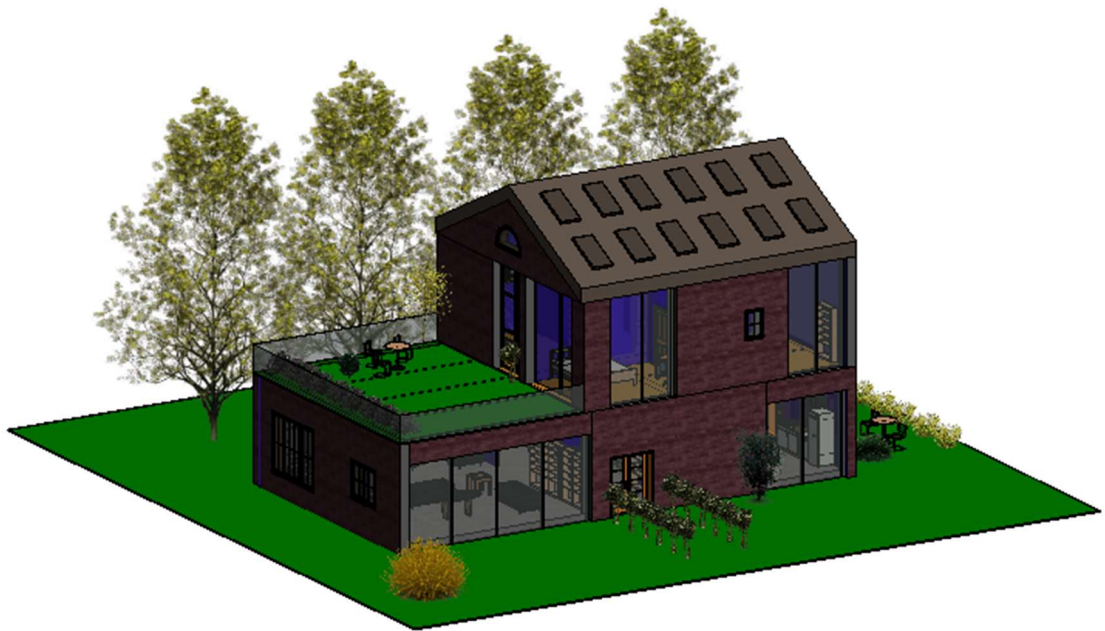




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

## Σχεδιασμός Βιοκλιματικής Κατοικίας



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΩΓΟΥΣΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Επιβλέπων: Παύλος Θανόπουλος

Αθήνα, Μάρτιος 2020  
ΕΜΚ ΔΕ 2020/8



Γωγούσου Αικατερίνη (2020).  
Σχεδιασμός Βιοκλιματικής Κατοικίας  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2020/8  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Gogousou Aikaterini (2020).  
Design of Bioclimatic House  
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2020/8  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

# Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	1
Abstract .....	3
Ευχαριστίες .....	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	5
1.1 Γενικά.....	5
1.1.1 Ιστορικά στοιχεία – Η ιστορία της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής .....	5
1.2 Ενεργειακά Δεδομένα στην Ευρώπη .....	7
1.2.1 Γενικά.....	7
1.2.2 Κατασκευαστικός – Κτιριακός τομέας.....	8
1.2.3 Ευρωπαϊκή πολιτική και στόχοι.....	9
1.3 Ενεργειακά Δεδομένα και Νομοθεσίες στην Ελλάδα.....	12
1.3.1 Γενικά.....	12
1.3.2 Βασικό Νομοθετικό Πλαίσιο .....	13
1.3.3 Κτιριακός Τομέας και Κατοικίες.....	15
1.3.4 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) και Ενεργειακή Πιστοποίηση Κτιρίων .....	19
1.3.4.1 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ).....	19
1.3.4.2 Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) .....	20
1.3.4.3 Περιβαλλοντική Πιστοποίηση LEED .....	22
1.3.5 Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ).....	22
1.3.6 Το Πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ’ Οίκον» .....	23
2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ .....	25
2.1 Γενικά.....	25
2.1.1 Βιοκλιματικές Αρχές.....	25
2.1.1.1 Προσανατολισμός Κτιρίου και Ανοιγμάτων.....	26
2.1.1.2 Κατάλληλο Σχήμα Κτιρίου και Εσωτερική Διαρρύθμιση .....	27
2.1.2 Κέλυφος .....	28
2.1.2.1 Υλικά Δόμησης – Χάλυβας.....	28
2.1.2.2 Μόνωση.....	29
2.1.2.3 Κουφώματα – Υαλοπίνακες και Υαλοπετάσματα .....	31
2.1.3 Στοιχεία του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού .....	33
2.1.3.1 Συστήματα Παθητικής Ηλιακής Θέρμανσης .....	33
2.1.3.2 Συστήματα Φυσικού Αερισμού- Δροσισμού .....	37
2.1.3.3 Συστήματα Φυσικού/ Τεχνητού Φωτισμού- Σκίασης.....	41
2.2 Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στα Κτίρια.....	43
2.2.1 Θερμικά Ηλιακά Συστήματα .....	44
2.2.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα .....	45
2.2.2.1 Υβριδικές Φ/Β Μονάδες (PV/T).....	46
2.2.2.2 Building Integrated Photovoltaic (BIPV).....	47
2.2.2.3 Sun Tracking Systems.....	48

2.2.2.4 Net Metering .....	48
2.2.3 Συμπαράγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ).....	49
2.2.4 Τηλεθέρμανση-Βιομάζα .....	49
2.2.5 Αιολική Ενέργεια.....	50
2.2.6 Γεωθερμία.....	51
2.2.7 Ολοκληρωμένο Σύστημα Κλιματισμού Variable Refrigerant Volume (VRV).....	53
2.2.8 Αντλίες Θερμότητας .....	54
3. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ.....	56
3.1 Γενικά Χαρακτηριστικά .....	56
3.1.1 Περιγραφή.....	56
3.1.2 Φέρων Οργανισμός.....	59
3.2 Υλικά.....	61
3.2.1 Δομικός Χάλυβας.....	61
3.2.2 Σκυρόδεμα .....	62
3.2.3 Χάλυβας Οπλισμού.....	62
3.2.4 Χαλυβδόφυλλο.....	62
3.2.5 Σύστημα Υαλοπετάσματος Υψηλής Ενεργειακής Απόδοσης .....	62
3.2.6 Υλικά Φυτεμένου Δώματος .....	62
3.3 Δράσεις Σχεδιασμού.....	63
3.3.1 Μόνιμες Δράσεις.....	63
3.3.2 Κινητά Φορτία .....	64
3.3.3 Δράσεις Χιονιού.....	65
3.3.3.1 Συντελεστής Μορφής Φορτίου Χιονιού .....	66
3.3.3.2 Τελικό Φορτίο Χιονιού .....	67
3.3.4 Δράσεις Ανέμου.....	68
3.3.4.1 Ύψος αναφοράς ze .....	68
3.3.4.2 Βασική Ταχύτητα Ανέμου.....	69
3.3.4.3 Υπολογισμός Πίεσης Ταχύτητας Αιχμής.....	69
3.3.4.4 Υπολογισμός Εξωτερικών Πιέσεων Κατακόρυφων Επιφανειών ...	71
3.3.4.5 Υπολογισμός Εσωτερικών Πιέσεων Κατακόρυφων Επιφανειών ...	74
3.3.4.6 Υπολογισμός Εξωτερικών Πιέσεων Στέγης.....	75
3.3.4.7 Υπολογισμός Εσωτερικών Πιέσεων Στέγης .....	79
3.3.5 Σεισμικές Δράσεις.....	80
3.4 Συνδυασμοί Δράσεων .....	83
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΟ ΣΤΑΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ .....	86
4.1 Διαστασιολόγηση Σύμμικτης Πλάκας .....	86
4.1.1 Φάση Κατασκευής .....	88
4.1.2 Φάση Λειτουργίας .....	89
4.2 Διατμητικοί Ήλοι .....	90
4.3 Διαστασιολόγηση Σύμμικτων Δοκών .....	91
4.3.1 Έλεγχος Τυπικής Δοκού Επίπεδης Στέγης .....	91

4.4 Διαστασιολόγηση Μελών .....	98
4.4.1 Κύριες Δοκοί κατά Χ (Δοκοί Πλαισίων Ροπής) .....	98
4.4.2 Κεφαλοδοκοί Ορόφου .....	100
4.4.3 Τεγίδες .....	101
4.4.4 Υποστλώματα .....	103
4.4.5 Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας .....	105
4.4.6 Συμπεράσματα .....	107
5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ .....	109
5.1 Γενικά.....	109
5.2 Έλεγχος Πλαισίων με Κεντρικούς Συνδέσμους Δυσκαμψίας (Σεισμός κατά Υ)	109
5.2.1 Περιορισμός Φαινομένων 2 <sup>ας</sup> τάξης .....	109
5.2.2 Έλεγχος Διαγώνιων Συνδέσμων Δυσκαμψίας.....	112
5.2.3 Περιορισμός Βλαβών.....	113
5.3 Έλεγχος Πλαισίων Ροπής (Σεισμός κατά Χ) .....	114
5.3.1 Περιορισμός Φαινομένων 2 <sup>ας</sup> τάξης .....	114
5.3.2 Περιορισμός Βλαβών.....	115
5.3.6 Συμπεράσματα .....	116
6. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ .....	117
6.1 Λογισμικά Ενεργειακής Προσομοίωσης & Επιλογή Προγραμμάτων .....	117
6.2 Ενεργειακή Προσομοίωση κτιρίου στο Revit.....	118
6.2.1 Γενικά.....	118
6.2.2 Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός Κτιρίου στο λογισμικό Revit .....	118
6.2.3 Καθορισμός Προσανατολισμού Κτιρίου-Γεωγραφικής Τοποθεσίας ..	120
6.2.4 Καθορισμός Ενεργειακών Παραμέτρων.....	121
6.3 Ενεργειακή Ανάλυση μέσω της πλατφόρμας Insight 360 .....	124
6.4 Σύγκριση Σεναρίων Ενεργειακής Αναβάθμισης.....	130
6.5 Ενεργειακό Κόστος .....	131
6.6 Συμπεράσματα Ενεργειακής Ανάλυσης.....	132
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	134
Βιβλιογραφία.....	135
Παράρτημα Α. Όψεις Κατοικίας-Εσωτερικοί Χώροι-Τροχιά Ηλίου.....	137







**Σχεδιασμός Βιοκλιματικής Κατοικίας**  
Γωγούσου Αικατερίνη (Επιβλέπων: Θανόπουλος Π.)

**Περίληψη**

Στη σημερινή εποχή η υπέρμετρη κατανάλωση ενέργειας σε συνδυασμό με την εξάντληση των φυσικών πόρων της γης έχουν οδηγήσει στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Η ποιότητα όμως του περιβάλλοντος επηρεάζει άμεσα την ποιότητα ζωής των ανθρώπων και είναι πλέον φανερό ότι το η φύση δεν μπορεί να είναι ένα παθητικό υπόβαθρο της ανθρώπινης δραστηριότητας. Κρίνεται λοιπόν αναγκαία η στροφή σε νέες μορφές ενέργειας πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Στον κτιριακό τομέα μεγάλης σημασίας είναι η αλλαγή τόσο των δομών όσο και των λειτουργιών των κατασκευών αλλά και των χρηστών τους για να αναπτύξουν ένα αντίστοιχο ενεργειακό προφίλ. Μια ισχυρή ώθηση στην ανάπτυξης του σύγχρονου σχεδιασμού αποτελεί η εμφάνιση του ειδικού τύπου κτιρίου που ονομάζεται "ενεργειακά αποδοτικό κτίριο" και έρχεται να δημιουργήσει μια ισορροπημένη σχέση μεταξύ του τεχνογενούς πολιτισμού και της φύσης. Στην παρούσα διπλωματική, αφού αρχικά αναλυθούν οι αρχές και πρακτικές ενός βιοκλιματικού σχεδιασμού, πραγματοποιείται η διαστασιολόγηση μιας Νέας Μεταλλικής Κατοικίας, καθώς και η εκτίμηση της ενεργειακής της συμπεριφοράς. Πιο αναλυτικά:

Στο *1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο* γίνεται μια αναφορά στην ιστορία της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και μια παρουσίαση του ενεργειακού ζητήματος στη σημερινή εποχή, με έμφαση στον κτιριακό τομέα.

Στο *2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο* γίνεται ανάλυση των βασικών αρχών του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού, με στόχο τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων των κτιρίων και παρουσιάζονται μέθοδοι αύξησης της παραγόμενης ενέργειάς τους με τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Στο *3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο* γίνεται τεχνική περιγραφή της Κατοικίας, αναλύοντας τα στοιχεία του κελύφους του και υπολογίζονται τα φορτία και οι συνδυασμοί φόρτισης της κατασκευής.

Στο *4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο* πραγματοποιείται η προσομοίωση της κατασκευής στο λογισμικό Robot Structural Analysis και στη συνέχεια γίνεται η ανάλυση και διαστασιολόγησή της υπό τους στατικούς συνδυασμούς φόρτισης.

Στο *5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο* γίνεται η ανάλυση και διαστασιολόγησή της κατασκευής υπό τους σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης.

Στο *6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο* πραγματοποιείται η ενεργειακή ανάλυση μέσω της πλατφόρμας Insight του σχεδιαστικού προγράμματος Revit.

Στο *7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο* παρουσιάζεται συνοπτικά η εργασία και εξάγονται και τελικά συμπεράσματα.



## **Design of Bioclimatic House**

Gogousou Aikaterini (supervised by Thanopoulos P.)

### **Abstract**

In today's era, excessive energy consumption combined with the depletion of the earth's natural resources have led to environmental degradation. But the quality of the environment directly affects people's quality of life and it is now clear that nature cannot be a passive background to human activity. It is therefore necessary to shift to new forms of energy more environmentally friendly. In the building sector, it is important to change both the structures and functions of structures and their users to develop a corresponding energy profile. A strong impetus for the development of modern design is the emergence of a special type of building called "energy efficient building" and which comes to create a balanced relationship between techno-culture and nature. In this thesis, after first analyzing the principles and practices of bioclimatic design, the design of a New Steel House is carried out, as well as an assessment of its energy behavior. The structure of the thesis is as follows:

*Chapter 1* is a reference to the history of bioclimatic architecture and a presentation of the energy issue in today's era, with emphasis on the building sector.

The *Second Chapter* analyzes the basic principles of Bioclimatic Design, with the aim of reducing the energy requirements of buildings, and presents methods for increasing their energy use using Renewable Energy Sources.

The *Third Chapter* provides a technical description of the Residence by analyzing the elements of its shell and calculating the loads and the load combinations of the structure.

In the *Fourth Chapter* the structure is simulated in Robot Structural Analysis the dimensioning process under static load combinations is described analytically.

In the *Fifth Chapter*, the structure is analyzed and dimensioned under seismic combinations.

The *Sixth Chapter*, performs energy analysis through the Insight platform of the Revit design program.

The *Seventh Chapter* summarizes the diploma thesis and draws conclusions.

## Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Παύλο Θανόπουλο, Λέκτορα του τομέα Δομοστατικής στο Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την δυνατότητα που μου προσέφερε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και καινοτόμο θέμα, καθώς επίσης και για την άριστη συνεργασία και καθοδήγηση του όλη αυτή την περίοδο.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη διαρκή τους υποστήριξη και συμπαράσταση στο διάστημα των ακαδημαϊκών σπουδών μου.

Τέλος, ευχαριστώ όλους μου τους φίλους για τη βοήθεια και συμπαράστασή τους.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενικά

### 1.1.1 Ιστορικά στοιχεία – Η ιστορία της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής

Το φαινόμενο της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής υπάρχει από τις απαρχές του ανθρώπινου πολιτισμού. Τα κέντρα των αρχαίων οικισμών εντοπίζονται σε ζώνες ευνοϊκές για την ανθρώπινη ζωή. Αρχικά, η ανάγκη προστασίας από τα σκληρά φυσικά φαινόμενα οδηγεί στην εύρεση καταφυγίων δημιουργούμενων από το φυσικό τοπογραφικό ανάγλυφο, σπηλιές ή σπήλαια που θερμαίνονται με φωτιά. Η ανάπτυξη των εργαλείων αργότερα οδηγεί στη δημιουργία μεγάλης ποικιλίας κατοικιών. Στη δημιουργία αυτή των αρχαίων τύπων κατοικιών, που το άτομο κατασκευάζει με τη χρήση κυρίως διαισθητικών στοιχείων λόγω της χαμηλής τεχνολογικής ανάπτυξης, σημαντική επίδραση έχουν οι παράγοντες προσαρμογής στις συνθήκες της περιοχής και οι παράγοντες προστασίας από επιθετικά κλιματικά φαινόμενα.

Το επόμενο βήμα στο σχεδιασμό, προκειμένου να βελτιωθούν οι συνθήκες άνεσης και το μικροκλίμα της κατοικίας, αποτελεί η εμφάνιση αρκετών ανεξάρτητων εγκαταστάσεων και η ομαδοποίησή τους γύρω από μια ενιαία αυλή. Πολύ συχνά στο κέντρο ενός τέτοιου αρχιτεκτονικού χώρου υπήρχε ένα πηγάδι, μια δεξαμενή ή δέντρα. Εμφανίζονται επίσης τα πρώτα χαρακτηριστικά πολεοδομικού σχεδιασμού που συνδέονται άμεσα με το κλίμα. Τα καθιστικά δωμάτια τοποθετούνται στη δροσερή βόρεια πλευρά και η θερμοκρασία διατηρείται στα κτίρια μέσω ανοιγμάτων εξαερισμού, ειδικών σχεδίων στέγης, με τη χρήση πήλινων τοιχωμάτων και βάφοντας τους τοίχους λευκούς. Αμπελώνες και κήποι σε σπίτια εύπορων ανθρώπων, τοποθετούνται ώστε να σχηματίζουν ένα κλειστό χώρο γύρω από το κτίριο βοηθώντας έτσι στη διατήρηση ενός άνετου μικροκλίματος. Στην αρχιτεκτονική της Μεσοποταμίας και της Ασίας, για παράδειγμα, αυτή η λειτουργία πραγματοποιήθηκε με ειδικές αίθουσες μπαλκονιών στις αυλές των σπιτιών, με φυτεμένα δέντρα και θάμνους. Σημαντικοί είναι και οι γνωστοί Κήποι της Βαβυλώνας όπου το κτίριο ήταν βαθμιδωτό, δηλαδή ο κατώτερος όροφος ήταν μικρότερος στην κάτοψη από τον ανώτερο όροφο, δημιουργούνταν έτσι εξώστες που επέτρεπαν τη φύτευση δέντρων, λουλουδιών και φυτών, που αποτέλεσαν τις πρώτες προσπάθειες δημιουργίας φυτεμένων δωματίων (Σχήμα 1.1).



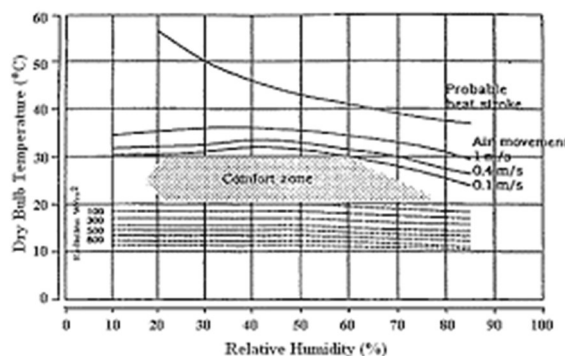
Σχήμα 1.1: Οι κήποι της Βαβυλώνας

Στην αρχιτεκτονική του ελληνικού κόσμου, ο Σωκράτης το 470 π.Χ. με τις οδηγίες του για το ιδανικό ηλιακό σπίτι, που αναφέρονται στα απομνημονεύματα του Ξενοφώντα, αλλά και ο Ιπποκράτης με το έργο του *Περί αέρων, υδάτων και τόπων*, έβαλαν τις βάσεις της σύγχρονης βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Ιδέες αρχιτεκτονικής με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας παρατηρούνται επίσης στα ρωμαϊκά λουτρά. Το *caldarium*, για παράδειγμα, ήταν μία «θερμή αίθουσα» προσανατολισμένη στα νοτιοδυτικά ώστε να εκμεταλλεύεται την θερμότητα του μεσημεριανού ήλιου.

Σημαντική στάση στην αρχιτεκτονική των αρχαίων πολιτισμών στον τομέα της σύνδεσης μεταξύ αρχιτεκτονικής και τοπίου αποτελεί η αρχιτεκτονική της Κίνας. Το μεγάλο δόγμα *φενγκ-σούι*, δηλαδή ο άνεμος και το νερό για την παγκόσμια αρμονία της συνύπαρξης, εξακολουθεί να εμπνέει τους μοντέρνους σχεδιαστές και αρχιτέκτονες. Με τη βαθιά μελέτη των φυσικών παραγόντων οι Κινέζοι και οι Ιάπωνες αρχιτέκτονες βελτίωσαν τις μεθόδους κατασκευής και σχεδιασμού των κτιρίων και έμαθαν να δημιουργούν συνθήκες άνεσης, καθοδηγούμενες από την ψυχολογική επίδραση τους στο άτομο.

Έτσι, στον αρχαίο κόσμο στον τομέα των κατασκευών υπήρχαν ορισμένα χαρακτηριστικά, τα οποία ήταν αντιπροσωπευτικά της αρχιτεκτονικής που είναι προσανατολισμένη στην εξοικονόμηση ενέργειας. Ανάμεσα σε αυτά είναι τα ακόλουθα: μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο φυσικό περιβάλλον, δημιουργία άνετων συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου και αρμονική αλληλεπίδραση με τα χαρακτηριστικά του τοπίου. Οι αρχαίοι άνθρωποι προσπαθούσαν να εκμεταλλευτούν με τον καλύτερο τρόπο το μικροκλίμα, την τοποθεσία, τους ανέμους, την υγρασία, τα υπόγεια ρεύματα, τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και τα υλικά ώστε να δημιουργήσουν ένα κτίριο οικονομικότερο, πιο ευχάριστο και πάνω απ' όλα ένα κτίριο που να σέβεται το περιβάλλον.

Στη δεκαετία του 1960, το περιβαλλοντικό κίνημα άρχισε να παίζει σημαντικό ρόλο εμπνευσμένο από δημοσιεύσεις όπως το βιβλίο *Silent Spring* που έγραψε η Rachel Carson, το 1962 στην Αμερική κι έτσι, μια πιο συνειδητή περιβαλλοντική συμπεριφορά άρχισε να διερευνάται σε πολλούς τομείς. Πρωτοπόρος του βιοκλιματικού σχεδιασμού υπήρξε ο Victor Olgyay, καθηγητής της Σχολής Αρχιτεκτονικής και Πολεοδομίας του Πανεπιστημίου του Princeton και κορυφαίος στην έρευνα σχετικά με τη σχέση αρχιτεκτονικής και ενέργειας. Το 1963, ο όρος βιοκλιματικός χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Victor Olgyay στο βιβλίο του *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism* (V. Olgyay 1963), το οποίο τον καθιέρωσε ως διεθνή προσωπικότητα στον βιοκλιματικό σχεδιασμό (Daniel A. Barber - Copyright 2016 by Duke University Press). Μεταξύ των άλλων επιτευγμάτων της βιοκλιματολογίας, ανέπτυξε ένα βιοκλιματικό διάγραμμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2, το οποίο συνδέει τα κλιματικά δεδομένα με τα θερμικά όρια άνεσης.



Σχήμα 1.2: Βιοκλιματικό διάγραμμα του Victor Olgyay που συνδέει τα κλιματικά δεδομένα με τα θερμικά όρια άνεσης

Η παγκόσμια ενεργειακή κρίση του 1974 είχε ως αποτέλεσμα την ανάγκη εστίασης των αρχιτεκτόνων στο πρόβλημα της οικονομίας των καυσίμων. Σημεία αναφοράς για τα παγκόσμια συμφέροντα της ανθρωπότητας εμφανίστηκαν να συνδέονται άμεσα όχι μόνο με τις προοπτικές ανάπτυξης της παγκόσμιας οικονομίας και της βιομηχανίας, αλλά και με ζητήματα μηχανικής, αρχιτεκτονικής, οικοδομικής ως ξεχωριστά αντικείμενα και με τη κατασκευή των πόλεων σαν σύνολο. Παγκοσμίου φήμης αρχιτέκτονες όπως ο Ken Yeang και ο Norman Foster ακολουθούν τη νέα κατεύθυνση της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Μια σημαντική συμβολή στην ανάπτυξη της πρακτικής έχει επίσης φέρει ο Santiago Calatrava Valls, ο Renzo Piano, ο Jacques Herzog και ο Pierre de Meuron.

Μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, ο μόνος τρόπος για τον έλεγχο του εσωτερικού κλίματος ήταν μέσω παθητικών στρατηγικών. Η εξέλιξη της τεχνολογίας όμως οδήγησε στην εισαγωγή μηχανικού εξοπλισμού στα κτίρια και στην ανάπτυξη νέων τεχνητών συστημάτων φωτισμού και κλιματισμού, όπως για παράδειγμα ο εξοπλισμός κλιματισμού που ανέπτυξε ο Willis H. Carrier το 1902, που συνέβαλαν σημαντικά στην εσωτερική θερμική άνεση των κτιρίων. Ωστόσο, εδώ και καιρό, αυτά τα νέα συστήματα και η διαθεσιμότητα φθηνής ενέργειας κάνουν τους αρχιτέκτονες να αγνοούν τα κλιματικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, με αποτέλεσμα την εξάρτηση και την αδιάκριτη χρήση τέτοιων συστημάτων. Η μορφή και ο προσανατολισμός του κτιρίου, που σχετίζονται άμεσα με τις αρχιτεκτονικές πτυχές και τη χρήση του χώρου, αγνοούν το τοπικό κλίμα και έχουν σοβαρές επιπτώσεις στις εκπομπές. Οι πόλεις και τα κτίρια ανά τον κόσμο έχουν αρχίσει να φαίνονται τα ίδια, ανεξάρτητα από την τοποθεσία τους. Παρουσιάζεται έντονη λοιπόν η ανάγκη ενσωμάτωσης του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού με τα περιβαλλοντικά ζητήματα, η ελαχιστοποίηση της ανάγκης για βοηθητικό εξοπλισμό και, κατά συνέπεια, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

## **1.2 Ενεργειακά Δεδομένα στην Ευρώπη**

### **1.2.1 Γενικά**

Οι άνθρωποι επηρεάζουν ολοένα και περισσότερο το κλίμα και τη θερμοκρασία της γης μέσω της χρήσης ορυκτών καυσίμων, της αποψίλωσης των δασών και της κτηνοτροφίας. Οι δραστηριότητες αυτές προσθέτουν τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου στα αέρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και υπερθέρμανση του πλανήτη.

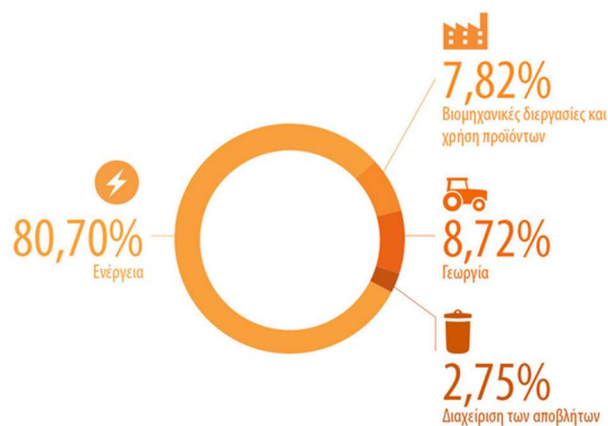
Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το αέριο του θερμοκηπίου που παράγεται συχνότερα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και ευθύνεται για το 63% της υπερθέρμανσης του πλανήτη που οφείλεται σ' αυτές τις δραστηριότητες. Η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα είναι σήμερα κατά 40% υψηλότερη από ό,τι κατά την έναρξη της εκβιομηχάνισης. Άλλα αέρια του θερμοκηπίου που εκλύονται σε μικρότερες ποσότητες είναι το μεθάνιο, το οξείδιο του αζώτου και οι υδροφθοράνθρακες. Στο Σχήμα 1.3 που ακολουθεί φαίνονται τα ποσοστά των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ και τον κόσμο.



Σχήμα 1.3: Τα ποσοστά εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου που παράχθηκαν το 2017 (Πηγή: <https://www.europarl.europa.eu/portal/el>)

Καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών το κατέχει το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο παράγεται από την καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, παρουσιάζεται επιτακτική η ανάγκη απεξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα. Όχι μόνο γιατί δεν είναι επιθυμητή η αύξηση των ποσοστών εκπομπών τους αλλά και για το λόγο ότι τα αποθέματά τους μειώνονται δραματικά. Έτσι θα διατηρηθεί μια καλύτερη κλιματική ισορροπία στον πλανήτη. Είναι επίσης φανερό από το Σχήμα 1.4 πως το μεγαλύτερο ποσοστό των ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα αφορούν την παραγωγή ενέργειας.

#### Εκπομπές ρύπων στην ΕΕ (ανά τομέα) \*το 2017



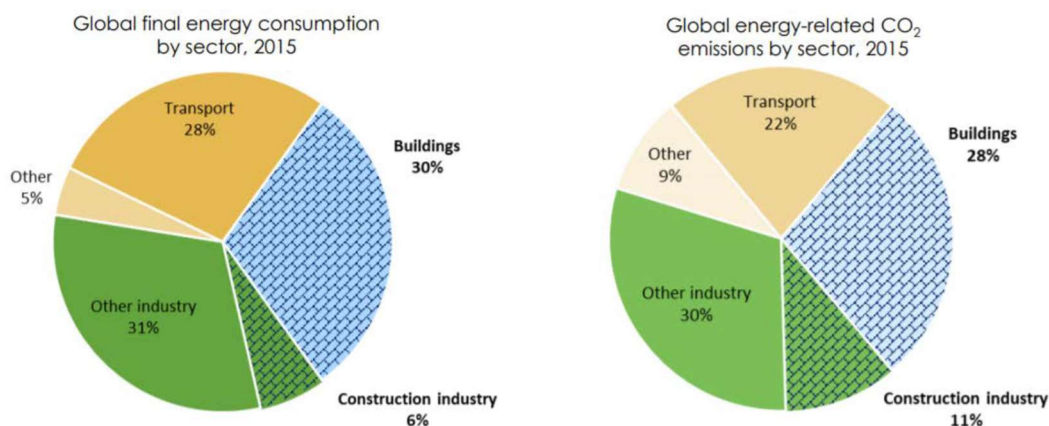
Σχήμα 1.4: Οι εκπομπές ρύπων στην ΕΕ ανά τομέα το 2017 (Πηγή: <https://www.europarl.europa.eu/portal/el>)

### 1.2.2 Κατασκευαστικός – Κτιριακός τομέας

Η κατασκευή και η λειτουργία των κτιρίων αντιπροσώπευαν το 36% της παγκόσμιας ενεργειακής χρήσης και το 39% των σχετικών με την ενέργεια εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) το 2017 (Σχήμα 1.5). Τα κτίρια και ο κατασκευαστικός τομέας έχουν, ως εκ τούτου, το μεγαλύτερο μερίδιο ενέργειας και εκπομπών, ακόμη και όταν εξαιρείται η χρήση ενέργειας που αφορά μεταφορές που σχετίζονται με



μετακινήσεις υλικών σε εργοτάξια. Συνεπώς τα κτίρια παίζουν κυρίαρχο ρόλο στη μετάβαση στην καθαρή ενέργεια και με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και τεχνολογιών μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ενεργειακή τους απόδοση και να συμβάλουν στην προστασία του περιβάλλοντος.

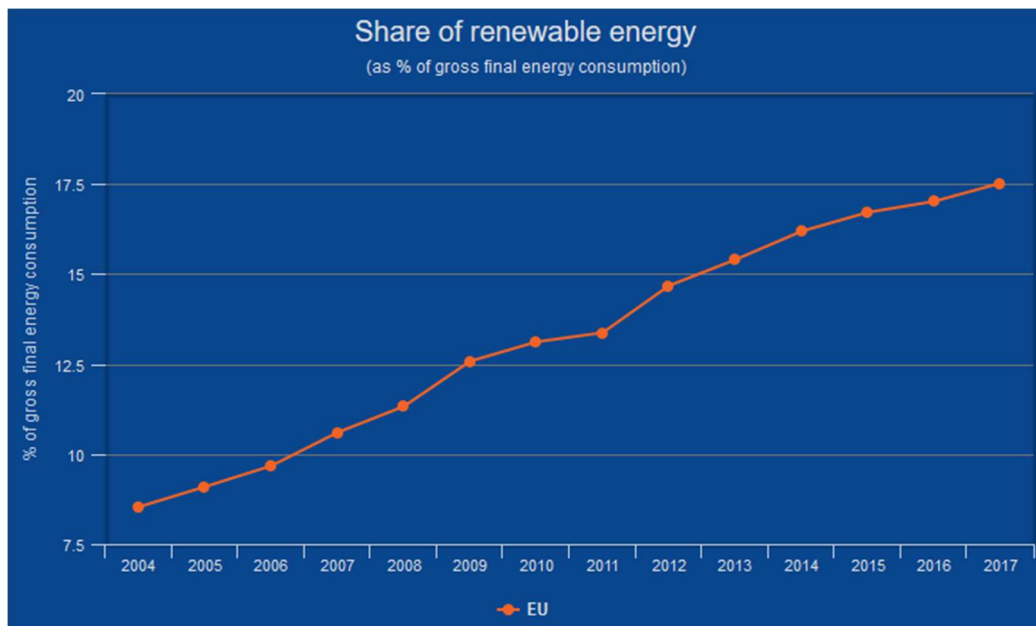


Σχήμα 1.5: Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά κλάδο και εκπομπή ρύπων CO<sub>2</sub> αντίστοιχα (Πηγή: <https://www.globalabc.org>)

Αξίζει να σημειωθεί ακόμα πως στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων το μεγαλύτερο ποσοστό κατέχει η θέρμανση/ψύξη των χώρων με ποσοστό 69%, ενώ ακολουθούν με σημαντικά χαμηλότερα ποσοστά, η παραγωγή ζεστού νερού (15%), οι ηλεκτρικές συσκευές και ο φωτισμός (11%).

