις τιμές σχεδιασμού ανά κατηγορία χρήσης κτηρίου. Συγκεκριμένα για μία νέα κατοικία ορίζονται ως ελάχιστη φωτεινή απόδοση των συστημάτων γενικού φωτισμού τα 60 lm/W και ως στάθμη γενικού φωτισμού τα 200 lx, μετρημένη σε επίπεδο 0,8 m από το δάπεδο.

Η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., με σκοπό τον υπολογισμό της κατανάλωσης θερμικής ενέργειας για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.), ορίζει κάποιες τιμές για την τυπική κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης ανά κατηγορία κτηρίου. Συγκεκριμένα για μία κατοικία, καθορίζονται: 1) η ημερήσια κατανάλωση Ζ.Ν.Χ. (ανά άτομο) ίση με 50 l/ημέρα/άτομο και 2) η ετήσια κατανάλωση Ζ.Ν.Χ. (ανά υπνοδωμάτιο) ίση με 27.38 m³/υπνοδωμάτιο/έτος.

Τέλος, προβλέπονται τιμές για τα εσωτερικά κέρδη από τους χρήστες του κτηρίου και τον εξοπλισμό. Τα εσωτερικά κέρδη προέρχονται από τον ηλεκτροφωτισμό, την έκλυση θερμότητας από τους ανθρώπους και από τον ηλεκτρικό εξοπλισμό που υπάρχει στο κτήριο. Συγκεκριμένα, από τον φωτισμό, για στάθμη φωτισμού 200 lx ορίζεται εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού (και άρα το κέρδος που αποφέρει) ίση με 6.4 W/m², η οποία με τον συντελεστή ετεροχρονισμού 0.1 δίνει το πραγματικό μέγεθος για τον θεωρητικό χρόνο λειτουργίας του φωτισμού σε μία κατοικία. Ο συντελεστής ετεροχρονισμού δηλαδή εκφράζει το ποσοστό του λειτουργικού χρόνου του κτηρίου, κατά τον οποίο τα εσωτερικά κέρδη πράγματι υπάρχουν. Η εκλυόμενη θερμότητα από την ανθρώπινη παρουσία δίνεται σαν θερμική ισχύς ίση με 80 W/άτομο. Η ισχύς του ηλεκτρικού εξοπλισμού για κατοικία ορίζεται ίση με 4 W/m² και με βάση τον συντελεστή ετεροχρονισμού, που για κατοικία είναι ίσος με 0.5, δίνεται το πραγματικό κέρδος. Τα εσωτερικά κέρδη για λόγους ασφαλείας των υπολογισμών αγνοούνται συνήθως κατά τον υπολογισμό των φορτίων θέρμανσης.

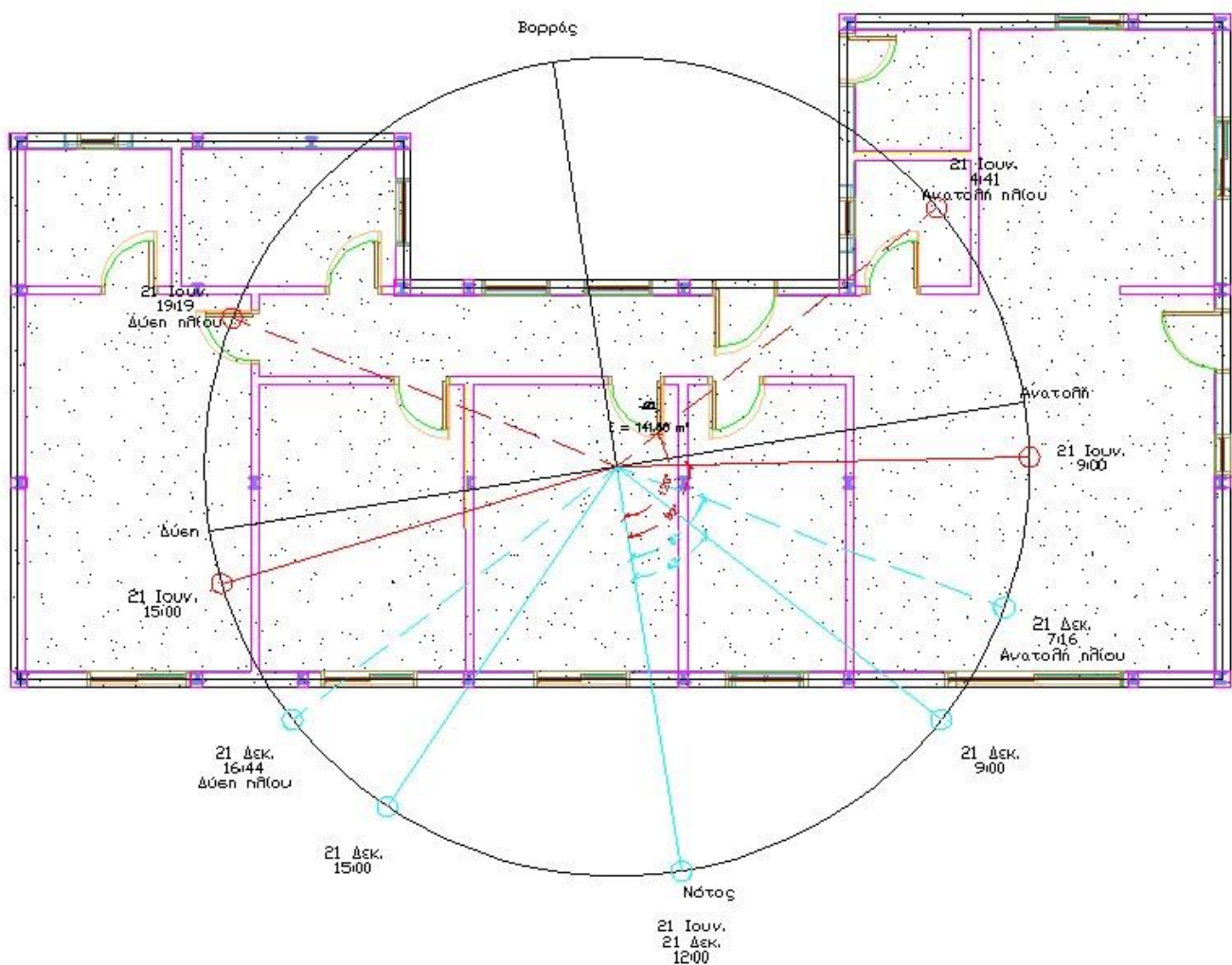
5.4 Σχεδίαση κτηρίων και τοποθέτηση κύκλου θέσεως ηλίου

Όπως αναφέρεται στην εισαγωγή του κεφαλαίου, στο GCAD πραγματοποιείται εκ νέου σχεδίαση της κάτοψης της κατοικίας, όπου προσδιορίζεται ο τύπος κάθε δομικού στοιχείου («εξωτερικές τοιχοποιίες», «εσωτερικές τοιχοποιίες», «δάπεδα», «οροφές», «ανοίγματα»). Επισημαίνεται πως τα υποστυλώματα και οι δοκοί τοποθετούνται αναγκαστικά ως στοιχεία ορθογωνικής διατομής, καθώς το πρόγραμμα είναι σχεδιασμένο για συνήθεις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ περαιτέρω ανάλυση θα γίνει στην υποενότητα 5.7, όπου θα δοθούν αναλυτικά οι στρώσεις των στοιχείων αυτών. Στη συνέχεια, σχεδιάζονται τα γειτονικά κτήρια και δίνεται το υψόμετρό τους. Τα κτήρια αυτά συνδέονται με το περίβλημα της υπό μελέτη κατοικίας, κάτι που αναλύεται στην επόμενη υποενότητα.

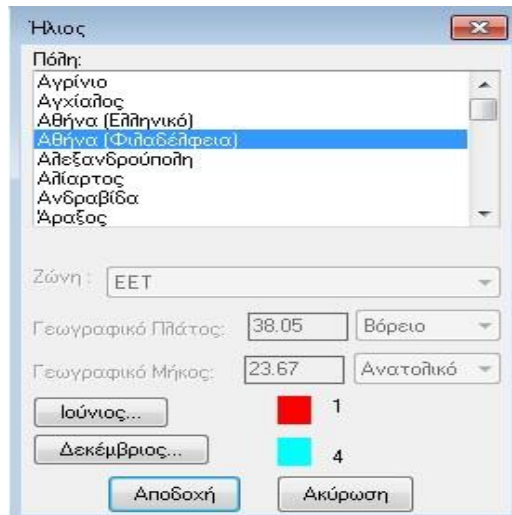
Μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος GCAD γίνεται να τοποθετηθεί ο ακριβής προσανατολισμός του κτηρίου, τοποθετώντας τη διεύθυνση του Βορρά, η οποία σύμφωνα με αυτά που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3 βρίσκεται προς τα πάνω, με απόκλιση 9 μοιρών προς τα αριστερά. Αφού χρησιμοποιηθεί η εντολή τοποθέτησης του Βορρά, μπορεί να γίνει η τοποθέτηση του κύκλου θέσεων ηλίου πάνω στην κάτοψη, δηλαδή το σχέδιο που δείχνει τη θέση του ηλίου σε διάφορες στιγμές του έτους. Συγκεκριμένα φαίνονται σε αυτό ο

Βορράς, ο Νότος, η Ανατολή και η Δύση, καθώς και η θέση του ηλίου στις 21 Ιουνίου και 21 Δεκεμβρίου (εαρινό και χειμερινό ηλιοστάσιο αντίστοιχα) για τις ώρες που ανατέλει και δύει αλλά και για τις ώρες 9:00 και 15:00 (σχήμα 5.1). Προτού, όμως, τοποθετηθεί ο κύκλος θέσεων ηλίου, είναι υποχρεωτικό να επιλεγεί ο μετεωρολογικός σταθμός από τον οποίο θα ληφθούν δεδομένα (σχήμα 5.2). Για την Αθήνα υπάρχουν μόνο οι επιλογές των μετεωρολογικών σταθμών Φιλαδέλφειας και Ελληνικού, οπότε στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται ο πρώτος, με κριτήριο το μεγαλύτερο υψόμετρο και το ότι βρίσκεται πιο κοντά στην περιοχή μελέτης.

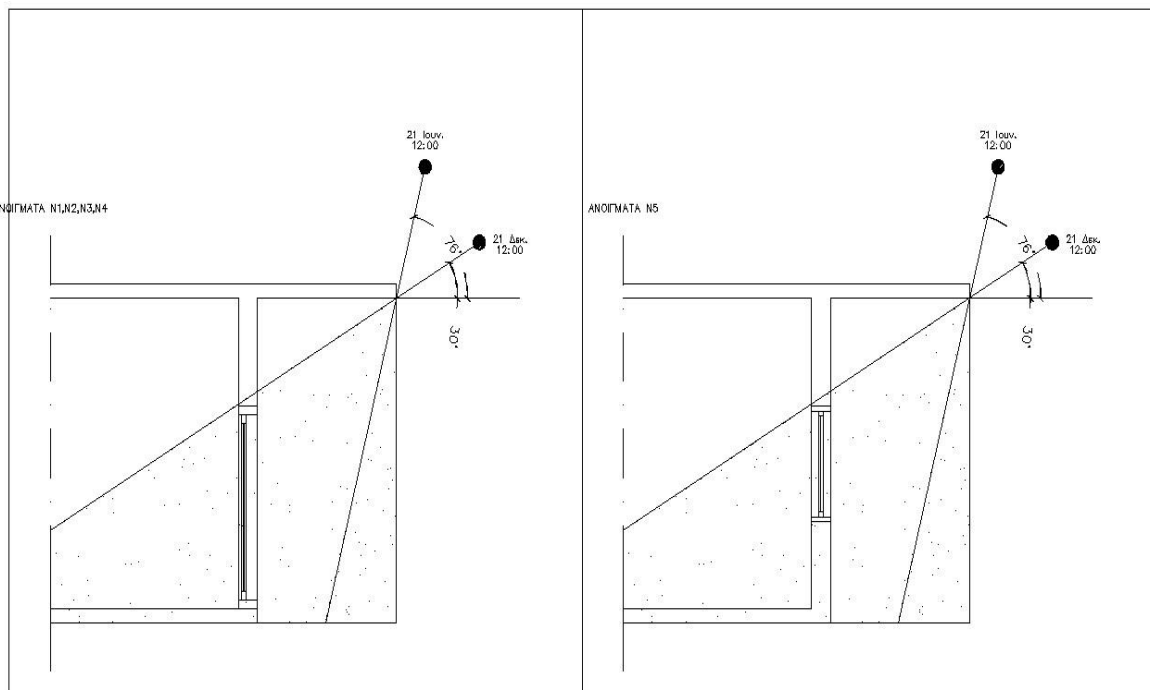
Με βάση τον κύκλο θέσεων ηλίου μπορούν πλέον να παραχθούν τα σκαριφήματα ηλιασμού των ανοιγμάτων, τα οποία πρέπει να περιέχονται σε μία ενεργειακή μελέτη. Ενδεικτικά δίνονται στο σχήμα 5.3 τα σκαριφήματα ηλιασμού των νοτίων ανοιγμάτων στις 12:00 η ώρα κατά το χειμερινό και το θερινό ηλιοστάσιο.



Σχήμα 5.1: Κύκλος θέσεων ηλίου σε σχέση με την υπό μελέτη κατοικία, 4M GCAD



Σχήμα 5.2: Επιλογή μετεωρολογικού σταθμού για λήψη δεδομένων, 4M GCAD



Σχήμα 5.3: Σκαριφήματα ηλιασμού για τα νότια ανοίγματα

5.5 Σκιάσεις

Ένα σημαντικό στοιχείο σε μία ενεργειακή μελέτη αποτελεί η μελέτη ηλιασμού του κτηρίου. Έχοντας τοποθετήσει τον κύκλο θέσεων ηλίου και τη διεύθυνση του Βορρά, μπορούν πλέον να δημιουργηθούν τα σκαριφήματα σκιάσεων που αφορούν:

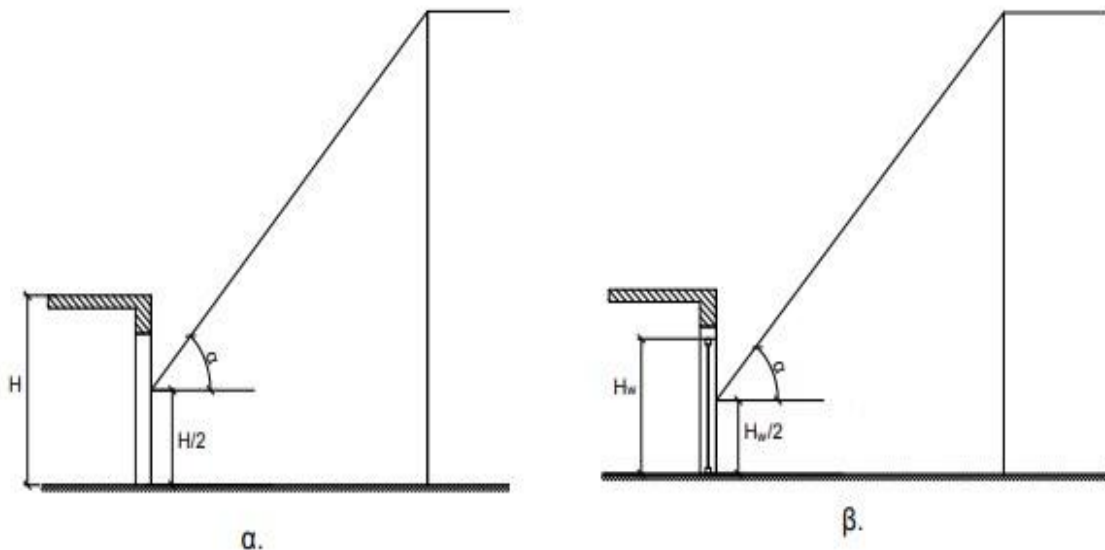
- εμπόδια του περιβάλλοντος χώρου (πχ γειτονικά κτήρια)
- οριζόντιους προβόλους (πχ στέγαστρο)
- πλευρικά εμπόδια (πχ προεξοχές του ίδιου του κτηρίου)

Στη συνέχεια, περιγράφεται η διαδικασία υπολογισμού των συντελεστών που αφορούν τις σκιάσεις των ανοιγμάτων για τις 3 παραπάνω περιπτώσεις. Ο τελικός συντελεστής F που

εισέρχεται στους υπολογισμούς για την ενεργειακή απόδοση προκύπτει ως γινόμενο των 3 αυτών συντελεστών.