### 1.2.3 Ευρωπαϊκή πολιτική και στόχοι

Οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) έχοντας εντοπίσει το ενεργειακό πρόβλημα έχουν αναπτύξει πρακτικές και πρωτοβουλίες προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τις ενεργειακές τους ανάγκες αλλά και να εισάγουν όλο και περισσότερο τη χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Στην «Έκθεση προόδου για την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές» στην ΕΕ των 28, το μερίδιο της ενεργειακής κατανάλωσης από ανανεώσιμες πηγές αυξήθηκε από 8,5% το 2004 σε 16,7% το 2015, ενώ ο στόχος που έπρεπε να επιτευχθεί έως το 2020 είναι 20% (Σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.6: Ποσοστά ενεργειακής κατανάλωσης από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Πηγή: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/sdi/affordable-and-clean-energy>)

Η ΕΕ προκειμένου να επέμβει στην ενεργειακή απόδοση του κτιριακού τομέα, θεσπίζει Οδηγίες οι οποίες περιλαμβάνουν καθοριστικές δράσεις για να αξιοποιηθεί το μεγάλο ανεκμετάλλετο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια. Βασικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και αφορούν στην ενεργειακή απόδοση είναι:

- Η *Οδηγία 2002/91*, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Αναφέρεται στην ορθολογική χρήση ενέργειας στα κτίρια. Καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση, Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX), ψύξη, αερισμό, φωτισμό για υφιστάμενα και νέα κτίρια. Αφορά σε κατοικίες και τριτογενή τομέα (γραφεία, δημόσια κτίρια κ.λπ.).
- Η *Οδηγία 2006/32/EK*, του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 5ης Απριλίου 2006 «για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες και για την κατάργηση της Οδηγίας 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου» (ΕΕ L114/64), που αποσκοπεί στην οικονομικά αποτελεσματική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση ενέργειας και στην ανάπτυξη αγοράς ενεργειακών υπηρεσιών (Εναρμόνιση με το ΝΟΜΟ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3855/2010 / ΦΕΚ 95 Α' 2010, μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση, ενεργειακές υπηρεσίες και άλλες διατάξεις).
- Η *Οδηγία 2010/31/ΕΕ* του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Μαΐου 2010 «Για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων» (ΕΕ L153 της 18.6.2010), η οποία αντικαθιστά την προγενέστερη Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2002, που ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο της χώρας με το ν. 3661/2008 (Α'89) (Εναρμόνιση με το ΝΟΜΟ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 4122/2013, ΦΕΚ 42 Α'/2013).
- Η *Οδηγία 2012/27/ΕΚ*, του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Οκτωβρίου 2012 «Για την ενεργειακή απόδοση, την τροποποίηση των Οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την κατάργηση των Οδηγιών

2004/8/EK και 2006/32/EK» (Εναρμόνιση με το ΝΟΜΟ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 4342/2015/ΦΕΚ 143 Α' 2015).

Ένα ιστορικό έτος κατά τη διάρκεια του οποίου αναπτύχθηκαν πολιτικές για αειφόρα κτίρια ήταν το 2015. Στο πλαίσιο της *Συμφωνίας των Παρισίων*, 196 Συμβαλλόμενα Μέρη συγκεντρώθηκαν για να αλλάξουν τις αναπτυξιακές τροχιές τους προς την αειφόρο ανάπτυξη με στόχο τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας στους 1,5 έως 2 βαθμούς Κελσίου. Μέσω της συμφωνίας των Παρισίων, τα συμβαλλόμενα μέρη συμφώνησαν επίσης για έναν μακροπρόθεσμο στόχο προσαρμογής, να αυξήσουν την ικανότητα προσαρμογής στις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και να προωθήσουν την ανθεκτικότητα του κλίματος και την ανάπτυξη χαμηλών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Οι εθνικά καθορισμένες συνεισφορές (NDCs) βρίσκονται στο επίκεντρο της Συμφωνίας των Παρισίων και στην επίτευξη αυτών των μακροπρόθεσμων στόχων. Οι NDCs (Nationally Determined Contributions) εμπεριέχουν τις προσπάθειες κάθε χώρας να μειώσει τις εθνικές εκπομπές της και να προσαρμοστεί στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Τα συμβαλλόμενα μέρη επιδιώκουν εθνικά μέτρα μετριασμού, με σκοπό την επίτευξη των στόχων αυτών των συνεισφορών. Οι περισσότερες χώρες έχουν υποβάλει εθνικές συνεισφορές που σχετίζονται με τα κτίρια και μερικές τις έχουν βελτιώσει.

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης ο Δεκέμβριος του 2019 που η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε με σκοπό την επίτευξη μια μεγάλης πρόκλησης και ευκαιρίας της σημερινής εποχής, τη μετατροπή της Ευρώπης στην πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο στον κόσμο μέχρι το 2050, την *Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (EU Green Deal)*. Η Συμφωνία αυτή αποτελεί την πιο φιλόδοξη δέσμη μέτρων που έχει ως στόχο να βοηθήσει τους πολίτες και τις επιχειρήσεις της Ευρώπης να αποκομίσουν οφέλη από τη βιώσιμη μετάβαση σε πράσινες λύσεις. Τα μέτρα, που συνοδεύονται από έναν αρχικό χάρτη πορείας σχετικά με βασικές πολιτικές, κυμαίνονται από τη φιλόδοξη μείωση των εκπομπών έως τις επενδύσεις στην έρευνα και την καινοτομία αιχμής, με στόχο τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος της Ευρώπης. Υποστηριζόμενη από επενδύσεις σε πράσινες τεχνολογίες, βιώσιμες λύσεις και νέες επιχειρήσεις, η Πράσινη Συμφωνία μπορεί να αποτελέσει μια νέα αναπτυξιακή στρατηγική της ΕΕ. Η συμμετοχή και η δέσμευση του κοινού και όλων των ενδιαφερόμενων μερών έχει καθοριστική σημασία για την επιτυχία της. Για την επίτευξη αυτού του στόχου θα απαιτηθεί η ανάληψη δράσης σε όλους τους τομείς της οικονομίας. Σκοπός είναι:

- Στον τομέα της ενέργειας η απανθρακοποίηση καθώς στην παραγωγή και τη χρήση ενέργειας αναλογεί περισσότερο από το 75% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της Ε.Ε.
- Στον κτιριακό τομέα η ανακαίνιση κτιρίων ώστε οι πολίτες να μειώσουν τους λογαριασμούς και τη χρήση ενέργειας, αφού το 40% της ενεργειακής κατανάλωσης οφείλεται στα κτίρια.
- Στον τομέα της βιομηχανίας η ανάδειξή του σε παγκόσμιο ηγέτη της πράσινης οικονομίας. Μόλις το 12% των υλικών που χρησιμοποιεί η ευρωπαϊκή βιομηχανία είναι ανακυκλωμένα.
- Στον τομέα των μεταφορών, που αντιστοιχεί το 25% των εκπομπών, η ανάπτυξη καθαρότερων, οικονομικότερων και πιο υγιεινών μορφών ιδιωτικής και δημόσιας μεταφοράς.

Πιο συγκεκριμένα στον τομέα της οικοδόμησης και της ανακαίνισης παρατηρείται η έναρξη ενός «κύματος» ανακαινίσεων με στόχο τουλάχιστον το διπλασιασμό των

σημερινών ποσοστών ανακαίνισης των δημόσιων και ιδιωτικών κτιρίων. Επίσης είναι επιθυμητή η καλύτερη ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, με τις τιμές των διαφόρων πηγών ενέργειας να παρέχουν κίνητρα για ενεργειακά αποδοτικά κτίρια, τον σχεδιασμό τους να είναι συμβατός με την κυκλική οικονομία, την ύπαρξη ψηφιοποίησης, την μεγαλύτερη κλιματική θωράκισή τους και την αυστηρή εφαρμογή των κανόνων ενεργειακής απόδοσής τους.

## 1.3 Ενεργειακά Δεδομένα και Νομοθεσίες στην Ελλάδα

### 1.3.1 Γενικά

Σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα, ο κτιριακός τομέας (οικιακός και τριτογενής τομέας) αντιστοιχεί σε ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας που, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.7, αντιπροσωπεύει το 45% της εγχώριας κατανάλωσης για το έτος 2012.



Σχήμα 1.7: Κατανομή της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης ανά χρήση το έτος 2012

Επίσης σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία η θέρμανση των χώρων εμφανίζει με διαφορά το υψηλότερο ποσοστό ενέργειας τελικής χρήσης στον οικιακό τομέα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Ποσοστά χρήσης ενέργειας ανά λειτουργία (Ελληνική Στατιστική Αρχή: Δελτίο Τύπου «Κατανάλωση Ενέργειας στα Νοικοκυριά», 2013)

Τελική χρήση	Ποσοστό
Θέρμανση χώρων	63,7
Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης	5,7
Μαγείρεμα	17,3
Ψύξη χώρων	1,3
Φωτισμός	1,7
Συσκευές (ηλεκτρικές/ηλεκτρονικές)	10,2
<b>Σύνολο</b>	<b>100,0</b>

Με την πάροδο του χρόνου η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών αλλά και γιατί:

- το 52% των κτιρίων είναι κατασκευασμένο πριν το 1979, όπου τα κτίρια είναι θερμικά απροστάτευτα,
- το 44% είναι κατασκευασμένο μεταξύ 1980-2010, όπου σταδιακά εφαρμόζονταν συστήματα θερμομόνωσης και άλλα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής τους απόδοσης,
- μόνο το 4% κατασκευάστηκε μετά το 2010, που είχε ψηφιστεί ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ).

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο εξασφαλίζεται εν μέρει με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων και εν μέρει μέσω της υψηλής αποδοτικότητας των εγκατεστημένων ενεργειακών συστημάτων η οποία προϋποθέτει την άριστη ποιότητα του σχετικού εξοπλισμού και της εγκατάστασής του καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών που τον προδιαγράφουν. Άλλος ένας καθοριστικός παράγοντας εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ενεργειακή διαχείριση του κτιρίου, μία συστηματική, οργανωμένη και συνεχής δραστηριότητα που αποτελείται από ένα προγραμματισμένο σύνολο διοικητικών, τεχνικών και οικονομικών δράσεων. Οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο μπορεί να αφορούν:

- το κτιριακό κέλυφος (π.χ. θερμομόνωση, κατάλληλα συστήματα ανοιγμάτων, παθητικά ηλιακά συστήματα)
- τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου (π.χ. χρήση βλάστησης)
- τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού και τις ηλεκτρικές συσκευές και
- την ορθολογική χρήση του κτιρίου και την αξιοποίηση των δομικών του στοιχείων (π.χ. ενεργειακή διαχείριση, φυσικός αερισμός, αξιοποίηση της θερμικής μάζας).

### 1.3.2 Βασικό Νομοθετικό Πλαίσιο

Στο πλαίσιο των προσπαθειών στην κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας, η χώρα προχώρησε σε κινήσεις ώστε να εναρμονιστούν οι Ευρωπαϊκές Οδηγίες για την ενέργεια με την ελληνική Νομοθεσία.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 4342/2015** (Ενεργειακή απόδοση Κτιρίων-Εναρμόνιση με την Οδηγία 2012/27/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Οκτωβρίου 2012, ΦΕΚ 143 Α' 2015).

Στο Νόμο αυτό με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας θεσπίζεται ενδεικτικός εθνικός στόχος εξοικονόμησης κατά 20% μέχρι το 2020. Προβλέπονται ακόμα στρατηγικές για την ανακαίνιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος, καθώς και για ανακαίνιση των δημοσίων κτιρίων, που έχουν επιφάνεια άνω των 500 m<sup>2</sup> σε ποσοστό τουλάχιστον 3% της συνολικής τους επιφάνειας. Τα δημόσια κτίρια θα έχουν παραδειγματικό ρόλο όσον αφορά στην ανακαίνιση, ώστε να επιτευχθούν οι ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις. Επιπλέον, προωθούνται ενεργειακοί έλεγχοι που θα διενεργούνται από ειδικευμένους εμπειρογνώμονες, εγκατάσταση μετρητών ενέργειας, που θα αντικατοπτρίζουν την πραγματική ενεργειακή κατανάλωση και γενικά μέτρα για την

αποδοτική χρήση ενέργειας από τους καταναλωτές, όπως φορολογικά κίνητρα, χρηματοδότηση, δανεισμό, επιδοτήσεις κ.ά.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 4122/2013** (Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις, ΦΕΚ 42 Α'/2013).

Βασικοί ορισμοί που περιλαμβάνει ο Νόμος, Άρθρο 2, είναι:

- «Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) κτιρίου ή κτιριακής μονάδας»: πιστοποιητικό αναγνωρισμένο από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) ή άλλον φορέα που αυτό ορίζει, το οποίο αποτυπώνει την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου ή κτιριακής μονάδας, υπολογιζόμενη σύμφωνα με τη μεθοδολογία του άρθρου 3 του παρόντος νόμου και εκδίδεται κατόπιν ενεργειακής επιθεώρησης του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας.
- «Ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίου ή κτιριακής μονάδας»: η διαδικασία εκτίμησης της κατανάλωσης ενέργειας κτιρίου ή κτιριακής μονάδας, των παραγόντων που την επηρεάζουν, καθώς και διατύπωσης συστάσεων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσής του.
- «Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης (ΜΕΑ) κτιρίου ή κτιριακής μονάδας»: η μελέτη που αναλύει και αξιολογεί την απόδοση του ενεργειακού σχεδιασμού του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας.
- «Κτίριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας»: κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, προσδιοριζόμενη σύμφωνα με το άρθρο 3. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου, πρέπει να καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου.

Επιπλέον στο άρθρο 3 του νόμου αυτού θεσπίζεται ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) ο οποίος μεταξύ άλλων θα καθορίζει τη σχετική μεθοδολογία υπολογισμού, τις ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων, τον τύπο και το περιεχόμενο της αναγκαίας Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης (ΜΕΑ) των κτιρίων ή κτιριακών μονάδων, τη διαδικασία και τη συχνότητα διενέργειας ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων και των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού, τον τύπο και το περιεχόμενο του εκδιδόμενου Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ), τη διαδικασία έκδοσής του, τον έλεγχο της διαδικασίας ενεργειακής επιθεώρησης, τα προς τούτο αρμόδια όργανα, καθώς και κάθε άλλο ειδικότερο θέμα ή αναγκαία λεπτομέρεια.

Προβλέπεται ακόμη βάσει της παραγράφου 1 του άρθρου 9 του ν. 4122/2013 ότι από την 01.01.2021, όλα τα νέα κτίρια πρέπει να είναι κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Με την απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής με Αριθμ. ΥΠΕΝ/ΔΕΠΕΑ/85251/242 (ΦΕΚ 5447 Β'/2018), εγκρίθηκε το Εθνικό Σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Το Εθνικό Σχέδιο στοχεύει να αποτελέσει ένα βασικό εργαλείο για τη χάραξη της πολιτικής της ενεργειακής αναβάθμισης του κτιριακού αποθέματος. Σύμφωνα με αυτό για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως Κτίριο με Σχεδόν Μηδενική Κατανάλωση Ενέργειας (ΚΣΜΚΕ), πρέπει:

- α) να κατατάσσεται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία Α, αν είναι νέο κτίριο,
- β) να κατατάσσεται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία Β+, αν είναι υφιστάμενο κτίριο.

Στις ανωτέρω κατηγορίες ο αριθμητικός δείκτης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας είναι αυτός που προκύπτει από την εφαρμογή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK). Προκειμένου να αυξηθούν τα κτίρια Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας θεσπίζονται τα παρακάτω:

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

- Αύξηση συντελεστή δόμησης για κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης  
Ο ν. 4067/2012 (Α' 79) «Νέος Οικοδομικός Κανονισμός» (άρθρο 25) παρέχει κίνητρα για τη δημιουργία κτιρίων ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται κίνητρο αύξησης του συντελεστή δόμησης κατά 5% σε κτίρια ενεργειακής κατηγορίας Α+ και αύξηση του συντελεστή δόμησης κατά 10% στην περίπτωση όπου το κτίριο επιτυγχάνει ιδιαίτερα υψηλό βαθμό ενεργειακής απόδοσης (πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση κάτω των 10kWh/τ.μ./έτος) και περιβαλλοντικής απόδοσης.

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

- Ενεργειακός Υπεύθυνος στα κτίρια του δημοσίου  
Με την Δ6/Β/14826/17.06.2008 ΚΥΑ «Μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την εξοικονόμηση ενέργειας στο δημόσιο και ευρύτερο δημόσιο τομέα» (Β' 1122), προβλέπεται ότι για τα κτίρια που χρησιμοποιούνται από το δημόσιο και τον ευρύτερο δημόσιο τομέα, ορίζεται τουλάχιστον ένας ενεργειακός υπεύθυνος.

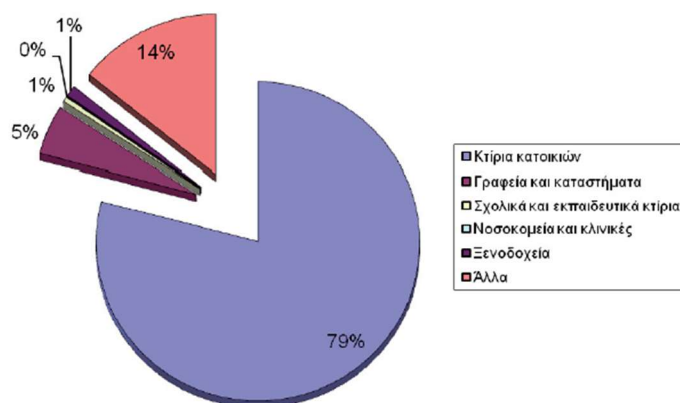
- Αύξηση συντελεστών απόσβεσης σε κτίρια  
Με το άρθρο 24 του ν.4172/2013 (Α' 167), όπως ισχύει, προβλέπεται αύξηση στους συντελεστές απόσβεσης των στοιχείων του ενεργητικού των επιχειρήσεων των συναφών με την ενεργειακή απόδοση δαπανών σε κτίρια.

- Υποχρέωση ενεργειακής διαχείρισης δημοσίων κτιρίων από φορείς του δημοσίου

### 1.3.3 Κτιριακός Τομέας και Κατοικίες

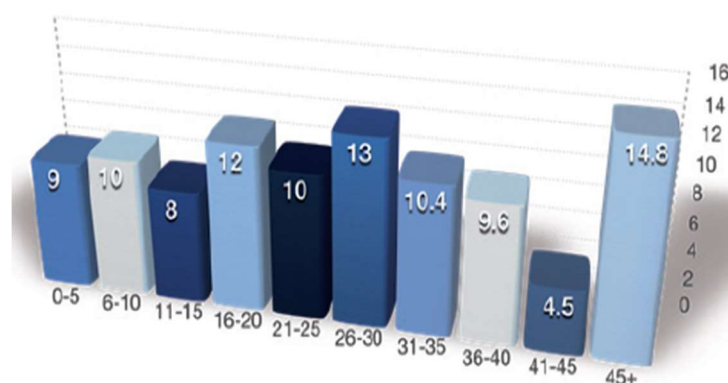
Το ελληνικό κτιριακό απόθεμα συντίθεται κυρίως από κτίρια κατοικιών και ένα αριθμό κτιρίων άλλων χρήσεων του τριτογενούς τομέα, τα οποία απογράφονται κάθε δέκα χρόνια στο σύνολο της επικράτειας. Σύμφωνα με την απογραφή κτιρίων 2011 (Μάιος 2015) της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής, ο αριθμός των κτιρίων της χώρας είναι 4.105.637 από τα οποία 3.246.008 είναι κτίρια κατοικιών (μονοκατοικίες και

πολυκατοικίες). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.8, τα κτίρια των κατοικιών αντιπροσωπεύουν το 79% του συνολικού πλήθους κτιρίων.



Σχήμα 1.8: Ποσοστιαία κατανομή του κτιριακού αποθέματος με βάση τη χρήση

Με βάση την απογραφή του 2011 της ΕΛΣΤΑΤ προέκυψαν οι μέσοι όροι ηλικίας των κατοικιών, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.9. Πιο συγκεκριμένα προέκυψε ότι το 55% των κτιρίων της χώρας με χρήση κατοικίας έχει κατασκευαστεί πριν το 1980, δηλαδή είναι θερμικά απροστάτευτα, ενώ λόγω της οικονομικής ύφεσης, ο αριθμός των κτιρίων που έχουν κατασκευαστεί μετά το 2010 με τις ελάχιστες απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ είναι μόλις το 1,5%.



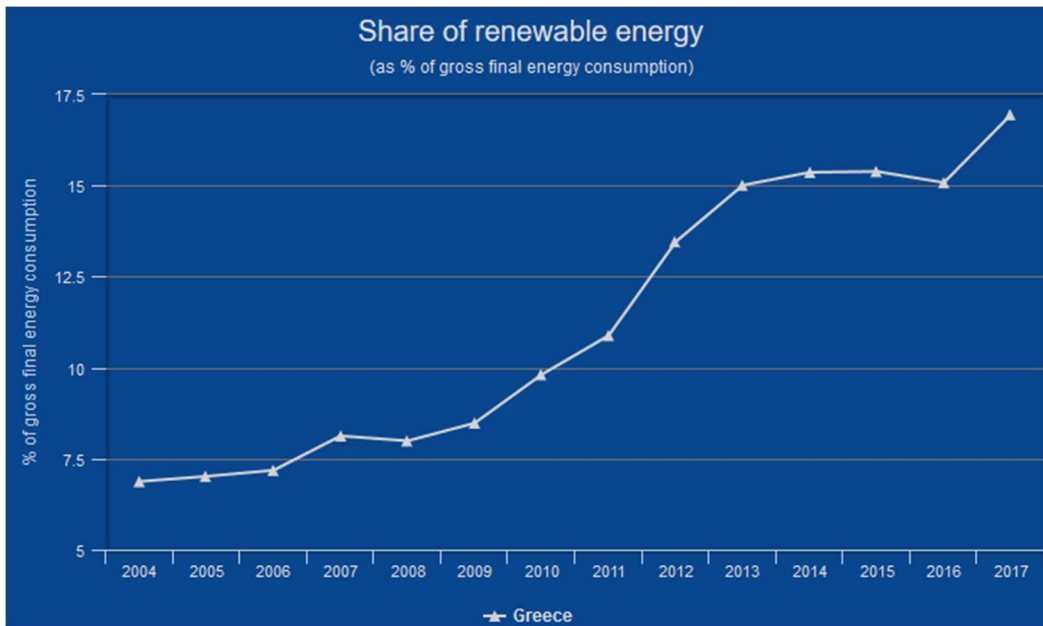
Σχήμα 1.9: Μέσος όρος ηλικίας κατοικιών σύμφωνα με την απογραφή του 2011 της ΕΛΣΤΑΤ

Στον οικιακό τομέα το ποσοστό συμμετοχής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) παρουσιάζει μια αυξητική τάση όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.2, με πρόβλεψη για το 2020 ότι το ποσοστό θα ανέλθει στο 30%. Επίσης στο Σχήμα 1.10, σύμφωνα με τη Eurostat, παρατηρείται μεγάλη αύξηση στην κατανομή των ΑΠΕ από το 2011 και μετά.

Πίνακας 1.2: Ποσοστά συμμετοχής ΑΠΕ στον κτιριακό τομέα

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





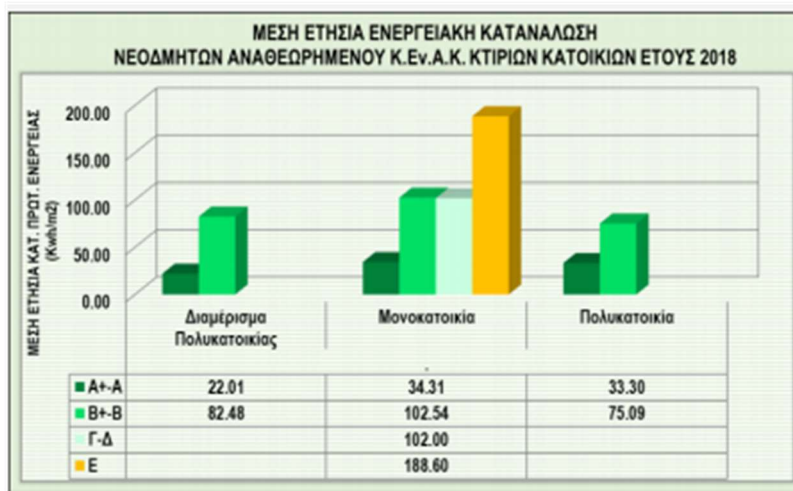
Σχήμα 1.10: Ποσοστά ενεργειακής κατανάλωσης από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Πηγή: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/sdi/affordable-and-clean-energy>)

Όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, το 83,33% επί του συνολικού αριθμού των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (Π.Ε.Α.) του έτους 2018 αφορά σε κτίρια κατοικιών, δηλαδή συνολικά εκδόθηκαν 254.372 Π.Ε.Α.. Επίσης, από τα Π.Ε.Α. για τα κτίρια κατοικιών, το 18,20% αφορά σε μονοκατοικίες (46.305 Π.Ε.Α.), το 80,33% αφορά σε διαμερίσματα (204.345 Π.Ε.Α.) και το 1,46% σε κτίρια πολυκατοικιών (3.722 Π.Ε.Α.). Σχετικά με την ενεργειακή κατηγορία των κτιρίων κατοικιών, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό (71,57%) αυτών κατατάσσεται στην Ε-Η, το 25,64% στην Γ-Δ και μόλις το 2,79% στην Α-Β (Σχήμα 1.11). Τέλος, τα πιο ενεργοβόρα κτίρια κατοικιών για το έτος 2018 είναι οι μονοκατοικίες (μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ίση με 518,69 kWh/m<sup>2</sup>), ενώ για τα διαμερίσματα και τα κτίρια των πολυκατοικιών υπολογίστηκε μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ίση με 311,33 kWh/m<sup>2</sup> και 324,97 kWh/m<sup>2</sup> αντίστοιχα. Στα κτίρια κατοικιών, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας καταναλώνεται για την κάλυψη αναγκών σε θέρμανση (μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε θέρμανση ίση με 250,39 kWh/m<sup>2</sup>).

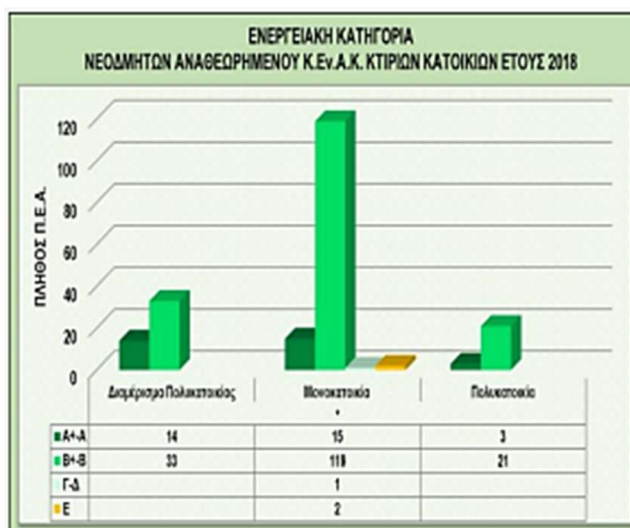


Σχήμα 1.11: Ποσοστό Π.Ε.Α. κτιρίων κατοικιών ανά ενεργειακή κατηγορία (2018)

Στα Νεόδμητα κτίρια, οι μέσες ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις, καθώς και το πλήθος των Π.Ε.Α. ανά ενεργειακή κατηγορία κατά Κ.Εν.Α.Κ. για κτίρια κατοικιών επισημαίνονται στα Σχήματα 1.12, 1.13 αντίστοιχα. Μια αρκετά χρήσιμη πληροφορία που μπορεί να αντληθεί, μέσω αυτών, είναι ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των Νέων Κατοικιών εντάσσεται στην κατηγορία Β+, οπότε με τις κατάλληλες ενεργειακές παρεμβάσεις δύναται να μειωθούν επιπλέον οι ενεργειακές καταναλώσεις και άρα να επιτευχθεί η ένταξή τους στην ενεργειακή κατηγορία Α, που ορίζει ο κανονισμός για όλα τα νέα κτίρια.

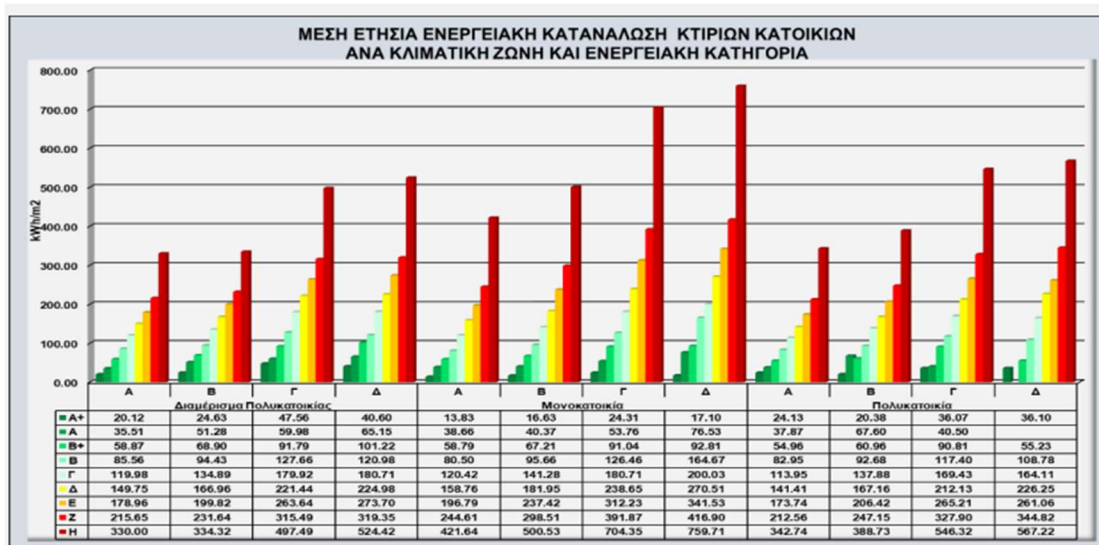


Σχήμα 1.12: Μέση ενεργειακή κατανάλωση νεόδμητων κτιρίων κατοικιών αναθεωρημένου Κ.Εν.Α.Κ. έτους 2018



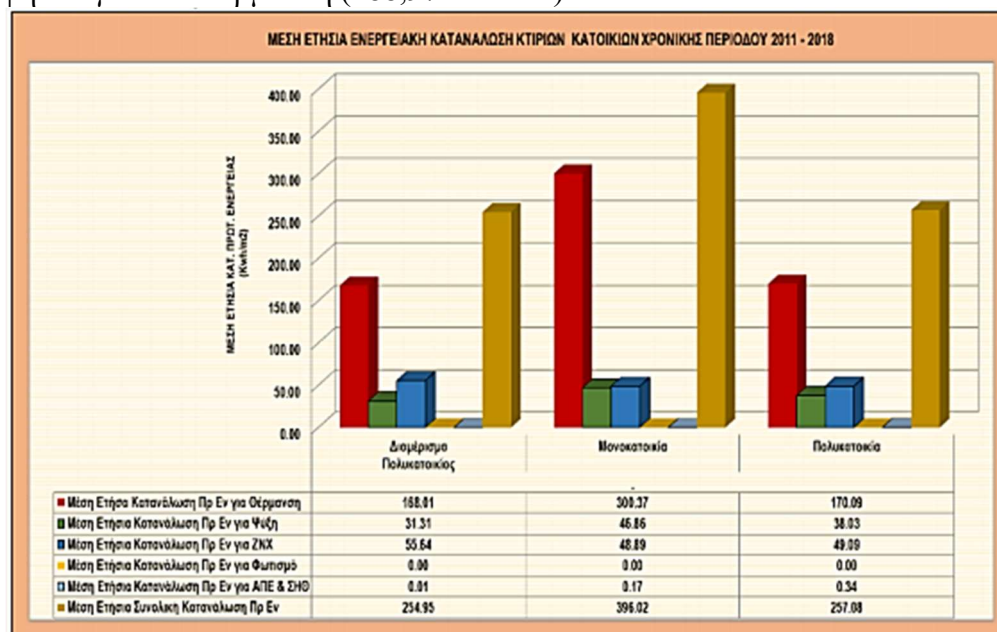
Σχήμα 1.13: Ενεργειακή κατηγορία νεόδμητων κτιρίων κατοικιών αναθεωρημένου Κ.Εν.Α.Κ. έτους 2018

Επιπλέον, τα πιο ενεργοβόρα κτίρια κατοικιών είναι οι μονοκατοικίες (396,02 kWh/m<sup>2</sup>), ενώ τα κτίρια των πολυκατοικιών έχουν μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ίση με 257,08 kWh/m<sup>2</sup>. Συγκρίνοντας τις μέσες ετήσιες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας των κτιρίων κατοικίας ανά κλιματική ζώνη (Σχήμα 1.14) προκύπτει ότι οι μονοκατοικίες στην κλιματική ζώνη Γ και Δ είναι οι πιο ενεργοβόρες (500,68 kWh/m<sup>2</sup> και 555,67 kWh/m<sup>2</sup> αντίστοιχα).



Σχήμα 1.14: Μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων κατοικιών ανά κλιματική ζώνη και ενεργειακή κατηγορία

Κατά τη χρονική περίοδο 2011-2018, το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων κατοικιών (66,63%) κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία E-H και το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.15, καταναλώνεται κυρίως για την κάλυψη αναγκών σε θέρμανση (188,97 kWh/m<sup>2</sup>).



Σχήμα 1.15: Μέση ενεργειακή κατανάλωση κατοικιών χρονικής περιόδου 2011-2018

### 1.3.4 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) και Ενεργειακή Πιστοποίηση Κτιρίων

#### 1.3.4.1 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK)

Με τον ΚΕΝΑΚ (Νόμος υπ' αριθ. 4122/2013, άρθρο 3) θεσμοθετείται ο ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός στον κτιριακό τομέα με σκοπό τη βελτίωση

της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, με συγκεκριμένες δράσεις:

- Εκπόνηση μελέτης ενεργειακής απόδοσης κτιρίων
- Θέσπιση ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων
- Ενεργειακή κατάταξη κτιρίων (Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης)
- Ενεργειακές επιθεωρήσεις κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού

Στο Άρθρο 1 του ΚΕΝΑΚ διαμορφώνεται το πλαίσιο αρχών και καθορίζονται οι όροι και οι προϋποθέσεις βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Ειδικότερα αναφέρεται ως σκοπός η μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για Θέρμανση, Ψύξη, Κλιματισμό (ΘΨΚ), φωτισμό και παραγωγή ΖΝΧ με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος των κτιρίων. Ο σκοπός αυτός μπορεί να επιτευχθεί μέσω του ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού του κελύφους, της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών δομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) συστημάτων, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ). Για τους σκοπούς αυτούς:

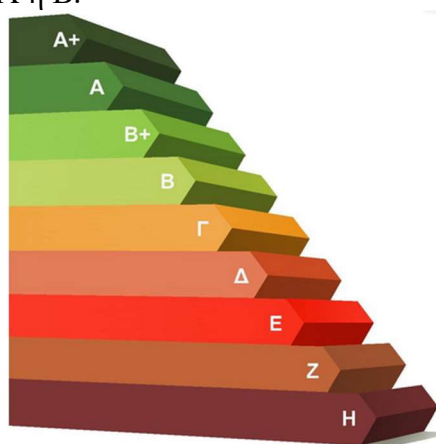
- Ορίζεται μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων για την εκτίμηση των ενεργειακών καταναλώσεων των κτιρίων για ΘΨΚ, φωτισμό και ΖΝΧ.
- Καθορίζονται ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση και κατηγορίες για την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων.
- Καθορίζονται οι παράμετροι για τον ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό των κτιρίων, τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους και οι προδιαγραφές των τεχνικών συστημάτων κτιρίων.
- Καθορίζεται ο τύπος και το περιεχόμενο της μελέτης ενεργειακής απόδοσης (ΜΕΑ).
- Καθορίζεται ο τύπος και το περιεχόμενο του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ).
- Καθορίζεται η διαδικασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων, καθώς και η διαδικασία των επιθεωρήσεων των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού.

Αναφέρεται χαρακτηριστικά επίσης πως για την εφαρμογή των σκοπών εκδίδονται Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΟΤΕΕ), οι οποίες εγκρίνονται με απόφαση του αρμόδιου Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας, οι οποίες ρυθμίζουν ειδικότερα θέματα και επικαιροποιούνται κατά περίπτωση σύμφωνα με τις εθνικές απαιτήσεις και εξελίξεις. Συγκεκριμένα στο ΦΕΚ 4003 Β'/2017-Έγκριση και εφαρμογή των Τεχνικών Οδηγιών ΤΕΕ για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων, εγκρίνεται και είναι υποχρεωτική η εφαρμογή της Τεχνικής Οδηγίας Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 που περιέχει αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.

#### **1.3.4.2 Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ)**

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, καθώς και το άρθρο 11 του Ν. 4122/2013 (ΦΕΚ 42 Α'/2013) σκοπός του ΠΕΑ είναι να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την συνολική ενεργειακή κατάσταση του κτιρίου και να

δείχνει πόσο αποδοτικό από ενεργειακής άποψης είναι το συγκεκριμένο κτίριο, σε σύγκριση με το κτίριο αναφοράς. Ως κτίριο αναφοράς νοείται κτίριο με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτίριο που πληροί όμως ελάχιστες προδιαγραφές και έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά όσον αφορά τον σχεδιασμό, το κτιριακό κέλυφος και τα τεχνικά συστήματα του. Με βάση την ετήσια εκτιμώμενη συνολική κατανάλωση ενέργειας (kWh/m<sup>2</sup>) για μια τυπική χρήση του κτιρίου και ανάλογα με το είδος του κτιρίου, το κτίριο κατατάσσεται σε μια ενεργειακή κατηγορία με κλίμακα από το A (πολύ αποδοτικό – χαμηλή κατανάλωση) μέχρι H (καθόλου αποδοτικό – υψηλή κατανάλωση), Σχήμα 1.16. Όλα τα νέα κτίρια, καθώς και τα κτίρια με συνολικό ωφέλιμο εμβαδόν μεγαλύτερο των 1000m<sup>2</sup> που υφίστανται ριζική ανακαίνιση, θα πρέπει να είναι κατηγορίας A ή B.



Σχήμα 1.16: Ενεργειακές κατηγορίες

Εκτός από την ενεργειακή κατηγορία του κτιρίου, το ΠΕΑ δείχνει την ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται στο περιβάλλον από την κατανάλωση ενέργειας λόγω της τυπικής χρήσης του κτιρίου και το ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας που καλύπτεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Το ΠΕΑ συνοδεύεται επίσης από συστάσεις που περιέχουν εισηγήσεις για τη λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στο συγκεκριμένο κτίριο και τη βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης, με απώτερο στόχο τη μείωση του κόστους της ενέργειας προς όφελος του ιδιοκτήτη ή του χρήστη. Εφαρμόζοντας μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, ταυτόχρονα μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, συμβάλλοντας έτσι στην αντιμετώπιση του προβλήματος των κλιματικών αλλαγών.

Όπως προβλέπεται στην παράγραφο 1 του άρθρου 12 του Ν. 4122/2013 το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης ισχύει για δέκα χρόνια και απαιτείται:

- μετά την ολοκλήρωση κατασκευής νέου κτιρίου ή κτιριακής μονάδας
- μετά την ολοκλήρωση ριζικής ανακαίνισης κτιρίου ή κτιριακής μονάδας
- κατά την πώληση κτιρίου ή κτιριακής μονάδας
- κατά τη μίσθωση σε νέο ενοικιαστή κτιρίου ή κτιριακής μονάδας
- για κτίρια συνολικής επιφάνειας άνω των διακοσίων πενήντα (250) τετραγωνικών μέτρων τα οποία χρησιμοποιούνται από υπηρεσίες του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα και τα οποία επισκέπτεται συχνά το κοινό.

Από την υποχρέωση έκδοσης Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης εξαιρούνται ορισμένες κατηγορίες κτιρίων, όπως μνημεία, προστατευόμενα κτίρια, χώροι λατρείας, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, βιοτεχνίες, εργαστήρια, προσωρινής χρήσης κτίρια και μεμονωμένα κτίρια συνολικής επιφάνειας μικρότερης των πενήντα τετραγωνικών μέτρων (50 m<sup>2</sup>).

### 1.3.4.3 Περιβαλλοντική Πιστοποίηση LEED

Η Περιβαλλοντική Πιστοποίηση Κτιρίου είναι μια διαδικασία κατά την οποία αξιολογείται και επιβεβαιώνεται η βιώσιμη απόδοση ενός κτιρίου, και παρέχεται εξασφάλιση ποιότητας. Η Περιβαλλοντική Πιστοποίηση Κτιρίου μπορεί να γίνει με μια ή περισσότερες μεθόδους. Μια από τις πιο γνωστές και παγκοσμίως αναγνωρισμένες μεθόδους είναι η πιστοποίηση LEED. Η πιστοποίηση LEED (LEED Certification) είναι ένα διεθνώς αναγνωρισμένο σύστημα αξιολόγησης και αποτίμησης της αειφόρου δόμησης και κατασκευής, που αναπτύχθηκε και διαχειρίζεται από το U.S Green Building Council (Συμβούλιο Πράσινων Κτιρίων των Η.Π.Α.) και άρχισε να εφαρμόζεται το 1998.

Το LEED, ως διαδικασία ολιστικής αξιολόγησης, εξετάζει το σύνολο των δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται κατά την υλοποίηση του έργου και κατατάσσονται σε 5 βασικούς τομείς:

- Τόπος του έργου
- Υδάτινοι πόροι
- Ενέργεια & ατμοσφαιρική ρύπανση
- Υλικά & πρώτες ύλες
- Ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος.

Η εφαρμογή της διαδικασίας προάγει την εξοικονόμηση ενέργειας και υδάτινων πόρων, την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, την βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, τον εξορθολογισμό της χρήσης των πρώτων υλών και την αναβάθμιση του αστικού περιβάλλοντος.

Σχετικά με τις κατηγορίες πιστοποίησης η κλίμακα αξιολόγησης αποτελείται από 4 βαθμίδες όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 1.3.

Πίνακας 1.3: Βαθμίδες κλίμακας αξιολόγησης

Πιστοποιημένο κτίριο	Certified: 40-49 βαθμοί
Ασημένιο	Silver: 50-59 βαθμοί
Χρυσό	Gold: 60-79 βαθμοί
Πλατινένιο	Platinum: 80-100 βαθμοί

Στην Ελληνική Νομοθεσία ο Νέος Οικοδομικός Κανονισμός (Ν.4067/2012):

- Αναφέρει την μέθοδο LEED ως διεθνώς αναγνωρισμένη μεθοδολογία περιβαλλοντικής αξιολόγησης
- Η εξαιρετική περιβαλλοντική απόδοση των κτιρίων τεκμηριώνεται με πιστοποίηση χρυσού LEED

### 1.3.5 Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ)

Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) αποτελεί ένα στρατηγικό σχέδιο για τα θέματα του κλίματος και της ενέργειας, για την επίτευξη συγκριμένων ενεργειακών και κλιματικών στόχων έως το έτος 2030. Έχει ως στόχο να αποτελέσει το βασικό εργαλείο διαμόρφωσης της εθνικής πολιτικής για την ενέργεια και το κλίμα την επόμενη δεκαετία, λαμβάνοντας υπόψη τις συστάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αλλά και τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ. Το ΕΣΕΚ αποτελεί υποχρέωση της χώρας στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και υποβλήθηκε και κυρώθηκε επίσημα στα τέλη Δεκεμβρίου 2019 (ΦΕΚ 4893 Β'/2019).

Ειδικότερα, το ΕΣΕΚ θέτει *έως το έτος 2030*, τους παρακάτω βασικούς στόχους:

- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, πάνω από 42% σε σχέση με τις εκπομπές του έτους 1990 και πάνω από 55% σε σχέση με τις εκπομπές του έτους 2005, ώστε να γίνει δυνατή η μετάβαση σε μια οικονομία κλιματικής ουδετερότητας έως το έτος 2050,
- διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας κατ' ελάχιστον 35%,
- η τελική κατανάλωση ενέργειας το έτος 2030 να είναι χαμηλότερη από αυτή που είχε καταγραφεί κατά το έτος 2017 μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης κατά 38%,
- πλήρης απολιγνιτοποίηση του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το έτος 2028.

Ειδικότερα, όσον αφορά τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στην τελική κατανάλωση ενέργειας τίθεται στόχος βελτίωσης της, κατά ποσοστό τουλάχιστον 38% σε σχέση με την πρόβλεψη εξέλιξης της τελικής κατανάλωσης ενέργειας μέχρι το έτος 2030, όπως είχε αυτή εκτιμηθεί το έτος 2007, με αποτέλεσμα η τελική κατανάλωση ενέργειας να μην ξεπεράσει τα 16,5 Mtoe<sup>1</sup> το έτος 2030.

Για την επίτευξη του ανωτέρου στόχου και όσον αφορά τον κτιριακό τομέα, προβλέπεται αφενός η ετήσια ενεργειακή ανακαίνιση του συνολικού εμβαδού της θερμικής ζώνης των κτιρίων της κεντρικής δημόσιας διοίκησης ίση με 5.400 m<sup>2</sup>, που αποτελεί το 3% του συνολικού εμβαδού και αφετέρου η ανακαίνιση και αντικατάσταση κτιρίων κατοικίας με νέα σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, σε ποσοστό το οποίο δύναται να ανέλθει στο 12-15% του συνόλου των κατοικιών μέχρι το έτος 2030. Σε ετήσιο χρονικό ορίζοντα στόχος είναι να αναβαθμίζονται ενεργειακά ή και να αντικαθίστανται από νέα ενεργειακά αποδοτικότερα κατά μέσο όρο 60.000 κτίρια ή κτιριακές μονάδες. Ο συγκεκριμένος στόχος θα συμβάλλει σημαντικά στη ριζική αναβάθμιση του γερασμένου κτιριακού αποθέματος δίνοντας παράλληλα σημαντική ώθηση στον κατασκευαστικό τομέα μέσω τεχνολογιών υψηλής προστιθέμενης αξίας και βασικά θα προσφέρει υψηλά οικονομικά και λειτουργικά οφέλη προς τα ελληνικά νοικοκυριά με ταυτόχρονη κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών.

### 1.3.6 Το Πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον»

Το Πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον» είναι ένα συγχρηματοδοτούμενο Πρόγραμμα που παρέχει κίνητρα στους πολίτες προκειμένου να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση του σπιτιού τους, εξοικονομώντας χρήματα και ενέργεια και αυξάνοντας την αξία του. Για να έχει μια κατοικία (μονοκατοικία, πολυκατοικία, μεμονωμένο διαμέρισμα) χρηματοδότηση θα πρέπει να ικανοποιεί τα ακόλουθα κριτήρια:

- Να βρίσκεται σε περιοχή με τιμή ζώνης χαμηλότερη ή ίση των 2.100 €/ m<sup>2</sup>
- Να έχει καταταχθεί βάσει του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (Π.Ε.Α.) σε κατηγορία χαμηλότερη ή ίση της Δ.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται ποιος μπορεί να ενταχθεί στο πρόγραμμα και με ποια κίνητρα.

<sup>1</sup> Τόνος ισοδύναμου πετρελαίου (*tonne of oil equivalent – toe*) είναι μονάδα ενέργειας. Ένας Τ.Ι.Π. ισοδυναμεί με την ενέργεια που εκλύεται από την καύση ενός τόνου αργού πετρελαίου και είναι περίπου ίσος με 42 GJ.

Πίνακας 1.4: Κριτήρια και κίνητρα για ένταξη στο Πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον»

Κατηγορία Ωφελούμενων	A1	A2	B
Ατομικό Εισόδημα	A.E. $\leq 12.000\text{€}$	$12.000\text{€} < \text{A.E.} \leq 40.000\text{€}$	$40.000\text{€} < \text{A.E.} \leq 60.000\text{€}$
Οικογενειακό Εισόδημα	O.E. $\leq 20.000\text{€}$	$20.000\text{€} < \text{O.E.} \leq 60.000\text{€}$	$60.000\text{€} < \text{O.E.} \leq 80.000\text{€}$
Κίνητρο	70% Επιχορήγηση 30% Άτοκο Δάνειο (επιδότηση επιτοκίου 100% έως 31.12.2015)	35% Επιχορήγηση 65% Άτοκο Δάνειο (επιδότηση επιτοκίου 100% έως 31.12.2015)	15% Επιχορήγηση 85% Άτοκο Δάνειο (επιδότηση επιτοκίου 100% έως 31.12.2015)

Για την ένταξη στο Πρόγραμμα απαιτείται η διενέργεια ενεργειακών επιθεωρήσεων (πριν και μετά τις παρεμβάσεις), το κόστος των οποίων καλύπτεται κατά 100% από το Πρόγραμμα, μετά την επιτυχή υλοποίηση του έργου. Η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται από τις παρεμβάσεις του προγράμματος πρέπει να αντιστοιχεί σε αναβάθμιση μιας ενεργειακής κατηγορίας ή στο 30% της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου αναφοράς. Οι επιλέξιμες παρεμβάσεις αφορούν σε:

- i. τοποθέτηση θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου συμπεριλαμβανομένου του δώματος/στέγης και της πιλοτής
- ii. αντικατάσταση κουφωμάτων και τοποθέτηση συστημάτων σκίασης και
- iii. αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης και παροχής ζεστού νερού χρήσης



## 2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

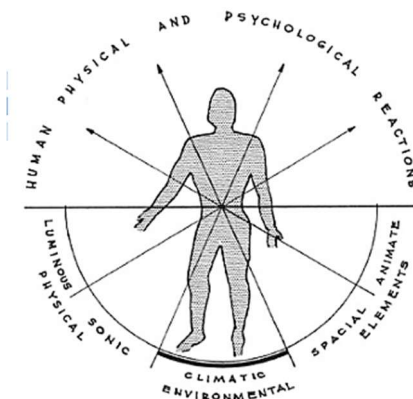
### 2.1 Γενικά

Μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, ο μόνος τρόπος για τον έλεγχο του εσωτερικού κλίματος των κτιρίων ήταν μέσω παθητικών στρατηγικών. Οι κατασκευές εκμεταλλεύονταν το κλίμα, και χρησιμοποιούσαν τον ήλιο, τον αέρα, το νερό και τη γη, για τη θέρμανση και το δροσισμό των κατοικιών, καθώς τότε δεν υπήρχαν τεχνικά μέσα για το σκοπό αυτό. Η εξέλιξη της τεχνολογίας όμως οδήγησε στην εισαγωγή μηχανικού εξοπλισμού στα κτίρια και στην ανάπτυξη νέων τεχνητών συστημάτων φωτισμού και κλιματισμού που συνέβαλαν σημαντικά στην εσωτερική θερμική άνεση των κτιρίων. Εδώ και καιρό, αυτά τα νέα συστήματα και η διαθεσιμότητα φθηνής ενέργειας κάνουν τους αρχιτέκτονες να αγνοούν τα κλιματικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, με αποτέλεσμα την εξάρτηση και την αδιάκριτη χρήση τέτοιων συστημάτων. Η μορφή και ο προσανατολισμός του κτιρίου, που σχετίζονται άμεσα με τις αρχιτεκτονικές πτυχές και τη χρήση του χώρου, αγνοούν το τοπικό κλίμα και έχουν σοβαρές επιπτώσεις στις εκπομπές, καθιστώντας τα κτίρια μεγάλο ενεργειακό καταναλωτή, που έχει, όμως, υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Οι πόλεις και τα κτίρια ανά τον κόσμο έχουν αρχίσει να φαίνονται τα ίδια, ανεξάρτητα από την τοποθεσία τους.

Παρουσιάζεται έντονη λοιπόν η ανάγκη ενσωμάτωσης του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού με τα περιβαλλοντικά ζητήματα, η ελαχιστοποίηση της ανάγκης για βοηθητικό εξοπλισμό και, κατά συνέπεια, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Τα κτίρια έχουν αντίκτυπο στην μακροπρόθεσμη κατανάλωση ενέργειας και, ως εκ τούτου, τα νέα κτίρια θα πρέπει να πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης. Τα βιοκλιματικά κτίρια μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση κατά 30-50%, τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 35%, την παραγωγή απορριμμάτων κατά 70% καθώς και τη χρήση νερού κατά 40%, ενώ παράλληλα προσφέρουν υψηλά επίπεδα άνεσης και αισθητικής.

#### 2.1.1 Βιοκλιματικές Αρχές

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή βιοκλιματικών κτιρίων βασίζεται στην φιλοδοξία να καθιερωθεί μια αρμονική σύνδεση μεταξύ αρχιτεκτονικού και φυσικού περιβάλλοντα χώρου. Η βιοκλιματολογία λοιπόν συνδέει τη μελέτη του κλίματος (κλιματολογία) με τον άνθρωπο. Το παράδειγμα στο Σχήμα 2.1 τοποθετεί την ανθρώπινη εικόνα να περιβάλλεται από μια σειρά ετερογενών παραγόντων - ηθικών, ιστορικών, ηχητικών, χωρικών, περιβαλλοντικών. Ο ρόλος της αρχιτεκτονικής, λοιπόν σύμφωνα με το σχήμα, είναι να συμπεριλάβει αυτούς τους παράγοντες και να τους συνδυάσει με τις ανθρώπινες ανάγκες μέσω νέων σχεδιαστικών στρατηγικών. «Ο άνθρωπος», έγραψαν οι Olgyay «με τις σωματικές και συναισθηματικές του ανάγκες, παραμένει το κεντρικό μέτρο σε όλες τις προσεγγίσεις. Η επιτυχία κάθε σχεδίου πρέπει να μετράται με τη συνολική του επίδρασή στο ανθρώπινο περιβάλλον» (Daniel A. Barber - Copyright 2016 by Duke University Press).



Σχήμα 2.1: Victor Olgyay, “Man as the Central Measure in Architecture,” from Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism (1963)

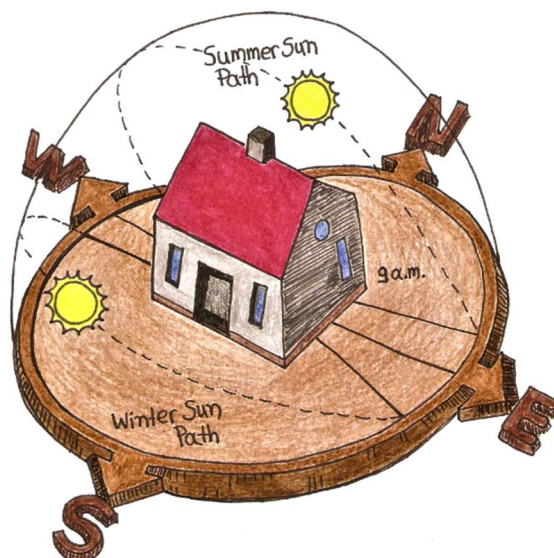
Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση στο κτίριο συστημάτων για φυσική θέρμανση, φυσικό δροσισμό και φυσικό φωτισμό εξασφαλίζοντας συνθήκες άνετης διαβίωσης για τους κατοίκους ενώ ταυτόχρονα εξοικονομείται ενέργεια και προστατεύεται το περιβάλλον. Το κτίριο και το κλίμα του τόπου αντιμετωπίζονται ως αλληλεξαρτώμενη ενότητα με πρωταρχικό στόχο τη διασφάλιση συνθηκών βιολογικής άνεσης (θερμικής, οπτικής, ακουστικής) για τον άνθρωπο που κατοικεί μέσα σε αυτό. Οι στόχοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η εξασφάλιση ηλιασμού, η προστασία από τους δυνατούς ανέμους και η ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας το χειμώνα, καθώς και η προστασία από τον ήλιο, η εκμετάλλευση των δροσερών ανέμων και η απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας το καλοκαίρι. Έτσι το βιοκλιματικό κτίριο έχει δυναμικό χαρακτήρα και αλλάζει ανάλογα με την εποχή, αλλά και ανάλογα με το αν είναι ημέρα ή νύκτα. Με τη χρήση παθητικών βιοκλιματικών συστημάτων στις κατοικίες, παρέχεται παθητική ηλιακή θέρμανση, ενισχύεται ο φυσικός δροσισμός και ρυθμίζεται το μικροκλίμα μέσα και γύρω από τις κατοικίες. Πέραν της ενσωμάτωσης βιοκλιματικών συστημάτων σε ένα κτίριο, επιπλέον επιθυμητή είναι η χρήση οικολογικών υλικών για την κατασκευή του, ώστε να εξοικονομείται ενέργεια και στο στάδιο αυτό. Σημαντική επίσης είναι η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτίρια, καθώς περιορίζουν την κατανάλωση των συμβατικών καυσίμων και την επίπτωσή τους στο περιβάλλον.

### 2.1.1.1 Προσανατολισμός Κτιρίου και Ανοιγμάτων

Για το σχεδιασμό μιας κατοικίας με βάση τις βιοκλιματικές αρχές, θα πρέπει αρχικά να μελετηθεί το κλίμα του τόπου, το φυσικό περιβάλλον, η τοπογραφία, η θέα, η ετήσια και ημερησία διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία, οι άνεμοι και η σχετική υγρασία της περιοχής.

Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ένα κτίριο εξαρτάται από την ώρα της ημέρας, την ημέρα του χρόνου και το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (Σχήμα 2.2). Στο βόρειο ημισφαίριο, οι νότιες όψεις δέχονται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία ενώ το αντίθετο συμβαίνει στο νότιο ημισφαίριο. Ακόμη αυξάνει το γεωγραφικό πλάτος ενός τόπου στο βόρειο ημισφαίριο, τόσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι και αντίστοιχα τόσο μικρότερη το χειμώνα. Επομένως στις χώρες του βόρειου ημισφαιρίου, όπως είναι και η Ελλάδα, κατά το σχεδιασμό της κατοικίας και για τη μέγιστη αξιοποίηση των ηλιακών κερδών, απαιτείται, όταν είναι εφικτό, η κύρια όψη καθώς και τα μεγαλύτερα ανοίγματα της κατοικίας, να είναι προσανατολισμένα προς το Νότο (επιτρέπονται αποκλίσεις  $\pm 30^\circ$  ανατολικά ή δυτικά). Οι βορινές πλευρές

των κτιρίων κρίνεται απαραίτητο να έχουν συμπαγείς τοίχους με μικρά ανοίγματα. Ωστόσο όλοι οι τοίχοι του κτιρίου πρέπει να έχουν μεγάλο όγκο και να είναι από συμπαγή υλικά ώστε να έχουν μεγάλη θερμική αδράνεια και να γίνεται σωστή εκμετάλλευση της θερμικής μάζας του κτιρίου για εξισορρόπηση των θερμοκρασιακών μεταβολών. Τα ανοίγματα της κατοικίας απαιτείται να σχεδιάζονται έτσι ώστε να προσφέρουν διαμερή αερισμό. Η νότια πλευρά του κτιρίου χρησιμοποιείται για παθητική ηλιακή θέρμανση, φωτισμό και ηλιασμό (αρκεί βάθος χώρου 2,5 φορές το ύψος του ανοίγματος) ενώ η βόρεια για ανάσχεση της θερμότητας και προστασία από τους ψυχρούς ανέμους.



Σχήμα 2.2: Προσανατολισμός κτιρίου με βάση της τροχιά του ήλιου

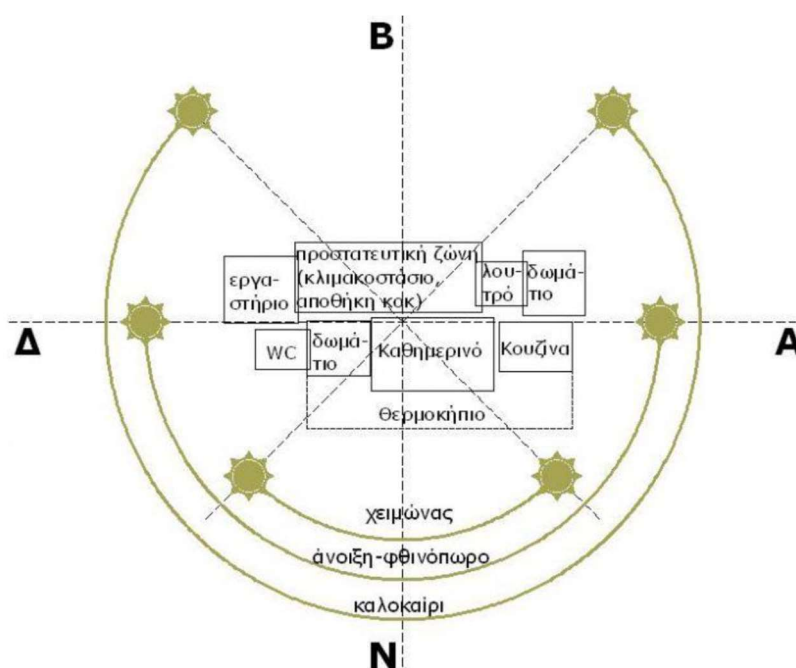
Μια κυρίαρχη σύγχρονη άποψη είναι ότι η χρήση γυάλινων επιφανειών στα ανοίγματα είναι η πιο οικονομική και ενεργειακά αποδοτική στη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα, αρκεί να έχει τον κατάλληλο προσανατολισμό και να διαθέτει επαρκή σκίαση τους θερινούς μήνες.

### 2.1.1.2 Κατάλληλο Σχήμα Κτιρίου και Εσωτερική Διαρρύθμιση

Η λειτουργία ενός κτιρίου ως φυσικός ηλιακός συλλέκτης δεν περιορίζεται στον κατάλληλο προσανατολισμό, τη χωροθέτηση και το μέγεθος των ανοιγμάτων του. Το κατάλληλο σχήμα του κτιρίου και η λειτουργική διάρθρωση των εσωτερικών του χώρων συμβάλλουν καθοριστικά στο βιοκλιματικό σχεδιασμό.

Το σχήμα του κτιρίου επηρεάζει τις ανάγκες του σε ψύξη, θέρμανση και φωτισμό και επηρεάζεται από τα κλιματικά δεδομένα. Το καταλληλότερο, από ενεργειακή σκοπιά, σχήμα, είναι εκείνο που εξασφαλίζει τις ελάχιστες θερμικές απώλειες το χειμώνα με παράλληλα το μέγιστο ηλιακό κέρδος, και την ελάχιστη δυνατή θερμική επιβάρυνση το καλοκαίρι. Παρατηρείται λοιπόν πως ένα επίμηκες κτίριο κατά τον άξονα ανατολής-δύσης προσφέρει μεγαλύτερη επιφάνεια προς το νότο ώστε να συλλέγεται μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ενέργειας του χειμερινούς μήνες. Οι δυσμενείς προσανατολισμοί ανατολής – δύσης, προτείνεται να έχουν περιορισμένη επιφάνεια και συνεπώς μικρότερη επιβάρυνση από τον καλοκαιρινό ήλιο, ενώ επιβάλλεται να γίνεται σκίαση της νότιας πλευράς για να εμποδίζεται το καλοκαίρι, που ο ήλιος είναι ψηλότερα, η είσοδος του στο εσωτερικό του κτιρίου.

Σχεδιάζοντας την κάτοψη των εσωτερικών χώρων αναγκαία κρίνεται η οργάνωση και ομαδοποίηση των χώρων έτσι ώστε χώροι που χρησιμοποιούνται περισσότερο να χωροθετούνται στη νότια πλευρά του κτιρίου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3, με σκοπό να εξασφαλισθούν οι επιθυμητές εσωτερικές θερμοκρασίες που συνήθως οφείλουν να είναι υψηλές. Χώροι περιορισμένης χρήσης οι οποίοι δεν έχουν υψηλές θερμοκρασιακές απαιτήσεις χωροθετούνται στην ενδιάμεση θερμική ζώνη. Οι υπόλοιποι χώροι, συνήθως οι βοηθητικοί, όπου υφίστανται, είναι προτιμότερο να τοποθετούνται στη βορινή πλευρά του κτιρίου ώστε να προστατεύουν και να μονώνουν κατά κάποιο τρόπο τους υπόλοιπους χώρους και να διαχωρίζουν το εξωτερικό περιβάλλον από το εσωτερικό στο οποίο επικρατούν κυρίως υψηλότερες θερμοκρασίες. Με αυτό τον τρόπο μειώνονται οι θερμικές απώλειες από τους κύριους χώρους του σπιτιού.



Σχήμα 2.3: Βιοκλιματική διαρρύθμιση εσωτερικών χώρων κτιρίου

## 2.1.2 Κέλυφος

### 2.1.2.1 Υλικά Δόμησης – Χάλυβας

Οι νέες κατασκευές θα πρέπει να προσαρμόζονται αποδοτικά στις ενεργειακές απαιτήσεις της εποχής. Για την εξοικονόμηση ενέργειας των κτιρίων καθ' όλο τον κύκλο ζωής τους, από το σχεδιασμό και τη λειτουργία τους, μέχρι την ανακύκλωση των δομικών αποβλήτων τους σημαντική είναι η επιλογή και χρήση υλικών που προσφέρουν υψηλή αισθητική και αειφορία.