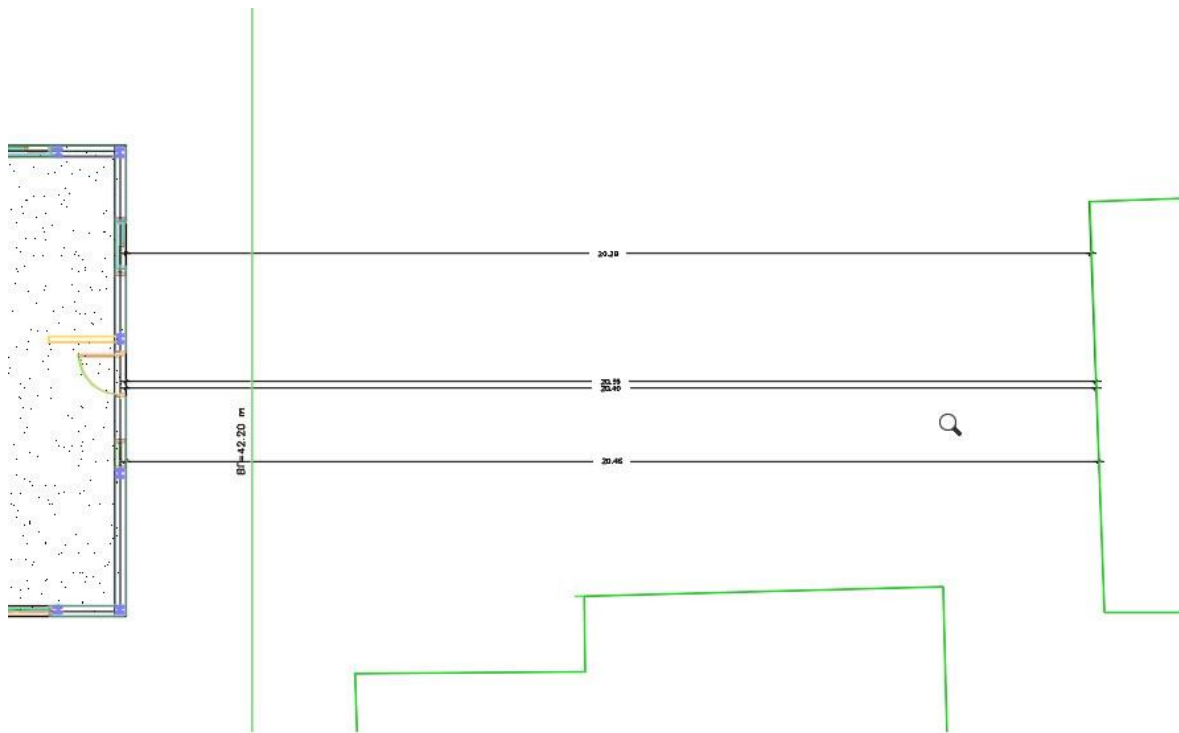
5.5.1 Υπολογισμός συντελεστή σκίασης οριζοντα Fhor

Ο συντελεστής αυτός αφορά την σκίαση από εμπόδια του περιβάλλοντος χώρου και ο υπολογισμός του γίνεται ανά προσανατολισμό και ανά δομικό στοιχείο. Για τον υπολογισμό του συντελεστή Fhor είναι απαραίτητη η εύρεση της γωνίας θέασης α , η οποία δίνεται στο σχήμα 5.4 για τα διάφανα και τα αδιάφανα στοιχεία κάθε όψης. Ανάλογα με τον προσανατολισμό του δομικού στοιχείου, την γωνία α και το αν πρόκειται για περίοδο θέρμανσης ή ψύξης, δίνεται στον πίνακα A1 του παραρτήματος A ο συντελεστής σκίασης οριζοντα Fhor για κάθε δομικό στοιχείο. Αυτός λαμβάνει τιμές από 0 έως 1, με Fhor = 0 να σημαίνει πλήρης σκίαση του δομικού στοιχείου και Fhor = 1 να σημαίνει ελεύθερος οριζοντας (δεν υπάρχει σκίαση από εμπόδια). Καθώς η γωνία θέασης α δίνεται στον πίνακα ανά 5°, για ενδιάμεσες τιμές της γωνίας ο συντελεστής θα πρέπει να λαμβάνεται με γραμμική παρεμβολή.

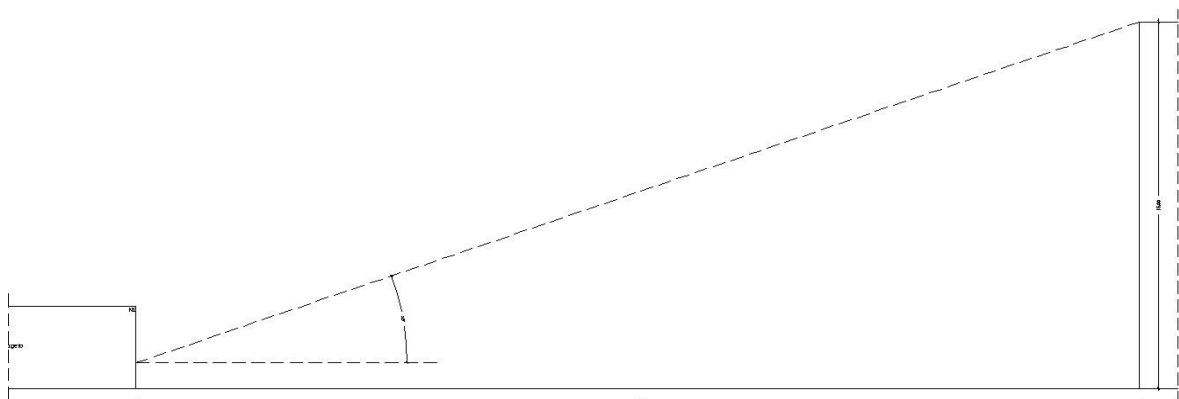


Σχήμα 5.4: Γραφική απεικόνιση της γωνίας θέασης α για την περίπτωση αδιάφανου δομικού στοιχείου (εξωτερικού τοίχου) και διάφανου δομικού στοιχείου

Στο GCAD γίνεται σύνδεση των διπλανών κτηρίων με τους εξωτερικούς τοίχους του κτηρίου μελέτης, ώστε να μελετηθεί η επίδραση που τα διπλανά κτήρια έχουν στον ηλιασμό των δομικών στοιχείων του κελύφους. Η σύνδεση αυτή φαίνεται, ενδεικτικά, για ένα από τα διπλανά κτήρια στο σχήμα 5.5. Με βάση τη σύνδεση της υπό μελέτη κατοικίας με τα γειτονικά κτήρια το σχεδιαστικό πρόγραμμα παράγει τις γωνίες σκιάσεων από αυτά με την εντολή «Γωνίες σκιάσεων από διπλανά κτήρια». Από την εντολή αυτή προκύπτει η γωνία μακρινού εμποδίου, η οποία υπολογίζεται από το μέσο ύψος του κουφώματος σε σχέση με το υψηλότερο σημείο του γειτονικού κτηρίου, όπως φαίνεται ενδεικτικά για ένα νότιο άνοιγμα στο σχήμα 5.6. Με βάση τη γωνία αυτή υπολογίζονται οι συντελεστές σκίασης οριζοντα Fhor για περίοδο θέρμανσης και περίοδο ψύξης, οι οποίοι αναγράφονται στον πίνακα 5.2.



Σχήμα 5.5: Σύνδεση κουφωμάτων ανατολικής πλευράς με διπλανό κτήριο



Σχήμα 5.6: Γωνία σκιασμού από διπλανό κτήριο για το άνοιγμα N1

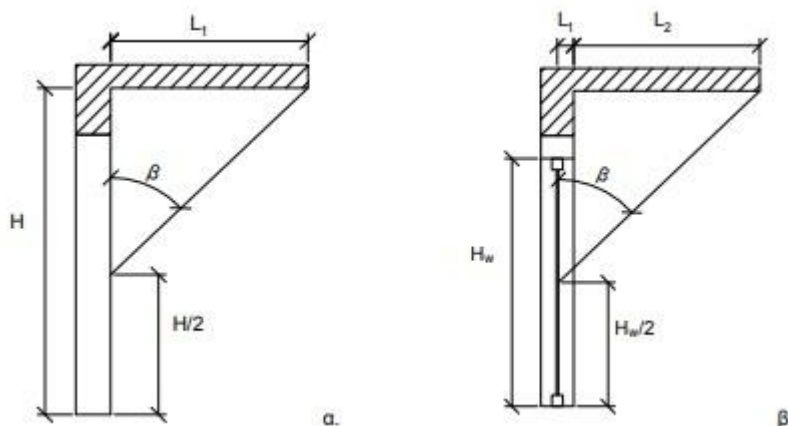
Πίνακας 5.2: Συντελεστές σκίασης ορίζοντα

Κούφωμα	Προσανατολισμός	Γωνία μακρινού εμποδίου	Fhor θέρμανσης	Fhor ψύξης
N1	189	20	0.86	0.98
N2	189	20	0.86	0.98
N3	189	19	0.87	0.98
N4	189	19	0.87	0.98
N5	189	19	0.87	0.98
A1	99	14	0.88	0.92
A2	99	13	0.89	0.92
A3	99	12	0.91	0.93

B1	9	26	0.97	0.86
Δ1	279	0	1	1
Δ2	279	0	1	1
B2	9	0	1	1
B3	9	0	1	1
B4	9	0	1	1
A4	99	0	1	1
A5	9	0	1	1

5.5.2 Υπολογισμός συντελεστών σκίασης από προβόλους Fov

Ο συντελεστής αυτός αφορά τη σκίαση των δομικών στοιχείων λόγω ύπαρξης προβόλων, οι οποίοι μπορεί να είναι για παράδειγμα εξώστες ή στέγαστρα. Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής υπολογίζεται με τη βοήθεια της γωνίας β , η οποία απεικονίζεται στο σχήμα 5.7. Ο συντελεστής λαμβάνεται από τον πίνακα A2 του παραρτήματος Α, ανάλογα με τον προσανατολισμό του δομικού στοιχείου, την γωνία β και το αν πρόκειται για περίοδο θέρμανσης ή ψύξης. Ο συντελεστής λαμβάνει τιμές από 0 έως 1, με την πρώτη περίπτωση να δείχνει πλήρη σκίαση από οριζόντιους προβόλους, ενώ την δεύτερη να σημαίνει ότι δεν υπάρχει καθόλου σκίαση του δομικού στοιχείου από οριζόντιους προβόλους. Αντίστοιχα με τον υπολογισμό της γωνίας α , εάν προκύψει ενδιάμεση τιμή της γωνίας γ σε σχέση με αυτές του πίνακα, τότε πρέπει να πραγματοποιηθεί γραμμική παρεμβολή

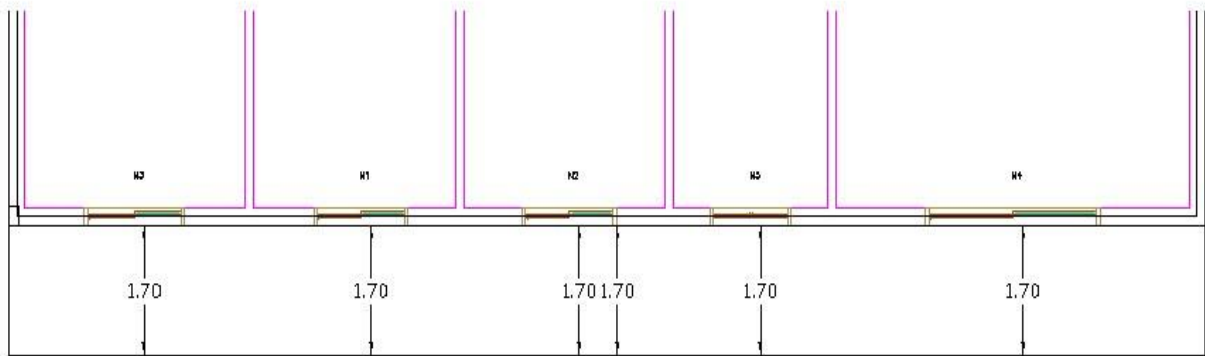


Σχήμα 5.7: Γραφική απεικόνιση της γωνίας β για την περίπτωση αδιάφανου δομικού στοιχείου (εξωτερικού τοίχου) και διάφανου δομικού στοιχείου

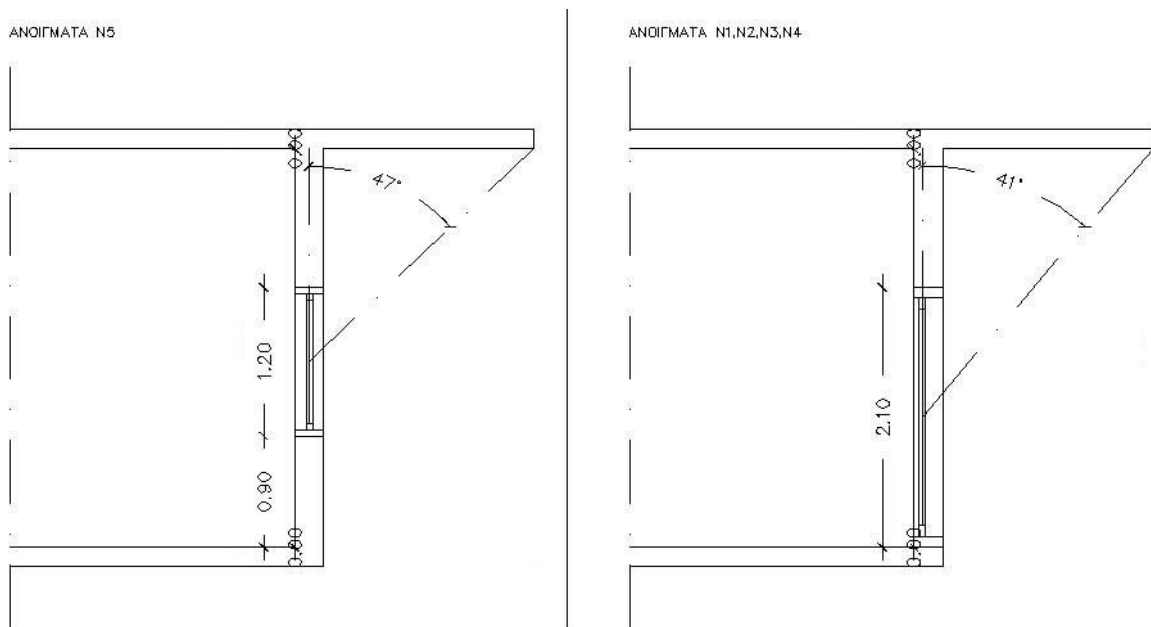
Στο GCAD γίνεται σύνδεση των οριζόντιων προβόλων με τους εξωτερικούς τοίχους που αυτοί σκιάζουν, με σκοπό να μελετηθεί η σκίαση των δομικών στοιχείων που βρίσκονται σε κάθε τοίχο. Στην περίπτωση της υπό μελέτη κατοικίας ως μοναδικός οριζόντιος πρόβολος θεωρείται το σύστημα σκίασης των Νοτίων ανοιγμάτων (πέργκολα) και η σύνδεση του τοίχου με νότιο προσανατολισμό καθώς και των ανοιγμάτων που υπάρχουν σε αυτόν με το περίγραμμα του οριζόντιου προβόλου φαίνεται στο σχήμα 5.8.