Η χρήση χάλυβα οδηγεί σε κατασκευές με μικρό βάρος σε σχέση με άλλες κατασκευαστικές λύσεις καθώς έχει τον καλύτερο λόγο αντοχής προς βάρος. Προσφέρει επομένως δυνατότητες μεγάλων ανοιγμάτων (μεγαλύτερα από αυτά που μπορούμε να επιτύχουμε στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα), χωρίς ενδιάμεση υποστήλωση, επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο σημαντικές αρχιτεκτονικές επιλογές. Ακόμη, η διάταξη των μεταλλικών στοιχείων σε ένα κτίριο είναι τέτοια που επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωση του Η/Μ εξοπλισμού, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό το ύψος και τον όγκο του κτιρίου και ταυτόχρονα τις απαιτήσεις του

σε θέρμανση και ψύξη. Τα μεγάλα ανοίγματα που επιτρέπουν οι μεταλλικές κατασκευές προσφέρουν κατόψεις, οι οποίες μπορούν να διαμορφωθούν ευέλικτα και να αναμορφωθούν εύκολα σε περίπτωση ανακαίνισης ή αναδιαμόρφωσης του κτιρίου, επεκτείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής αυτών των κατασκευών. Η μακροζωία και η σημαντικά μεγάλη αντοχή του υλικού στον χρόνο, χάρη στα υψηλά τεχνικά του χαρακτηριστικά, σε συνδυασμό με τις αυξημένες δυνατότητες προκατασκευής που προσφέρει, ελαχιστοποιούν το περιβαλλοντικό "αποτύπωμα" του κτιρίου.

Το υψηλό κόστος του χάλυβα συγκριτικά με το οπλισμένο σκυρόδεμα το αντισταθμίζουν η ταχύτητα στην κατασκευή μεταλλικών κτιρίων, το υψηλό ποσοστό ανακύκλωσής του (πάνω από 90%) καθώς και οι δυνατότητες πλήρωσης των τοίχων με υλικά που προσφέρουν την μεγαλύτερη οικολογική θερμομόνωση. Αξίζει να αναφερθεί ότι νέοι χάλυβες φτιαγμένοι από ανακυκλωμένα υλικά χρησιμοποιούν το 26% της απαιτούμενης ενέργειας για την παραγωγή χάλυβα από σίδηρο και άλλα φυσικά εξαγόμενα υλικά. Ακόμα, σχετικά με την ανακυκλωσιμότητα τα μεταλλικά πάνελ για στέγες και τοίχους μπορούν να μειώσουν τα απόβλητα εξαιτίας της ασύγκριτης ανθεκτικότητας και αντίστασής τους στη φωτιά, στον άνεμο και τα έντομα. Το Αμερικανικό Ινστιτούτο Σιδήρου και Χάλυβα (AISI) αναφέρει ότι οι μεταλλικές στέγες έχουν διάρκεια ζωής 40-60 χρόνια και απαιτούν λιγότερη συντήρηση σε σχέση με άλλους τύπους στεγών.

Εκτός από το κέλυφος του κτιρίου, ως αποθήκες θερμότητας μπορούν να λειτουργήσουν και τα δάπεδα και οι οροφές που αποτελούν τελικά και τη θερμική μάζα του κτιρίου, της οποίας το μέγεθος εξαρτάται από τη μορφή και τον προσανατολισμό του κτιρίου αλλά και τη θερμοχωρητικότητα των υλικών κατασκευής. Μεγάλη επίδραση στη δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας παίζει το ποσοστό των υαλοπινάκων στις όψεις, το οποίο είναι γενικά μεγαλύτερο στις μεταλλικές κατασκευές. Επίσης, το χρώμα και η υφή των εξωτερικών επιφανειών του κελύφους του κτιρίου καθορίζουν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται, καθώς και την ποσότητα της θερμότητας που αποβάλλεται το βράδυ προς την ατμόσφαιρα, ρυθμίζοντας έτσι τη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του κτιρίου και κατ' επέκταση τη διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, ένα δώμα βαμμένο με σκούρο χρώμα μπορεί να παρουσιάζει επιφανειακή θερμοκρασία αυξημένη κατά 32°C, σε σχέση με τη μέγιστη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα. Αντίθετα, η επιφανειακή θερμοκρασία ενός δώματος βαμμένου με ασβέστη, μόλις ξεπερνά τον 1°C σε σχέση με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

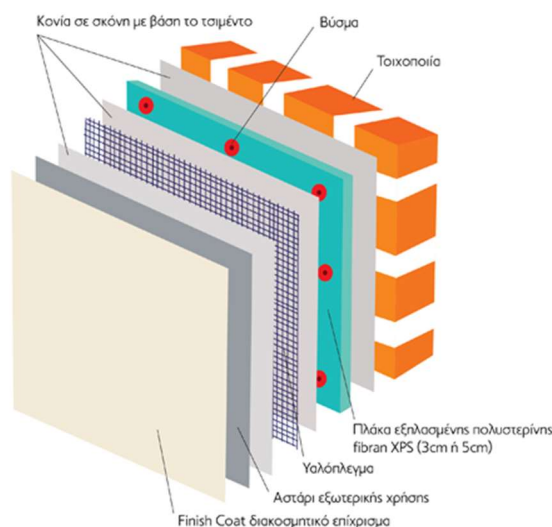
### **2.1.2.2 Μόνωση**

Κτίρια που χρησιμοποιούν αποτελεσματικά συστήματα θερμομόνωσης έχουν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στο περιβάλλον εξαιτίας της ικανότητάς τους να μειώνουν την ενεργειακή κατανάλωσή τους. Η θερμομόνωση, που αποτελεί τη βασική θερμική προστασία του κελύφους έναντι των καιρικών συνθηκών, έχει δύο σημαντικούς στόχους, να σταθεροποιήσει την εσωτερική θερμοκρασία της κατασκευής και να αποτρέψει την υγρασία να εισέλθει ή να συγκεντρωθεί μέσω της συμπύκνωσης. Όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος διαφέρουν, στο εσωτερικό παρατηρείται υγρασία. Χωρίς τις κατάλληλες διαδικασίες συντήρησης η υγρασία μπορεί να προκαλέσει σκουριά και διάβρωση αλλά και κακές συνθήκες υγιεινής για τους ανθρώπους που ζουν εντός του κτιρίου.

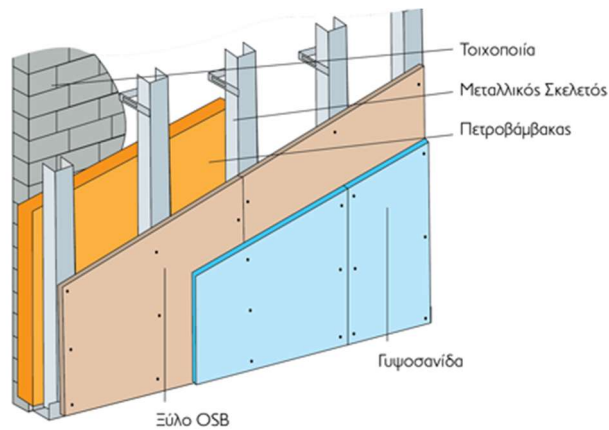
Η θερμομόνωση είναι πολύ ουσιαστική στα μεταλλικά κτίρια καθώς το μέταλλο είναι πολύ καλός αγωγός. Χωρίς μόνωση, το κτίριο δεν μπορεί να διατηρήσει τη ζέστη το χειμώνα, ενώ οι τοίχοι και η στέγη θα μεταφέρουν στο εσωτερικό την ηλιακή

θερμότητα το καλοκαίρι. Επιβάλλεται λοιπόν η προσθήκη κατάλληλου πάχους μόνωσης, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, σε τοίχους, οροφές και δάπεδο, ώστε να επιτυγχάνεται μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας των συμπαγών στοιχείων του κελύφους και συνεπώς μείωση των θερμικών απωλειών.

Ανάλογα με το που επιθυμείται να περικλείεται η θερμική μάζα του κτιρίου, η θερμομόνωση μπορεί να είναι είτε εξωτερική είτε εσωτερική. Η εξωτερική θερμομόνωση, μια τυπική τομή της οποίας φαίνεται στο Σχήμα 2.4, εφαρμόζεται εξωτερικά στις όψεις των κτιρίων, προσφέρει προστασία από τα καιρικά φαινόμενα, εξαλείφει τις θερμογέφυρες και είναι κατάλληλη για μόνιμες κατοικίες καθώς λειτουργεί και χρησιμοποιείται όλο το 24ωρο αφού εκμεταλλεύεται τη θερμοχωρητικότητα των συμπαγών δομικών στοιχείων της εξωτερικής τοιχοποιίας. Όσον αφορά την εσωτερική θερμομόνωση, Σχήμα 2.5, τα πλεονεκτήματά της εστιάζονται στο γεγονός ότι η τοποθέτησή της από την εσωτερική πλευρά παρέχει ταχύτερη θέρμανση και ψύξη του εσωτερικού χώρου κάτι το οποίο είναι πολύ σημαντικό σε εξοχικές κατοικίες όπου είναι επιθυμητή η επίτευξη ταχύτερης θερμικής άνεσης. Συγκρίνοντας όμως μια εξωτερική και μια εσωτερική θερμομόνωση, από καθαρά ενεργειακή άποψη, συμπεραίνεται ότι η εξωτερική θερμομόνωση αποφέρει μεγαλύτερο ενεργειακό αποτέλεσμα. Παρ' όλα αυτά τη βέλτιστη λύση αποτελεί ο συνδυασμός και των δύο εφαρμογών. Δηλαδή μέσω της εξωτερικής θερμομόνωσης να επιτευχθεί η θωράκιση του κτιρίου από τις κλιματολογικές συνθήκες και με την εσωτερική θερμομόνωση (έστω και πολύ μικρής διατομής) να συγκρατείται η παραγόμενη ενέργεια για μεγαλύτερο χρόνο και να διαθέτει πιο άμεση απόδοση.



Σχήμα 2.4: Τυπική τομή εξωτερικής θερμομόνωσης



Σχήμα 2.5: Τυπική τομή εσωτερικής θερμομόνωσης

Για την υγιεινή θερμομόνωση, που επιτρέπει τη φυσική «αναπνοή» του κτιρίου, αλλά και την μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, λόγω της χαμηλής ενέργειας που καταναλώνεται για την παρασκευή τους, συστήνεται η χρήση οικολογικών ή ανακυκλωμένων υλικών. Μεταξύ των υλικών αυτών περιλαμβάνεται η φυτική ίνα, το μαλλί, ο ανακυκλωμένος πολυεστέρας ο φελλός καθώς και το ξυλόμαλλο (Heraklith), η μορφή του οποίου φαίνεται στο Σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6: Μονωτική πλάκα ξυλόμαλλου

### 2.1.2.3 Κουφώματα – Υαλοπίνακες και Υαλοπετάσματα

Τα ανοίγματα σε ένα κτίριο επιτρέπουν την είσοδο του ημερήσιου φωτός στο κτίριο αλλά και την ενέργεια του ήλιου για θέρμανση. Προκειμένου λοιπόν να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις θερμικής άνεσης στους εσωτερικούς χώρους, η αποφυγή μεταφοράς θερμότητας και η εύρυθμη λειτουργία του συστήματος εξαερισμού για πρόσληψη εμφάνισης υγρασίας, είναι απαραίτητη η χρήση των κατάλληλων κουφωμάτων και υαλοπινάκων λαμβάνοντας υπ' όψη τις κλιματολογικές συνθήκες.

Έχοντας ως γνώμονα την εξοικονόμηση ενέργειας, διευρυμένη είναι η χρήση «Ενεργειακών Υαλοπινάκων» (Energy efficient glass) οι οποίοι έχουν χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν την μεταφορά της θερμότητας από την μία πλευρά στην άλλη. Σταθμό στην θερμομονωτική απόδοση των υαλοπινάκων αποτέλεσε η εφεύρεση των «διπλών» υαλοπινάκων η οποία άρχισε να διαδίδεται από τις αρχές της δεκαετίας του '70. Πρόκειται για δύο τζάμια κολλημένα μεταξύ τους περιμετρικά, με διάκενο ανάμεσά τους, έτσι ώστε να σχηματίζουν έναν «υαλοθάλαμο». Τα αυξημένα

χαρακτηριστικά μόνωσης που παρέχουν τους κάνουν ελκυστικούς για χρήση στα ανοίγματα αφού συνδυάζουν ηχομόνωση, ασφάλεια και αισθητική. Πολλά είναι τα παραδείγματα στη χώρα μας και στο εξωτερικό με ευρέως γνωστό το παράδειγμα των υαλοπινάκων στο μουσείο της Ακρόπολης όπου οι αυξημένες ανάγκες προστασίας δημιούργησαν την ανάγκη τοποθέτησης υαλοπινάκων οι οποίοι όχι μόνο επιτρέπουν την επαφή με το βράχο και το φυσικό περιβάλλον αλλά προστατεύουν εσωτερικά τα εκθέματα από τον ήλιο.

Από την ίδια περίπου εποχή, οι εταιρίες παραγωγής υαλοπινάκων άρχισαν να διαθέτουν στην αγορά τους υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (Low-emissivity ή Low-E), με ιδιαίτερα αυξημένες δυνατότητες παρεμπόδισης μεταφοράς της θερμότητας από την μία πλευρά τους στην άλλη. Με την χρήση Ενεργειακών Υαλοπινάκων στην κατασκευή των διπλών υαλοστασίων, επήλθε θεαματική βελτίωση των θερμομονωτικών επιδόσεών τους (Σχήμα 2.7). Με την «ικανότητά» τους να δυσχεραίνουν την εκπομπή της θερμότητας από την θερμότερη προς την ψυχρότερη πλευρά (γι' αυτό αποκαλούνται υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής), οι Ενεργειακοί Υαλοπίνακες βοηθούν στη διατήρηση της θερμότητας της κατοικίας τον χειμώνα μέσα και το καλοκαίρι την ζέστη του εξωτερικού περιβάλλοντος έξω, εξοικονομώντας ενέργεια (για την θέρμανση ή τον κλιματισμό του χώρου, αντίστοιχα).

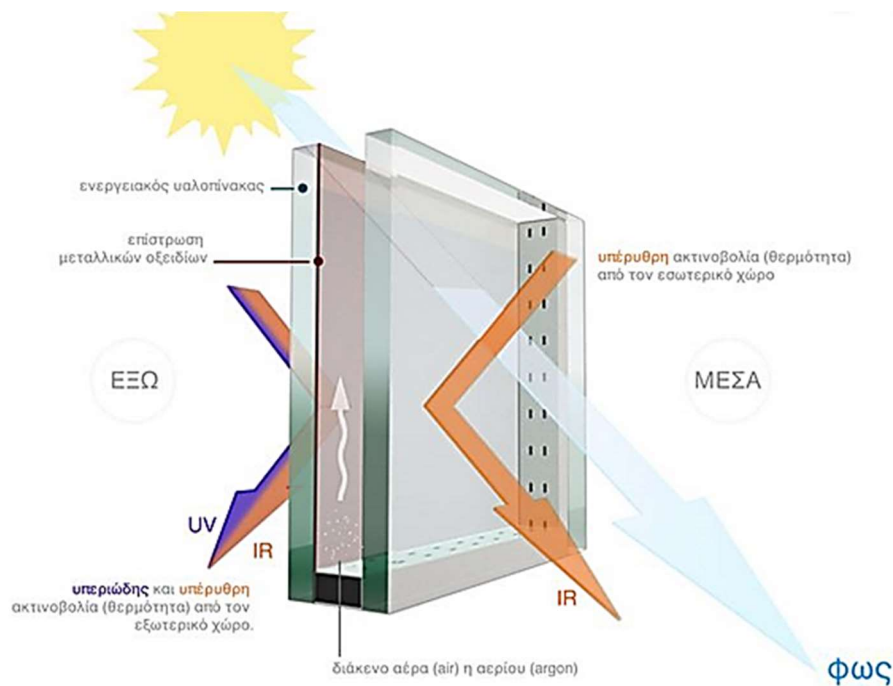
Η βασική ιδιότητα των «Ενεργειακών Υαλοπινάκων» λειτουργεί με όλες τις καιρικές συνθήκες (συννεφιά ή λιακάδα), όλες τις ώρες (ημέρα και νύκτα), όλες τις ημέρες του χρόνου (χειμώνα-καλοκαίρι), εφόσον δεν εκτίθενται στην απ' ευθείας ηλιακή ακτινοβολία. Όταν όμως εκτεθούν στην απ' ευθείας ηλιακή ακτινοβολία, τότε η φωτεινή ηλιακή ενέργεια διαπερνά ανεμπόδιστη τον υαλοπίνακα, εισέρχεται στον χώρο, δημιουργώντας συνθήκες δυσφορίας (θερμοκηπίου) και κατ' επέκταση ανάγκες περισσότερου κλιματισμού. Την λύση δίνει μια νέα κατηγορία Ενεργειακών Τζαμιών με πρόσθετες επιστρώσεις, ικανές να ελέγξουν την είσοδο της φωτεινής ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στα κτίρια. Πρόκειται για την κατηγορία των υαλοπινάκων ηλιακού ελέγχου (Solar Control) οι οποίοι είναι γνωστοί στην αγορά και σαν Ενεργειακοί Υαλοπίνακες Τεσσάρων Εποχών υπό την έννοια ότι λειτουργούν και όταν ο καυτός ήλιος «κτυπάει» τα τζάμια το καλοκαίρι.

Το χειμώνα, το γεγονός ότι το γυαλί επιτρέπει την θερμότητα και το φως του ήλιου να εισέλθει σε ένα κτίριο έχει μεγάλο όφελος. Τους καλοκαιρινούς όμως μήνες, χωρίς ηλιακό έλεγχο, ο χώρος μπορεί να γίνει πολύ ζεστός. Οι γυάλινες επιφάνειες που προσφέρουν ηλιακό έλεγχο, παρέχουν ένα πιο άνετο περιβάλλον και μειώνουν τα κόστη καθώς επίσης και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια του έτους, περιορίζοντας ή εξαλείφοντας την ανάγκη κλιματισμού. Ανάλογα με το σχεδιασμό του κτιρίου, τις κλιματικές συνθήκες και τον βαθμό έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια του έτους, η γυάλινη επιφάνεια πρέπει να είναι ικανή να προστατέψει το εσωτερικό του κτιρίου, να εγγυηθεί μέγιστη άνεση, να ελαχιστοποιήσει την ενεργειακή κατανάλωση, να εγγυηθεί ασφάλεια και να παρέχει την επιθυμητή αισθητική και ποιότητα. Οι γυάλινες αυτές επιφάνειες ελέγχουν την ηλιακή ακτινοβολία διαχειριζόμενες την αντανάκλαση, την διαπερατότητα και την απορροφητικότητα. Ο ηλιακός έλεγχος μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους όπως για παράδειγμα με χρωματισμένο γυαλί, επικαλυμμένο γυαλί ή πλαστικοποιημένο γυαλί με ενδιάμεσες χρωματιστές στρώσεις.

Η σημερινή αυξημένη χρήση του γυαλιού στην αρχιτεκτονική καθιστά επιτακτική την εξέταση της άνεσης των κατοίκων του κτιρίου. Στα θερμά κλίματα, οι γυάλινες επιφάνειες ηλιακού ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελαχιστοποιήσουν την ηλιακή θερμότητα που εισέρχεται στο κτίριο και να ελέγξουν την αντηλιά. Σε



εύκρατα κλίματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ισορροπήσουν το ηλιακό κέρδος με την απώλεια θερμότητας και να επιτύχουν υψηλά επίπεδα φυσικού φωτισμού.



Σχήμα 2.7: Τυπική τομή διπλού ενεργειακού υαλοπίνακα

### 2.1.3 Στοιχεία του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού

#### 2.1.3.1 Συστήματα Παθητικής Ηλιακής Θέρμανσης

Οι διατάξεις που χρησιμοποιούμε για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας σε εφαρμογές παθητικής ηλιακής θέρμανσης κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το που προσπίπτει και αποθηκεύεται το ηλιακό κέρδος στα κτίρια, και χωρίζονται σε διατάξεις άμεσου, έμμεσου και απομονωμένου κέρδους.

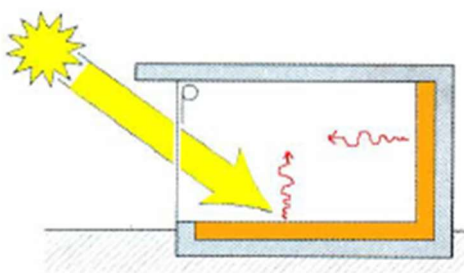
- Στις *Διατάξεις Άμεσου Κέρδους*, οι ηλιακές ακτίνες εισέρχονται απευθείας μέσα στο κτίριο, απορροφώνται από τη θερμική μάζα και αποδίδονται στο χώρο διαβίωσης
- Στις *Διατάξεις Έμμεσου Κέρδους*, οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν στην περίμετρο του κτιρίου που αποτελεί τη θερμική μάζα, και στη συνέχεια μεταδίδονται μέσα στο χώρο διαβίωσης (τοίχος μάζας/Trombe κλπ.),
- Στις *Διατάξεις Απομονωμένου Κέρδους*, οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν σε χώρο που είναι προσαρτημένος στο κτίριο και η θερμότητα μεταφέρεται μέσα στο χώρο διαβίωσης (θερμοκήπιο, θερμοσιφωνικό πάνελ κλπ.).

#### Διατάξεις Άμεσου Κέρδους:

Οι διατάξεις άμεσου κέρδους, Σχήμα 2.8, αποτελούν το πιο απλό σύστημα παθητικής ηλιακής θέρμανσης. Απαιτείται απλώς ένα καλά μονωμένο κτίριο το οποίο έχει μεγάλη νότια επιφάνεια καλυμμένη με μεγάλο υαλοστάσιο. Η διαφορά του με ένα συμβατικό κτίριο, είναι ότι μπορεί να αποθηκεύσει τη θερμότητα που συλλέγει. Το χειμώνα που ο ήλιος έχει μικρή γωνία οι ακτίνες του εισέρχονται στο κτίριο και

θερμαίνουν τον εσωτερικό χώρο, ενώ το καλοκαίρι που ο ήλιος έχει ψηλότερη τροχιά, ένα στέγαστρο ελαττώνει την είσοδο τους στο κτίριο και επιπλέον ένα προστέγασμα τις εμποδίζει.

Για το λόγο ότι θερμική μάζα βρίσκεται στην οροφή, στο δάπεδο και τους τοίχους, αυτά πρέπει να είναι μονωμένα για να προστατεύονται από τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες και για να αποφεύγεται η απώλεια της θερμότητας τη νύκτα. Ακόμη αξίζει να σημειωθεί ότι οι κατακόρυφες γυάλινες επιφάνειες είναι προτιμότερες από κεκλιμένες γιατί δέχονται τον ήλιο το χειμώνα ενώ προστατεύονται εύκολα το καλοκαίρι, ενώ άλλες μορφές ανοιγμάτων που προσφέρουν άμεσο κέρδος είναι ο φεγγίτης και το άνοιγμα στη στέγη.



Σχήμα 2.8: Τυπική διάταξη άμεσου κέρδους

### Διατάξεις Έμμεσου Κέρδους:

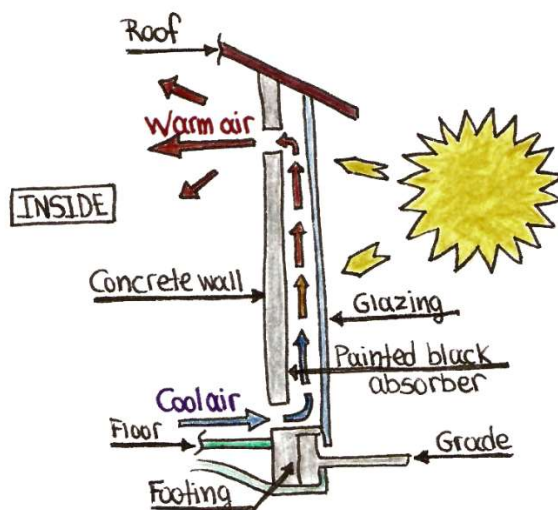
Στις διατάξεις έμμεσου κέρδους, η συλλογή, συσσώρευση και διανομή της ηλιακής ακτινοβολίας γίνονται σε ένα μέρος του περιβλήματος του κτιρίου που περικλείει τους χώρους διαβίωσης. Η θερμική μάζα βρίσκεται σε ένα νότιο τοίχο με τζάμι στην εξωτερική του επιφάνεια τοποθετημένο έτσι ώστε να δημιουργείται το φαινόμενο του θερμοκηπίου ανάμεσά τους, δηλαδή να εισέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία και να εμποδίζεται να εξέλθει η θερμική ακτινοβολία. Παραλλαγές διατάξεων έμμεσου κέρδους είναι ο τοίχος μάζας και τοίχος Trombe, ο τοίχος νερού και η ηλιακή στέγη. Πιο συγκεκριμένα:

- Τοίχος Μάζας-Τοίχος Trombe

Ο τοίχος Μάζας είναι ένας νότιος τοίχος κτισμένος από σκυρόδεμα που περικλείει τους χώρους διαβίωσης. Σε αυτόν προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία και γίνεται η συλλογή, συσσώρευση και διανομή της θερμότητας στο χώρο διαβίωσης. Ο τοίχος Trombe (1960 Félix Trombe-Jacques Michel), Σχήμα 2.9, είναι μία παραλλαγή του τοίχου μάζας και έχει οπές αερισμού στο επάνω και κάτω μέρος που επιτρέπουν στον αέρα να κυκλοφορεί στο χώρο που θερμαίνεται. Οι τοίχοι αυτοί, έχουν τζάμι στην εξωτερική τους επιφάνεια το οποίο επιτρέπει την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά εμποδίζει την έξοδο της θερμικής ενέργειας προς το περιβάλλον, δημιουργώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα υλικά κατασκευής τους είναι το σκυρόδεμα, η πέτρα, τα τούβλα και οι τσιμεντόλιθοι.

Η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στον τοίχο μάζας, απορροφάται και ο τοίχος μεταδίδει την θερμότητα αυτή στο δωμάτιο πίσω από αυτόν. Ο Τοίχος Trombe επιπλέον επιτρέπει τη διανομή της θερμότητας με φυσική κυκλοφορία. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού και πραγματοποιείται με την κυκλοφορία του αέρα στο χώρο ανάμεσα στο γυαλί και τον τοίχο, λόγω της διαφοράς

θερμοκρασίας που προκύπτει. Ανοίγματα στην κορυφή και τη βάση της μάζας του επιτρέπουν την κυκλοφορία αυτή. Ο ψυχρός αέρας του δωματίου εισέρχεται στην κάτω θυρίδα, θερμαίνεται, ανέρχεται και επιστρέφει στο χώρο διαβίωσης θερμός από την άνω θυρίδα. Στους τοίχους αυτούς μπορούν επίσης να τοποθετηθούν παράθυρα για φως και θέα.



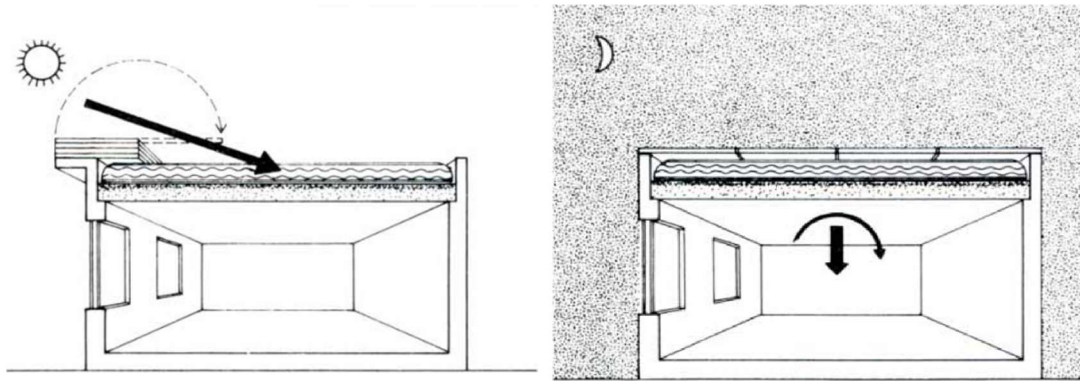
Σχήμα 2.9: Τοίχος Trombe

- Τοίχος Νερού

Ο τοίχος νερού είναι ένας τοίχος συσσώρευσης παρόμοιος με τον τοίχο μάζας/Trombe με τη διαφορά το περιεχόμενο του τοίχου είναι το νερό. Το βασικότερο μειονέκτημα στον τοίχο νερού είναι η στεγανότητά του.

- Ηλιακή Στέγη

Σε γεωγραφικά πλάτη από τον 35° παράλληλο έως τον ισημερινό, η τροχιά του ήλιου είναι τέτοια που ο ήλιος είναι ψηλά το χειμώνα και έτσι οι κατακόρυφοι συλλέκτες δεν λειτουργούν. Εκεί είναι αποδοτικότερες οι οριζόντιες διατάξεις για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται πλαστικά δοχεία PVC με νερό, τοποθετημένα σε μαύρη στέγη για θερμοσυσσωρευτική μάζα. Από πάνω υπάρχουν κινητά θερμομονωτικά στοιχεία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.10, που είναι ανοικτά τις χειμερινές ημέρες. Τις χειμερινές νύκτες κλείνει η μόνωση και η αποθηκευμένη θερμότητα ακτινοβολείται από την οροφή στο χώρο. Τις καλοκαιρινές νύκτες ανοίγει η μόνωση και η θερμότητα ακτινοβολείται στο περιβάλλον.



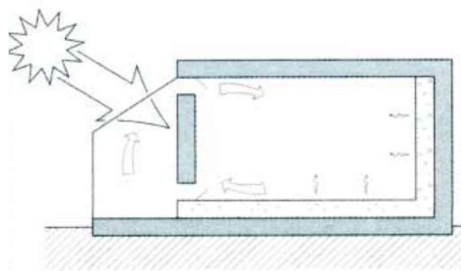
Σχήμα 2.10: Διάταξη ηλιακής στέγης τις χειμερινές ημέρες και τις καλοκαιρινές νύχτες

### Διατάξεις Απομονωμένου Κέρδους:

Στις διατάξεις απομονωμένου κέρδους, η ηλιακή συλλογή είναι θερμικά απομακρυσμένη από τους χώρους διαβίωσης του κτιρίου. Η μεταφορά ενέργειας από το συλλέκτη στο χώρο διαβίωσης γίνεται με μεταφορά ή ακτινοβολία. Ο αέρας θερμαίνεται στο συλλέκτη, γίνεται ελαφρύτερος και εισέρχεται στο χώρο κατοικίας ενώ ο ψυχρός εισέρχεται στο χώρο θέρμανσης από το κάτω μέρος.

- Ηλιακός Χώρος-Θερμοκήπιο

Ο ηλιακός χώρος είναι ένας κλειστός χώρος με υαλοστάσιο και εμφανίζεται με τη μορφή θερμοκηπίου, στη νότια πλευρά του κτιρίου. Ανάλογα με το κλίμα και τον τρόπο χρήσης του χωρίζεται από το κυρίως κτίριο με ένα τοίχο θερμικής συσσώρευσης ή χρησιμοποιείται άλλο μέσο αποθήκευσης που βρίσκεται μέσα στον ηλιακό χώρο (π.χ. δοχεία με νερό), για να σταθεροποιείται η θερμοκρασία στον ηλιακό χώρο και στο κτίριο. Σε πολλές περιπτώσεις ο ηλιακός χώρος χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αέρα αερισμού του κτιρίου. Η αρχή του είναι ίδια με του τοίχου Trombe με αυξημένη όμως επιφάνεια υαλοστασίου και τοίχου, Σχήμα 2.11.

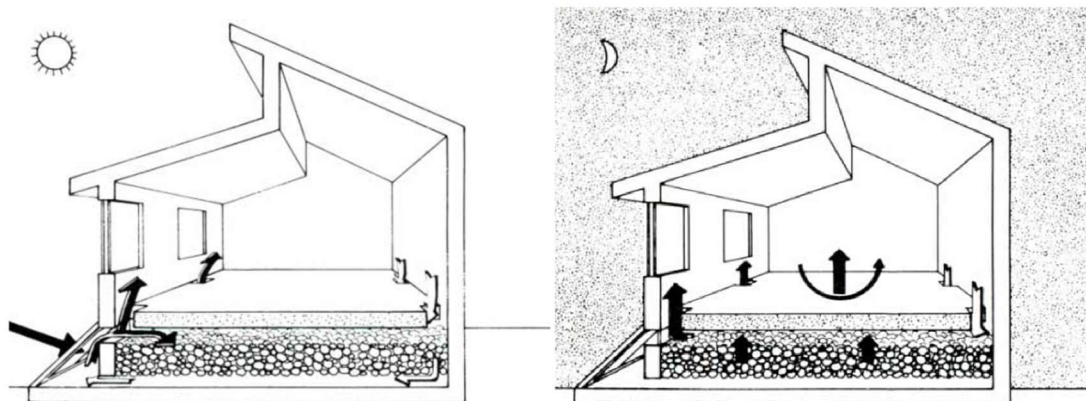


Σχήμα 2.11: Ηλιακός χώρος απομονωμένου κέρδους

- Συστήματα Θερμοσιφωνισμού

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από μία μαύρη απορροφητική επιφάνεια καλυμμένη με γυάλινο ή πλαστικό υαλοπίνακα που τοποθετείται στη νότια πλευρά του κτιρίου, σε χαμηλότερη στάθμη στο οικόπεδο. Η θερμότητα μεταδίδεται στο κτίριο αποκλειστικά με μεταφορά. Ο Αέρας θερμαίνεται ανεβαίνει και εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο μέσω ανοιγμάτων. Αυτό προκαλεί αναρρόφηση ψυχρού αέρα ο οποίος με τη σειρά του θερμαίνεται. Για την αποθήκευση της θερμότητας μπορούν να

χρησιμοποιηθούν σκύρα, οπότε και το σύστημα λειτουργεί και τη νύκτα αποδίδοντας την αποθηκευμένη θερμότητα, Σχήμα 2.12. Για αποφυγή υπερθέρμανσης κλείνονται τα ανοίγματα και η επιπλέον θερμική ενέργεια οδηγείται στην αποθήκη σκύρων.