Ύστερα από τη σύνδεση των ανοιγμάτων με τον οριζόντιο πρόβολο, με την εντολή «Σκαριφήματα Σκιάσεων» εξάγονται τα σκαριφήματα που απεικονίζονται στο σχήμα 5.9, στα οποία φαίνεται η γωνία β που προκύπτει μεταξύ του μέσου του κουφώματος και του ακραίου σημείου του οριζόντιου προβόλου. Με βάση τη γωνία αυτή υπολογίζονται οι συντελεστές σκίασης από οριζόντιους προβόλους Fov για περίοδο θέρμανσης και για περίοδο ψύξης, οι οποίοι αναγράφονται στον πίνακα 5.3. Για όλα τα υπόλοιπα ανοίγματα

εκτός των νοτίων, όπου δεν προβλέπεται σκίαση από οριζόντιο πρόβολο, ο συντελεστής αυτός παίρνει την τιμή 1, τόσο για την περίοδο θέρμανσης, όσο και για την περίοδο ψύξης.



Σχήμα 5.8: Σύνδεση οριζόντιου προβόλου με περίβλημα κτηρίου



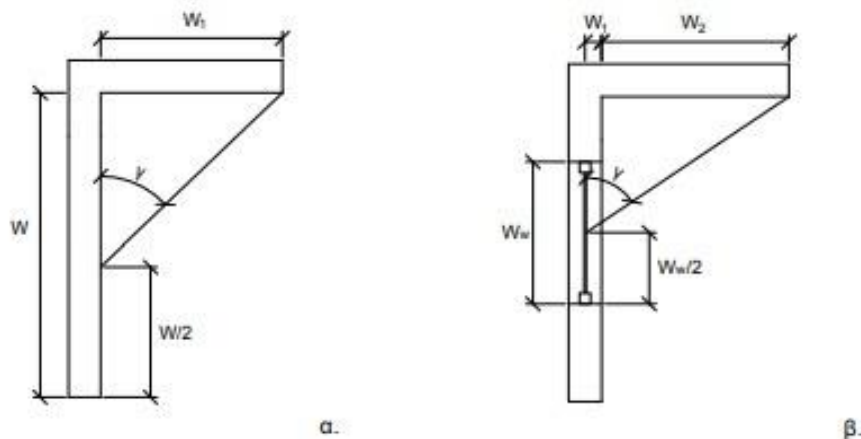
Σχήμα 5.9: Σκιάσεις ανοιγμάτων από οριζόντιους προβόλους

Πίνακας 5.3: Συντελεστές σκίασης από οριζόντιους προβόλους

Κούφωμα	Προσανατολισμός	Γωνία προβόλου	Φον θέρμανσης	Φον ψύξης
N1	189	41	0.71	0.56
N2	189	41	0.71	0.56
N3	189	41	0.71	0.56
N4	189	41	0.71	0.56
N5	189	47	0.66	0.5
A1	99	0	1	1
A2	99	0	1	1
A3	99	0	1	1
B1	9	0	1	1
Δ1	279	0	1	1
Δ2	279	0	1	1
B2	9	0	1	1
B3	9	0	1	1
B4	9	0	1	1
A4	99	0	1	1
B5	9	0	1	1

5.5.3 Υπολογισμός συντελεστών σκίασης από πλευρικές προεξοχές F_{fin}

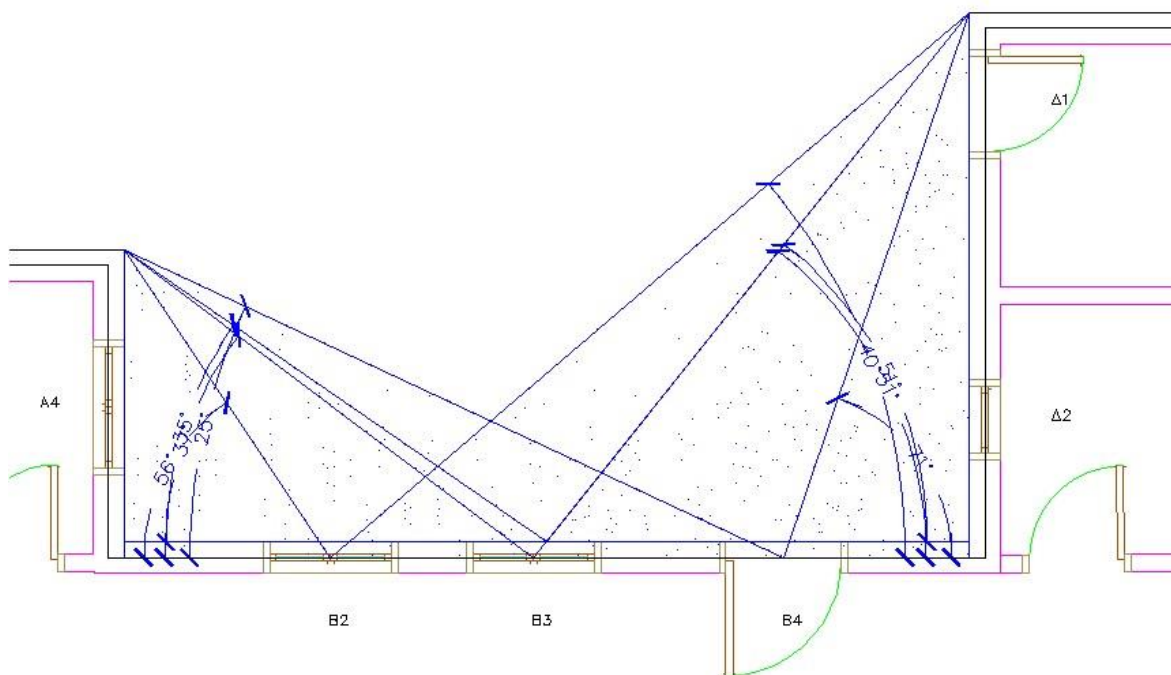
Ο συντελεστής αυτός αφορά την σκίαση του κτηρίου από πλευρικές κατακόρυφες προεξοχές του. Ο υπολογισμός του συντελεστή για διάφανα και αδιάφανα δομικά στοιχεία γίνεται με τη βοήθεια της γωνίας γ , η οποία φαίνεται στο σχήμα 5.10. Αντίστοιχα με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, ο συντελεστής λαμβάνεται από τους πίνακες A3 και A4 του παραρτήματος Α, ανάλογα με τον προσανατολισμό του δομικού στοιχείου, την γωνία γ και το αν πρόκειται για περίοδο θέρμανσης ή ψύξης. Ο συντελεστής λαμβάνει και πάλι τιμές από 0 έως 1, με την πρώτη περίπτωση να δείχνει πλήρη σκίαση από πλευρικές προεξοχές, ενώ την δεύτερη να σημαίνει ότι δεν υπάρχει καθόλου σκίαση του δομικού στοιχείου από πλευρικές προεξοχές. Η γωνία γ δίνεται ανά 10° και για ενδιάμεσες τιμές απαιτείται γραμμική παρεμβολή.



Σχήμα 5.10: Γραφική απεικόνιση της γωνίας γ για την περίπτωση αδιάφανου δομικού στοιχείου (εξωτερικού τοίχου) και διαφανού δομικού στοιχείου

Με την εντολή «Σκιάσεις κάθετων προβόλων» επιτρέπεται να υπολογιστούν οι γωνίες σκιασμού των ανοιγμάτων από κάθετους πρόβολους ή προεξοχές του κτηρίου. Για την υπό μελέτη κατοικία ως κάθετοι πρόβολοι θεωρούνται οι 2 προεξοχές του κτηρίου στην βόρεια όψη. Υπολογίζεται η γωνία που προκύπτει μεταξύ της γωνίας των προβόλων και του μέσου σημείου των ανοιγμάτων που αυτοί σκιάζουν, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.11.

Με βάση τις γωνίες που προκύπτουν υπολογίζονται οι συντελεστές σκίασης από κάθετους πρόβολους, οι οποίοι φαίνονται στους πίνακες 5.4 και 5.5 για τον αριστερά και τον δεξιά σε όψη πρόβολο, αντίστοιχα. Ακόμα, στον πίνακα 5.6 φαίνεται ο τελικός συντελεστής σκίασης F_{in} , ο οποίος προκύπτει με πολλαπλασιασμό των $F_{in,l}$ και $F_{in,r}$.



Σχήμα 5.11: Γωνίες σκιασμού δομικών στοιχείων από κάθετους πρόβολους

Πίνακας 5.4: Συντελεστές σκίασης από αριστερό κάθετο πρόβολο

Κούφωμα	Προσανατολισμός	Γωνία αριστερού πλαϊνού	Ffin, l θέρμανσης	Ffin, l ψύξης
N1	189	0	1	1
N2	189	0	1	1
N3	189	0	1	1
N4	189	0	1	1
N5	189	0	1	1
A1	99	0	1	1
A2	99	0	1	1
A3	99	0	1	1
B1	9	0	1	1
Δ1	279	0	1	1
Δ2	279	0	1	1
B2	9	40	0.97	0.9
B3	9	51	0.97	0.89
B4	9	71	0.96	0.87
A4	99	0	1	1
B5	9	0	1	1

Πίνακας 5.5: Συντελεστές σκίασης από δεξιά κάθετο πρόβολο

Κούφωμα	Προσανατολισμός	Γωνία δεξιού πλαϊνού	Ffin, r θέρμανσης	Ffin, r ψύξης
N1	189	0	1	1
N2	189	0	1	1
N3	189	0	1	1
N4	189	0	1	1
N5	189	0	1	1
A1	99	0	1	1
A2	99	0	1	1
A3	99	0	1	1
B1	9	0	1	1
Δ1	279	0	1	1
Δ2	279	0	1	1
B2	9	56	1	0.94
B3	9	37	1	0.94
B4	9	25	1	0.95
A4	99	0	1	1
B5	9	0	1	1

Πίνακας 5.6: Τελικός συντελεστής σκίασης από κάθετους προβόλους

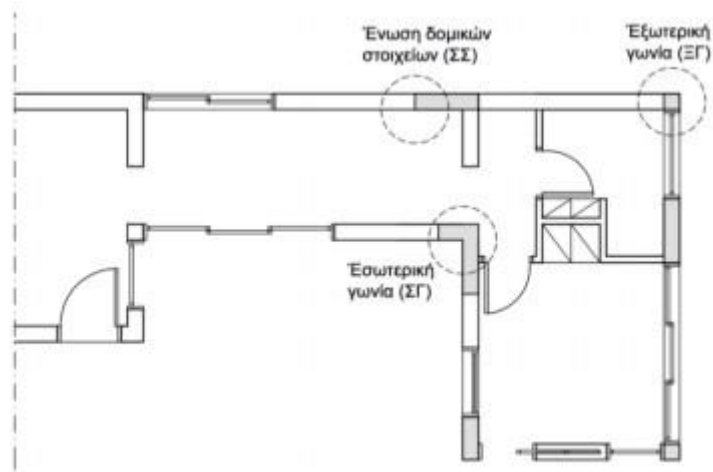
Κουφώμα	Προσανατολισμός	Ffin θέρμανσης	Ffin ψύξης
N1	189	1	1
N2	189	1	1
N3	189	1	1
N4	189	1	1
N5	189	1	1
A1	99	1	1
A2	99	1	1
A3	99	1	1
B1	9	1	1
Δ1	279	1	1
Δ2	279	1	1
B2	9	0.97	0.85
B3	9	0.97	0.84
B4	9	0.96	0.83
A4	99	1	1
B5	9	1	1

5.6 Θερμογέφυρες

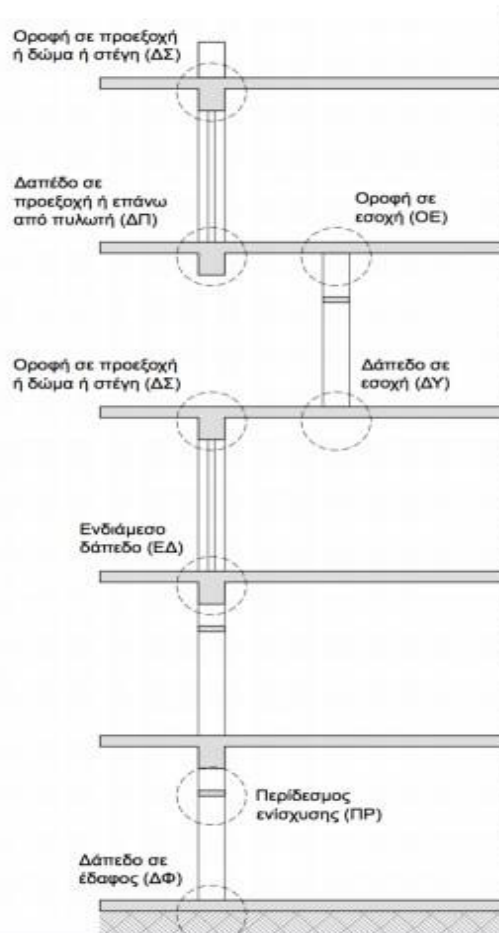
Οι θερμογέφυρες είναι τα ασθενή σημεία του κτηριακού κελύφους, στα οποία παρατηρείται αυξημένη ροή θερμότητας από το εσωτερικό προς το εξωτερικό περιβάλλον και αντίστροφα. Είναι, δηλαδή, σημεία στα οποία παρατηρείται διαφορά στη θερμική αντίσταση σε σχέση με τα γειτονικά τους και σαν γεγονός συνήθως οφείλεται είτε στην ύπαρξη ασυνέχειας της θερμομόνωσης, είτε στη διαφοροποίηση του υλικού κατά μήκος ενός δομικού στοιχείου, είτε στην αλλαγή γεωμετρίας μίας διατομής.

Ανάλογα με τη θέση εμφάνισης οι θερμογέφυρες διακρίνονται σε 3 κατηγορίες:

1. Κατακόρυφες, οι οποίες συναντώνται στην ένωση των κατακόρυφων δομικών στοιχείων. Εντοπίζονται στις κατόψεις ενός κτηρίου και καθώς η κύρια διάσταση τους αναπτύσσεται καθ' ύψος το μήκος τους μετράται με τη βοήθεια των τομών. Στο σχήμα 5.12 φαίνονται οι ενδεικτικές θέσεις εμφάνισης κατακόρυφων θερμογεφυρών σε μία κάτοψη.
2. Οριζόντιες, οι οποίες συναντώνται στην ένωση των οριζόντιων δομικών στοιχείων με τα κατακόρυφα. Σε αντίθεση με τις κατακόρυφες θερμογέφυρες, οι οριζόντιες εντοπίζονται στις τομές ενός κτηρίου και μετρούνται με βάση τις κατόψεις, καθώς η κύρια διάσταση τους αναπτύσσεται κατά μήκος των δομικών στοιχείων. Στο σχήμα 5.13 φαίνονται οι ενδεικτικές θέσεις εμφάνισης οριζόντιων θερμογεφυρών σε μία τομή.
3. Κουφωμάτων, οι οποίες δημιουργούνται στη συναρμογή των κουφωμάτων και μπορεί να βρίσκονται είτε στο λαμπά του κουφώματος, είτε στο ανωκάσι, είτε στο κατωκάσι (ποδιά). Το μήκος τους μετράται με βάση τις διαστάσεις των ανοιγμάτων.



Σχήμα 5.12: Ενδεικτικές θέσεις εμφάνισης κατακόρυφων θερμογεφυρών



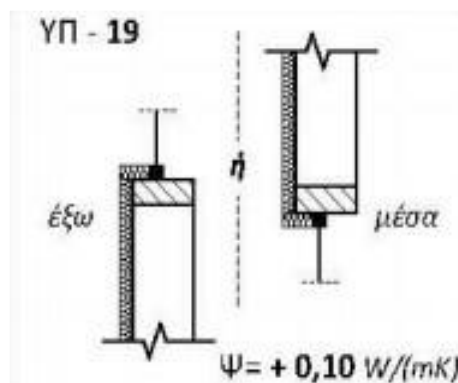
Σχήμα 5.13: Ενδεικτικές θέσεις εμφάνισης οριζόντιων θερμογεφυρών

Οι θερμογέφυρες της εξεταζόμενης κατοικίας προσδιορίζονται μέσω του προγράμματος GCAD. Στόχος του μελετητή είναι ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών λόγω των θερμογεφυρών που εντοπίζονται στην κατασκευή. Για να γίνει αυτό είναι απαραίτητο να γνωρίζει την τιμή του συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ και το μήκος (L) της θερμογέφυρας. Οι θερμικές απώλειες κατά μήκος μίας θερμογέφυρας υπολογίζονται από το γινόμενο $\Psi \cdot L$, όπου Ψ σε μονάδες $W/(m \cdot K)$ και L σε m. Επισημαίνεται πως όλες οι θερμογέφυρες που

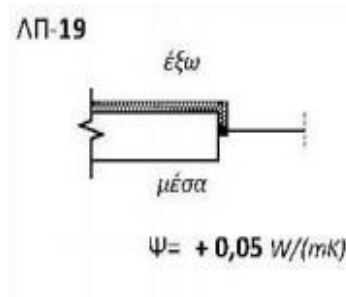
ορίζει η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20702-2/2017 και απεικονίζονται στα παρακάτω σχήματα αφορούν συνήθεις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα και συνεπώς είναι στο χέρι του μελετητή να επιλέξει τον τύπο που ταιριάζει πιο πολύ σε κάθε περίπτωση, όταν δεν εμπίπτει σε καμία από τις περιπτώσεις. Συγκεκριμένα επιλέγονται:

Θερμογέφυρες στα κουφώματα της κατοικίας

Στα κουφώματα γίνεται θεώρηση ύπαρξης θερμογεφυρών στο ανωκάσι, στο κατωκάσι και στο λαμπά (δεξιά και αριστερά). Στο σχεδιαστικό πρόγραμμα δίνονται οι επιλογές «Ανω», «Κάτω», «Πλευρά 1» και «Πλευρά 2». Για κάθε κατασκευαστική περίπτωση δίνεται από το σχεδιαστικό πρόγραμμα (σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.– 2/2017) ο συντελεστής ψ . Οι περιπτώσεις αυτές φαίνονται στα σχήματα 5.14 και 5.15 για ανωκάσι/κατωκάσι και λαμπά κουφώματος αντίστοιχα. Κάθε κατασκευαστική περίπτωση που αφορά την θέση του κουφώματος και της μόνωσης δίνεται σε κάτοψη ή/και τομή και είναι στο χέρι του μελετητή να επιλέξει τη θερμογέφυρα η οποία είναι πιο κοντά στην εκάστοτε κατασκευαστική λύση της μελέτης του. Έτσι, στο ανωκάσι και κατωκάσι (ποδιά) των παραθύρων της κατοικίας επιλέγεται η θερμογέφυρα ΥΠ-19 με $\psi = 0,1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ και στο λαμπά του κουφώματος η θερμογέφυρα ΛΠ-19 με $\psi = 0,05 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Στις πόρτες και μπαλκονόπορτες, οι οποίες βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος (ποδιά σε ύψος μηδενικό), τοποθετούνται οι ίδιες θερμικές γέφυρες, εκτός από αυτή στο κατωκάσι, στο οποίο δεν τοποθετείται θερμογέφυρα. Το μήκος L της θερμογέφυρας υπολογίζεται αυτόματα από τα προγράμματα της 4M και είναι ίσο με την περίμετρο του υαλοπίνακα.



Σχήμα 5.14: Συντελεστής ψ για ποδιά και ανωκάσι κουφώματος

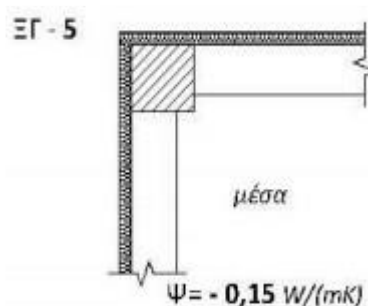


Σχήμα 5.15: Επιλογή συντελεστή ψ για λαμπά κουφώματος, 4M GCAD

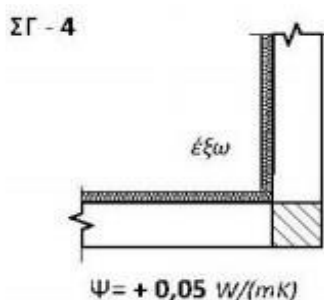
Κατακόρυφες θερμογέφυρες:

Επιλέγοντας τους εξωτερικούς τοίχους στο GCAD δίνεται η δυνατότητα επιλογής του τύπου θερμογεφυρών των δομικών στοιχείων που υπάρχουν σε αυτούς (πάλι σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.– 2/2017). Για τον κάθε τοίχο υπάρχει πάλι η επιλογή πάνω, κάτω, πλευρά 1 και πλευρά 2.

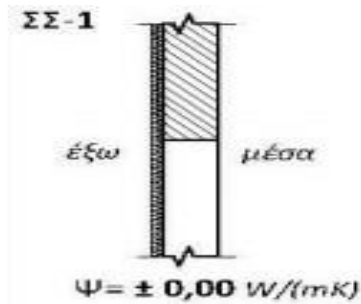
- Θερμογέφυρες εξωτερικής γωνίας: Στις «Πλευρά 1» και «Πλευρά 2» τοποθετούνται οι θερμογέφυρες ΞΓ – 5 με $\psi = - 0,15 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Σημαντικό είναι οι θερμογέφυρες αυτές να μην τοποθετούνται στην ίδια γωνία σε 2 διαφορετικούς τοίχους που ενώνονται, καθώς έτσι ο υπολογισμός τους θα γίνει διπλός. Η επιλογή αυτής της θερμογέφυρας από το σχεδιαστικό πρόγραμμα φαίνεται στο σχήμα 5.16.
- Θερμογέφυρες εσωτερικής γωνίας: Στις 2 εσωτερικές γωνίες που σχηματίζονται στην βόρεια όψη του κτηρίου επιλέγεται ο τύπος ΣΓ – 4 με $\psi = 0,05 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Η επιλογή αυτής της θερμογέφυρας φαίνεται στο σχήμα 5.17.
- Θερμογέφυρες ένωσης δομικών στοιχείων: Στην ένωση των υποστυλωμάτων με την εξωτερική τοιχοποιία (και στις 2 πλευρές του υποστυλώματος) επιλέγεται η θερμογέφυρα ΣΣ – 1 με $\psi = 0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.18. Η τιμή του ψ είναι μηδενική, καθώς με την τοποθέτηση της μόνωσης εξωτερικά οι θερμογέφυρες αυτές στην πραγματικότητα εξαλείφονται.



Σχήμα 5.16: Επιλογή θερμογέφυρας για εξωτερικές γωνίες



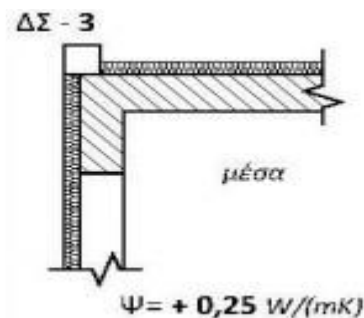
Σχήμα 5.17: Επιλογή θερμογέφυρας για εσωτερικές γωνίες



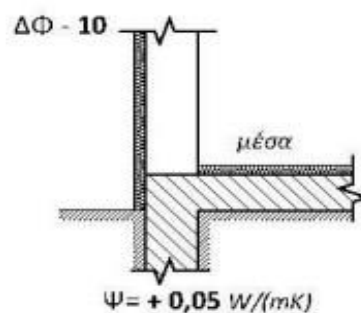
Σχήμα 5.18: Επιλογή θερμογέφυρας για ένωση υποστρώματος με εξωτερική τοιχοποιία

Οριζόντιες θερμογέφυρες:

- Θερμογέφυρα δώματος/οροφής σε προεξοχή: Στην επιλογή «Πάνω» για τις θερμογέφυρες που υπάρχουν στους εξωτερικούς τοίχους τοποθετείται η $\Delta\Sigma - 3$ με $\psi = 0,25 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.19.
- Θερμογέφυρα δαπέδου που εδράζεται στο έδαφος : Στην επιλογή «Κάτω» τοποθετείται η θερμογέφυρα $\Delta\Phi - 10$ με $\psi = 0,05 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.20.



Σχήμα 5.19: Επιλογή συντελεστή ψ για δώμα



Σχήμα 5.20: Επιλογή θερμογέφυρας για δάπεδο που εδράζεται σε φυσικό έδαφος

5.7 Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας της κατοικίας

Ο έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας της κατοικίας γίνεται μέσω του συντελεστή θερμοπερατότητας U . Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την ποσότητα θερμότητας που περνά μέσα από ένα τετραγωνικό μέτρο ενός δομικού στοιχείου πάχους d σε διάστημα μίας ώρας, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός Κέλβιν $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$. Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας των επιμέρους δομικών στοιχείων

γίνεται με τη βοήθεια του προγράμματος «Ενεργειακά – Κτήριο Αναφοράς» της 4Μ και παίζει σημαντικό ρόλο στο αποτέλεσμα της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτηρίου. Στο πρόγραμμα της 4Μ προσδιορίζονται τα υλικά που συνθέτουν το κάθε δομικό στοιχείο από έτοιμες βιβλιοθήκες υλικών. Κάθε υλικό συνοδεύεται από τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ , ο οποίος λαμβάνεται σύμφωνα με τυπικές τιμές της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.– 2/2017, ή με τιμές που παρέχει ο κατασκευαστής. Για τη διαδικασία υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας των κουφωμάτων λαμβάνονται υπόψη οι προδιαγραφές του εμπορίου, όσον αφορά τον συντελεστή θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα U_g και του πλαισίου U_f , αλλά και οι προτεινόμενες από τις Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. τιμές του συντελεστή. Στη συνέχεια, αναλύεται ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου, αλλά και του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας όλης της κατοικίας..

Ο έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας γίνεται σε 2 στάδια. Στο πρώτο στάδιο γίνεται έλεγχος του κάθε δομικού στοιχείου ξεχωριστά. Για να ικανοποιεί κάποιο δομικό στοιχείο τις απαιτήσεις θερμομονωτικής επάρκειας του κανονισμού πρέπει η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του στοιχείου αυτού να είναι μικρότερη από την μέγιστη τιμή την οποία επιτρέπει ο κανονισμός, δηλαδή $U_{\text{δομικού στοιχείου}} \leq U_{\text{max}}$. Στον πίνακα 5.7 αναγράφονται οι μέγιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας, οι οποίοι αφορούν συγκεκριμένα την περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου και εξαρτώνται από το είδος κάθε δομικού στοιχείου και από την κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκεται το υπό μελέτη κτήριο.

Ο δεύτερος έλεγχος αφορά τη θερμομονωτική επάρκεια του συνόλου του κτηρίου. Πρέπει, δηλαδή ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου να μην υπερβαίνει τα αντίστοιχα όρια που θέτει ο Κανονισμός, δηλαδή $U_m \leq U_{m,max}$. Ο μέγιστος συντελεστής που ορίζει ο κανονισμός είναι σε συνάρτηση με την κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκεται το κτήριο μελέτης, αλλά και του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτηρίου (εξωτερικές επιφάνειες) προς τον όγκο που αυτές περικλείουν (A/V) και δίνεται στον πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.7: Μέγιστος συντελεστής θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου ανάλογα με το είδος του και την κλιματική ζώνη.

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [$W/(m^2 \cdot K)$]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,55	0,45	0,40	0,35
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,10	1,90	1,75	1,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	3,80	3,40	3,00	2,80

Πίνακας 5.8: Μέγιστος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας ανάλογα με την κλιματική ζώνη και τον λόγο (A/V).

Λόγος A/V [m ⁻¹]	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U _m [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
≤ 0,2	1,25	1,13	1,04	0,95
0,3	1,17	1,05	0,96	0,88
0,4	1,10	0,99	0,91	0,83
0,5	1,04	0,93	0,86	0,78
0,6	0,98	0,89	0,81	0,73
0,7	0,92	0,83	0,76	0,68
0,8	0,86	0,77	0,71	0,63
0,9	0,80	0,73	0,65	0,59
≥ 1,0	0,77	0,69	0,62	0,55

5.7.1 Συντελεστής θερμοπερατότητας αδιάφανων δομικών στοιχείων

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των αδιάφανων δομικών στοιχείων υπολογίζεται από τη σχέση 5.1 ως το αντίστροφο του αθροίσματος των θερμικών αντιστάσεων που προβάλλουν οι διαδοχικές στρώσεις του δομικού στοιχείου στη ροή θερμότητας μέσω αυτού, καθώς και των αντίστοιχων θερμικών αντιστάσεων που προβάλλουν οι εκατέρωθεν στρώσεις αέρα. Στη σχέση 5.1 που παρουσιάζεται στη συνέχεια εισέρχονται οι όροι του συντελεστή θερμικής αντίστασης και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Οι μαθηματικές σχέσεις που συνδέουν γενικότερα τα μεγέθη αυτά είναι $U = 1/R$, και $R = d/\lambda$. Για να επιτευχθεί, λοιπόν, χαμηλός συντελεστής U, κάτι το οποίο είναι απαραίτητο για την επίτευξη επαρκούς θερμομονωτικής ικανότητας, είναι αναγκαίο ο συντελεστής θερμικής αντίστασης R να είναι μεγάλος. Για τον λόγο αυτό είναι σημαντικό να επιλέγονται υλικά με μικρό λ και το πάχος του μονωτικού υλικού να είναι επαρκές.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_1^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_\delta + R_a} \quad 5.1$$

Όπου:

U [W/(m²·K)] είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου

n [-] είναι το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου

d [m] είναι το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου

λ [W/(m·K)] είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης,

R_δ [m²·K/W] είναι η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο

ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του

διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος,

R_i [m²·K/W] είναι αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα

αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο και

R_a [m²·K/W] είναι η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό

στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Συντελεστής θερμοπερατότητας εξωτερικών τοίχων, υποστυλωμάτων και δοκών

Οι στρώσεις που συνθέτουν την εξωτερική τοιχοποιία φαίνονται στον πίνακα 5.9. Με βάση το πάχος και τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ κάθε υλικού που συνθέτει το δομικό στοιχείο, υπολογίζεται η θερμική αντίσταση καθενός από αυτά και στη συνέχεια ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας U του δομικού στοιχείου, σύμφωνα με τη σχέση 5.1. Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης R_i και R_a επιλέγονται ίσοι με $0.13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ και $0.04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ για εξωτερικούς τοίχους σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Για τον εξωτερικό τοίχο προκύπτει τελικά συντελεστής θερμοπερατότητας $U = 0.276 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, ο οποίος είναι αποδεκτός σε σχέση με το αντίστοιχο όριο του κανονισμού, το οποίο δίνεται στον πίνακα 5.7 και είναι ίσο με $0.45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ για εξωτερικό τοίχο στη ζώνη Β.

Τα υποστυλώματα και οι δοκοί που βρίσκονται σε επαφή με τους εξωτερικούς τοίχους προσομοιώνονται προσεγγιστικά με στοιχεία τα οποία διαθέτουν στην εξωτερική στρώση τους τις 3 τελευταίες στρώσεις του εξωτερικού τοίχου (στοιχεία 4,5,6 στον πίνακα 5.9) και εσωτερικά χάλυβα με το πραγματικό πλάτος και ύψος διατομής, αλλά θεωρώντας αναγκαστικά τη διατομή ορθογωνική και συμπαγή. Στη συνέχεια, η πλέον εσωτερική στρώση του στοιχείου προσομοιώνεται με 2 γυψοσανίδες. Ενδεικτικά, στον πίνακα 5.11 παρουσιάζονται οι στρώσεις που συνθέτουν το υποστυλώμα, ενώ για τις δοκούς ακολουθείται παρόμοια διαδικασία. Για τα υποστυλώματα και τις δοκούς, σύμφωνα με την προσέγγιση που αναφέρθηκε, υπολογίζονται συντελεστές θερμοπερατότητας ίσοι με $0.290 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ και $0.276 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ αντίστοιχα. Ο λόγος που ο συντελεστής προκύπτει μικρότερος για την δοκό είναι ότι οι δοκοί της κατασκευής έχουν μικρότερο πλάτος διατομής από τα υποστυλώματα και συνεπώς η διαφορά του πάχους των 2 στοιχείων προσομοιώνεται με στρώση αέρα (διάκενο) για τις δοκούς.