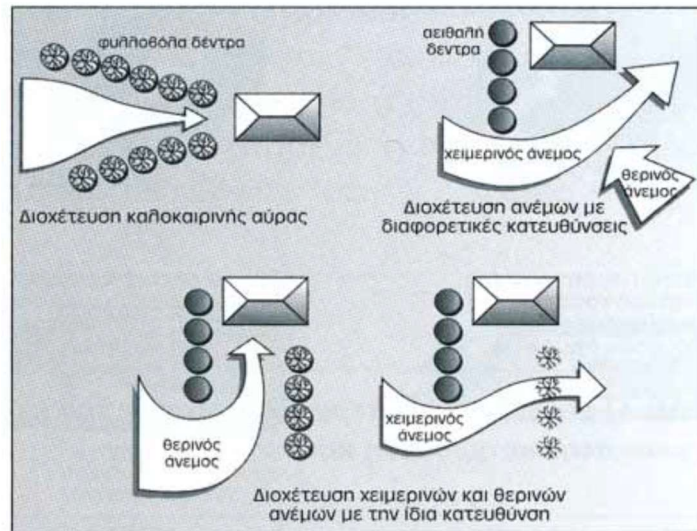
Σχήμα 2.12: Σύστημα θερμοσιφωνισμού τη μέρα και τη νύκτα

### 2.1.3.2 Συστήματα Φυσικού Αερισμού- Δροσισμού

Ο δροσισμός μιας κατοικίας μπορεί να γίνει με παθητικό τρόπο, με ελάχιστη ή χωρίς μηχανική βοήθεια. Αρχικά θα πρέπει να ελέγχεται, και να περιορίζεται το ποσό της θερμότητας που προέρχεται από τα παθητικά συστήματα θέρμανσης. Στη συνέχεια πρέπει να ελαχιστοποιείται το αποτέλεσμα της υπερβάλλουσας ηλιακής θερμότητας ενώ η περίσσεια θερμότητα θα πρέπει να απορροφάται, να αποθηκεύεται και να απομακρύνεται. Ο παθητικός δροσισμός συνδέεται στενά με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτιρίου και του περιβάλλοντός του, καθώς ορίζει τον προσανατολισμό και τα ανοίγματα του κτιρίου. Επίσης ο παθητικός δροσισμός εκφράζεται αρχιτεκτονικά και με την τροποποίηση του μικροκλίματος γύρω από το κτίριο για ηλιακή προστασία, και σχηματισμό ρευμάτων δροσερού αέρα.

Για τον έλεγχο του ηλιακού κέρδους και την πρόληψη του υπερβάλλοντος θερμικού κέρδους, σημαντικοί παράγοντες, όπως προαναφέρθηκε, είναι η θέση, η μορφή του κτιρίου, το περίβλημα του, η σκίαση, και η θερμομόνωση. Επίσης σημαντικός είναι και ο ρόλος του μικροκλίματος γύρω από το κτίριο που βελτιώνεται με την κατάλληλη δένδροφύτευση, Σχήμα 2.13. Για την τοποθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο, κατά το σχεδιασμό του, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα τοπογραφικά στοιχεία της περιοχής, τα παρακείμενα κτίρια, η βλάστηση και η παρουσία νερού. Κτίρια ελεύθερα από όλες τις πλευρές έχουν καλύτερο φυσικό αερισμό.

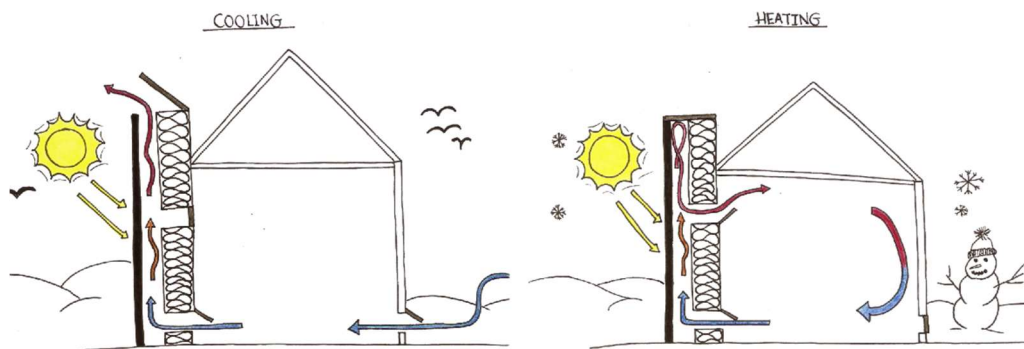
Η αρχιτεκτονική του τοπίου μπορεί να βελτιώσει το μικροκλίμα τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι. Το καλοκαίρι η βλάστηση παρέχει σκίαση, ψύξη εξάτμισης και βοηθάει στην κατεύθυνση ρευμάτων ανέμου, ενώ το χειμώνα προστατεύει από τον άνεμο. Τα φυτά απορροφούν μεγάλα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας και η διαπνοή τους μειώνει περαιτέρω τις θερμοκρασίες. Φυλλοβόλα δέντρα, θάμνοι και κληματαριές, παρέχουν σκίαση το καλοκαίρι, ενώ επιτρέπουν την προσπέλαση της ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα. Το νερό επίσης βοηθάει στη βελτίωση του μικροκλίματος τους καλοκαιρινούς μήνες και μπορεί να εμφανίζεται ως δεξαμενή, λίμνη, σιντριβάνι ή καταρράκτης.



Σχήμα 2.13: Χρήση βλάστησης για τη ροή ή εκτροπή του ανέμου

Ο φυσικός δροσισμός μπορεί να γίνει με φυσικό αερισμό, με ψύξη από το έδαφος, με ψύξη από εξάτμιση και με ψύξη από ακτινοβολία. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι ο φυσικός αερισμός. Ο αέρας παρέχει δροσισμό, απομακρύνοντας τη θερμότητα τόσο από το κτίριο όσο και από το ανθρώπινο σώμα. Η ροή του μέσα από το κτίριο, είναι αποτέλεσμα των διαφορών πίεσης που παρατηρούνται γύρω και μέσα στο κτίριο. Ο αέρας κινείται από τις περιοχές υψηλής στις περιοχές χαμηλής πίεσης και η ροή του επηρεάζεται από τις επιφάνειες των ανοιγμάτων, την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου, τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον και τη σχετική θέση των ανοιγμάτων. Ο αερισμός είναι αποτελεσματικός, όταν το κτίριο είναι διαμπερές και υπάρχει ελεύθερη ροή του αέρα μέσα σε αυτό. Η αποτελεσματικότητα του φυσικού αερισμού εξαρτάται από τη διαμόρφωση του κτιρίου στην περιοχή και τους χώρους που το περιβάλλουν, τη διεύθυνση και την ισχύ των ρευμάτων αέρα και τη διάταξη των εσωτερικών χώρων στην κάτοψη που δίνει τη δυνατότητα για διασταυρούμενο αερισμό. Απαραίτητο επίσης είναι ο αέρας με τον οποίο πραγματοποιείται ο αερισμός να είναι ψυχρότερος από τον εσωτερικό.

Ο φυσικός αερισμός μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας ανεμόπυργους ή/και ηλιακές καμινάδες. Οι ανεμόπυργοι αξιοποιούν την ίδια τη δύναμη του ανέμου για να δημιουργήσουν κίνηση του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου ενώ η ηλιακή καμινάδα χρησιμοποιεί τον ήλιο για να θερμάνει την εσωτερική της επιφάνεια και να οδηγήσει σε ανοδική ροή του αέρα με ταυτόχρονη εισροή δροσερού αέρα από τα πλευρικά ανοίγματα σε κάθε επίπεδο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.14. Όταν όμως το κτίριο δεν είναι διαμπερές ή κάποιες πολύ ζεστές ημέρες που πρέπει να διατηρήσουμε τα παράθυρα κλειστά, ή ακόμη και αν υπάρχει ανάγκη για ενίσχυση του φυσικού αερισμού ημέρες με άπνοια, η κίνηση του αέρα στο εσωτερικό ενισχύεται με τη χρήση ανεμιστήρων.



Σχήμα 2.14: Ηλιακή καμινάδα

## Διαμόρφωση Μικροκλίματος

- Φυτεμένο Δώμα-Στέγη

Για τον δροσισμό και τη σκίαση εκτός από την εξωτερική βλάστηση τα τελευταία χρόνια πολύ διαδεδομένη είναι η μετατροπή ορόφων κτιρίων σε Πράσινα Δώματα. Τα Φυτεμένα Δώματα συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας και προσφέρουν πολλαπλά οφέλη. Ένα από τα σπουδαιότερα *ενεργειακά του οφέλη* είναι η βελτίωση της θερμομόνωσης. Η θερμοχωρητικότητα του φυτεμένου δώματος είναι ιδιαίτερα αυξημένη σε σχέση με αυτήν ενός συμβατικού δώματος, εξαιτίας της μεγάλης θερμικής μάζας των κηπευτικών στρώσεων και του γεγονότος ότι μεταξύ του ατμοσφαιρικού αέρα και του χώματος, παρατηρείται ένα στρώμα ακίνητου αέρα. Το φυτεμένο δώμα λειτουργεί λοιπόν ως μια επιπλέον θερμομονωτική στρώση, ελαττώνοντας τα απαιτούμενα ψυκτικά ή θερμικά φορτία το καλοκαίρι και το χειμώνα αντίστοιχα. Σε έρευνα που έγινε διαπιστώθηκε ότι οι πράσινες στέγες έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τη θερμική απόδοση μιας σκεπής μέσω της σκίασης, της μόνωσης και της εξατμισοδιαπνοής, με την οποία τα φυτά προσφέρουν ψυκτικά φορτία. Στον ελλαδικό χώρο η θερμοκρασία στην επιφάνεια μιας ταράτσας μπορεί να φθάσει τους 80°C. Τα φυτά σε ένα φυτεμένο δώμα απορροφούν τη ζέστη για τις ανάγκες του μεταβολισμού τους με αποτέλεσμα τη μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας της ταράτσας έως 45°C σε σχέση με ένα συμβατικό δώμα (επιφανειακή θερμοκρασία < 35°C). Αυτό συνεπάγεται μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου έως 10°C. Επίσης η μείωση του κόστους θέρμανσης και δροσισμού του κτιρίου υπολογίζεται σε έως 50%.

Εκτός όμως από τα ενεργειακά τα φυτεμένα δώματα προσφέρουν πολλαπλά *περιβαλλοντικά οφέλη*. Σε αυτά ανήκουν:

- η μείωση απορροής των υδάτων: Το φυτεμένο δώμα κατακρατεί το βρόχινο νερό στη στρώση αποστράγγισης, το υπόστρωμα φύτευσης και τη φύτευση και αυξάνει τα ποσοστά εξάτμισης με αποτέλεσμα την αποφόρτιση του αστικού δικτύου απορροής υδάτων, ειδικά σε ραγδαίες καταιγίδες. Επιπλέον τα βαριά μέταλλα και στοιχεία που μεταφέρονται από τη βροχή απορροφούνται από τα φυτεμένα δώματα και δεν αποδεσμεύονται, με αποτέλεσμα το νερό που απορρέει να είναι πιο καθαρό από το βρόχινο.
- η μείωση ηχορύπανσης: Στα φυτεμένα δώματα, ο συνδυασμός του χώματος, των φυτών και των παγιδευμένων στρωμάτων του αέρα μπορεί να λειτουργήσει ως φίλτρο απομόνωσης του ήχου. Η ένταση του ήχου που ανακλάται μειώνεται κατά 3 dB και ηχομόνωση ενός κτιρίου μπορεί να βελτιωθεί έως 8 dB.
- η βελτίωση της ποιότητας του αέρα: Τα φυτά μειώνουν το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και παράγουν οξυγόνο. Επιπλέον, ένα μεγάλο ποσοστό των

- σωματιδίων της ατμόσφαιρας δεσμεύεται από το φύλλωμα των φυτών, τα οποία λειτουργούν με τον τρόπο αυτό ως φίλτρο συγκράτησης πολλών επιβλαβών συστατικών του αέρα.
- iv. η βελτίωση του μικροκλίματος: Η ύπαρξη ενός φυτεμένου δώματος επηρεάζει τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ποιότητα του αέρα, σε αρκετές περιπτώσεις και τον άνεμο.

Τέλος διαθέτουν σημαντικά κατασκευαστικά οφέλη στα οποία συγκαταλέγονται:

- i. η προστασία από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία: Έρευνα που έγινε στο Μόναχο και στην πόλη Κάσσελ έδειξε ότι η διείσδυση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και μικροκυμάτων σε κτίριο του οποίου φυτεύτηκε το δώμα μειώθηκε 99,4% (Herman, 2003).
- ii. η πυροπροστασία: Τα πράσινα δώματα προστατεύουν τα κτίρια από τη φωτιά. Έρευνα που διεξήχθη στο Βερολίνο για την αντίσταση ενός πράσινου δώματος στη φωτιά βρέθηκε ότι τα φυτεμένα δώματα εμποδίζουν τη φωτιά περισσότερο από δώματα με χαλίκι, στην εξάπλωσή της. Αυτό συμβαίνει από τη συγκράτηση νερού μέσα στις δομές που χρησιμοποιούνται για τη φύτευση (Kohler, 2004).

Τα φυτεμένα δώματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο της βλάστησης που πρόκειται να τοποθετηθεί σε αυτά, άρα και της διαστρωμάτωσης των υλικών, Σχήμα 2.15, αλλά και τη δυνατότητα πρόσβασης σε αυτά. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- *Εκτατικός τύπος:*

Το σύστημα αποτελείται από πολυεπίπεδη διαστρωμάτωση υλικών με ελαφρύ υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών ύψους 8 έως 15cm, το φορτίο του υποστρώματος είναι μικρό (κορεσμένο φορτίο έως 120 kg/m<sup>2</sup>) και το ριζικό σύστημα των φυτών επιφανειακό. Για τη φυτική κάλυψη χρησιμοποιούνται φυτά χαμηλής βλάστησης, όπως φυτά εδαφοκάλυψης, αγριολούλουδα κλπ., ανθεκτικά στη ξηρασία, στον άνεμο και στο ψύχος. Εφαρμόζεται κυρίως σε μη προσβάσιμες στέγες κτιριακών εγκαταστάσεων και δεν χρειάζεται τακτική συντήρηση.

- *Ημιεντατικός τύπος:*

Το σύστημα αποτελείται από ένα ελαφρύ υπόστρωμα ύψους 10 έως 25cm, με φορτίο 100-270 kg/m<sup>2</sup>. Στον ημιεντατικό τύπο φυτεμένου δώματος η φυτική κάλυψη μπορεί να είναι χλοοτάπητας, φυτά εδαφοκάλυψης και θάμνοι. Σε σχέση με τον εκτατικό τύπο στέγης έχει μεγαλύτερο ύψος υποστρώματος και συγκρατεί μεγαλύτερη π

ο

σ

ό

τ

- *Εντατικός τύπος:*

Το σύστημα εντατικού τύπου συνίσταται στη δημιουργία ενός «κήπου», σε υπόστρωμα 12-100cm με αρχικό κορεσμένο φορτίο 250 kg/m<sup>2</sup>. Αυτός ο τύπος «πράσινης στέγης» / φυτεμένου δώματος απαιτεί τακτική συντήρηση (άρδευση, λίπανση κλπ.) και περιλαμβάνει μεγάλη ποικιλία φυτών, δέντρων και θάμνων. Μπορούν να δημιουργηθούν καθιστικά, πέργκολες, παιδότοποι και να γίνουν κατασκευές όπως μονοπάτια, στοιχεία νερού, κ.α..

ε

ρ

ο

ύ

.

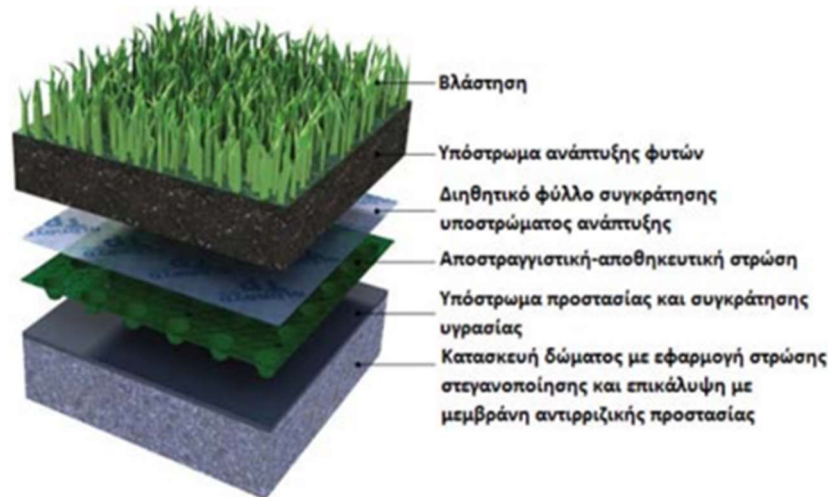
Π

ρ

ο

τ





Σχήμα 2.15: Τυπική διαστρωμάτωση φυτεμένου δώματος

- Κάθετοι κήποι

Οι κάθετοι κήποι, μία από τις πιο καινοτόμες και δημοφιλείς τάσεις στο χώρο της αρχιτεκτονικής παγκοσμίως, αποτελούν έμπνευση του Γάλλου βοτανολόγου Patric Blanc και θεωρούνται σήμερα ως μία από τις πλέον ενδεδειγμένες, καλαίσθητες και οικολογικές λύσεις για το αστικό τοπίο. Ο όρος «κάθετος κήπος» χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη φύτευση πάνω στις κάθετες εσωτερικές ή εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων. Η υλοποίησή τους πραγματοποιείται είτε με τη χρήση αναρριχώμενων φυτών, είτε με φυτοδοχεία τα οποία στηρίζονται στον τοίχο του κτιρίου, είτε με ένα εξειδικευμένο σύστημα, το οποίο περιλαμβάνει έναν ανθεκτικό μεταλλικό σκελετό, ένα φύλλο PVC, μη βιοαποικοδομήσιμες μεμβράνες και μία ποικιλία φυτών τα οποία προσαρτώνται σε αυτές. Σ' όλες τις περιπτώσεις, εφαρμόζεται σύστημα αυτόματης άρδευσης.

Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη που προσφέρει, λόγω της ύπαρξης των φυτών, ένας κάθετος κήπος συμβάλλει και στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου αφού λειτουργεί σαν υλικό θερμομόνωσης και ηχομόνωσης. Έρευνα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών έδειξε, ότι στα δωμάτια που εφάπτονται με τη φύτευση η θερμοκρασία πέφτει 5-6°C κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ενώ σύμφωνα με μια άλλη έρευνα που έγινε στην Γερμανία, αν το 5% των τοίχων και ταρατσών ήταν πράσινα, το αποτέλεσμα θα ήταν ένα υγιέστατο αστικό κλίμα.

### 2.1.3.3 Συστήματα Φυσικού/ Τεχνητού Φωτισμού- Σκίασης

#### Φυσικός Φωτισμός

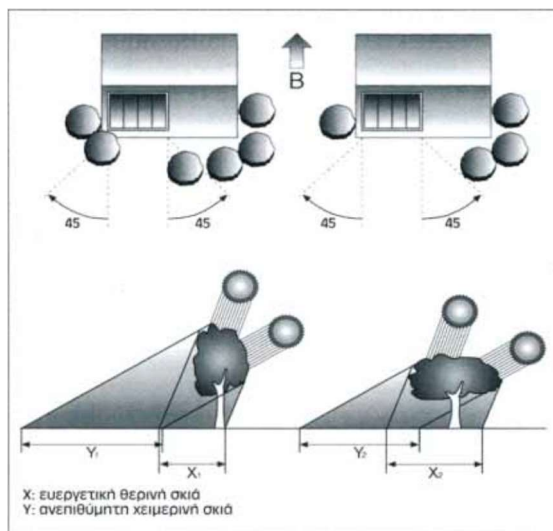
Για να επιτευχθεί ο φυσικός φωτισμός ενός κτιρίου αρκεί η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται σε αυτό. Μέσω της κατάλληλης γεωμετρίας, του προσανατολισμού των κατακόρυφων ανοιγμάτων, των αίθριων, των ανοιγμάτων οροφής, των φωταγωγών αλλά και της επιλογής υαλοπινάκων μπορεί το κτίριο να φωτίζεται φυσικά χωρίς τη χρήση μηχανικού εξοπλισμού. Ακόμη, οι προεξοχές, τα κινητά συστήματα σκίασης που κατευθύνουν το φως εκεί που χρειάζεται, καθώς και οι φωτεινές αντανακλαστικές επιφάνειες επιτρέπουν στο φως να διεισδύσει μέσα στο χώρο χωρίς την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας του.

## Τεχνητός Φωτισμός

Όσον αφορά τον τεχνητό φωτισμό σημαντική είναι η χρήση λαμπτήρων υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλής κατανάλωσης, όπως οι λαμπτήρες τεχνολογίας LED. Οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες χρησιμοποιούν σημαντικά λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τους συμβατικούς, ενώ έχοντας μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σχέση με τους συμβατικούς επιτυγχάνουν εξοικονόμηση ενέργειας με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Νέες τεχνολογίες στον τομέα αυτό έχουν εισάγει ανιχνευτές παρουσίας και αισθητήρες φωτισμού που ενεργοποιούν τα φώτα όταν ο φυσικός φωτισμός δεν επαρκεί καθώς και συστήματα ρύθμισης της έντασης του φωτισμού ανάλογα με τις ανάγκες του κτιρίου.

## Σκίαση

Απαραίτητος είναι ο περιορισμός του ηλίου προτού φτάσει στο κτίριο και ιδιαίτερα στα υαλοστάσια. Ο σκιασμός του κτιρίου μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση φυλλοβόλων δέντρων και βλάστησης σε κατάλληλες θέσεις, έτσι ώστε να διακόπτεται ο ηλιασμός του κτιρίου τους καλοκαιρινούς μήνες, Σχήμα 2.16. Για την ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων, η επιλογή των διατάξεων σκίασης, εξαρτάται από τον προσανατολισμό της όψης, τη μορφή των ανοιγμάτων και τη μορφολογία του κτιρίου. Τα συστήματα σκίασης θα πρέπει να παρέχουν καλή ηλιακή προστασία το καλοκαίρι, να μην περιορίζουν τα ηλιακά κέρδη το χειμώνα, και να μην εμποδίζουν το φυσικό φωτισμό και το φυσικό αερισμό. Μπορεί να είναι σταθερά ή κινητά, εξωτερικά ή εσωτερικά, ή μεταξύ των τζαμιών. Σαφώς αποδοτικότερος είναι ο εξωτερικός σκιασμός, καθώς έτσι εμποδίζονται η ηλιακές ακτίνες να εισέλθουν μέσα στο κτίριο, σε αντίθεση με τον εσωτερικό σκιασμό κατά τον οποίον ηλιακές ακτίνες έχουν ήδη διέλθει από το τζάμι και ένα τμήμα της θερμικής ακτινοβολίας εγκλωβίζεται μεταξύ τζαμιού και διατάξεων σκίασης.

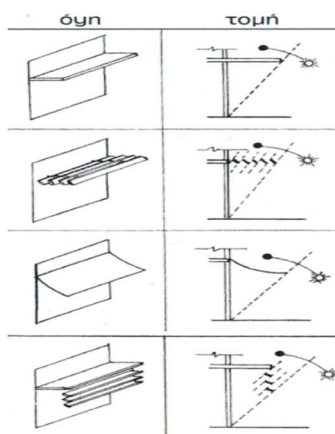


Σχήμα 2.16: Σκίαση με δέντρα

Τα σταθερά συστήματα σκίασης είναι δομικά στοιχεία όπως μπαλκόνια και γεισώματα ή μη δομικές κατασκευές όπως τέντες, σταθερές περσίδες και διάφορα παραπετάσματα. Τα σταθερά συστήματα σκίασης χρησιμοποιούνται κυρίως σε εξωτερικές όψεις και κάθε προσανατολισμός σκιάζεται διαφορετικά. Έτσι σε Νότιες όψεις προτιμώνται τα οριζόντια σκίαστρα, οι μορφές των οποίων φαίνονται στο Σχήμα 2.17, ενώ κατακόρυφα ή διαγώνια πτερύγια προτιμώνται σε Ανατολικές και Δυτικές όψεις. Τα σταθερά συστήματα σκίασης θα πρέπει να είναι σε τέτοια θέση που να επιτρέπουν στις ηλιακές ακτίνες να περνούν στο χώρο διαβίωσης το χειμώνα που η

τροχιά του ήλιου είναι χαμηλή και να τις εμποδίζουν το καλοκαίρι που η τροχιά του ήλιου είναι ψηλότερη.

Τα κινητά συστήματα σκίασης χρησιμοποιούνται τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά με χειροκίνητο ή αυτόματο έλεγχο ανάλογα με τις στάθμες ακτινοβολίας, φυσικού φωτισμό και των θερμικών απαιτήσεων. Μερικά από αυτά είναι οι τέντες, και οι εξωτερικές περσίδες που προσφέρουν ταυτόχρονο αερισμό και σκίαση. Λιγότερο αποτελεσματικά είναι τα εσωτερικά στόρια, και οι κουρτίνες καθώς παρέχουν μόνο σκίαση και αφού η ηλιακή ακτινοβολία έχει διέλθει από τα τζάμια. Εκτός από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατά το σχεδιασμό των διατάξεων σκιασμού των ανοιγμάτων. Στις Μεσογειακές χώρες με τη μεγάλη καλοκαιρινή ηλιοφάνεια αποδοτικότερο είναι το παντζούρι, το οποίο αποκόπτει τόσο την άμεση, όσο και την έμμεση ηλιακή ακτινοβολία.



Σχήμα 2.17: Μορφές οριζόντιων σκιάστρων για τη νότια όψη

## 2.2 Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στα Κτίρια

Η χρήση των ΑΠΕ ολοένα και ενσωματώνεται στα κτίρια σήμερα, μειώνοντας σε μεγάλο βαθμό τις ενεργειακές τους δαπάνες (για θέρμανση και ψύξη). Οι ΑΠΕ θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες και δίνουν μια εναλλακτική λύση στο ενεργειακό ζήτημα στην κατεύθυνση της ανεξάρτησής από τα συμβατικά καύσιμα. Η Ελλάδα είναι μια από τις χώρες που διαθέτουν ένα αξιόλογο δυναμικό ΑΠΕ. Πηγές ενέργειας όπως η γεωθερμία και η βιομάζα θα μπορούσαν με τον κατάλληλο σχεδιασμό να αποτελέσουν μια αξιόλογη πηγή άντλησης ενέργειας για την ανάγκες ενός οικιστικού συνόλου, όμως η αιολική και ηλιακή ενέργεια αποτελούν τις πιο άμεσες, ανεξάντλητες και εύκολα αξιοποιήσιμες πηγές ενέργειας για τον άνθρωπο. Η εφαρμογή ΑΠΕ μπορεί να καλύψει ανάγκες είτε σε επίπεδο οικισμού όπως τηλεθέρμανση/ψύξη από γεωθερμία ή βιομάζα καθώς και ηλεκτροδότηση με φωτοβολταϊκά ή αιολικά συστήματα, είτε σε επίπεδο μεμονωμένης κατοικίας όπως παθητικά ηλιακά συστήματα, αντλίες θερμότητας ή φωτοβολταϊκά συστήματα. Επιπλέον, η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αποτελεί σήμερα απαραίτητη προϋπόθεση για τη βελτίωση των ενεργειακών και περιβαλλοντικών συνθηκών ενός τόπου. Με σημαντική συμβολή στην αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος χωρίς επιβάρυνση του περιβάλλοντος, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές είναι πια σε θέση να συμβάλει και με οικονομο-τεχνικά οφέλη για μια αειφόρο ανάπτυξη σε επίπεδο οικιστικών συνόλων (τοπικό επίπεδο), όσο και σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.

## 2.2.1 Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

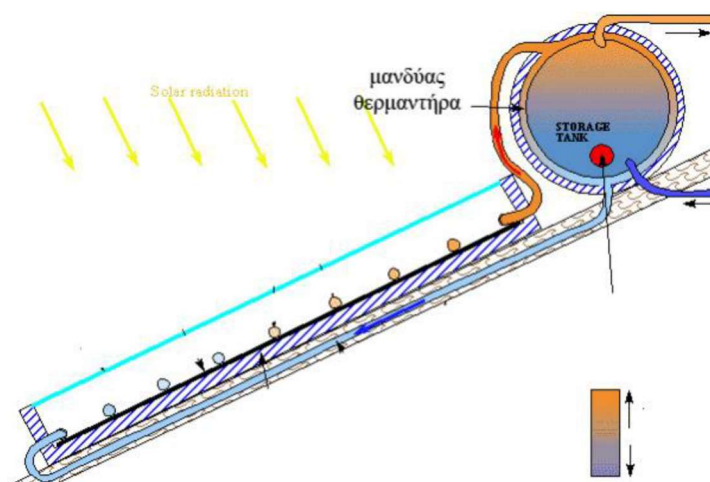
Βασικό Θερμικό ηλιακό σύστημα αποτελούν τα Θερμοσιφωνικά συστήματα για παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX). Τα συστήματα που προορίζονται για θέρμανση ZNX αποτελούνται από τους ηλιακούς συλλέκτες, τη δεξαμενή αποθήκευσης, μια δεξαμενή αποθήκευσης του νερού θέρμανσης, τις σωληνώσεις και το σύστημα ελέγχου. Ο ηλιακός συλλέκτης τοποθετείται, συνήθως, στην ταράτσα με νότιο προσανατολισμό και κλίση είτε κατακόρυφη, είτε υπό γωνία, με βέλτιστη κλίση:

- 30-45° για τον ελλαδικό χώρο, για θέρμανση ZNX
- 45-60° για θέρμανση χώρου

Στηρίζονται στην φυσική μεταφορά για την κυκλοφορία του νερού στους συλλέκτες και την δεξαμενή που βρίσκεται πάνω στον συλλέκτη. Καθώς το νερό θερμαίνεται στον ηλιακό συλλέκτη γίνεται ελαφρύτερο και ανέρχεται με φυσικό τρόπο προς την δεξαμενή ενώ το ψυχρότερο νερό της δεξαμενής ρέει μέσω των σωληνώσεων προς το κατώτερο σημείο του συλλέκτη δημιουργώντας κυκλοφορία σε όλο το σύστημα.

Ένα ενεργητικό ηλιοθερμικό σύστημα παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια είναι ο ηλιακός θερμοσίφοντας. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες που έχουν μεγάλη ηλιοφάνεια, όπως είναι οι χώρες της Μεσογείου. Ειδικά για τα Νέα Κτίρια είναι υποχρεωτική η κάλυψη μέρους των αναγκών σε ZNX από ηλιοθερμικά συστήματα. Ο ηλιακός θερμοσίφοντας, η δομή του οποίου φαίνεται στο Σχήμα 2.18, είναι η απλούστερη και η γνωστότερη ηλιακή συσκευή που χρησιμοποιείται για την θέρμανση νερού χρήσης στις κατοικίες.

Διακρίνονται δύο είδη ηλιακών θερμοσιφώνων ανάλογα με την μεταφορά παραγόμενης ενέργειας στο ZNX. Το πρώτο είδος είναι οι τύπου ανοιχτού κυκλώματος, όπου το νερό χρήσης ρέει μέσα από τον συλλέκτη θερμαίνεται και αποθηκεύεται στο δοχείο ZNX, ενώ το δεύτερο τύπου κλειστού κυκλώματος, όπου σε αυτή την περίπτωση το νερό χρήσης δεν ρέει αλλά αποθηκεύεται σε σωληνώσεις μέσα στο μπόιλερ (δοχείο ZNX), οι οποίες θερμαίνονται και μεταφέρουν την θερμότητα στο νερό χρήσης που τις περιβάλλει.