Πίνακας 5.9: Υπολογισμός αντίστασης θερμοδιαφυγής R_L στοιχείου εξωτερικής τοιχοποιίας

	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Πάχος στρώσης d	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ	Θερμική αντίσταση $R \text{ (d/\lambda)}$
		m	W/(mK)	(m ² K)/W
1	Γυψοσανίδα	0.0125	0.250	0.050
2	Γυψοσανίδα	0.0125	0.250	0.050
3	Διάκενο	0.100		0.180
4	Τσιμεντοσανίδα	0.0125	0.280	0.045
5	Διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη σε πλάκες	0.100	0.033	3.030
6	Επίχρισμα θερμομονωτικό	0.01	0.100	0.1
				$R_L = 3.455$

Πίνακας 5.10: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας U στοιχείου εξωτερικής τοιχοποιίας

Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	$(m^2K)/W$	0.130
Θερμική αντίσταση	R_Λ	$(m^2K)/W$	3.455
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_a	$(m^2K)/W$	0.040
Ολική θερμική αντίσταση	$R_{ολ} = R_i + R_\Lambda + R_a$	$(m^2K)/W$	3.625
Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U = 1/R_{ολ}$	$W/(m^2K)$	0.276

Πίνακας 5.11: Υπολογισμός αντίστασης θερμοδιαφυγής R_Λ στοιχείου υποστρώματος

	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Πάχος στρώσης d	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ	Θερμική αντίσταση $R (d/\lambda)$
		m	$W/(mK)$	$(m^2K)/W$
1	Γυψοσανίδα	0.0125	0.250	0.050
2	Γυψοσανίδα	0.0125	0.250	0.050
3	Χάλυβας	0.140	50.000	0.003
4	Τσιμεντοσανίδα	0.0125	0.280	0.045
5	Διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη σε πλάκες	0.100	0.033	3.030
6	Επίχρισμα θερμομονωτικό	0.01	0.1	0.1
				$R_\Lambda = 3.278$

Πίνακας 5.12: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας U στοιχείου υποστρώματος

Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	$(m^2K)/W$	0.130
Θερμική αντίσταση	R_Λ	$(m^2K)/W$	3.278
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_a	$(m^2K)/W$	0.040
Ολική θερμική αντίσταση	$R_{ολ} = R_i + R_\Lambda + R_a$	$(m^2K)/W$	3.448

Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U = 1/R_{ολ}$	W/(m ² K)	0.290
------------------------------	----------------	----------------------	--------------

Συντελεστής θερμοπερατότητας οροφής

Για τον υπολογισμό τους συντελεστή θερμοπερατότητας της οροφής λαμβάνονται υπόψη όλες οι στρώσεις που συνθέτουν την οροφή της κατοικίας, εκτός από αυτές του φυτεμένου δώματος. Αυτές επιλέγονται στο υπολογιστικό πρόγραμμα ξεχωριστά, δηλαδή δηλώνεται απλώς το γεγονός πως η οροφή είναι φυτεμένη. Για το λόγο αυτό η οροφή (συντηρητικά) προσομοιώνεται μόνο με τις στρώσεις που απεικονίζονται στον πίνακα 5.13. Η πλάκα σκυροδέματος προσεγγίζεται με ένα μέσο ενιαίο πάχος 12 cm, ενώ το χαλυβδόφυλλο με 0.75 mm. Επισημαίνεται πως η θερμική αντίσταση R για το χαλυβδόφυλλο της οροφής δεν εμφανίζεται, λόγω του ιδιαίτερα μικρού μεγέθους της (0.00075/50 m²K/W).

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται πάλι σύμφωνα με τη σχέση 5.1 και προκύπτει ίσος με 0.337 W/(m²K), όπως φαίνεται στον πίνακα 5.13. Σύμφωνα με τον πίνακα 5.7, το όριο του κανονισμού για οροφή κτηρίου που βρίσκεται σε ζώνη Β είναι ίσο με 0.4 W/(m²K), οπότε ο έλεγχος ικανοποιείται και σε αυτή την περίπτωση. Για στέγη (ανερχόμενη ροή θερμότητας) οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης R_i και R_a εισέρχονται στους υπολογισμούς ίσοι με 0.1 (m²K)/W και 0.04 (m²K)/W αντίστοιχα.

Πίνακας 5.13: Υπολογισμός αντίστασης θερμοδιαφυγής R_Λ στοιχείου οροφής (προσεγγιστικά)

	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Πάχος στρώσης d	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ	Θερμική αντίσταση R (d/λ)
		m	W/(mK)	(m ² K)/W
1	Γυψοσανίδα	0.0125	0.250	0.05
2	Χάλυβας	0.00075	50.000	0.000
3	Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.120	2.500	0.048
4	Στεγάνωση	0.003	0.174	0.017
5	Διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη σε πλάκες	0.080	0.033	2.424
6	Μπετόν κλίσης	0.100	0.349	0.287
				R_Λ = 2.826

Πίνακας 5.14: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας U στοιχείου οροφής

Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	R _i	(m ² K)/W	0.100
Θερμική αντίσταση	R _Λ	(m ² K)/W	2.826

Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_a	$(m^2K)/W$	0.040
Ολική θερμική αντίσταση	$R_{ολ} = R_i + R_{\Lambda} + R_a$	$(m^2K)/W$	2.966
Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U = 1/R_{ολ}$	$W/(m^2K)$	0.337

Συντελεστής θερμοπερατότητας δαπέδου

Για το δάπεδο σε επαφή με φυσικό έδαφος τα όρια του κανονισμού είναι αρκετά ελαστικά, λόγω της συνεισφοράς του εδάφους στη θερμομόνωση. Για κατοικία που βρίσκεται σε κλιματική ζώνη Β, σύμφωνα με τον πίνακα 5.7, το μέγιστο όριο του συντελεστή θερμοπερατότητας για δάπεδο σε επαφή με φυσικό έδαφος είναι ίσο με $0.800 W/(m^2K)$.

Οι στρώσεις που συνθέτουν το δομικό στοιχείο του δαπέδου της κατοικίας φαίνονται στον πίνακα 5.15. Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας γίνεται πάλι χρήση της σχέσης 5.1, στην οποία, για δάπεδο σε επαφή με φυσικό έδαφος, οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης R_i και R_a λαμβάνονται υπόψη ως $0.170 (m^2K)/W$ και $0.00 (m^2K)/W$ αντίστοιχα. Η απαίτηση του κανονισμού ικανοποιείται, καθώς, σύμφωνα με τον πίνακα 5.16, προκύπτει συντελεστής θερμοπερατότητας $U = 0.526 W/(m^2K)$, το οποίο είναι μικρότερο από το αντίστοιχο όριο του κανονισμού.

Πίνακας 5.15: Υπολογισμός αντίστασης θερμοδιαφυγής R_{Λ} στοιχείου δαπέδου

	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Πάχος στρώσης d	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ	Θερμική αντίσταση $R (d/\lambda)$
		m	$W/(mK)$	$(m^2K)/W$
1	Πλακίδια επίστρωσης	0.02	1.050	0.019
2	Γαρμπιλοσκυρόδεμα	0.05	0.640	0.078
3	Διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη σε πλάκες	0.05	0.033	1.515
4	Στεγάνωση	0.003	0.174	0.017
5	Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.250	2.500	0.100
				$R_{\Lambda} = 1.730$

Πίνακας 5.16: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας U στοιχείου δαπέδου

Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	$(m^2K)/W$	0.17
Θερμική αντίσταση	R_Λ	$(m^2K)/W$	1.730
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_a	$(m^2K)/W$	0.000
Ολική θερμική αντίσταση	$R_{ολ} = R_i + R_\Lambda + R_a$	$(m^2K)/W$	1.900
Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U = 1/R_{ολ}$	$W/(m^2K)$	0.526

5.7.2 Συντελεστής θερμοπερατότητας διάφανων δομικών στοιχείων

Στα διάφανα δομικά στοιχεία ο αναλυτικός υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας U_w εξαρτάται από το υλικό του πλαισίου, τον αριθμό των υαλοπινάκων, το ποσοστό που κατέχουν ο υαλοπίνακας και το πλαίσιο επί του συνολικού κουφώματος και το μήκος της θερμογέφυρας που σχηματίζεται στην ένωση του υαλοπίνακα και του πλαισίου. Ανάλογα με τον τύπο του κουφώματος στο δεύτερο κεφάλαιο της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 2/2017 δίνονται αναλυτικά οι σχέσεις υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας U_w . Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κουφώματος με μονό, διπλό ή τριπλό υαλοπίνακα επι ενιαίου πλαισίου γίνεται με τη σχέση 5.2.

Όσον αφορά τα νέα κτήρια, όπως η υπό μελέτη κατοικία, αξίζει να αναφερθεί ότι η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας μπορεί να θεωρηθεί δεδομένη από την πιστοποιημένη τιμή που παρέχει ο κατασκευαστής. Πιστοποιημένη τιμή μπορεί να παρέχεται ξεχωριστά για το πλαίσιο και τον υαλοπίνακα. Επίσης, ανάλογα με το είδος του κουφώματος, στην ίδια Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. δίνονται τυπικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας.

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g} \quad 5.2$$

Όπου :

U_w [$W/(m^2/K)$]: ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος

U_f [$W/(m^2/K)$]: ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου

U_g [$W/(m^2/K)$]: ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα

A_f [m^2]: το εμβαδό επιφάνειας του πλαισίου

A_g [m^2]: το εμβαδό επιφάνειας του υαλοπίνακα

l_g [m]: το μήκος θερμογέφυρας του υαλοπίνακα (περίμετρος του υαλοπίνακα)

Ψ_g [$W/(m/K)$]: ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα

Για την ευνοϊκή περίπτωση όπου υπάρχουν προστατευτικά φύλλα επί των κουφωμάτων, ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κουφώματος θεωρείται μειωμένος. Ο διορθωμένος αυτός συντελεστής είτε λαμβάνεται από τις τυπικές τιμές των πινάκων των ΤΟΤΕΕ, είτε υπολογίζεται με τους αναλυτικούς τύπους που δίνονται ανά περίπτωση.

Στα κουφώματα της κατοικίας ανήκουν οι πόρτες, τα παράθυρα και οι μπαλκονόπορτες, οι οποίες επίσης εισάγονται στη μελέτη ως παράθυρα αλλά με κατωκάσι που ξεκινάει από μηδενικό ύψος. Για τα παράθυρα και τις μπαλκονόπορτες προσδιορίζονται στο υπολογιστικό πρόγραμμα (αυτόματα) οι διαστάσεις, οι οποίες είχαν προηγουμένως δοθεί στο σχεδιαστικό πρόγραμμα GCAD.

Όσον αφορά το κτήριο μελέτης, τα χαρακτηριστικά των ανοιγμάτων (εκτός των διαστάσεων) θεωρούνται ίδια για κάθε άνοιγμα. Κάθε παράθυρο και μπαλκονόπορτα έχει διπλό υαλοπίνακα και μεταλλικό πλαίσιο (πάχους περίπου 10 cm) με θερμοδιακοπή. Μετά από επαναληπτική διαδικασία ελέγχου της ικανοποίησης των ορίων για όλα τα κουφώματα λαμβάνεται για τους υαλοπίνακες συντελεστής θερμοπερατότητας ίσος με $1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, ενώ για το πλαίσιο των κουφωμάτων λαμβάνεται συντελεστής θερμοπερατότητας ίσος με $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Για τις πόρτες της κατοικίας επιλέγεται (συντηρητικά) συντελεστής θερμοπερατότητας ίσος με $2.6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, το οποίο αποτελεί και το ανώτατο όριο του κανονισμού. Τονίζεται πως στην πράξη όλες οι παραπάνω τιμές πρέπει να συνοδεύονται από σχετικό πιστοποιητικό.

Ο τελικός συντελεστής θερμοπερατότητας U κάθε κουφώματος με διάφανα στοιχεία υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση 5.2 και φαίνεται στον πίνακα 5.18. Όπως φαίνεται στον πίνακα οι τιμές του συντελεστή U καλύπτουν τις ελάχιστες απαιτήσεις του κανονισμού για κάθε κούφωμα. Το μήκος της θερμογέφυρας μεταξύ του πλαισίου και του υαλοπίνακα είναι ίσο με την περίμετρο του υαλοπίνακα, ενώ ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα Ψ_g λαμβάνεται σύμφωνα με τον πίνακα 5.17 ίσος με $0.08 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ για μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή και υαλοπίνακα χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής (low - E).

Πίνακας 5.17: Τυπικές τιμές του συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ_g σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 2/2017

Τύπος πλαισίου	Γραμμική θερμοπερατότητα για διάφορους τύπους υαλοπινάκων Ψ_g [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]	
	Χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής
Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή	0,02	0,05
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή	0,08	0,11
Συνθετικό πλαίσιο	0,06	0,08
Ξύλινο πλαίσιο	0,06	0,08

Πίνακας 5.18: Συντελεστής θερμοπερατότητας κουφωμάτων (με ναλοπίνακα)

A/α κουφό ματος	b [m]	h [m]	A [m ²]	A _f [m ²]	A _g [m ²]	U _f [W/(m ² K)]	U _g [W/(m ² K)]	l _g [m]	Ψ _g [W/(m K)]	U [W/(m ² K)]	U max [W/(m ² K)]
1	1.40	2.10	2.94	1.04	1.90	2.50	1.00	9.60	0.08	1.792	2.6
2	1.40	2.10	2.94	1.04	1.90	2.50	1.00	9.60	0.08	1.792	2.6
3	1.50	2.10	3.15	1.06	2.09	2.50	1.00	9.80	0.08	1.754	2.6
4	2.60	2.10	5.46	1.28	4.18	2.50	1.00	12.00	0.08	1.527	2.6
5	1.20	1.20	1.44	0.64	0.80	2.50	1.00	5.60	0.08	1.978	2.6
6	1.20	1.20	1.44	0.64	0.80	2.50	1.00	5.60	0.08	1.978	2.6
7	0.60	1.20	0.72	0.52	0.20	2.50	1.00	4.40	0.08	2.572	2.6
8	1.00	1.20	1.20	0.60	0.60	2.50	1.00	5.20	0.08	2.097	2.6
9	0.60	0.80	0.48	0.36	0.12	2.50	1.00	2.80	0.08	2.592	2.6
10	1.00	1.20	1.20	0.60	0.60	2.50	1.00	5.20	0.08	2.097	2.6
11	1.00	1.20	1.20	0.60	0.60	2.50	1.00	5.20	0.08	2.097	2.6
12	1.00	0.80	0.80	0.44	0.36	2.50	1.00	3.60	0.08	2.185	2.6
13	0.60	0.80	0.48	0.36	0.12	2.50	1.00	2.80	0.08	2.592	2.6

5.7.3 Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κατοικίας

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας ολόκληρου του κτηρίου συμβολίζεται με U_m και υπολογίζεται με συνυπολογισμό των συντελεστών θερμοπερατότητας όλων των επιμέρους δομικών στοιχείων που συνθέτουν το εξωτερικό περίβλημα του κτηρίου. Στη συνέχεια, δίνεται η γενική έκφραση της σχέσης υπολογισμού του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n (A_j \cdot U_j \cdot b) + \sum_{i=1}^v (l_i \cdot \Psi_i \cdot b)}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad 5.3$$

Όπου,

U_m [W/(m²·K)]: ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κελύφους όλου του κτηρίου,
 n [-]: το πλήθος των επί μέρους δομικών στοιχείων στο κέλυφος του κτηρίου,
 v [-]: το πλήθος των θερμογεφυρών που αναπτύσσονται στα εξωτερικά ή εσωτερικά όρια κάθε επιφάνειας A_j του κελύφους,
 A_j [m²]: το εμβαδό επιφάνειας που καταλαμβάνει το κάθε δομικό στοιχείο στη συνολική επιφάνεια του κελύφους του κτηρίου,
 U_j [W/(m²·K)]: ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου j του κελύφους του κτηρίου,
 l_j [m]: το συνολικό μήκος του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου,

Ψ_i [W/(m²·K)]: ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου και
 b [-]: μειωτικός συντελεστής, ο οποίος μπορεί να ληφθεί ίσος με 1 για επιφάνειες σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα

Ο θερμαινόμενος όγκος του κτηρίου υπολογίζεται από το πρόγραμμα «Ενεργειακά – Κτήριο Αναφοράς» ίσος με $\Sigma V = 477 \text{ m}^3$, ενώ η συνολική θερμαινόμενη επιφάνεια του κτηρίου υπολογίζεται ίση με $\Sigma A = 484.4 \text{ m}^2$, όπως φαίνεται και στον πίνακα 5.19. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο λόγος $\Sigma A / \Sigma V = 484.4 / 477 \text{ m}^{-1} = 1.015 \text{ m}^{-1}$. Το γεγονός πως ο λόγος αυτός προκύπτει μεγαλύτερος από 1, σύμφωνα με τον πίνακα 5.8, σημαίνει πως ο μέγιστος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας πρέπει να ληφθεί ίσος με $U_{m,max} = 0,69 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Στον πίνακα 5.19 φαίνονται επίσης τα αναλυτικά αποτελέσματα των υπολογισμών που πρέπει να γίνουν για την εύρεση του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας. Ο συντελεστής αυτός λοιπόν, σύμφωνα με τη σχέση 5.3, υπολογίζεται ως $U_m = 215.5 \text{ (W/K)} / 484.4 \text{ (m}^2) = 0.445 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, οπότε είναι μικρότερος από τον ανώτατο επιτρεπόμενο συντελεστή για τη συγκεκριμένη περίπτωση και συνεπώς ο έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας της κατοικίας ικανοποιείται.