Σχήμα 2.18: Τομή ενός θερμοσίφωνα

Οι θερμοσίφωνες κλειστού τύπου, που είναι και οι πιο διαδεδομένοι, διαχωρίζονται με βάση τη θέση του μπόιλερ (δοχείο θέρμανσης ZNX) σε σχέση με το σύνολο της κατασκευής. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε τους φυσικής ροής θερμοσίφωνες, όπου το μπόιλερ βρίσκεται επάνω στην βάση του συλλέκτη και ψηλότερα από αυτόν (το θερμό νερό ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στο μπόιλερ και ωθεί αυτομάτως το ψυχρό να επιστρέψει στους συλλέκτες για αναθέρμανση). Στην δεύτερη περίπτωση ανήκει το σύστημα εξαναγκασμένης ροής, όπου το μπόιλερ βρίσκεται χαμηλότερα από τον συλλέκτη με αποτέλεσμα η προαναφερθείσα διαδικασία να μην μπορεί να γίνει αυτομάτως, οπότε τώρα απαιτείται ένας κυκλοφορητής νερού στο κλειστό κύκλωμα για την μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας από τον συλλέκτη στο δοχείο ZNX. Στην περίπτωση αυτή δίνεται η δυνατότητα τοποθέτησης του μπόιλερ στο υπόγειο, όπου πλην τους αισθητικούς λόγους μπορεί να συνδεθεί εύκολα και με το δίκτυο θέρμανσης του κτιρίου. Στο Σχήμα 2.19 φαίνεται μια τυπική αναπαράσταση του τρόπου σύνδεσης ενός θερμικού ηλιακού συστήματος στο σύνολο ενός κτιρίου.



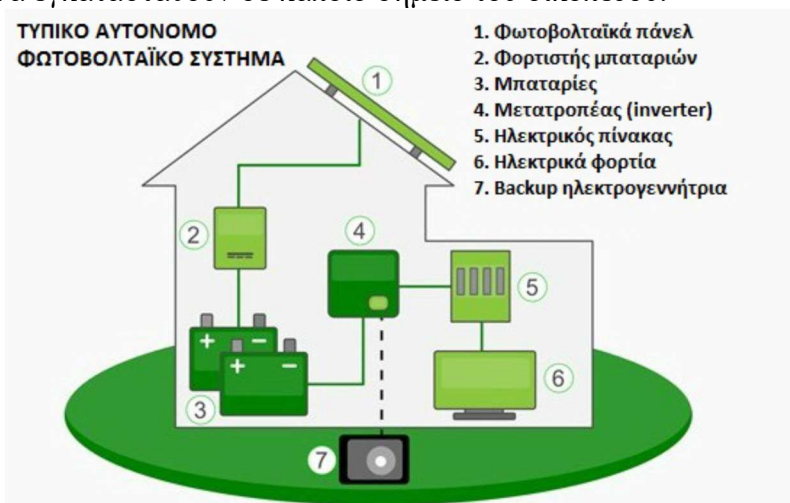
Σχήμα 2.19: Αναπαράσταση του τρόπου σύνδεσης ενός θερμικού ηλιακού συστήματος στο σύνολο του κτιρίου

## 2.2.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Με την φωτοβολταϊκή τεχνολογία γίνεται εκμετάλλευση της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, η ισχύς της οποίας μπορεί να φτάσει μια ηλιόλουστη ημέρα όταν προσπίπτει πάνω σε μία επιφάνεια  $1 \text{ m}^2$  το  $1 \text{ kW}$ . Αυτό βέβαια εξαρτάται από την γεωγραφική θέση και τον προσανατολισμό της επιφάνειας ( $1500 \text{ kWh}/\text{έτος}$  στην Αττική) ενώ ένα μέσο σύστημα Φ/Β μετατρέπει περίπου το 12% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική (από 10%-16% κυμαίνεται η απόδοση του Φ/Β). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διαθέτουν πολυάριθμα πλεονεκτήματα όπως μηδενική ρύπανση της ατμόσφαιρας, μεγάλη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων (25+ έτη), μηδαμινό κόστος συντήρησης και λειτουργίας καθώς και ποικιλία δυνατοτήτων χρήσης σε οικιστικά σύνολα (κάλυψη οροφής- υάλινες προσόψεις-στέγαστρα κ.α.) Τα στοιχεία από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο είναι τα πιο διαδεδομένα.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά, Σχήμα 2.20, συλλέγουν ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρισμό με τη χρήση. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται αποθηκεύεται σε συστοιχία μπαταριών, μέσω ενός ρυθμιστή φόρτισης, ώστε το ηλεκτρικό ρεύμα να είναι διαθέσιμο, οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί. Μέσω ενός αντιστροφέα (inverter) το ηλεκτρικό ρεύμα προερχόμενο από τις μπαταρίες, μετατρέπεται από συνεχές σε εναλλασσόμενο. Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά μπορούν

να εγκατασταθούν στην οροφή ή τη στέγη του κτιρίου, να ενσωματωθούν στις προσόψεις ή να εγκατασταθούν σε κάποιο σημείο του οικοπέδου.



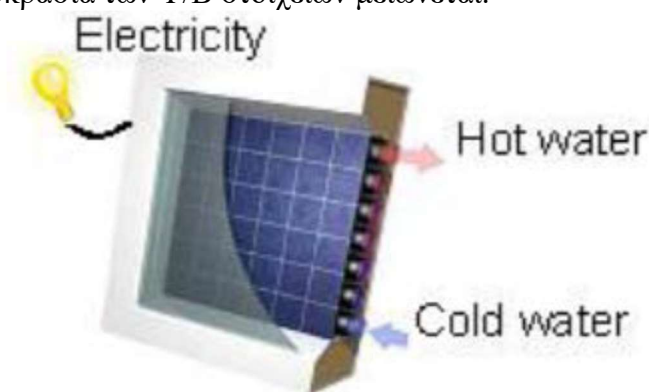
Σχήμα 2.20: Αναπαράσταση ενός τυπικού αυτόνομου Φ/Β συστήματος

Παράγοντες που καθορίζουν την απόδοση ενός Φ/Β είναι η επιφάνεια του στοιχείου και η ένταση της ακτινοβολίας. Ο βαθμός απόδοσης, ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται προς τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια, η οποία καθορίζεται ως το γινόμενο της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας επί το εμβαδόν της επιφάνειας του Φ/Β. Για τη μέγιστη απολαβή ενέργειας, τα πάνελ είναι απαραίτητο να τοποθετούνται με νότιο προσανατολισμό, με κλίση η οποία εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Για τα ελληνικά δεδομένα, μια τυπική μέση χαρακτηριστική κλίση είναι αυτή των 30°. Ωστόσο, υπάρχει δυνατότητα να αυξηθεί η παραγωγή ενέργειας από τα Φ/Β, αναγκάζοντας τα να ακολουθούν καθημερινώς την πορεία του ηλίου από ανατολή προς δύση με μεταβλητή κλίση, ώστε να λαμβάνεται υπόψη και η θέση του ηλίου στον ορίζοντα με τα λεγόμενα sun tracking systems. Για την περιοχή της Ελλάδας, μια μέση εκτίμηση της ενεργειακής απολαβής είναι 1200-1500 kWh/kWp ετησίως. Η τιμή αυτή δέχεται μια προσαύξηση 25-30% κατά μέσο όρο, με τη χρησιμοποίηση συστημάτων ανίχνευσης της πορείας του ηλίου (tracking). Στην συνέχεια θα γίνει αναφορά σε ορισμένους τύπους φωτοβολταϊκών συστημάτων.

### 2.2.2.1 Υβριδικές Φ/Β Μονάδες (PV/T)

Τα συνήθη φωτοβολταϊκά από πυρίτιο μετατρέπουν μόνο το 25% της ολικής απορροφούμενης ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Γι' αυτό το λόγο, είναι οικονομικότερη η κατασκευή συστημάτων που εκμεταλλεύονται και τη θερμική ενέργεια που συσσωρεύεται στο υλικό. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται υβριδικά φωτοβολταϊκά – θερμικά συστήματα, Σχήμα 2.21. Τα συστήματα PV/T, μετατρέπουν ταυτόχρονα, την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, σε ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ένα οικιακό PV/T σύστημα, μπορεί να πετύχει βελτίωση της ηλεκτρικής ενέργειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων κατά 10 έως 25% και επιπρόσθετα την παραγωγή θερμικής ενέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποβοηθήσει την θέρμανση νερού χρήσης (50 liters/cap /day). Το υπόλοιπο θερμικό φορτίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ενδοδαπέδια θέρμανση ή στην τροφοδοσία αντλίας θερμότητας νερού. Αποτελούνται από Φ/Β στοιχεία συνδυασμένα με συσκευές απαγωγής θερμότητας στις

οποίες αέρας ή νερό χαμηλότερης θερμοκρασίας από αυτή των Φ/Β θερμαίνεται ενώ παράλληλα η θερμοκρασία των Φ/Β στοιχείων μειώνεται.



Σχήμα 2.21: Σχηματική απεικόνιση ενός υβριδικού Φ/Β συστήματος

### 2.2.2.2 Building Integrated Photovoltaic (BIPV)

Τα τελευταία χρόνια έχει εκδηλωθεί έντονο ενδιαφέρον για εφαρμογές Φ/Β συστημάτων ενσωματωμένων στο κέλυφος των κτιρίων. Στις εφαρμογές αυτές τα Φ/Β συστήματα εγκαθίστανται σε κτίρια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ συγχρόνως τα Φ/Β πλαίσια χρησιμοποιούνται σαν δομικά στοιχεία για την κάλυψη εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου. Οι κυριότερες εφαρμογές ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια είναι η κάλυψη ολόκληρης ή μέρους της οροφής του κτιρίου, η χρήση τους σε υάλινες προσόψεις του κτιρίου, Σχήμα 2.22, καθώς και η χρήση τους σε επιφάνειες προστασίας από καιρικές συνθήκες όπως στέγαστρα, σκιάστρα.



Σχήμα 2.22: Ενσωματωμένα στο κέλυφος του κτιρίου φωτοβολταϊκά πάνελ

Το πλεονέκτημα των ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών έναντι των μη ενσωματωμένων συστημάτων είναι ότι το αρχικό κόστος μπορεί να αντισταθμιστεί από τη μείωση του ποσού που δαπανάται για δομικά υλικά και την εργασία που θα απαιτούσε η κατασκευή του τμήματος του κτιρίου που αντικαθιστούν οι μονάδες BIPV. Υπό αυτή την έννοια, χρησιμοποιώντας BIPV ως οικοδομικό υλικό σε κτίρια, παρέχεται θερμική και ακουστική μόνωση, έλεγχος φωτός χάρις το φίλτράρισμα υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας καθώς και επιλογή της φυσικής διάχυσης φωτός για εσωτερικό φωτισμό, χαρακτηριστικά που οφείλονται στους υαλοπίνακες

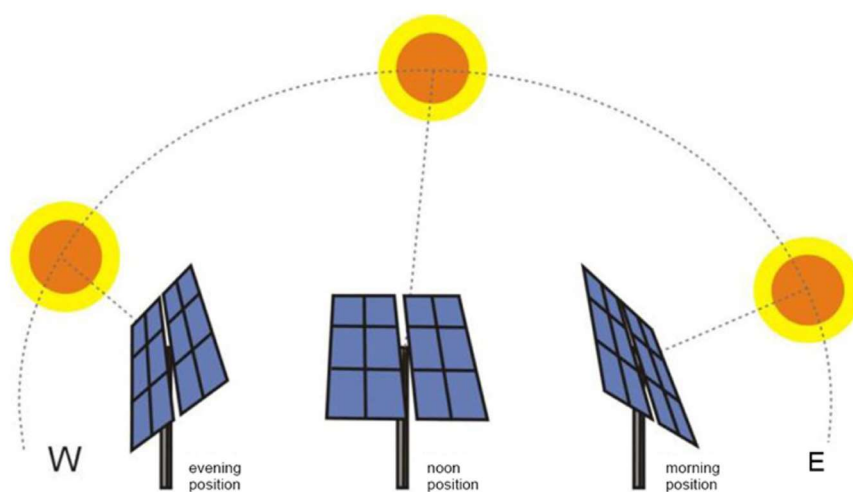
που περιβάλλουν την επιφάνεια της κρυσταλλικής δομής των Φ/Β, βελτιώνοντας έτσι τον έλεγχο της θερμοκρασίας.

### 2.2.2.3 Sun Tracking Systems

Η ημερήσια και εποχιακή κίνηση της γης επηρεάζει την ένταση της ακτινοβολίας στα ηλιακά συστήματα. Τα λεγόμενα suntrackers μετακινούν τα φωτοβολταϊκά πάνελ για να παρακολουθούν αυτές τις κινήσεις, διατηρώντας τον καλύτερο σχετικό προσανατολισμό σχετικά με την θέση του ήλιου, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 2.23. Παρόλο που η χρήση αυτομάτων συστημάτων παρακολούθησης της πορείας του ήλιου δεν είναι απαραίτητη, η χρήση τους μπορεί να ενισχύσει τη συλλεγμένη ενέργεια κατά 10-50% ανάλογα με τις χρονικές περιόδους και τις γεωγραφικές συνθήκες.

Το γεωγραφικό πλάτος, η γωνία υψομετρικής θέσης του ηλίου καθώς και η γωνία που ορίζεται από το ζενίθ του ήλιου είναι βασικά στοιχεία που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα αυτών των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το λεγόμενο solar tracker είναι μια συσκευή που διατηρεί το Φ/Β πάνελ σε μια βέλτιστη θέση κάθετα προς την ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας, αυξάνοντας έτσι τη συλλεγμένη ενέργεια. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες τέτοιων συστημάτων όπως:

- Μονοαξονικό
- Διαξονικό (πολική και υψομετρική παρακολούθηση)
- Πολυαξονικό



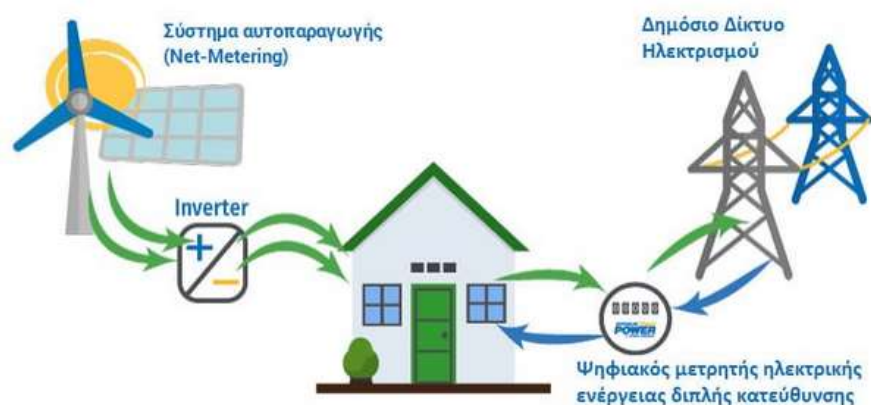
Σχήμα 2.23: Αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας ενός suntracker συστήματος μέσα στην ημέρα

### 2.2.2.4 Net Metering

Στα συστήματα Net-metering ή «Αυτοπαραγωγής με Ενεργειακό Συμψηφισμό» εάν μέρος της παραγόμενης ενέργειας περισσεύει, αυτή διοχετεύεται στο δίκτυο της ΔΕΗ (ελεγχόμενη ενέργεια), ενώ όταν χρειάζεται επιπλέον ενέργεια, αυτή λαμβάνεται από το δίκτυο της ΔΕΗ (απορροφώμενη ενέργεια), Σχήμα 2.24. Από τη διαφορά απορροφώμενης και της ελεγχόμενης ενέργειας προκύπτει η χρεωστέα ενέργεια, αυτή δηλαδή που προμηθεύεται ο ιδιοκτήτης από τον πάροχο και για την οποία χρεώνεται από αυτόν. Εφόσον η απορροφώμενη είναι μικρότερη ή ίση από την ελεγχόμενη, η χρέωση για την ενέργεια είναι μηδενική. Το net metering έχει αναρίθμητα θετικά



χαρακτηριστικά όπως το γεγονός ότι η κατανάλωση γίνεται κοντά στην παραγωγή μειώνοντας τις απώλειες στις διασυνδέσεις, ο χρήστης δεν εξαρτάται από τις συχνά μεταβαλλόμενες κρατικές διατάξεις σχετικά με τις χρεώσεις που καθορίζει η ΔΕΗ και μειώνονται οι εκπομπές CO<sub>2</sub>, καθώς μειώνονται οι απαιτήσεις σε ηλεκτρικό ρεύμα. Τέλος, σημαντική παρατήρηση στην χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου συστήματος αποτελεί η σχετική Νομοθεσία (Νόμος για αυτοπαραγωγή - Υπουργική Απόφαση net metering - Εγκύκλιοι και πληροφοριακό υλικό από ΔΕΗ) με τα όρια επιτρεπόμενης ισχύς ανά περιοχή εγκατάστασης.



Σχήμα 2.24: Σύστημα φωτοβολταϊκών net-metering

### 2.2.3 Συμπαράγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ)

Την ορθολογικότερη αξιοποίηση της ενέργειας αλλά και τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων έχει επιτύχει η ταυτόχρονη παραγωγή και εκμετάλλευση δύο μορφών ενέργειας ηλεκτρικής και θερμικής από ένα σύστημα μηχανών ίδιου καυσίμου. Τα συστήματα αυτά μπορούν να θεωρηθούν ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα καλύπτοντας όλες τις τελικές ενεργειακές χρήσεις (ηλεκτρισμό, θερμό νερό, ατμό, θερμό αέρα, ψυχρό νερό, κλιματισμό, ψύξη εμπορευμάτων κ.α.) καθώς ενώ χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εκμεταλλεύονται ταυτόχρονα την αποβαλλόμενη θερμότητα για θέρμανση και ψύξη. Προσεγγιστικά μια συνολική απόδοση του συστήματος είναι της τάξης του 85% (55% σε θερμότητα και 30% σε ρεύμα) με το υπόλοιπο 15% να είναι κατά βάση απώλειες θερμότητας και μεταφοράς ρεύματος.

Το σύστημα συμπαράγωγής θερμότητας-ηλεκτρισμού παράγει ατμό, θερμό αέρα και θερμό νερό που χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια παραγωγής καθώς και ηλεκτρική ενέργεια για χρήση. Μέσω ψυκτών απορρόφησης, μέρος της παραγόμενης θερμότητας δημιουργεί ψυχρό νερό για κλιματισμό και ψύξη.

### 2.2.4 Τηλεθέρμανση-Βιομάζα

Βιομάζα είναι κάθε είδους φυτικής ύλης (δάση, γεωργικές καλλιέργειες κλπ.) υποπροϊόντα και κατάλοιπα φυτικής και ζωικής παραγωγής καθώς και αστικά λύματα και απορρίμματα βιολογικής προέλευσης. Η καύση της δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνονται κατά την καύση της δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για την επαναδημιουργία της.

Στο αστικό περιβάλλον, όπου η διαθέσιμη επιφάνεια για τοποθέτηση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συλλεκτών είναι περιορισμένη, μια εναλλακτική λύση αποτελεί η χρήση καυστήρα βιομάζας. Συστήματα για την καύση της βιομάζας σε κατοικίες αποτελούν τα τζάκια, οι σόμπες καθώς και συστήματα κεντρικής θέρμανσης τα οποία καταναλώνουν διάφορα είδη βιομάζας (καυσόξυλα, και υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας τροφίμων). Ενώ τα παλαιότερα τζάκια είχαν χαμηλούς βαθμούς απόδοσης, σήμερα τα σύγχρονα τζάκια έχουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση ολόκληρης της κατοικίας. Αρκετά διαδεδομένα είναι επίσης σήμερα τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης με χρήση ξύλων ή πυρηνόξυλου. Αυτά χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική λύση των συστημάτων θέρμανσης με καυστήρα πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

Στην Ελλάδα υπάρχουν μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης στο συγκεκριμένο κλάδο της χρήσης βιομάζας και βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας. Μέχρι στιγμής η μεγαλύτερη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι του ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων.

Οι πιο διαδεδομένες εφαρμογές της βιομάζας στον κτιριακό τομέα αφορούν την θέρμανση και την τηλεθέρμανση. Τηλεθέρμανση είναι η παροχή θέρμανσης χώρων και θερμού νερού χρήσης μέσω ενός δικτύου μονωμένων αγωγών σε ένα σύνολο κτιρίων από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας. Σε αυτό το σταθμό παραγωγής θερμότητας είναι εγκατεστημένοι ειδικοί λέβητες στους οποίους καίγεται βιομάζα που μεταφέρεται με πλήρως αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας και παράγεται θερμό νερό το οποίο ανακυκλοφορεί στο δίκτυο διανομής με την βοήθεια αντλιών. Από το δίκτυο διανομής μέσω των υποσταθμών σύνδεσης επιτυγχάνεται η σύνδεση με τις εσωτερικές εγκαταστάσεις θέρμανσης των κτιρίων (δίκτυο σωληνώσεων και θερμαντικά σώματα).

### **2.2.5 Αιολική Ενέργεια**

Η αιολική ενέργεια είναι μορφή ΑΠΕ με μεγάλες δυνατότητες αξιοποίησης στον ελλαδικό χώρο που όμως στο κτιριακό τομέα είναι περιορισμένη η αξιοποίησή της. Οι ανεμογεννήτριες είναι το μέσο με το οποίο η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Οι Α/Γ μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην κάλυψη των ενεργειακών καταναλώσεων των κτιρίων είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό με άλλα συστήματα ΑΠΕ όπως για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά. Ο συνδυασμός φωτοβολταϊκής γεννήτριας και Α/Γ έχει αποδειχθεί για την Ελλάδα ως ο ιδανικός συνδυασμός για την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων.

Οι Α/Γ διακρίνονται σε διάφορα μεγέθη ανάλογα με την ονομαστική τους ισχύ και σε οριζόντιου και κάθετου άξονα περιστροφής ανάλογα με τη μορφή του άξονά τους, Σχήμα 2.25. Σημειώνεται όμως ότι οι Α/Γ έως 10 kW είναι κατάλληλες για την κάλυψη ηλεκτρικών αναγκών στον κτιριακό τομέα, καθώς μπορούν υπό προϋποθέσεις να εγκατασταθούν εντός του αστικού περιβάλλοντος και οι Α/Γ κατακόρυφου άξονα ενώ έχουν συντελεστή ισχύος αισθητά μικρότερο από τον αντίστοιχο των μηχανών του οριζοντίου άξονα, ενσωματώνονται πολύ πιο αποτελεσματικά στο αστικό περιβάλλον και είναι πιο οικονομικές.



Σχήμα 2.25: Ανεμογεννήτριες κάθετου και οριζόντιου προσανατολισμού

## 2.2.6 Γεωθερμία

Γεωθερμία ή γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους, με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια και με ρεύματα μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθосφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων. Η γεωθερμία είναι μια ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, που μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να καλύψει ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η γεωθερμία προσφέρει ενέργεια χαμηλού κόστους, ενώ δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με εκπομπές βλαβερών ρύπων. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, ενώ συνήθως κυμαίνεται από 25° C μέχρι 360° C. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150° C), η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η κυριότερη θερμική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως αφορά στη θέρμανση θερμοκηπίων. Χρησιμοποιείται ακόμα στις υδατοκαλλιέργειες, όπου εκτρέφονται υδρόβιοι οργανισμοί αλλά και για τηλεθέρμανση, δηλαδή θέρμανση συνόλου κτιρίων, οικισμών, χωριών ή και πόλεων. Παρόλο που η Ελλάδα έχει αξιόλογα γεωθερμικά πεδία λιγότερο από το 1% του βεβαιωμένου γεωθερμικού δυναμικού της χώρας έχει αξιοποιηθεί μέχρι σήμερα καθώς επίσης δεν έχει αναπτυχθεί καμία εφαρμογή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας γίνεται αποκλειστικά για χρήση της σε θερμικές εφαρμογές.

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία του διαθέσιμου ρευστού. Για θερμοκρασίες:

- άνω των 100°C αφορούν την ηλεκτροπαραγωγή, θέρμανση χώρων με σώματα, ψύξη χώρων με αντλίες θερμότητας ρόφησης, παραγωγή ζεστού νερού σε μπόιλερ.
- κάτω των 100°C αλλά άνω των 40°C οι εφαρμογές περιορίζονται στη θέρμανση χώρων (αερόθερμο νερό ή ενδοδαπέδια θέρμανση) και παραγωγή ζεστού νερού με εναλλάκτη θερμότητας.
- κάτω από 40°C χρειάζονται αντλίες θερμότητας για κλιματισμό και θέρμανση ενώ αν δεν υπάρχει υπόγειο νερό διαθέσιμο χρησιμοποιούνται εναλλάκτες θερμότητας.

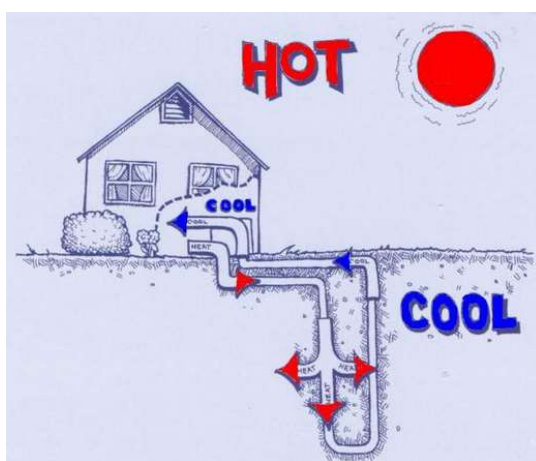
### Αβαθής Γεωθερμία:

Όταν η θερμοκρασία του εδάφους ή του υπόγειου ή επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα είναι χαμηλότερη των 25°C, και το βάθος εκμετάλλευσης είναι μικρότερο από 150m η γεωθερμία χαρακτηρίζεται ως αβαθής ή επιφανειακή. Η αβαθής γεωθερμία δύναται να καλύψει τις ανάγκες τόσο σε θέρμανση όσο και Ψύξη κτηριακών εγκαταστάσεων συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής του ζεστού νερού χρήσης.

Μια τέτοια εγκατάσταση αξιοποιεί τις σταθερές θερμοκρασίες του υπεδάφους (από 18 έως 22°C) μεταφέροντας θερμότητα από το υπέδαφος (ή τα υπόγεια ύδατα) προς τον κλιματιζόμενο χώρο και αντίστροφα, ως εξής: κατά τη διάρκεια του χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στον γεωεναλλάκτη απορροφά την αποθηκευμένη θερμότητα του υπεδάφους και τη μεταφέρει στην αντλία θερμότητας, η οποία στη συνέχεια τη μεταφέρει σε μια υψηλότερη θερμοκρασία και την διανέμει στο κτίριο.

Το καλοκαίρι το σύστημα απάγει θερμότητα από το κτίριο, τη μεταφέρει μέσω της αντλίας θερμότητας στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη και την αποθέτει στην πιο δροσερή γη. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας πρακτικά είναι μια συσκευή που με τη βοήθεια ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μεταφέρει θερμότητα από έναν ψυχρότερο χώρο σε ένα θερμότερο, ακριβώς όπως λειτουργεί ένα απλό κλιματιστικό μηχάνημα. Το μεγάλο της πλεονέκτημα έγκειται στο ότι ενώ τα κλιματιστικά μηχανήματα αποβάλλουν ή απάγουν θερμότητα από το περιβάλλον, η γεωθερμική αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί το σταθερές θερμοκρασίας υπέδαφος.

Ένα σύστημα γεωθερμίας αποτελείται από τον γεωεναλλάκτης, σύστημα ανάκτησης θερμότητας από τη γη, τη γεωθερμική αντλία θερμότητας, Σχήμα 2.26, που αποτελεί μια ηλεκτροκίνητη μηχανή που παράγει θερμό/ψυχρό νερό και τις εσωτερικές εγκαταστάσεις (επιδαπέδια θέρμανση, κεντρική κλιματιστική μονάδα κα). Σε ένα τέτοιο σύστημα εκμετάλλευσης αβαθούς γεωθερμίας η θερμότητα απάγεται ή προσδίδεται στο έδαφος μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων (γεωεναλλάκτης), τοποθετημένου εντός εδάφους, που μπορεί να είναι κλειστού ή ανοικτού κυκλώματος. Ένας γεωεναλλάκτης κλειστού κυκλώματος αποτελείται από ένα κλειστό δίκτυο θαμμένων σωλήνων, συνήθως πολυαιθυλενίου, στο οποίο συνεχώς ανακυκλοφορεί διάλυμα νερού με αντιψυκτικό υπό πίεση και ανταλλάσσει θερμότητα με το έδαφος. Το κλειστό αυτό δίκτυο σωληνώσεων μπορεί να τοποθετηθεί σε οριζόντια ή κατακόρυφη διάταξη.



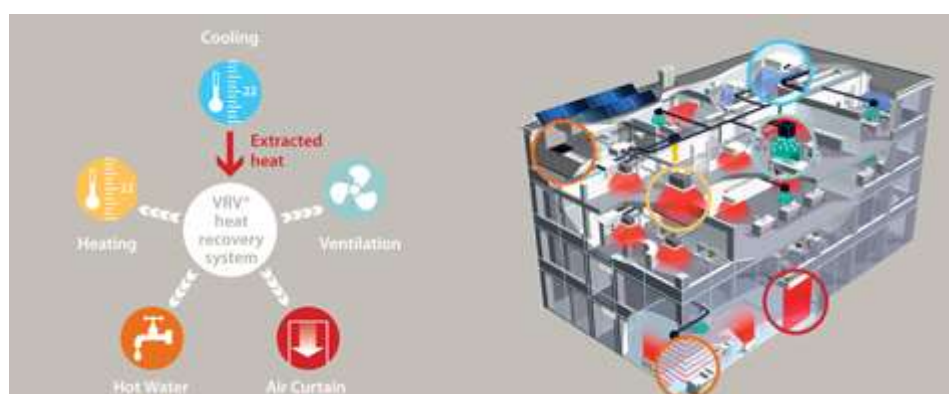
Σχήμα 2.26: Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Αξίζει τέλος να αναφερθεί ότι τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να μειώσουν το κόστος θέρμανσης ως και 70%, το κόστος ψύξης έως και 50% καθώς και να παρέχουν ζεστό νερό χρήσης για της ανάγκες μιας κατοικίας. Επίσης μπορούν να εκμεταλλευτούν στο έπακρο και να πολλαπλασιάσουν την αποτελεσματικότητα άλλων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Από μόνα τους όμως είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά συστήματα, καθώς μειώνουν τις εκπομπές αέριων ρύπων και τα συνεπακόλουθα προβλήματά τους (όξινη βροχή, φαινόμενο του θερμοκηπίου, τρύπα του όζοντος κλπ.).

## 2.2.7 Ολοκληρωμένο Σύστημα Κλιματισμού Variable Refrigerant Volume (VRV)

Πρόκειται για ένα σύγχρονο ολοκληρωμένο σύστημα κλιματισμού με συσκευές τελευταίας τεχνολογίας που συμβάλει στην σταθερή σε επιθυμητά επίπεδα διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου με τις ελάχιστες δυνατές απαιτήσεις σε ρεύμα. Είναι η τεχνολογία στην οποία η ποσότητα του ψυκτικού υγρού που οδηγείται σε κάθε εσωτερική μονάδα κλιματισμού, είναι απόλυτα ελεγχόμενη και ανάλογη των ψυκτικών φορτίων κάθε κλιματιζόμενου χώρου. Έτσι προσαρμόζουν αυτόματα τη θερμοκρασία του ψυκτικού και αυξάνουν την εποχιακή απόδοση κατά έως και 28% σε σύγκριση με άλλες λύσεις. Επίσης το Variable Refrigerant Volume (VRV) σύστημα παρέχει συνθήκες άνεσης υψηλών προδιαγραφών και εξοικονομεί χώρο (εξωτερικά και εσωτερικά του κτιρίου) μιας και οι διαστάσεις των μηχανημάτων και των σωληνώσεων είναι σημαντικά μικρότερες από όλα τα άλλα συστήματα κλιματισμού. Επίσης οι εγκαταστάσεις VRV λειτουργούν πολύ οικονομικότερα σε σύγκριση με κάθε άλλο σύστημα κεντρικού κλιματισμού.

Τα έξυπνα συστήματα ελέγχου διαχείρισης ενέργειας που υπάρχουν στο σύστημα VRV επιτρέπουν τον ακριβή έλεγχο πολλαπλών ζωνών, όπως διαφορετικών ορόφων και χώρων, για τη μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης αλλά και του κόστους λειτουργίας, ενώ το καινοτόμο σύστημα ανάκτησης θερμότητας επαναχρησιμοποιεί ενέργεια για θέρμανση και ψύξη εσωτερικών χώρων και παραγωγή ζεστού νερού με αποδοτικό τρόπο.