Πίνακας 5.19: Υπολογισμοί για την εύρεση του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m

	ΣA [m ²]	$\Sigma[b \cdot U \cdot A]$ [W/K] ή $\Sigma[b \cdot \Psi \cdot I]$ [W/K]
κατακόρυφα αδιαφανή δομικά στοιχεία	177.7	62.4
οριζόντια αδιαφανή δομικά στοιχεία	283.2	90.2
διαφανή δομικά στοιχεία	23.5	43.7
θερμογέφυρες	-	19.1
Συνολικά	484.4	215.5

5.8 Εκπεμπτικότητα ϵ , αναλαστικότητα ρ και απορροφητικότητα α

Ανάλογα το είδος της εξωτερικής επιφάνειας στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 1/2017 δίνονται τυπικές τιμές για την ικανότητα εκπομπής ϵ και για την απορροφητικότητα α . Για τους εξωτερικούς τοίχους, αλλά και για τα άλλα τυπικά στοιχεία που υπάρχουν εντός αυτών (υποστυλώματα και δοκοί) επιλέγεται ανακλαστικότητα ίση με 0.6 και απορροφητικότητα ίση με 0.4, τιμές που δίνονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. για επιφάνεια με ανοιχτόχρωμο επίχρισμα. Η εκπεμπτικότητα εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που έχει απορροφηθεί από μία επιφάνεια και εκπέμπεται προς το περιβάλλον με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας. Για τους εξωτερικούς τοίχους αυτή επιλέγεται ίση με 0.8, που είναι η προτεινόμενη τιμή για σύνηθες δομικό υλικό.

Όσον αφορά τη στέγη, επιλέγεται ανακλαστικότητα ρ ίση με 0.3 και απορροφητικότητα α ίση με 0.7, οι οποίες είναι τυπικές τιμές για φυτεμένη στέγη. Τέλος, για φυτεμένη στέγη επιλέγεται εκπεμπτικότητα ϵ ίση με 0.8.

5.9 Συστήματα

5.9.1 Σύστημα θέρμανσης και ψύξης

Για την κατοικία επιλέγεται εγκατάσταση κεντρικής αντλίας θερμότητας αέρα/νερού (χωρίς λέβητα) με ισχύ διανομής τόσο θερμού, αλλά και ψυχρού μέσου, ίση με 12 kW. Η τοποθέτηση της αντλίας γίνεται σε εξωτερικό χώρο και περιέχει ενσωματωμένο εναλλάκτη ψυκτικού μέσου – νερού και πλήρες υδραυλικό module για θέρμανση και ψύξη των χώρων. Η διανομή θερμού – ψυχρού υγρού θα γίνεται με μία σωλήνα προσαγωγής και μία επιστροφής (μονοσωλήνιο σύστημα) προς κεντρικό συλλέκτη, στον οποίο συνδέονται ενδοδαπέδιο κυκλώματα, τα οποία οποία τροφοδοτούν μονάδες ανεμιστήρα – στοιχείου (FCU) τοποθετημένες στους επιμέρους χώρους. Ο έλεγχος κάθε FCU θα γίνεται ανεξάρτητα με τοπικό θερμοστάτη και συνεπώς η κατοικία εντάσσεται σε κατηγορία Β διάταξης ελέγχου και αυτοματισμών (BEMS). Όλες οι σωληνώσεις του δικτύου διανομής που διέρχονται από μη θερμαινόμενους χώρους θα είναι μονωμένες και σύμφωνα με τις ελάχιστες προδιαγραφές που ορίζονται στις ΤΟΤΕΕ.

Ως θερμαινόμενη επιφάνεια και θερμαινόμενος όγκος επιλέγεται το σύνολο της κατοικίας, δηλαδή 141.6 m² και 477.2 m³ αντίστοιχα. Στην καρτέλα εισαγωγής των στοιχείων του συστήματος θέρμανσης συμπληρώνονται τα στοιχεία που φαίνονται στα σχήματα 5.21 και 5.22, αφού πρώτα επιλεγθεί «ΝΑΙ» στην παρουσία συστήματος θέρμανσης και δοθεί ο τύπος της αντλίας (Κεντρική αερόψυκτη Α.Θ.), η ισχύς της (12 kW), ο τύπος λέβητα και η κατάσταση μόνωσης του (Χωρίς λέβητα) και τέλος ο βαθμός απόδοσης COP της αντλίας που θα χρησιμοποιηθεί, που στην περίπτωση της μελέτης θα είναι 4.5 (για θέρμανση).

Στοιχεία συστήματος θέρμανσης ζώνης	
Επιθυμητή θερμαινόμενη επιφάνεια (m ²)	
Θερμαινόμενη επιφάνεια (m ²)	141.600
Επιθυμητός θερμαινόμενος όγκος (m ³)	
Θερμαινόμενος όγκος (m ³)	477.1920
Παρουσία συστήματος θέρμανσης	ΝΑΙ
Στοιχεία συστημάτων παραγωγής θέρμανσης	Είναι συμπληρωμένο
Κάλυψη αναγκών για ZNX από υφιστάμενη μονάδα λέβητα-καυστήρα	ΝΑΙ
Σύστημα διανομής	
Αριθμός ζευγών κατακόρυφων στηλών	1
Διέλευση δικτύου διανομής θερμού μέσου	Σε εσωτερικούς χώρους ή/και 20% σε εξωτερικούς
Μόνωση δικτύου διανομής θερμού μέσου	μόνωση ίση με την ακτίνα σωλήνα
Επιθυμητή ισχύς δικτύου διανομής θερμού μέσου (kW)	12
Ισχύς δικτύου διανομής θερμού μέσου (kW)	12.00
Θερμοκρασία προσαγωγής θερμικού μέσου (°C)	55.00
Στοιχεία αεραγωγών	Δεν υπάρχουν στοιχεία
Επιθυμητός βαθμός απόδοσης	0.000
Υπολογιζόμενος βαθμός απόδοσης	0.970

Σχήμα 5.21 Εισαγωγή στοιχείων για σύστημα θέρμανσης

Σύστημα εκπομπής	
Παράγοντας αποτελεσματικότητας ακτινοβολίας θερματικών μονάδων f_rad	1.00
Παράγοντας διασκοπτόμενης λειτουργίας f_lm	0.97
Παράγοντας υδραυλικής ισορροπίας θερματικών μονάδων (f_hydr)	1.00
Ελλείψεις και κακοσυντήρηση θερματικών μονάδων (σε παλιά κτίρια)	ΟΧΙ
Τύπος θερματικής μονάδας	Άμεσης απόδοσης σε εξωτερικό τοίχο
Επιθυμητός βαθμός απόδοσης	0.000
Υπολογιζόμενος βαθμός απόδοσης	0.959
Κόστος (€)	0.00
Βοηθητικά συστήματα	
Εγκατεστημένη ισχύς βοηθητικών συστημάτων (kW)	0.380

Σχήμα 5.22 Εισαγωγή συμπληρωματικών στοιχείων για σύστημα θέρμανσης

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και στην καρτέλα «Σύστημα κλιματισμού», όπου δίνονται τα στοιχεία που φαίνονται στα σχήματα 5.23 και 5.24, ενώ πάλι επιλέγεται «NAI» στην ύπαρξη συστήματος κλιματισμού και συμπληρώνονται τα στοιχεία που αφορούν τον τύπο (ίδιος με το σύστημα θέρμανσης), την ισχύ (ίδια με το σύστημα θέρμανσης) και τον βαθμό απόδοσης EER που για την περίπτωση της ψύξης επιλέγεται ίσος με 3.5.

Τέλος, εισάγονται τα χαρακτηριστικά των βοηθητικών συστημάτων, τα οποία είναι ίδια για θέρμανση και κλιματισμό. Τα συστήματα αυτά αφορούν στη λειτουργία κυκλοφορητών και ανεμιστήρων και γίνεται η παραδοχή πως έχουν ισχύ 0.1 kW και 0.28 kW αντίστοιχα, θεωρώντας την ύπαρξη συνολικά 7 fan coils.

Στοιχεία συστήματος κλιματισμού ζώνης	
Επιθυμητή ψυχόμενη επιφάνεια (m ²)	
Ψυχόμενη επιφάνεια (m²)	70.800
Επιθυμητός ψυχόμενος όγκος (m ³)	
Ψυχόμενος όγκος (m³)	238.596
Ύπαρξη συστήματος κλιματισμού	NAI
Στοιχεία συστημάτων παραγωγής ψύξης	Είναι συμπληρωμένο
Σύστημα διανομής	
Αριθμός ζευγών κατακόρυφων στηλών	1
Διέλευση δικτύου διανομής ψυχρού μέσου	Σε εσωτερικούς χώρους ή/και 20% σε εξωτερικούς
Μόνωση δικτύου διανομής ψυχρού μέσου	μόνωση ίση με την ακτίνα σωλήνα
Επιθυμητή ισχύς δικτύου διανομής ψυχρού μέσου (kW)	
Ισχύς δικτύου διανομής ψυχρού μέσου (kW)	12.00
Στοιχεία αεραγωγών	Δεν υπάρχουν στοιχεία
Επιθυμητός βαθμός απόδοσης	0.000
Υπολογιζόμενος βαθμός απόδοσης	0.985
Κόστος (€)	0.00

Σχήμα 5.23 Εισαγωγή στοιχείων για σύστημα κλιματισμού

Σύστημα εκπομπής	
Παράγοντας διακοπτόμενης λειτουργίας (f _{im})	0.97
Παράγοντας υδραυλικής ισορροπίας θερματικών μονάδων (f _{hydr})	1.00
Βλάβες και κακοσυντήρηση θερματικών μονάδων (σε παλιά κτήρια)	ΟΧΙ
Τύπος θερματικής μονάδας	Άμεσα συστήματα (μονάδες ανεμιστήρα (fan coils), δαπέδου ή οροφής)
Επιθυμητός βαθμός απόδοσης	0.000
Υπολογιζόμενος βαθμός απόδοσης	0.959
Κόστος (€)	0.00
Βοηθητικά συστήματα	
Εγκατεστημένη ισχύς βοηθητικών συστημάτων (kW)	0.380

Σχήμα 5.24 Εισαγωγή συμπληρωματικών στοιχείων για σύστημα κλιματισμού

5.9.2 Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης

Για την κάλυψη των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης θα εγκατασταθεί θερμαντήρας αποθήκευσης, χωρητικότητας 150 λίτρων, με εναλλάκτη τροφοδοτούμενο με θερμική ενέργεια από την αντλία θερμότητας της εγκατάστασης θέρμανσης χώρων. Στη συνέχεια, συμπληρώνονται τα στοιχεία που απεικονίζονται στο σχήμα 5.25 και γίνονται οι αυτόματοι υπολογισμοί του προγράμματος (στοιχεία με κόκκινο χρώμα).

Αριθμός υπνοδωματίων για υπολογισμό ZNX	3
Υπολογιζόμενη χωρητικότητα θερμαντήρα (lt)	45.01
Χωρητικότητα θερμαντήρα (lt)	150.00
Επιθυμητή ισχύς θερμαντήρων (kW)	0.00
Υπολογιζόμενη ισχύς θερμαντήρων (kW)	1.43
Επιθυμητή κατανάλωση ZNX (m ³ /έτος)	0.00
Μέση κατανάλωση ZNX (m ³ /έτος)	82.14
Ύπαρξη συστήματος ZNX	ΝΑΙ
Στοιχεία θερμαντικών μονάδων	Είναι συμπληρωμένο
Μήκος δικτύου διανομής	Μικρό
Επιθυμητός βαθμός απόδοσης συστήματος διανομής	0.00
Βαθμός απόδοσης συστήματος διανομής	1.00
Επιθυμητός βαθμός απόδοσης συστήματος αποθήκευσης	0.00
Βαθμός απόδοσης συστήματος αποθήκευσης	0.93

Σχήμα 5.25 Εισαγωγή στοιχείων για σύστημα ZNX

Επιπρόσθετα, στο σύστημα θα παρέχεται υποβοήθηση από σύστημα ηλιακών συλλεκτών επιλεκτικού τύπου. Στην καρτέλα «Ηλιακός συλλέκτης δίνονται τα χαρακτηριστικά του ηλιακού συλλέκτη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (σχήμα 5.26). Αξίζει να αναφερθεί ότι μέσω δοκιμών προκύπτει απαιτούμενη επιφάνεια συλλέκτη ίση με 3 m², ώστε το ποσό κάλυψης των αναγκών του κτηρίου για ZNX από τον συλλέκτη

να ξεπερνά το 60 %. Το όριο αυτό είναι το ελάχιστο που θέτει ο Κανονισμός για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης από ηλιακούς συλλέκτες, ωστόσο στην περίπτωση που για την παραγωγή ZNX χρησιμοποιείται αντλία θερμότητας υψηλής απόδοσης αυτό δεν είναι αναγκαίο. Ο ηλιακός συλλέκτης τοποθετείται με νότιο προσανατολισμό, δηλαδή 180 μοίρες για μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ η κλίση του επιλέγεται ίση με 45 μοίρες. Επιλέγοντας «Συντελεστής αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας για ZNX» ανοίγει ο πίνακας 5.20, στον οποίο γίνεται επιλογή του συντελεστή αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας για ZNX ανάλογα με τον τύπο του ηλιακού συλλέκτη, την γωνία κλίσης και την τοποθεσία. Αποδεικνύεται λοιπόν πως η βέλτιστη τοποθέτηση ηλιακού συλλέκτη για ZNX στην Αθήνα είναι ίση με 45 μοίρες, ενώ σε αυτή την περίπτωση ο συντελεστής αξιοποίησης προκύπτει ίσος με 0.369.

Ηλιακός Συλλέκτης	
Επιφάνεια συλλέκτη (m ²)	3.00
Μήκος συλλέκτη (m)	
Τύπος ηλιακών συλλεκτών	Επιλεκτικός
Συντελεστής αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας για θέρμανση	0.000
Συντελεστής αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας για ZNX	0.369
Προσανατολισμός (°)	180
Προσανατολισμός	N
Κλίση (°)	45.00
Συντελεστής διάρθρωσης σκίασης	1.00
Ποσοστό Ηλιακών Συλλεκτών που χρησιμοποιείται για θέρμανση (%)	0.00
Ελάχιστη απόσταση συλλεκτών (m)	0.00
Ποσοστό κάλυψης αναγκών κτηρίου για ZNX (%)	65.50
Κόστος (€/m ²)	0.00

Σχήμα 5.26: Εισαγωγή στοιχείων για ηλιακό συλλέκτη

Πίνακας 5.20: Συντελεστές αξιοποίησης για ZNX ανάλογα με την τοποθεσία, τη γωνία κλίσης και τον τύπο του ηλιακού συλλέκτη, (4M Ενεργειακά - Κτίριο Αναφοράς)

Πόλεις της Ελλάδας	Τύπος ηλιακού συλλέκτη								
	Απλός			Επιλεκτικός			Κενού		
	Γωνία κλίσης εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών (°)								
	15	45	65	15	45	65	15	45	65
Αλεξανδρούπολη	0.318	0.325	0.329	0.341	0.353	0.350	0.360	0.367	0.369
Αθήνα	0.338	0.344	0.351	0.359	0.369	0.369	0.374	0.381	0.383
Ηράκλειο	0.333	0.339	0.343	0.355	0.364	0.361	0.370	0.375	0.378
Καστοριά	0.307	0.314	0.316	0.333	0.344	0.340	0.356	0.363	0.363
Λάρισα	0.327	0.334	0.341	0.350	0.360	0.360	0.369	0.376	0.378
Λήμνος	0.319	0.327	0.331	0.343	0.354	0.352	0.360	0.368	0.370
Νάξος	0.332	0.340	0.344	0.355	0.365	0.363	0.372	0.378	0.381
Πάτρα	0.335	0.342	0.348	0.357	0.366	0.366	0.373	0.381	0.382
Θεσσαλονίκη	0.325	0.332	0.337	0.348	0.358	0.358	0.368	0.375	0.376
Τρίπολη	0.317	0.324	0.327	0.340	0.349	0.347	0.363	0.369	0.370
Μέσος όρος	0.325	0.332	0.337	0.348	0.358	0.357	0.366	0.373	0.375

5.10 Ενεργειακή κατάταξη κατοικίας

Η ενεργειακή μελέτη μίας κατοικίας πραγματοποιείται με τη μέθοδο του κτηρίου αναφοράς. Το κτήριο αναφοράς είναι ένα θεωρητικό κτήριο, το οποίο έχει ορισμένα χαρακτηριστικά ίδια με το υπό μελέτη κτήριο και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του είναι δεδομένα και γνωστά με βάση τις τεχνικές οδηγίες. Τα χαρακτηριστικά τα οποία είναι ακριβώς ίδια με το κτήριο μελέτης είναι η θέση, το σχήμα, ο προσανατολισμός, η χρήση και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας. Όλα τα άλλα στοιχεία του κτηρίου αναφοράς θεωρούνται προκαθορισμένα και είναι αυτά που αφορούν τις σκιάσεις, τα χαρακτηριστικά των εξωτερικών δομικών στοιχείων, αλλά και των Η/Μ συστημάτων που προορίζονται για κάθε χρήση.

Για την ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου πρέπει να βρεθεί πρώτα η κατανάλωση ενέργειας του υπό μελέτη κτηρίου και στη συνέχεια να υπολογιστεί σε τι ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας του κτηρίου αναφοράς αντιστοιχεί. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται από το πρόγραμμα «Ενεργειακά – Κτήριο Αναφοράς» με χρήση της μηχανή του ΤΕΕ, δηλαδή το λογισμικό ΤΕΕ – ΚΕΝΑΚ. Το λογισμικό αυτό αναπτύχθηκε ώστε να γίνει εφαρμογή των απαραίτητων αλγορίθμων για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων στην Ελλάδα και βασίζεται στη μεθοδολογία Ευρωπαϊκών προτύπων καθώς και στις Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η κατανάλωση ενέργειας που υπολογίζεται αφορά σε θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό και φωτισμό (για κτήρια εκτός κατοικιών). Στο σχήμα 5.27 φαίνονται όλες οι βαθμίδες ενεργειακής κατάταξης με τη μέθοδο του κτηρίου αναφοράς. Ως R_R θεωρείται η συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου αναφοράς, ενώ EP είναι η συνολική ετήσια κατανάλωση του εξεταζόμενου κτηρίου. Αξίζει να αναφερθεί ότι η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου αναφοράς αντιστοιχεί στο άνω όριο της ενεργειακής κλάσης Β.

$EP \leq 0,33 R_R$	A+								
$0,33 R_R < EP \leq 0,5 R_R$	A								
$0,50 R_R < EP \leq 0,75 R_R$	B+								
$0,75 R_R < EP \leq 1,00 R_R$	B								
$1,00 R_R < EP \leq 1,41 R_R$	Γ								
$1,41 R_R < EP \leq 1,82 R_R$	Δ								
$1,82 R_R < EP \leq 2,27 R_R$	E								
$2,27 R_R < EP \leq 2,73 R_R$	Z								
$2,73 R_R < EP$	H								

Σχήμα 5.27: Βαθμίδες ενεργειακών κλάσεων κτηρίων (Ενεργειακά – Κτήριο Αναφοράς, 4Μ)

Τα απαιτούμενα φορτία για θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ΖΝΧ που προκύπτουν από το υπολογιστικό πρόγραμμα απεικονίζονται στον πίνακα 5.21. Συγκεκριμένα, τα απαιτούμενα φορτία για κάθε λειτουργία παρουσιάζονται ανά μήνα αλλά και συνολικά για

όλη τη διάρκεια του έτους. Παρατηρείται πως τα φορτία για θέρμανση έχουν μηδενική τιμή την περίοδο ψύξης και, αντίστροφα, οι τιμές για την ψύξη έχουν μηδενική τιμή την περίοδο θέρμανσης.

Με τα συστήματα που τοποθετούνται στην κατοικία υπολογίζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας τελικής χρήσης της κατοικίας για θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ίση με 17.4 kWh/m² και αφορά αποκλειστικά τον ηλεκτρισμό. Στον πίνακα 5.22 δίνεται η τελική κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση.

Τον σημαντικότερο ρόλο σε μία ενεργειακή μελέτη αποτελεί ο υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνεται για την λειτουργία της κατοικίας, καθώς και οι ρύποι που εκλύονται για την παραγωγή της. Στον πίνακα 5.23 απεικονίζεται η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση, τόσο για το κτήριο αναφοράς, όσο και για το εξεταζόμενο κτήριο. Η πρωτογενής ενέργεια αφορά την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας τελικής χρήσης. Ανάλογα με το καύσιμο στις ΤΟΤΕΕ δίνεται ο συντελεστής μετατροπής της ενέργειας τελικής χρήσης σε πρωτογενή ενέργεια, όπου στην περίπτωση του ηλεκτρισμού είναι ίσος με 2.9. Προκύπτει, λοιπόν, ότι η συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για τη λειτουργία του εξεταζόμενου κτηρίου σε διάστημα ενός έτους ανέρχεται σε 50.4 kWh/m², ενώ του κτηρίου αναφοράς σε 81.6 kWh/m². Υπολογίζοντας το πηλίκο των 2 καταναλώσεων εξάγεται το συμπέρασμα ότι η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας της υπό μελέτη κατοικίας αντιστοιχεί σε ποσοστό 61.8 % της κατανάλωσης του κτηρίου αναφοράς, οπότε η κατοικία κατατάσσεται στην ενεργειακή κλάση B+.

Τέλος, υπολογίζεται η κατανάλωση αερίων ρύπων (CO₂) για την κατοικία. Για την περίπτωση της ηλεκτρικής ενέργειας οι εκλύόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας είναι ίσοι με 0.989 (kg·CO₂)/kWh και συνεπώς η κατανάλωση αερίων ρύπων υπολογίζεται ίση με 17.2 kg/έτος/m². Αυτή αφορά τους αέριους ρύπους, οι οποίοι εκλύονται κατά τη διαδικασία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτεί το εξεταζόμενο κτήριο για όλες τις χρήσεις που αναφέρθηκαν.

Πίνακας 5.21: Απαιτούμενα φορτία θέρμανσης/ψύξης και Z.N.X.(kWh/m²)

Μήνες	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ	Σύνολο
Θέρμανση	9.19	7.70	5.95	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	6.86	32.77
Ψύξη	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43	7.56	12.18	12.02	2.88	0.00	0.00	0.00	36.07
Z.N.X.	0.33	0.27	0.25	0.15	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.22	0.31	1.71

Πίνακας 5.22: Κατανάλωση ενέργειας ανά τελική χρήση (kWh/m²)

Μήνες	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ	Σύνολο
Θέρμανση	1.45	1.22	0.94	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	1.08	5.18
Ψύξη	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	1.25	2.01	1.98	0.47	0.00	0.00	0.00	5.95
Z.N.X.	0.33	0.27	0.25	0.15	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.22	0.31	1.71
Ηλιακή ενέργεια για Z.N.X.	0.81	0.84	1.06	1.18	1.34	1.30	1.19	1.18	1.28	1.13	0.89	0.77	12.97
Βοηθητικά συστήματα	0.70	0.63	0.70	0.34	0.10	0.20	0.21	0.21	0.10	0.00	0.67	0.70	4.55

Σύνολο	2.48	2.12	1.88	0.61	0.41	1.45	2.22	2.19	0.58	0.11	1.25	2.09	17.39
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------------

Πίνακας 5.23: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση για το εξεταζόμενο κτήριο και το κτήριο αναφοράς (kWh/m²)

Τελική χρήση	Κτήριο αναφοράς	Εξεταζόμενο κτήριο (Μονοκατοικία)
Θέρμανση	28.8	25.8
Ψύξη	31.0	19.6
ZNX	21.8	5.0
Σύνολο	81.6	50.4

5.11 Βελτιώσεις

Με σκοπό την κατάταξη της κατοικίας στην κατηγορία nZEB εξετάζονται 2 σενάρια. Το πρώτο σενάριο αφορά τη βελτίωση της θερμομονωτικής ικανότητας του κελύφους, ενώ το δεύτερο αφορά την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών απαιτήσεων.

5.11.1 Σενάριο 1: Βελτίωση θερμομονωτικής ικανότητας κελύφους

Στην μελέτη του πρώτου σεναρίου έγιναν δύο βασικές αλλαγές στα δομικά στοιχεία του κελύφους. Η πρώτη αλλαγή αφορά στην αντικατάσταση των πλαισίων των κουφωμάτων με πλαίσια με μικρότερο συντελεστή θερμοπερατότητας U_f , ενώ η δεύτερη αλλαγή αφορά στην αντικατάσταση του μονωτικού υλικού με αντίστοιχο μονωτικό μικρότερου συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Συγκεκριμένα, έγινε τοποθέτηση θερμομονωτικού μεταλλικού πλαισίου με συντελεστή U_f ίσο με $2.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ και τοποθέτηση γραφιτούχας διογκωμένης πολυστερίνης με συντελεστή λ ίσο με $0.031 \text{ W}/(\text{mK})$.

Για το σενάριο αυτό προέκυψε συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτηρίου ίση με $49.5 \text{ kWh}/\text{m}^2$, δηλαδή παρατηρήθηκε ιδιαίτερα μικρή μείωση σε ποσοστό 1.8 %. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα προέκυψαν ίσες με $16.9 \text{ kg}/\text{έτος}/\text{m}^2$ (μείωση 1.7 %), ενώ επίσης αναφέρεται πως το κτήριο δεν κατάφερε να ανέβει ενεργειακή κατηγορία με τις βελτιώσεις αυτές.

5.11.2 Σενάριο 2: Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην κατοικία για την κάλυψη ενός ποσοστού των αναγκών σε θέρμανση και ψύξη. Στην καρτέλα «Φωτοβολταϊκά» δίνονται τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων που αφορούν την επιφάνεια, την ισχύ (δε λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς), την απόδοση, τον προσανατολισμό, την κλίση και την ενδεχόμενη σκίαση. Τα φωτοβολταϊκά τοποθετούνται με γωνία 30 μοιρών και νότιο προσανατολισμό. Η τοποθέτησή τους γίνεται σε σημείο τέτοιο ώστε να μη σκιάζονται από γειτονικά κτήρια και συνεπώς ο συντελεστής διόρθωσης σκίασης είναι ίσος με 1. Ο βαθμός απόδοσης επιλέγεται ως 0.15 για πολυκρυσταλλικά πάνελ (με τη βοήθεια του πίνακα 5.24).

Είναι σαφές λοιπόν πως η επιλογή της επιφάνειας των πάνελ θα κρίνει τελικά την ενεργειακή συνεισφορά που αυτά θα έχουν στην κατοικία. Με διάφορες δοκιμές για την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών ανά 1 m² προκύπτουν για την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και τις εκπομπές CO₂ οι τιμές του πίνακα 5.25. Φαίνεται, λοιπόν, πως απαιτείται επιφάνεια φωτοβολταϊκών με τα παραπάνω χαρακτηριστικά ίση με περίπου 2 m² για να ενταχθεί η κατοικία στην ενεργειακή κλάση A, ενώ για να ενταχθεί στην ενεργειακή κλάση A+ απαιτούνται περίπου 5 m². Τέλος, παρόλο που δεν ήταν αναγκαίο στην περίπτωση της εξεταζόμενης κατοικίας, εξετάστηκε το ενδεχόμενο της αύξησης του συντελεστή δόμησης κατά 10%, το οποίο επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση 8 m² φωτοβολταϊκών, για τα οποία προκύπτει ενεργειακή κλάση A+ και ταυτόχρονα κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας μικρότερη από 10 kWh/έτος/m².

Πίνακας 5.24: Ενδεικτική αποδόση Φ/Β πάνελ, (4M Ενεργειακά - Κτίριο Αναφοράς)

Τύπος Φ/Β πάνελ	Ενδεικτική Απόδοση	Συντελεστής μείωσης	
		Λόγω παλαιότητας	Λόγω σύνδεσης με βοηθητικά συστήματα
Μονοκρυσταλλικά	<u>0.12-0.19</u>	1% για κάθε έτος λειτουργίας	5%
Πολυκρυσταλλικά	<u>0.12-0.19</u>		
Λεπτού υμένα (thin film)		1,1 % για κάθε έτος λειτουργίας	5%
άμορφα a-Si	<u>0.04-0.07</u>		
μικρομορφικά μ-Si	<u>0.08-0.085</u>		
Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός – πρόσμειξη γαλλίου CIS-CIGS	<u>0.06-0.11</u>		
Τελαριούχο κάδμιο CdTe	<u>0.06-0.12</u>		
Τριπλής επαφής (triple junction)	<u>0.23-0.24</u>	1% για κάθε έτος λειτουργίας	5%

Πίνακας 5.25: Ενεργειακή κατάταξη κατοικίας μετά τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων

Επιφάνεια φωτοβολταϊκών (m ²)	Συνολική ενέργεια τελικής χρήσης (kWh/m ² /έτος)	Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας εξεταζόμενου κτηρίου (kWh/m ² /έτος)	Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας αναφοράς (kWh/m ² /έτος)	Ποσοστό πρωτογενούς κατανάλωσης εξεταζόμενου κτηρίου προς Κ.Α. (%)	Εκπομπή CO ₂ (kg/έτος/m ²)	Ενεργειακή κλάση
0	17.4	50.4	81.6	61.8	17.2	B+
1	15.6	45.2	81.6	55.4	15.4	B+
2	13.8	39.9	81.6	48.9	13.6	A
3	11.9	34.6	81.6	42.4	11.8	A
4	10.1	29.4	81.6	36.0	10.0	A
5	8.3	24.1	81.6	29.5	8.2	A+

6 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε ενεργειακή μελέτη μίας νέας κατοικίας με βάση τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων. Η κατοικία έχει φέρων οργανισμό από χάλυβα (και σύμμικτη πλάκα), σε αντίθεση με τον συνηθισμένο τρόπο κατασκευής κατοικιών στην Ελλάδα, ο οποίος αφορά κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το πρόγραμμα της 4Μ, όπως και οι βασικές οδηγίες του ΚΕΝΑΚ, είναι βασισμένα στη μελέτη κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, ωστόσο με διάφορες παραδοχές στα δομικά στοιχεία, όπως είναι τα δοκάρια και τα υποστυλώματα, έγινε προσομείωση του πραγματικού κτηρίου και έτσι εκτιμάται ότι δε θα υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στους τελικούς υπολογισμούς της ενεργειακής κατανάλωσης.