Σχήμα 2.27: Χαρακτηριστικά στοιχεία για ένα ολοκληρωμένο σύστημα κλιματισμού VRV και απεικόνιση συστήματος

### Εξωτερικές Μονάδες:

- *Αερόψυκτη Εξωτερική Μονάδα:* Το σύστημα αυτό επιτρέπει τον ανεξάρτητο έλεγχο μέχρι και 64 εσωτερικών μονάδων διαφορετικού τύπου και απόδοσης, διευκολύνοντας παράλληλα την μονάδα κλιματισμού να λειτουργεί σε μεγάλα εύρη θερμοκρασιών για ψύξη (-20°C έως +46°C) και θέρμανση (-25°C έως +15°C).
- *Υδρόψυκτη Εξωτερική Μονάδα:* Αποτελεί ιδανική επιλογή σε πολυώροφα ψηλά κτίρια στα οποία οι μέγιστες αποστάσεις σωλήνων ψυκτικού μπορεί κάποιες φορές να προκαλέσουν προβλήματα στη χρήση ενός αερόψυκτου συστήματος. Άλλες περιπτώσεις ιδανικές για χρήση υδρόψυκτων VRV περιλαμβάνουν κτίρια τα οποία δεν έχουν επαρκή χώρο στέγης ή εξωτερικό χώρο για τις εξωτερικές μονάδες και έργα με ιδιαίτερα αυστηρούς κανονισμούς θορύβου. Το υδρόψυκτο VRV διατίθεται σε μοντέλα ανάκτησης θερμότητας, αντλία θερμότητας και προσφάτως σε γεωθερμικά. Επιτρέπει την ανάκτηση

θερμότητας σε όλο το κτίριο, χάρη στην αποθήκευση της ενέργειας στο κύκλωμα νερού.

- *Υδρόψυκτη-Γεωθερμική Εξωτερική Μονάδα:* Η θερμοκρασία των υπόγειων υδάτων, των λιμνών και των ποταμών παραμένει σχετικά σταθερή σε όλη τη διάρκεια του χρόνου με αποτέλεσμα το υδρόψυκτο σύστημα διατηρεί την εξαιρετική του απόδοση, ακόμα και στις πιο ακραίες εξωτερικές θερμοκρασίες, όταν αντίστοιχα η απόδοση των αερόψυκτων συστημάτων μειώνεται. Επίσης σε περιπτώσεις χρήσης Υδρόψυκτης-Γεωθερμικής Εξωτερικής Μονάδας δεν χρειάζεται εξωτερική πηγή θέρμανσης/ψύξης λόγω χρήσης των υπόγειων υδάτων σαν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

#### Εσωτερικές Μονάδες:

- *Κασέτα Κυκλικής Ροής:* εσωτερική μονάδα με 360° έξοδο αέρα εξασφαλίζει ομοιόμορφη διανομή αέρα και θερμοκρασίας, ενώ αισθητήρες δαπέδου εξασφαλίζουν ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας μεταξύ οροφής-δαπέδου. Επίσης διαθέτει ένα πάνελ με αυτοκαθαριζόμενο φίλτρο, μειώνοντας έτσι το κόστος συντήρησης και αυξάνοντας την αποδοτικότητα έως και 50%.
- *Αεροκουρτίνα:* αποτελεί άριστο εργαλείο στην αντιμετώπιση του θέματος του διαχωρισμού κλίματος μεταξύ χώρων. Εγκαθίσταται και ενσωματώνεται στο σύστημα κλιματισμού του χώρου πολύ εύκολα και δεν απαιτεί επιπλέον κόστος εγκατάστασης, όπως πρόσθετα συστήματα νερού, συστήματα σωληνώσεων ή λέβητες. Ακόμη μειώνει τις θερμικές απώλειες κατά 80-85% και είναι 72% πιο αποδοτική σε σύγκριση με τα τυπικά ηλεκτρικά μοντέλα συνεπώς αναμφισβήτητα βοηθάει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και του κόστους λειτουργίας.
- *Επίπεδη Κασέτα Οροφής:* αποτελεί ιδανική επιλογή σε μεσαία έως μεγάλα κτίρια. Η πλήρης ενσωμάτωσή της μέσα στην οροφή την καθιστά κατάλληλη για ψευδοροφές ενώ ευνοεί τη χρήση έξυπνων αισθητήρες που ανιχνεύουν την παρουσία ατόμων στο χώρο και ανάλογα απενεργοποιούν το σύστημα ψύξης-θέρμανσης.
- *Συστήματα Εξαερισμού:* με βασική λειτουργία την εξασφάλιση ροής εισερχόμενου νωπού αέρα και εξερχόμενου ακάθαρτου αέρα ο εξαερισμός είναι βασικό στοιχείο του κλιματισμού σε κτίρια, γραφεία και καταστήματα. Την πιο διαδεδομένη επιλογή αποτελεί ο εξαερισμός με ανάκτηση θερμότητας (HRV) μέσω του οποίου επιτυγχάνεται επιπλέον ανάκτηση θερμότητας και να βελτιστοποίηση ισορροπίας μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας, μειώνοντας έτσι το φορτίο στο σύστημα και αυξάνοντας την απόδοση.

### **2.2.8 Αντλίες Θερμότητας**

Οι αντλίες θερμότητας αποτελούν μια πολύ αποτελεσματική λύση για την θέρμανση και ψύξη των χώρων καθώς και σε ορισμένες περιπτώσεις για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Αντλία θερμότητας (heat pump) ονομάζεται η μηχανολογική διάταξη που επιτρέπει την μεταφορά ενέργειας από έναν χώρο χαμηλής θερμοκρασίας, σε έναν χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας, αναστρέφοντας την φυσική ροή της θερμότητας. Έτσι στη περίπτωση μιας κατοικίας, η αντλία θερμότητας στη διάρκεια για παράδειγμα του καλοκαιριού αφαιρεί (αντλεί) θερμότητα από το εσωτερικό της

κατοικίας και την αποβάλει στο περιβάλλον. Καθώς ο εσωτερικός χώρος χάνει τη θερμότητα του αρχίζει το περιβάλλον να γίνεται πιο ψυχρό.

Οι αντλίες θερμότητας παρέχουν θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης εξασφαλίζοντας μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας. Ουσιαστικά λοιπόν η αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί το περιβάλλον για να θερμάνει ή να ψύξει έναν χώρο. Η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη απορροφάται κατά 70% από το περιβάλλον ενώ το υπόλοιπο 30% λαμβάνεται με τη μορφή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται μόνο στο στάδιο της άντλησης θερμότητας και ο χρήστης πληρώνει μόνο το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την άντληση.

Οι αντλίες θερμότητας διαχωρίζονται ανάλογα με την πηγή που χρησιμοποιούν για να αντλήσουν ενέργεια και το μέσο που θα χρησιμοποιήσουν για να μεταφέρουν την ψύξη ή τη θέρμανση σε:

- *Αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα:* Ο αέρας αποτελεί την πηγή θερμότητας και χρησιμοποιείται πάλι αέρας για να διοχετευθεί η ψύξη ή η θέρμανση. Με τον τρόπο αυτόν λειτουργούν τα γνωστά κλιματιστικά τοίχου.
- *Αντλίες θερμότητας αέρα-νερού:* Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ο αέρας ως πηγή θερμότητας και το νερό χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς.
- *Αντλίες θερμότητας νερού-αέρα:* Η θερμότητα αντλείται από το νερό και ο αέρας αποτελεί το μέσο μεταφοράς.
- *Αντλίες θερμότητας νερού-νερού:* Η θερμότητα αντλείται από το νερό και το νερό αποτελεί το μέσο μεταφοράς της.

Τέλος, μια ακόμη κατηγορία αποτελούν οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας οι οποίες απορροφούν ποσά θερμότητας από τον φλοιό της γης και ουσιαστικά εκμεταλλεύονται την θερμική ενέργεια από τον ήλιο και το έδαφος.

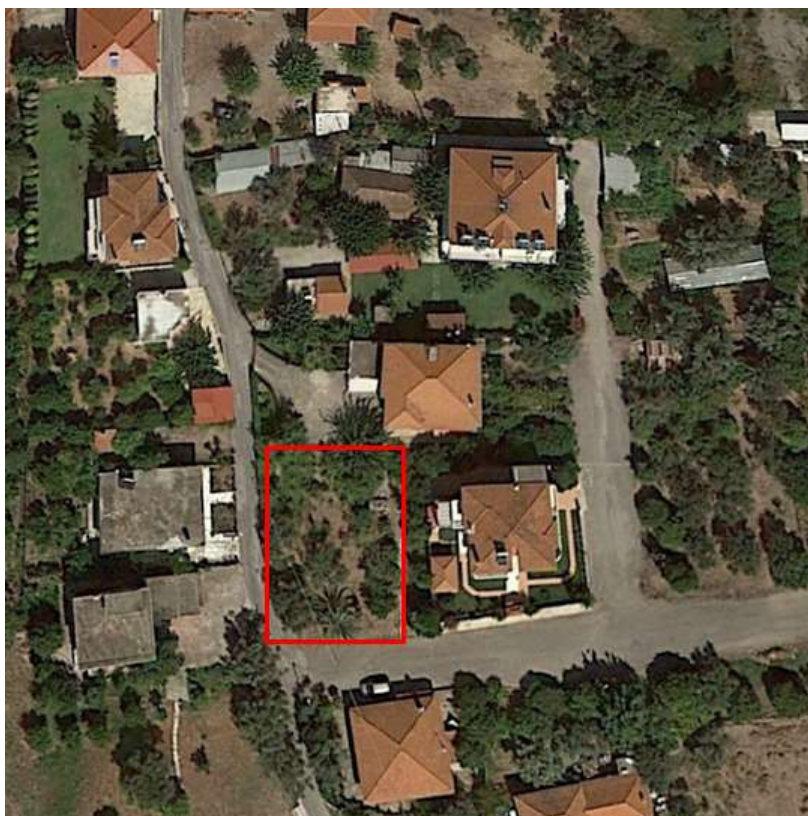
### 3. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύονται οι εκτιμήσεις και ενεργειακές παραδοχές που έγιναν για την ανέγερση μιας Κατοικίας, περιγράφεται η αρχιτεκτονική δομή, ο φέροντας οργανισμός και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν, με σκοπό την επίτευξη ενός βιοκλιματικού σχεδιασμού. Παράλληλα ξεκινά η διαδικασία του στατικού σχεδιασμού της.

#### 3.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

##### 3.1.1 Περιγραφή

Η Κατοικία θα ανεγερθεί στο Λυγιά Ναυπάκτου του νομού Αιτωλοακαρνανίας, σε σημείο με αραή σχετικά δόμηση όπου τα γειτονικά κτίρια έχουν απόσταση και ύψος τέτοιο που δεν παρεμποδίζουν το φυσικό ηλιασμό και αερισμό της, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Οικόπεδο ανέγερσης κατοικίας, Λυγιάς Ναυπάκτου

Το εμβαδό του οικοπέδου, που φαίνεται στο σχήμα 3.2, στο οποίο πρόκειται να ανεγερθεί η κατοικία είναι  $505,43\text{m}^2$ . Σύμφωνα με το πολεοδομικό σχέδιο, το οικοπέδο ανήκει στον τομέα Ε που σημαίνει ότι έχει:

- Αρτιότητα  $400\text{m}^2$
- Κάλυψη 40%
- Συντελεστή δόμησης 0,8
- Μέγιστο αριθμό ορόφων 2
- Μέγιστο ύψος κτιρίου  $7,5\text{m} + \text{στέγη (max } 2\text{m)}$



Επίσης, σύμφωνα με τον Νέο Οικοδομικό Κανονισμό (2012) επειδή θεωρείται κτίριο πανταχόθεν ελεύθερο, απαιτείται να έχει απόσταση από τα όρια με τα γειτονικά σπίτια 3,75m. Επειδή όμως γειτονεύει και με δρόμο η απόσταση που πρέπει να έχει από αυτόν είναι 4m (πρασιά). Άρα τελικά το οικοδομήσιμο εμβαδό προκύπτει 404,34m<sup>2</sup> ενώ η διαθέσιμη κάλυψη 202,17m<sup>2</sup>.

Λαμβάνοντας υπόψη τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποφασίστηκε ένα επίμηκες σχήμα κατά τον άξονα ανατολής-δύσης, με τη μεγαλύτερη πλευρά προς το νότο για τη μέγιστη εκμετάλλευση του νότιου ηλιασμού και την επίτευξη βόρειου δροσισμού. Επίσης, στη νότια όψη επιλέχθηκαν μεγάλα ανοίγματα και γυάλινες επιφάνειες, στην ανατολική και δυτική όψη μετρίου μεγέθους ενώ στη βόρεια μικρού μεγέθους ανοίγματα και συμπαγείς τοίχοι. Ακόμη για τη στέγη επιλέχθηκε νότιος προσανατολισμός και κλίση 28° καθώς είναι επιθυμητή η χρήση φωτοβολταϊκών και για τα χαρακτηριστικά αυτά στην Ελλάδα επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης.

Το κτίριο σχεδιάστηκε δύο επιπέδων (ισόγειο και όροφος) με διαστάσεις και ύψη που φαίνονται παρακάτω και με βατό φυτεμένο δώμα 7m x 8,7m στο επίπεδο του ορόφου. Η κάλυψή του προέκυψε 153m<sup>2</sup> και το συνολικό εμβαδό που πρόκειται να δομηθεί 243m<sup>2</sup>.

- Μήκος 16,69m
- Πλάτος 8,7m
- Ύψος ορόφου 3,75m (συνολικό ύψος 9,81m)



Σχήμα 3.2: Τοπογραφικό σχέδιο

Σε ότι αφορά την εσωτερική αρχιτεκτονική, η πρόσβαση στην Κατοικία προβλέπεται από τη νότια πλευρά του ισογείου, ενώ το κλιμακοστάσιο τοποθετήθηκε στο κεντρικό τμήμα της βόρειας πλευράς.

Όπως φαίνεται και στα Σχήματα 3.3-3.4 οι χρήσεις του κτιρίου ανά όροφο είναι οι εξής:

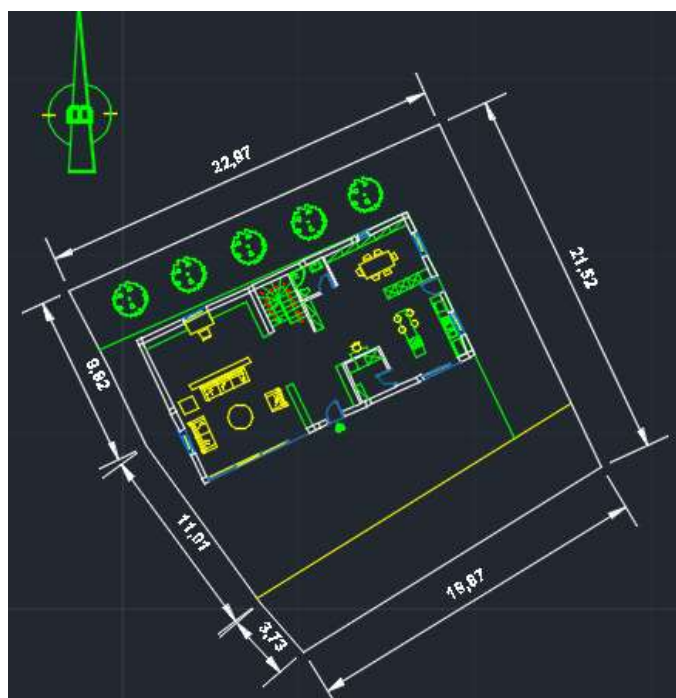
#### Ισόγειο:

- Αποθηκευτικοί χώροι, WC και λοιποί βοηθητικοί χώροι στη βόρεια πλευρά που δεν είναι μεγάλες οι απαιτήσεις φωτισμού.
- Κοινόχρηστοι χώροι, τραπεζαρία βορειοανατολικά και βορειοδυτικά.
- Κουζίνα και καθιστικό στη νότια πλευρά.

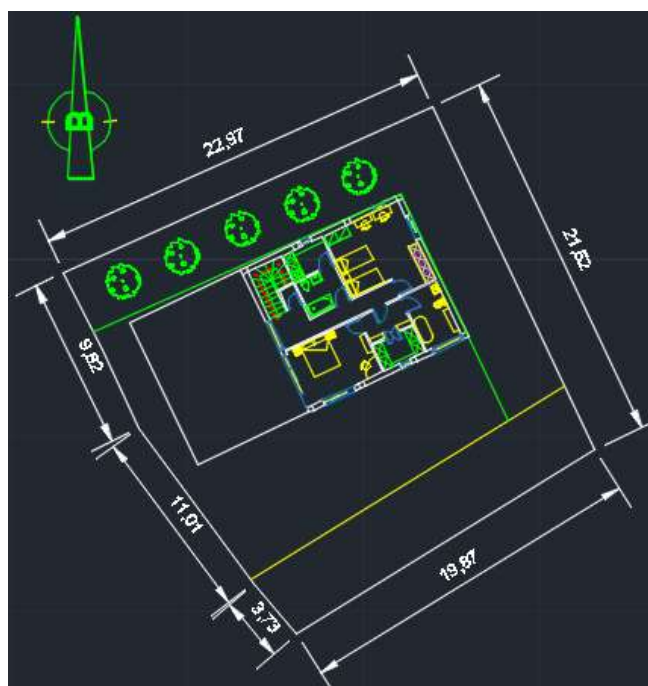
#### 1ος Όροφος:

- Υποδομάτια νοτιοανατολικά και βορειοδυτικά.
- Βοηθητικοί χώροι και WC στη βόρεια πλευρά για ανάσχεση των ψυχρών βόρειων ανέμων.

Το κέλυφος στη νότια και δυτική όψη του θα αποτελείται από αναρτημένο σύστημα Υαλοπετάσματος υψηλής ενεργειακής απόδοσης και θερμομόνωσης, στο οποίο προβλέπονται ορισμένα οριζόντια σκίαστρα στη νότια πλευρά και κατακόρυφες περσίδες αλουμινίου δυτικά, αντίστοιχα. Αν απαιτηθεί σκίαση νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά, αυτή θα γίνει με συνδυασμό οριζοντίων και κατακόρυφων σκίαστρων.



Σχήμα 3.3: Κάτοψη ισογείου κατοικίας



Σχήμα 3.4: Κάτοψη ορόφου κατοικίας

### 3.1.2 Φέρων Οργανισμός

Επιλέγεται μεταλλικός φέρων οργανισμός με πακτώσεις στη βάση του που αποτελείται από:

- υποστυλώματα πλατύπελμων διατομών HEB,
- κύριες δοκούς πρότυπης διατομής IPE και HEA στη διεύθυνση X,
- κεφαλοδοκούς διατομής HEA,
- σύμμικτες δευτερεύουσες δοκούς κατά Y διατομής IPE,
- χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας ορθογωνικής διατομής RHS και τετραγωνικής διατομής SHS,
- τεγίδες ορθογωνικής διατομής RHS και
- σύμμικτη πλάκα από χαλυβδόφυλλο και έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα.

Για το σχεδιασμό της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα Robot Structural Analysis της Autodesk, στο οποίο σχεδιάστηκε ο φέρων οργανισμός του κτιρίου και ύστερα από τις απαραίτητες αναλύσεις προέκυψαν οι τελικές διατομές των στοιχείων του.

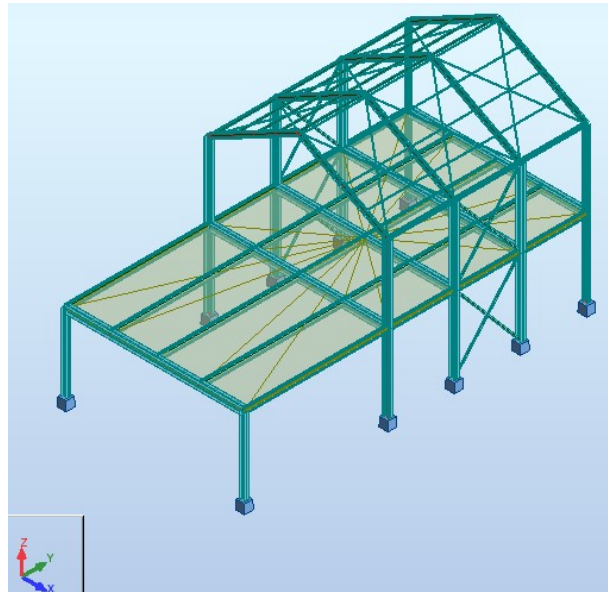
Στην διεύθυνση (X) το κτίριο λειτουργεί σαν πλαίσιο ροπής, με συνολικά 5 πλαίσια, με το πρώτο να απέχει από το δεύτερο 7m ενώ τα υπόλοιπα 4 είναι τοποθετημένα ανά 3,23m. Στην άλλη διεύθυνση (Y), που ο σεισμός παραλαμβάνεται από τους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας και την πλάκα που λειτουργεί σα διάφραγμα, συναντώνται 2 πλαίσια ανά 8,7m. Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας χαρακτηρίστηκαν ως truss bars στο πρόγραμμα, δηλαδή στοιχεία δικτύωματος, ώστε να παραλαμβάνουν μόνο τις αξονικές δυνάμεις.

Η σύμμικτη πλάκα συνδέεται με τις σύμμικτες αμφιέριστες δευτερεύουσες δοκούς, οι οποίες είναι προσανατολισμένες κατά Y, κι έχουν πλάτος επιρροής 2.175m, μέσω διατμητικών ήλων. Οι δευτερεύουσες δοκοί παραλαμβάνουν τα κατακόρυφα φορτία από τις σύμμικτες πλάκες, τα μεταφέρουν στις κύριες δοκούς κατά X και εκείνες στα υποστυλώματα. Οι συνδέσεις των δευτερευουσών δοκών με τα υποστυλώματα διαμορφώνονται στο κτίριο ως συνδέσεις τέμνουσας ώστε να μην

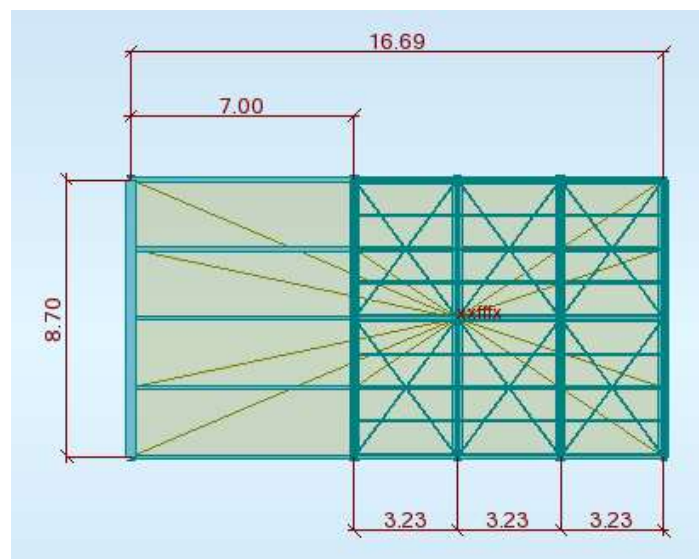
συμμετέχουν στην παραλαβή της σεισμικής δύναμης και οι κύριες δοκοί X συνδέονται με τα υποστυλώματα με συνδέσεις ροής.

Για να επιτευχθεί η διαφραγματική λειτουργία χρησιμοποιήθηκε η εντολή rigid links με την οποία συνδέθηκαν όλοι οι κόμβοι κάθε ορόφου και δεσμεύτηκαν οι οριζόντιες μετακινήσεις  $U_x$  και  $U_y$ . Τα φορτία του ορόφου και της στέγης (μόνιμα και κινητά) εφαρμόστηκαν ως γραμμικά φορτία στα φέροντα στοιχεία. Τα φορτία του ανέμου εφαρμόστηκαν κι αυτά ως γραμμικά στις ακραίες δευτερεύουσες δοκούς του ορόφου και στις κεφαλοδοκούς της στέγης, καθώς επίσης και στις τεγίδες αφού έγιναν οι απαραίτητοι υπολογισμοί.

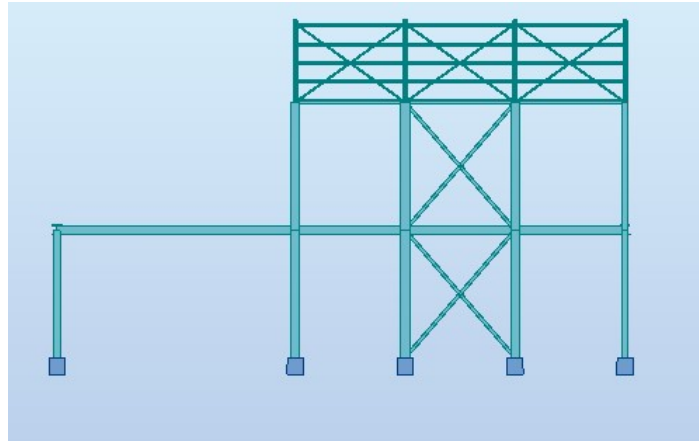
Στα Σχήματα 3.5 έως 3.9 φαίνεται η απεικόνιση του φορέα όπως προέκυψε από το πρόγραμμα Robot Structural Analysis.



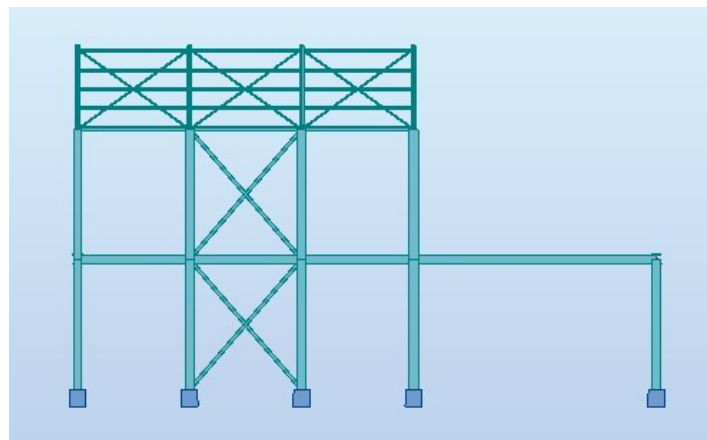
Σχήμα 3.5: Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα νοτιοδυτικής όψης



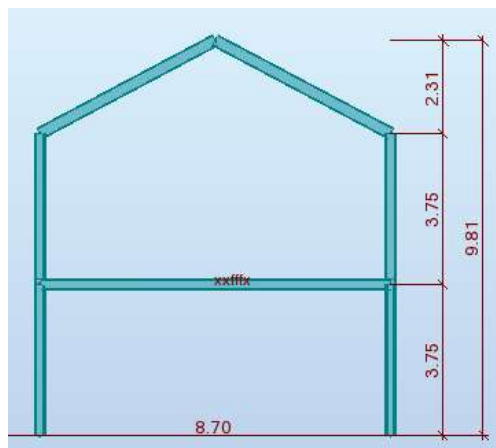
Σχήμα 3.6: Κάτοψη κατοικίας



Σχήμα 3.7: Νότια όψη κατοικίας



Σχήμα 3.8 Βόρεια όψη κατοικίας



Σχήμα 3.9: Ανατολική και δυτική όψη κατοικίας

## 3.2 Υλικά

### 3.2.1 Δομικός Χάλυβας

Οι ποιότητες και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των δομικών χαλύβων δίνονται στην ευρωπαϊκή προδιαγραφή EN 10025-2. Σε όλη την κατασκευή χρησιμοποιείται χάλυβας S355. Τα χαρακτηριστικά του χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζονται παρακάτω (σύμφωνα με τον EN 1993-1-1:2005):

- Μέτρο ελαστικότητας:  $E_s=210$  GPa
- Μέτρο διάτμησης:  $G=E/2(1+\nu)=80769$  MPa
- Ειδικό βάρος:  $\gamma=78,50$  kN/m<sup>3</sup>
- Όριο διαρροής:  $f_y=355$  MPa
- Εφελκυστική αντοχή:  $f_u=510$  MPa
- Σταθερά Poisson:  $\nu_a=0,3$

### 3.2.2 Σκυρόδεμα

Η ποιότητα σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε για τη σύμμικτη πλάκα είναι κατηγορίας C25/30 . Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2, Μέρος 1-1 ισχύει:

- Χαρακτηριστική αντοχή:  $f_{ck}=25$  MPa
- Αντοχή σχεδιασμού:  $f_{cd}=f_{ck}/\gamma_c=16,67$  MPa, όπου  $\gamma_c=1,5$
- Μέτρο ελαστικότητας:  $E_{cm}=31$  GPa
- Λόγος Poisson:  $\nu=0,2$
- Ειδικό βάρος:  $\gamma=25$  kN/m<sup>3</sup>

### 3.2.3 Χάλυβας Οπλισμού

Για τους οπλισμούς του σκυροδέματος στη σύμμικτη πλάκα χρησιμοποιήθηκε χάλυβας B500C με:

- Χαρακτηριστική τιμή ορίου διαρροής:  $f_{yk}=500$  MPa
- Αντοχή σχεδιασμού:  $f_{sd} = f_{ys} / \gamma_s=434,78$  MPa, όπου  $\gamma_s=1,15$

Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των χαλύβων σκυροδέματος είναι τα ίδια με αυτά του δομικού χάλυβα.

### 3.2.4 Χαλυβδόφυλλο

Στη σύμμικτη πλάκα χρησιμοποιήθηκε χαλυβδόφυλλο Symdeck 73 το οποίο είναι γαλβανισμένο, τραπεζοειδούς μορφής. Ο χάλυβας που χρησιμοποιείται είναι υψηλής ποιότητας S320 (σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3) με:

- Χαρακτηριστική τιμή ορίου διαρροής:  $f_{yp}=320$  MPa
- Εφελκυστική αντοχή:  $f_{up}=390$  MPa.

### 3.2.5 Σύστημα Υαλοπετάσματος Υψηλής Ενεργειακής Απόδοσης

Επιλέγεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα για υαλοπετάσματα υψηλής ενεργειακής απόδοσης Double Insulating Glass Unit Construction, με εξωτερική όψη Pilkington Suncool One 60/40 και εσωτερική Pilkington Optifloat Clear και με Βάρος = 25 kg/m<sup>2</sup>.