Ένα ακόμη συμπέρασμα που εξάγεται ύστερα από την εργασία αυτή, είναι πως ο ΚΕΝΑΚ δε λαμβάνει υπόψη του ορισμένους παράγοντες, οι οποίοι στην πραγματικότητα μπορεί να οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα ενεργειακής ανάλυσης. Αυτοί για παράδειγμα είναι τα εσωτερικά σκίαστρα και η εσωτερική τοιχοποιία. Και τα δύο μπορούν να δρουν ευμενώς όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση της κατοικίας. Στην πρώτη περίπτωση, τα εσωτερικά σκίαστρα (πχ κουρτίνες) εμποδίζουν στην ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει στο κτήριο το καλοκαίρι, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, η εσωτερική τοιχοποιία συμβάλλει στην αύξηση της θερμικής μάζας του κτηρίου και στην αποθήκευση της θερμότητας που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία ή από τεχνητά μέσα. Τέλος, ο ΚΕΝΑΚ δε λαμβάνει υπόψη τα φορτία για φωτισμό (σε κατοικίες), μαγείρεμα και λειτουργία συσκευών, κάτι το οποίο μπορεί να δημιουργεί αρκετά μεγάλες αποκλίσεις στην τελική κατανάλωση ενέργειας, καθώς σύμφωνα με την ενότητα 1 στην Ελλάδα οι 3 αυτές χρήσεις αποτελούν αθροιστικά σχεδόν το 30 % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (αφορά το έτος 2012 – 2013).

Στη συνέχεια, παρατηρήθηκε πως το πάχος και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του μονωτικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε έπαιξε καθοριστικό ρόλο τόσο στην ικανοποίηση των ελέγχων θερμομονωτικής επάρκειας, όσο και στο τελικό αποτέλεσμα της ενεργειακής κατανάλωσης της κατοικίας. Ευνοϊκό για τα αποτελέσματα ήταν και το γεγονός ότι η μόνωση τοποθετήθηκε εξωτερικά και έτσι εξαλείφθηκαν ορισμένες θερμογέφυρες.

Όσον αφορά την συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας της κατοικίας, παρατηρείται ότι είναι πολύ μεγαλύτερη από την συνολική κατανάλωση ενέργειας τελικής χρήσης. Αυτό συμβαίνει διότι όλα τα συστήματα της κατοικίας λειτουργούν με ηλεκτρισμό, ο οποίος έχει πολύ μεγάλο συντελεστή μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια (ίσος με 2.9). Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την ποσότητα πρωτογενούς ενέργειας που είναι απαραίτητη για την παραγωγή μίας μονάδας ενέργειας τελικής χρήσης. Ως σύγκριση αναφέρεται πως ο αντίστοιχος συντελεστής για το πετρέλαιο θέρμανσης είναι ίσος με 1.1, ενώ για το φυσικό αέριο 1.05.

Για την ενεργειακή κατάταξη της κατοικίας έγινε μελέτη ορισμένων διαφορετικών σεναρίων. Παρατηρείται πως η ενεργειακή κλάση Α (η οποία σύντομα θα είναι απαραίτητη για κάθε νέα κατοικία) είναι δύσκολο να επιτευχθεί χωρίς αυτοπαραγωγή στην κατοικία. Στην εξεταζόμενη κατοικία, παρόλο που έγινε χρήση αντλίας θερμότητας υψηλής απόδοσης (θεωρείται ΑΠΕ) και τοποθετήθηκε μεγάλο πάχος μόνωσης με μικρό συντελεστή αγωγιμότητας λ, δεν ήταν εφικτό να επιτευχθεί ενεργειακή κλάση Α. Για τον λόγο αυτό φάνηκε πως είναι απαραίτητη η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Συγκεκριμένα, απαιτήθηκαν 2 m² για να φτάσει η κατοικία την ενεργειακή κλάση Α, ενώ για να φτάσει την ενεργειακή κλάση Α+ δε χρειάστηκαν μεγάλες μετατροπές, παρά μόνο να αυξηθεί το εμβαδό των φωτοβολταϊκών συστημάτων από 2 m² σε 5 m².

Παρατηρείται πως για να επιτευχθεί μία κατοικία σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας προκύπτει σε κάθε περίπτωση αυξημένο αρχικό κόστος κατασκευής, το οποίο σχετίζεται με το μεγάλο πάχος μόνωσης που απαιτείται και με τα συστήματα που λειτουργούν με ΑΠΕ. Φαίνεται, λοιπόν, λογική η παράταση που έλαβε η προθεσμία στην Ελλάδα λόγω της οικονομικής κατάστασης και της πανδημίας του COVID-19.

7 Βιβλιογραφία

1. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2004). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος ΙΙ». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
2. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2005α). «Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα, 2η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
3. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., (2005β). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος Ι». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
4. Βάγιας Ι. (2010). «Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα, 3η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
5. Βικιπαίδεια, ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια - Λήμμα Αντλία θερμότητας. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: https://el.wikipedia.org/wiki/Αντλία_θερμότητας
6. ΚΑΠΕ - Energy HUB for All - Ενεργειακή Απόδοση Κτηρίων. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.cres.gr/energyhubforall/2.4.html>
7. ΚΑΠΕ – Energy HUB for All - Κτήρια nZEB. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.cres.gr/energyhubforall/3.2.html>
8. Κλειώ Αξαρχή «Ενεργειακός σχεδιασμός και ενεργειακή απόδοση κτιρίων – γενικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού»
9. Κυριακή Γεμέλου «Σχεδιασμός Ενεργειακά Αποδοτικού Κτιρίου Γραφείων», Αθήνα 2019
10. Παναγιώτης Κούβαρης «Ενεργειακός Σχεδιασμός Οικίας με Χρήση λογισμικού Revit», Χανιά 2019
11. Τ.Ε.Ε. «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017: Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης», Αθήνα 2017
12. Τ.Ε.Ε. «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017: Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων», Αθήνα 2017
13. Τ.Ε.Ε. «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2017: Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών», Αθήνα 2017
14. Τ.Ε.Ε. «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 4/2017: Οδηγίες και έντυπα εκθέσεων ενεργειακών επιθεωρήσεων κτηρίων, συστημάτων θέρμανσης και συστημάτων κλιματισμού»
15. Τ.Ε.Ε. «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20702-5/2010: Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων», Αθήνα 2010
16. Χιωτάκης Σταύρος (2017) «Ενεργειακή Μελέτη κτηρίου (κατοικίας) στα Χανιά Κρήτης με βάση τον Κανονισμό Ενεργειακής Αποδοτικότητας Κτηρίων (ΚΕΝΑΚ) και με την χρήση εξειδικευμένων λογισμικών πακέτων. Συγκρίσεις, συμπεράσματα»
17. ΥΠΕΝ, «Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτιριακού αποθέματος», Αθήνα 2014
18. Egreen - Συστήματα Υποδομής Φυτεμένων Δωματίων. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <https://www.egreen.gr/system-build-ups/extensive-build-ups.html>
19. EN1990, Eurocode 0: «Basis of structural design», CEN, 2002
20. EN1991-1-1, Eurocode 1: «Actions on structures, Part 1-1: General actions», CEN, 2004
21. EN1991-1-3, Eurocode 1: «Actions on structures, Part 1-3: Snow loads», CEN, 2004
22. EN1991-1-4, Eurocode 1: «Actions on structures, Part 1-4: Wind actions», CEN, 2004
23. EN1993-1-1, Eurocode 3: «Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings», CEN, 2005
24. EN1998-1, Eurocode 8: «Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings», CEN, 2004

25. European Commission - Energy, Climate change, Environment - Climate Action - EU Action. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/>
26. Nasa - Global climate change - Facts. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <https://climate.nasa.gov/evidence/>
27. 4green.gr
28. <https://www.alumil.com>
29. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ee_antlies_thermotitas.htm
30. <http://www.knauf.gr>
31. <http://www.monachos.gr/forum/content.php/483-iliakoi-thermosifones>
32. <https://www.oleng.eu/anemogenitria-times-leitourgia/>
33. <https://www.solaire.gr>
34. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ee_antlies_thermotitas.htm

Παράρτημα Α. Συντελεστές σκίασης

Πίνακας Α1: Συντελεστές σκίασης από ορίζοντα Fhor (σύμφωνα με Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 1/2017)

Γωνία α	Περίοδος	Προσανατολισμός επιφάνειας				
		N	NA και ΝΔ	A και Δ	ΒΑ και ΒΔ	B
0°	θέρμανσης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	ψύξης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5°	θέρμανσης	0,98	0,97	0,96	0,98	1,00
	ψύξης	1,00	0,98	0,97	0,96	0,96
10°	θέρμανσης	0,96	0,95	0,93	0,95	1,00
	ψύξης	1,00	0,97	0,94	0,92	0,92
15°	θέρμανσης	0,91	0,89	0,86	0,92	1,00
	ψύξης	1,00	0,94	0,90	0,88	0,90
20°	θέρμανσης	0,86	0,84	0,80	0,89	1,00
	ψύξης	1,00	0,92	0,86	0,84	0,87
25°	θέρμανσης	0,73	0,73	0,72	0,87	1,00
	ψύξης	1,00	0,90	0,83	0,82	0,87
30°	θέρμανσης	0,61	0,62	0,65	0,85	1,00
	ψύξης	1,00	0,89	0,81	0,81	0,86
35°	θέρμανσης	0,53	0,54	0,61	0,84	1,00
	ψύξης	0,99	0,85	0,77	0,77	0,86
40°	θέρμανσης	0,44	0,47	0,57	0,83	1,00
	ψύξης	0,98	0,82	0,72	0,73	0,85
45°	θέρμανσης	0,40	0,44	0,55	0,82	1,00
	ψύξης	0,95	0,78	0,68	0,70	0,85
50°	θέρμανσης	0,36	0,40	0,53	0,81	1,00
	ψύξης	0,93	0,74	0,63	0,67	0,85
55°	θέρμανσης	0,34	0,38	0,52	0,81	1,00
	ψύξης	0,89	0,70	0,60	0,65	0,85
60°	θέρμανσης	0,32	0,37	0,51	0,81	1,00
	ψύξης	0,86	0,67	0,57	0,63	0,85
65°	θέρμανσης	0,32	0,36	0,50	0,81	1,00
	ψύξης	0,79	0,63	0,55	0,63	0,85
≥70°	θέρμανσης	0,31	0,36	0,50	0,81	1,00
	ψύξης	0,73	0,58	0,52	0,62	0,85

Πίνακας Α2: Συντελεστής σκίασης από οριζόντιους προβόλους Φον (σύμφωνα με Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 1/2017)

Γωνία β	Περίοδος	Προσανατολισμός επιφάνειας				
		N	NA και ΝΔ	A και Δ	ΒΑ και ΒΔ	B
0°	θέρμανσης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	ψύξης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5°	θέρμανσης	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96
	ψύξης	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97
10°	θέρμανσης	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92
	ψύξης	0,89	0,91	0,93	0,93	0,94
15°	θέρμανσης	0,91	0,91	0,91	0,90	0,89
	ψύξης	0,84	0,86	0,89	0,90	0,90
20°	θέρμανσης	0,87	0,88	0,88	0,86	0,85
	ψύξης	0,78	0,82	0,85	0,87	0,87
25°	θέρμανσης	0,84	0,84	0,85	0,83	0,81
	ψύξης	0,73	0,77	0,81	0,83	0,84
30°	θέρμανσης	0,80	0,81	0,82	0,80	0,77
	ψύξης	0,67	0,72	0,77	0,80	0,80
35°	θέρμανσης	0,76	0,77	0,78	0,76	0,74
	ψύξης	0,61	0,67	0,72	0,76	0,77
40°	θέρμανσης	0,72	0,73	0,75	0,73	0,70
	ψύξης	0,56	0,62	0,68	0,72	0,74
45°	θέρμανσης	0,68	0,69	0,70	0,69	0,66
	ψύξης	0,51	0,57	0,63	0,68	0,70
50°	θέρμανσης	0,63	0,64	0,66	0,65	0,62
	ψύξης	0,46	0,52	0,58	0,64	0,67
55°	θέρμανσης	0,57	0,58	0,62	0,61	0,59
	ψύξης	0,42	0,48	0,53	0,59	0,63
60°	θέρμανσης	0,50	0,52	0,57	0,57	0,55
	ψύξης	0,39	0,43	0,48	0,55	0,60
65°	θέρμανσης	0,42	0,45	0,50	0,53	0,51
	ψύξης	0,36	0,39	0,43	0,49	0,56
70°	θέρμανσης	0,34	0,37	0,44	0,48	0,47
	ψύξης	0,33	0,34	0,38	0,44	0,52
80°	θέρμανσης	0,17	0,21	0,29	0,38	0,40
	ψύξης	0,28	0,26	0,27	0,32	0,41
≥90°	θέρμανσης	0,10	0,12	0,17	0,27	0,33
	ψύξης	0,24	0,19	0,18	0,22	0,30

Πίνακας Α3: Συντελεστής σκίασης από πλευρικές προεξοχές Ffin, από αριστερή πλευρά (σύμφωνα με Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 1/2017)

Γωνία γ	Περίοδος	Προσανατολισμός επιφάνειας							
		N	ΝΔ	Δ	ΒΔ	Β	ΒΑ	Α	ΝΑ
0°	θέρμανσης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	ψύξης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	θέρμανσης	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	0,95	0,95	0,97
	ψύξης	0,97	0,97	1,00	1,00	0,97	0,96	0,99	0,99
20°	θέρμανσης	0,95	0,99	1,00	1,00	1,00	0,92	0,90	0,93
	ψύξης	0,95	0,94	0,99	1,00	0,95	0,93	0,98	0,99
30°	θέρμανσης	0,92	0,98	1,00	1,00	1,00	0,89	0,86	0,90
	ψύξης	0,93	0,90	0,99	1,00	0,93	0,89	0,96	0,98
40°	θέρμανσης	0,89	0,97	1,00	1,00	1,00	0,86	0,80	0,87
	ψύξης	0,91	0,86	0,98	1,00	0,92	0,84	0,95	0,97
50°	θέρμανσης	0,85	0,95	1,00	1,00	1,00	0,84	0,75	0,83
	ψύξης	0,89	0,81	0,97	1,00	0,92	0,79	0,93	0,96
60°	θέρμανσης	0,81	0,93	1,00	1,00	1,00	0,82	0,69	0,79
	ψύξης	0,88	0,76	0,96	1,00	0,92	0,73	0,91	0,96
≥70°	θέρμανσης	0,76	0,90	1,00	1,00	1,00	0,81	0,62	0,73
	ψύξης	0,86	0,71	0,94	1,00	0,92	0,66	0,88	0,95

Πίνακας Α3: Συντελεστής σκίασης από πλευρικές προεξοχές Ffin, από δεξιά πλευρά (σύμφωνα με Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 1/2017)

Γωνία γ	Περίοδος	Προσανατολισμός επιφάνειας							
		N	ΝΔ	Δ	ΒΔ	Β	ΒΑ	Α	ΝΑ
0°	θέρμανσης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	ψύξης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	θέρμανσης	0,97	0,97	0,95	0,95	1,00	1,00	1,00	0,99
	ψύξης	0,97	0,99	0,99	0,96	0,97	1,00	1,00	0,97
20°	θέρμανσης	0,95	0,93	0,90	0,92	1,00	1,00	1,00	0,99
	ψύξης	0,95	0,99	0,98	0,93	0,95	1,00	0,99	0,94
30°	θέρμανσης	0,92	0,90	0,86	0,89	1,00	1,00	1,00	0,98
	ψύξης	0,93	0,98	0,96	0,89	0,93	1,00	0,99	0,90
40°	θέρμανσης	0,89	0,87	0,80	0,86	1,00	1,00	1,00	0,97
	ψύξης	0,91	0,97	0,95	0,84	0,92	1,00	0,98	0,86
50°	θέρμανσης	0,85	0,83	0,75	0,84	1,00	1,00	1,00	0,95
	ψύξης	0,89	0,96	0,93	0,79	0,92	1,00	0,97	0,81
60°	θέρμανσης	0,81	0,79	0,69	0,82	1,00	1,00	1,00	0,93
	ψύξης	0,88	0,96	0,91	0,73	0,92	1,00	0,96	0,76
≥70°	θέρμανσης	0,76	0,73	0,62	0,81	1,00	1,00	1,00	0,90
	ψύξης	0,86	0,95	0,88	0,66	0,92	1,00	0,94	0,71