### 3.2.6 Υλικά Φυτεμένου Δώματος

Εφαρμόζεται βατό Φυτεμένο Δώμα Ημιεντατικού Τύπου στο οποίο χρησιμοποιούνται φυτά εδαφοκάλυψης και θάμνοι. Ύστερα από έρευνα εμπορίου,

επιλέγεται το σύστημα υποδομής Σύστημα υποδομής Floradrain® FD 40-E, που είναι κατάλληλο για εφαρμογή σε πράσινα δώματα ημιεντατικού τύπου και διαθέτει:

- Υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών :  $h_{\text{υπ}}=12-25\text{cm}$
- Βάρος Κορεσμένο:  $100-270\text{ kg/m}^2=0,98-2,65\text{ kN/m}^2$

### 3.3 Δράσεις Σχεδιασμού

Ο φορέας θα πρέπει να σχεδιάζεται με τρόπο τέτοιο, ώστε, σε συνάρτηση και με την οικονομικότητα της κατασκευής, να είναι ικανός να αντιμετωπίσει όλες τις δράσεις και τις επιδράσεις από το περιβάλλον που πρόκειται να δεχθεί καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του, αλλά παράλληλα να παραμείνει ασφαλής και κατάλληλος για τη χρήση για την οποία προορίζόταν. Οι δράσεις επί των κατασκευών εξαρτώνται από τη θέση, τη μορφή και τη χρήση του κτιρίου και καθορίζονται από κανονιστικές διατάξεις, οι οποίες περιγράφουν τη ποσοτική όσο και την ποιοτική τους διάσταση. Οι δράσεις σχεδιασμού υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις κανονιστικές διατάξεις του Ευρωκώδικα 1 (EN 1991). Οι δράσεις ανάλογα με το χρόνο φαίνονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Δράσεις επί των κατασκευών

1. Μόνιμες Δράσεις (G)	2. Μεταβλητές Δράσεις (Q)	3. Τυχηματικές Δράσεις (A)
i. Ίδια βάρη κατασκευής ii. Λοιπά μόνιμα	i. Κινητά φορτία ii. Δράσεις χιονιού iii. Δράσεις ανέμου	i. Σεισμικές δράσεις

#### 3.3.1 Μόνιμες Δράσεις

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλα τα κατακόρυφα φορτία όπως τα ίδια βάρη (φέροντα στοιχεία, τοίχοι πληρώσεως, ψευδοροφές, επικαλύψεις και επενδύσεις, επιστρώσεις και μονώσεις δαπέδων, ηλεκτρικά και υδραυλικά δίκτυα, κλιματιστικά συστήματα). Πιο συγκεκριμένα οι μόνιμες δράσεις που ασκούνται στο κτίριο είναι:

- Το ίδιο βάρος φερόντων μεταλλικών στοιχείων που υπολογίστηκαν από το Robot Structural Analysis για χάλυβα με ίδιο βάρος  $78,5\text{ kN/m}^3$  και σκυρόδεμα με ίδιο βάρος  $25,0\text{ kN/m}^3$
- Το ίδιο βάρος σύμμικτων πλακών:  $g_{\text{πλ}}=2,75\text{ kN/m}^2$ , το οποίο υπολογίστηκε με το πρόγραμμα Symdeck Designer 2, στο οποίο έγινε η διαστασιολόγηση της σύμμικτης πλάκας
- Τα πρόσθετα μόνιμα του  $I^{00}$  ορόφου:  $g'_{\text{ορ}}=1,27\text{ kN/m}^2$ , καθώς περιλαμβάνονται:
  - Βάρος εσωτερικών τοίχων:  $0,5\text{ kN/m}^2$
  - Βάρος ψευδοροφής:  $0,265\text{ kN/m}^2$
  - Βάρος μόνωσης (Heraklith):  $0,275\text{ kN/m}^2$
  - Βάρος δαπέδου (πλακάκι cotto):  $0,235\text{ kN/m}^2$
- Τα πρόσθετα μόνιμα του φυτεμένου δώματος:  $g'_{\text{δώματος}}=3,09\text{ kN/m}^2$ , καθώς περιλαμβάνονται:
  - Φορτίο κορεσμένου χώματος:  $1,152\text{ kN/m}^2$
  - Πρόσθετα φορτία λόγω υποστρώματος φύτευσης, αποστραγγιστικών στοιχείων και φρεατίου:  $1,5\text{ kN/m}^2$
  - Γυάλινο στηθαίο:  $0,438\text{ kN/m}^2$
- Τα πρόσθετα μόνιμα της δικλινούς στέγης:  $g'_{\text{στέγης}}=0,5\text{ kN/m}^2$ , καθώς περιλαμβάνονται:

- Βάρος φωτοβολταϊκών: 0,2452 kN/m<sup>2</sup>
- Βάρος ψευδοροφής: 0,265 kN/m<sup>2</sup>
- Βάρος μόνωσης (rigid insulation EPS, πάχους 50mm): 0,0098 kN/m<sup>2</sup>
- Βάρος υγρομόνωσης (fiberglass, πάχους 5cm): 0,008 kN/m<sup>2</sup>
- Βάρος μεταλλικού καταστρώματος (RoofDeck D32S): 0,067 kN/m<sup>2</sup>
- Βάρος πάνελ (LokSeam Panel 18''): 0,006 kN/m<sup>2</sup>
- Το πρόσθετο φορτίο Υαλοπετάσματος:  $g_{\text{υαλ}}=0,25$  kN/m<sup>2</sup>
- Το πρόσθετο φορτίο των εξωτερικών τοίχων:  $g_{\text{εξ}}=0,505$  kN/m<sup>2</sup> που περιλαμβάνει:
  - Γυψοσανίδες: 0,142 kN/m<sup>2</sup>
  - Wall Panel (MBCI, concealed fastener wall panels, Flat 12'' Panel, Fluted 16'' Panel): 0,089 kN/m<sup>2</sup>
  - Μόνωση (Heraklith): 0,275 kN/m<sup>2</sup>

### 3.3.2 Κινητά Φορτία

Στην κατηγορία των κινητών φορτίων των κτιρίων περιλαμβάνονται φορτία ομοιόμορφα διανεμημένα ( $q_k$ ) ή συγκεντρωμένα ( $Q_k$ ) που οφείλονται είτε στη χρήση του από ανθρώπους, είτε σε έπιπλα, κινητά αντικείμενα, μηχανήματα και οχήματα. Ανάλογα με την κατηγορία χρήσης του κτιρίου τα επιβαλλόμενα φορτία λαμβάνουν καθορισμένες τιμές σύμφωνα με τον κανονισμό όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.2: Κατηγορίες χρήσης βάση κανονισμού

Κατηγορία	Συγκεκριμένη Χρήση	Παράδειγμα
A	Χώροι για οικιακές δραστηριότητες	Δωμάτια σε κτίρια κατοικιών και σε σπίτια. Θάλαμοι και πτέρυγες σε νοσοκομεία. Υπνοδωμάτια σε ξενοδοχεία και ξενώνες, κουζίνες και τουαλέτες.
B	Χώροι γραφείων	
C	Χώροι συνάθροισης ανθρώπων (με εξαίρεση τους χώρους που κατατάσσονται στις κατηγορίες A, B, D)	C1: Χώροι με τραπέζια π.χ. καφενεία, εσπιατόρια, σχολικοί χώροι.
		C2: Χώροι με σταθερά καθίσματα π.χ. χώροι σε εκκλησίες, θέατρα, αίθουσες συνεδριάσεων, χώροι αναμονής.
		C3: Χώροι χωρίς εμπόδια στη διακίνηση του κοινού π.χ. χώροι σε μουσεία, εκθεσιακοί χώροι κλπ., και χώροι πρόσβασης σε δημόσια και διοικητικά κτίρια, ξενοδοχεία και νοσοκομεία.
		C4: Χώροι για πιθανές κινητές δραστηριότητες π.χ. αίθουσες χορού, γυμναστικής και θεατρικές σκηνές.
		C5: Χώροι προοριζόμενοι για μεγάλα πλήθη π.χ. για δημόσιες εκδηλώσεις όπως αίθουσες συναυλιών, κλειστά γήπεδα, εξέδρες γηπέδων, εξώστες.
D	Χώροι σε εμπορικά καταστήματα	D1: Χώροι σε καταστήματα λιανικής πώλησης.
		D2: Χώροι σε πολυκαταστήματα

Αφού, η Κατοικία ανήκει στην *Κατηγορία A*, ενώ η δικλινής στέγη στην *Κατηγορία H* και η επίπεδη στέγη-φυτεμένο δώμα (βατό) στην *Κατηγορία I*, λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω τιμές ωφέλιμων φορτίων (Πηγή: εθνικό προσάρτημα EN 1991-1-1):

- Στους ορόφους: δάπεδα  $q_k=2$  kN/m<sup>2</sup>,  $Q_k=2$  kN και σκάλες  $q_k=3,5$  kN/m<sup>2</sup>,  $Q_k=2$  kN
- Στη δικλινή στέγη:  $q_k=0,5$  kN/m<sup>2</sup>,  $Q_k=1$  kN
- Στην επίπεδη στέγη-φυτεμένο δώμα:  $q_k=5$  kN/m<sup>2</sup>,  $Q_k=3$  kN



### 3.3.3 Δράσεις Χιονιού

Τα φορτία του χιονιού θεωρούνται ως στατικά και κατατάσσονται στις μεταβλητές, καθορισμένες δράσεις. Σε ειδικές περιπτώσεις, όταν οι καταγραφές της χιονόπτωσης δίνουν ακραίες τιμές που δεν μπορούν να αξιοποιηθούν μέσω των συνήθων στατιστικών μεθόδων για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου χιονιού, οι ακραίες τιμές αυτές μπορεί να θεωρούνται ως τυχηματικές δράσεις. Τα φορτία αυτά προσδιορίζονται με βάση τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 1 – Μέρος 1.3 (EN 1991-1-3), σύμφωνα με τον οποίο το φορτίο χιονιού για δικλινή στέγη υπολογίζεται από τη σχέση:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (3.1)$$

όπου :

$\mu_i$ : συντελεστής μορφής φορτίου χιονιού

$C_e$ : ο συντελεστής έκθεσης ο οποίος για κανονικές συνθήκες λαμβάνεται ίσος με 1.

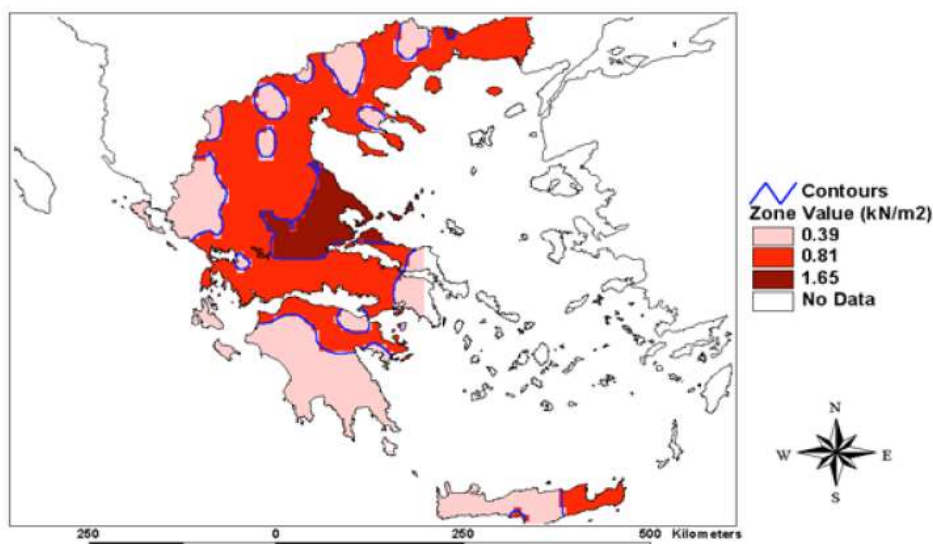
$C_t$ : θερμικός συντελεστής, ο οποίος για κανονικές συνθήκες θερμικής μόνωσης λαμβάνεται ίσος με 1.

$s_k$ : η χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού επί του εδάφους, όπου:

$$s_k = s_{k,0} * (1 + (A/917)^2) \text{ σε kN/m}^2 \quad (3.2)$$

Η τιμή  $s_{k,0}$  προκύπτει από τη ζώνη στην οποία βρίσκεται η εκάστοτε κατασκευή σε σχέση με τη στάθμη της θάλασσας (για κατασκευές με υψόμετρο μικρότερο των 1500 m). Η Ελλάδα χωρίζεται σε τρεις ζώνες, Σχήμα 3.10:

- Ζώνη I :  $s_{k,0} = 0,4 \text{ kN/m}^2$
- Ζώνη II :  $s_{k,0} = 0,8 \text{ kN/m}^2$
- Ζώνη III :  $s_{k,0} = 1,7 \text{ kN/m}^2$



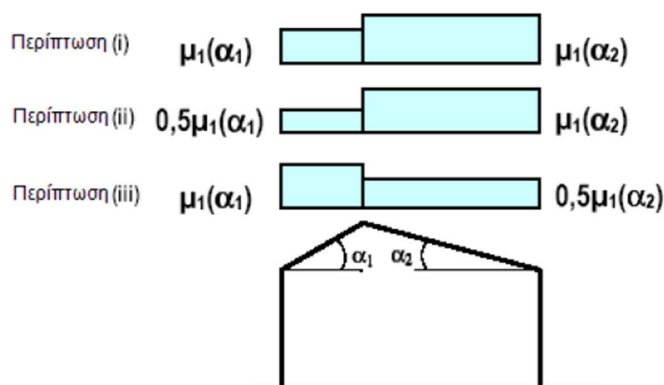
Σχήμα 3.10: Εθνικές ζώνες χιονιού ( Παράρτημα C, EN 1991-1-3)

Η κατοικία που μελετάται βρίσκεται στη Ναύπακτο του νομού Αιτωλοακαρνανίας ( $A=22\text{m}$ ), οπότε, σύμφωνα με το Παράρτημα C του EN1991-1-3, προκύπτει:

Ζώνη II, άρα  $\rightarrow s_{k,0}=0,80 \text{ kN/m}^2$  και κατ' επέκταση από τη Σχέση (3.2)  $s_k=0,8 \text{ kN/m}^2$ .

### 3.3.3.1 Συντελεστής Μορφής Φορτίου Χιονιού

Στο παρακάτω Σχήμα 3.11 φαίνεται η προβλεπόμενη διάταξη για το συντελεστή μορφής φορτίου σε δικλινείς στέγες.



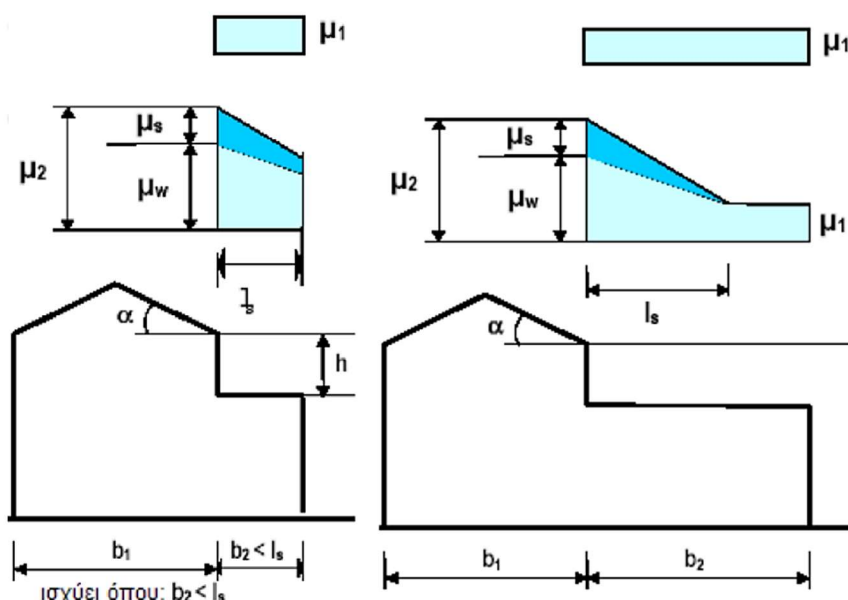
Σχήμα 3.11: Συντελεστής μορφής χιονιού σε δικλινείς στέγες

Ανάλογα με την γωνία κλίσης στέγης  $\alpha$  υπάρχει και ο ανάλογος συντελεστής σχήματος που δίνεται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Συντελεστής μορφής χιονιού

Κλίση στέγης	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8 (60-\alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8+0,8 \alpha/30$	1,6	--

Σε στέγες που υπάρχουν απότομες αλλαγές ύψους, όπου είναι πιθανή η συγκέντρωση χιονιού λόγω ανέμου ή ολίσθησης από υψηλότερη στέγη, πρέπει να εξετάζονται οι περιπτώσεις που δίνονται στο Σχήμα 3.12.



Σχήμα 3.12: Συντελεστές μορφής σε στέγες με απότομη αλλαγή ύψους για  $b_2 \geq l_s$  και  $b_2 < l_s$

Οι συντελεστές μορφής που προκύπτουν για την κατοικία είναι οι ακόλουθοι:

$\mu_1 = 0,80$  (αφού η χαμηλότερη στέγη είναι επίπεδη)

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w \quad (3.3)$$

όπου:

$\mu_s$  : ο συντελεστής μορφής λόγω ολίσθησης και λαμβάνεται  $\mu_s=0$  για  $\alpha \leq 15^\circ$  ενώ για  $\alpha > 15^\circ$ , ο  $\mu_s$  προσδιορίζεται από ένα πρόσθετο φορτίο που ανέρχεται στο 50% του μέγιστου συνολικού φορτίου χιονιού, στην επαπτόμενη σε αυτή επιφάνεια της γειτονικής υψηλότερης στέγης όπως αυτό υπολογίζεται σύμφωνα με το σχήμα 3.10.

$\mu_w$  : ο συντελεστής μορφής λόγω ανέμου και προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\mu_w = (b_1 + b_2) / 2 * h \leq \gamma * h / s_k \quad (3.4)$$

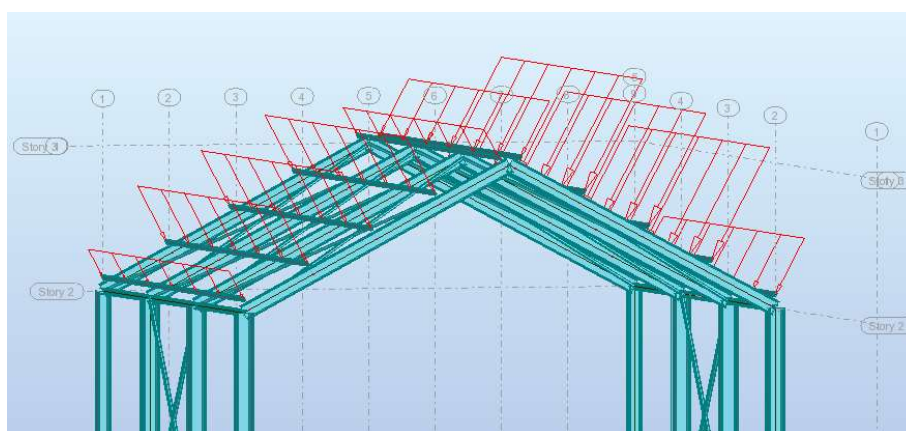
με  $0,8 \leq \mu_w \leq 4,0$  και  $\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$ , πυκνότητα χιονιού

Στη συγκεκριμένη περίπτωση :  $b_1=9,69\text{m}$ ,  $b_2=7\text{m}$ , μήκος συγκέντρωσης:  $l_s=2*h=2*3,75\text{m}=7,5\text{m}$  που όπως φαίνεται  $l_s > b_2$ , οπότε η κατανομή του φορτίου θα γίνει με βάση τη δεύτερη περίπτωση (τραπεζοειδής κατανομή) του Σχήματος 3.12 και άρα προκύπτει από τη Σχέση (3.4)  $\mu_w=2,225 \leq 9,375$ . Επειδή τα φορτία του χιονιού είναι μικρά ο συντελεστής  $\mu_s$  λαμβάνεται ίσος με το μηδέν (παρόλο που  $\alpha=28^\circ$ ) καθώς η συμβολή του θεωρείται αμελητέα. Άρα τελικά από τη Σχέση (3.3):  $\mu_2=2,225$ .

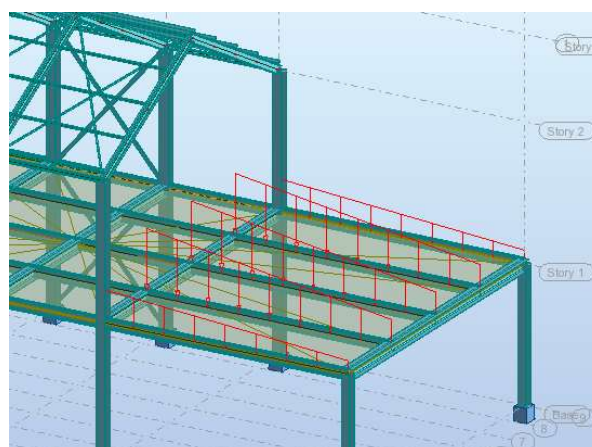
### 3.3.3.2 Τελικό Φορτίο Χιονιού

Μέσω της Σχέσης (3.1), υπολογίζονται τα φορτία του χιονιού για τη δικλινή και την επίπεδη στέγη αντίστοιχα. Τυχηματικές καταστάσεις χιονιού δεν υπολογίζονται καθώς η κατασκευή ανήκει στη Ζώνη II.

- Για τη δικλινή στέγη σύμφωνα με το Σχήμα 3.10 προκύπτουν 3 περιπτώσεις κατανομής με  $s_{\mu 1}=0,64 \text{ kN/m}^2$  και  $s_{0,5*\mu 1}=0,32 \text{ kN/m}^2$  (Σχήμα 3.13).
- Για την επίπεδη στέγη σύμφωνα με το Σχήμα 3.11 προκύπτουν 2 περιπτώσεις κατανομής με  $s_{\mu 1}=0,64 \text{ kN/m}^2$  και  $s_{\mu 2}=1,78 \text{ kN/m}^2$  (Σχήμα 3.14).



Σχήμα 3.13: Φορτίο χιονιού στη δικλινή στέγη, περίπτωση (iii)



Σχήμα 3.14: Φορτίο λόγω συγκέντρωσης χιονιού στην επίπεδη στέγη, περίπτωση (ii)

### 3.3.4 Δράσεις Ανέμου

Οι δράσεις του ανέμου παρουσιάζουν διακυμάνσεις στο χρόνο και δρουν άμεσα ως πιέσεις επί των εξωτερικών επιφανειών κλειστών κατασκευών και, λόγω της πορώδους φύσης της εξωτερικής επιφάνειας, δρουν επίσης έμμεσα επί των εσωτερικών επιφανειών. Από τις πιέσεις που αναπτύσσονται σε περιοχές της επιφάνειας προκύπτουν δυνάμεις κάθετες προς την επιφάνεια της κατασκευής ή των μεμονωμένων στοιχείων επικάλυψης. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 (EN 1991-1-4), για κτίρια και έργα ύψους μέχρι 200m, οι δράσεις ανέμου στις κατασκευές κατατάσσονται στις μεταβλητές σταθερές δράσεις. Διακρίνονται τέσσερις διευθύνσεις φόρτισης ανέμου:

- Άνεμος  $\theta=0^\circ$ , για άνεμο κατά +X
- Άνεμος  $\theta=90^\circ$ , για άνεμο κατά +Y
- Άνεμος  $\theta=180^\circ$ , για άνεμο κατά -X
- Άνεμος  $\theta=270^\circ$ , για άνεμο κατά -Y

Οι δράσεις του ανέμου επί των κατασκευών και δομικών στοιχείων λοιπόν πρέπει να προσδιορίζονται λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις εξωτερικές πιέσεις, όσο και τις εσωτερικές. Ο υπολογισμός των εξωτερικών και των εσωτερικών πιέσεων γίνεται μέσω των σχέσεων (3.5) και (3.6) αντίστοιχα. Η τελική πίεση είναι η διαφορά των εξωτερικών και εσωτερικών πιέσεων διατηρώντας το πρόσημό τους. Πίεση, κατευθυνόμενη προς την επιφάνεια, λαμβάνεται ως θετική και αναρρόφηση, απομακρυνόμενη από την επιφάνεια, λαμβάνεται ως αρνητική (Σχήμα 3.15).

$$W_e = q(z_e) * C_{p_e} \quad (3.5)$$

$$W_i = q(z_i) * C_{p_i} \quad (3.6)$$

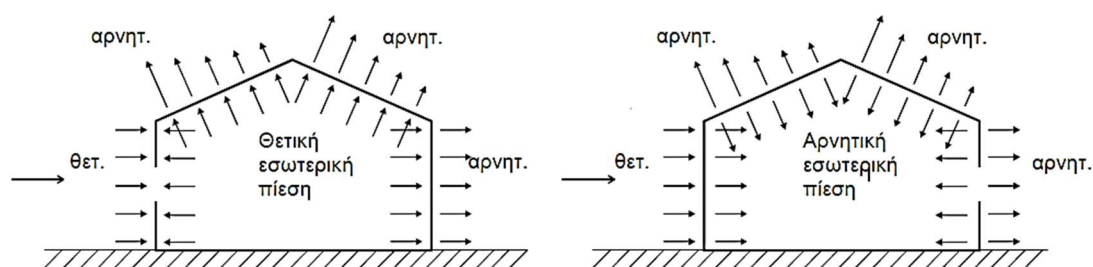
όπου:

$z_e$ : Ύψος αναφοράς για την εξωτερική πίεση

$z_i$ : Ύψος αναφοράς για την εσωτερική πίεση

$C_{p_e}$ : Συντελεστής πίεσης για την εξωτερική πίεση

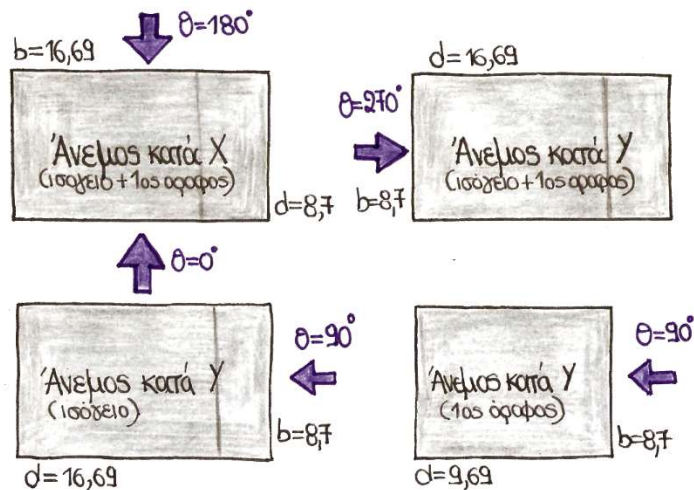
$C_{p_i}$ : Συντελεστής πίεσης για την εσωτερική πίεση



Σχήμα 3.15: Πίεση επί επιφανειών

#### 3.3.4.1 Ύψος αναφοράς $z_e$

Ο προσδιορισμός του ύψους αναφοράς  $z_e$  για τους προσήνεμους τοίχους εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ του  $h$  και του πλάτους  $b$  του κτιρίου (κάθετη στη διεύθυνση του σεισμού). Οι τιμές του πλάτους  $b$  του κτιρίου ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου για κατακόρυφους τοίχους φαίνεται στο Σχήμα 3.16. Στο συγκεκριμένο κτίριο θεωρούμε το δυσμενέστερο  $z_e = h = 9,813\text{m}$  και προσεγγιστικά ότι για την πίεση ταχύτητας αιχμής ισχύει:  $q_p(z) = q_p(z_e)$ .



Σχήμα 3.16: Διαστάσεις για κατακόρυφους τοίχους ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου

### 3.3.4.2 Βασική Ταχύτητα Ανέμου

Η κατοικία που μελετάται βρίσκεται σε περιοχή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμα δάση), άρα ανήκει στην Κατηγορία Εδάφους III.

Η βασική ταχύτητα ανέμου, που ορίζεται ως συνάρτηση της διεύθυνσης του ανέμου και της εποχής του έτους προκύπτει από τη σχέση:

$$V_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} \quad (3.7)$$

όπου:

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

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

$v_{b,0}$ : η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου

Στην περίπτωση μας,  $v_{b,0}=27\text{m/s}$  για τα νησιά και τα παράλια μέχρι 10km από την ακτή, σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα. Συνεπώς από τη Σχέση (3.7) προκύπτει:  $V_b=27,0\text{m/s}$ .

### 3.3.4.3 Υπολογισμός Πίεσης Ταχύτητας Αιχμής

Η πίεση ταχύτητας αιχμής  $q_p(z)$  σε ύψος  $z$ , η οποία περιλαμβάνει μέση και μικρής διάρκειας διακυμάνσεις ταχύτητας, προσδιορίζεται από την σχέση:

$$q_p(z) = [1+7*I_v(z)] * 0,5 * \rho * v_m^2(z) \quad (3.8)$$

όπου:

- $I_v(z)$  σε ύψος  $z$ , η ένταση του στροβιλισμού που υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$I_v(z) = \sigma_v / v_m(z) \text{ για } z_{min} \leq z \leq z_{max} = 200\text{m} \quad (3.9)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \text{ για } z \leq z_{min} \quad (3.10)$$

- $\rho$ : η πυκνότητα του αέρα και λαμβάνεται ίση με  $1,25 \text{ kg/m}^3$

- $v_m(z)$ : η μέση ταχύτητα του ανέμου και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b \quad (3.11)$$

όπου:

$c_r(z)$ : ο συντελεστής τραχύτητας

$c_0(z)$ : ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης και λαμβάνεται ίσος με 1,00 (προτεινόμενη τιμή).

Ο συντελεστής τραχύτητας υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_o) \text{ για } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (3.12)$$

$$c_r = c_r(z_{min}) \text{ για } z \leq z_{min} \quad (3.13)$$

όπου:

$k_r$  : ο συντελεστής εδάφους και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$k_r = 0,19 \cdot (z_o/z_{o,II})^{(0,07)} \quad (3.14)$$

Οι προτεινόμενες τιμές για το μήκος τραχύτητας  $z_o$  και το ελάχιστο ύψος  $z_{min}$  δίνονται στον Πίνακα 3.4. Στην προκειμένη περίπτωση λόγω του ότι το κτίριο ανήκει στην κατηγορία εδάφους III,  $z_{min}=5\text{m}$  και  $z_o=0,3\text{m}$ .

Πίνακας 3.4: Κατηγορία εδάφους κατασκευής

Κατηγορία εδάφους	$z_o$ 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 γρασίδι 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 (όπως χωριά, προάστια, μόνιμα δάση)	0,3	5
IV Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m.	1,0	10

Από τις Σχέσεις (3.14), (3.13), (3.12), (3.11) και (3.9), προκύπτουν:

- Για  $\theta=0^\circ$ ,  $\theta=180^\circ$  και  $\theta=270^\circ$  ( $z=9,813\text{m}$ ):  
 $k_r=0,2154$   
 $c_r(z)=0,751$   
 $v_m(z)=20,276 \text{ m/s}$   
 $l_v(z)=0,287$   
 Και τελικά μέσω της (3.8):  $q_p(z)=0,773 \text{ kN/m}^2$
- Για  $\theta=90^\circ$ , θεωρώ το κτίριο ως δυο κομμάτια, ένα το ισόγειο ( $z=3,75\text{m}$ ) και ένα τον όροφο ( $z=6,06\text{m}$ ) διότι υπάρχει η υψομετρική διαφορά και αυτός ο διαχωρισμός δίνει δυσμενέστερα αποτελέσματα.

Για το ισόγειο ( $z=3,75\text{m}$ ):

$$k_r=0,2154$$

$$c_r(z_{min})=0,606$$

$$v_m(z)=16,362 \text{ m/s}$$

$$l_v(z)=0,355$$

$$\text{Και τελικά μέσω της (3.8): } q_p(z)=0,584 \text{ kN/m}^2$$

Για τον όροφο ( $z=6,06\text{m}$ ):

$$k_r=0,2154$$

$$c_r(z)=0,647$$

$$v_m(z)=17,48 \text{ m/s}$$

$$l_v(z)=0,333$$

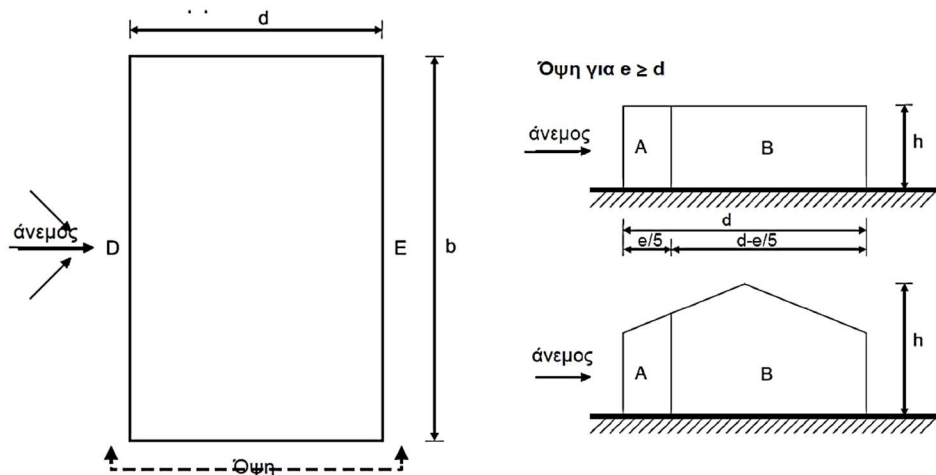
$$\text{Και τελικά μέσω της (3.8): } q_p(z)=0,636 \text{ kN/m}^2$$

### 3.3.4.4 Υπολογισμός Εξωτερικών Πίεσεων Κατακόρυφων Επιφανειών

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

- $b=16,69\text{m}$
- $h=9,813\text{m}$
- $d=8,7\text{m}$
- $e=\min(b;2h)=16,69\text{m}>d=8,7\text{m}$ , άρα προκύπτουν οι παρακάτω (Σχήμα 3.17) ζώνες υποδιαίρεσης, σύμφωνα με τον Κανονισμό.
- $h/d =1,128$ , οπότε προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους μέσω γραμμικής παρεμβολής των αντίστοιχων του Ευρωκώδικα 1. (Πηγή: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $C_{pe}$ )

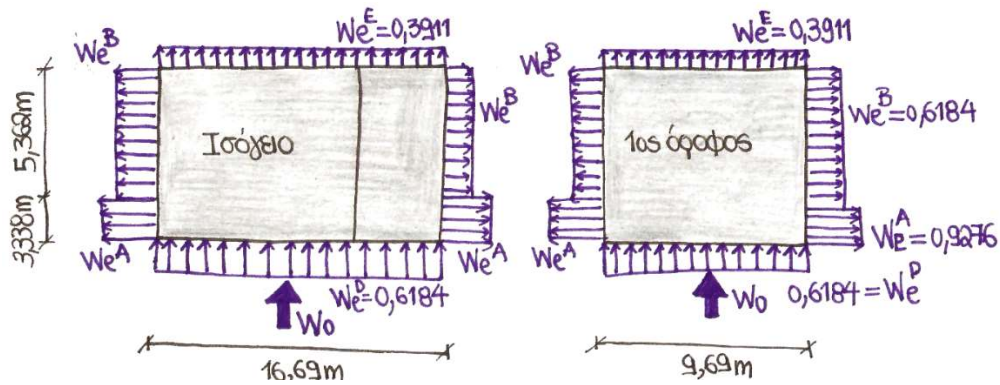
Με βάση τις τιμές των συντελεστών αυτών και μέσω της αρχικής σχέσης (3.6) υπολογίζονται οι εξωτερικές πιέσεις  $w_e$  κάθε ζώνης (Πίνακας 3.5). Οι τιμές αυτών, η κατανομή και το μήκος κατανομής της κάθε ζώνης απεικονίζονται στο Σχήμα 3.18.



Σχήμα 3.17: Ορισμός ζωνών για κατακόρυφους τοίχους

Πίνακας 3.5 Συντελεστές και εξωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων για  $\theta=0^\circ$

Ζώνη	A	B	C	D	E
$c_{pe}$	-1,2	-0,8	-	0,8	-0,506
$w_e$	-0,928	-0,618	-	0,618	-0,391



Σχήμα 3.18: Εξωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων για  $\theta=0^\circ$

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

Για τη διεύθυνση αυτή, ισχύουν τα ίδια με την προηγούμενη περίπτωση σε ότι αφορά τις διαστάσεις, το ύψος αναφοράς τις τιμές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης και τις τιμές των εξωτερικών πιέσεων. Σε ότι αφορά την κατανομή τους στην κάτοψη αυτή θα είναι συμμετρική της Διεύθυνσης  $\theta=0^\circ$  ως προς τον άξονα που περνάει κάθετα από το κέντρο του κτιρίου.

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

Στη διεύθυνση αυτή το κτίριο χωρίστηκε σε δυο τμήματα, το άνω και το κάτω, διότι όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για το διαχωρισμό αυτό προέκυψαν δυσμενέστερα αποτελέσματα λόγω της υψομετρικής διαφοράς.

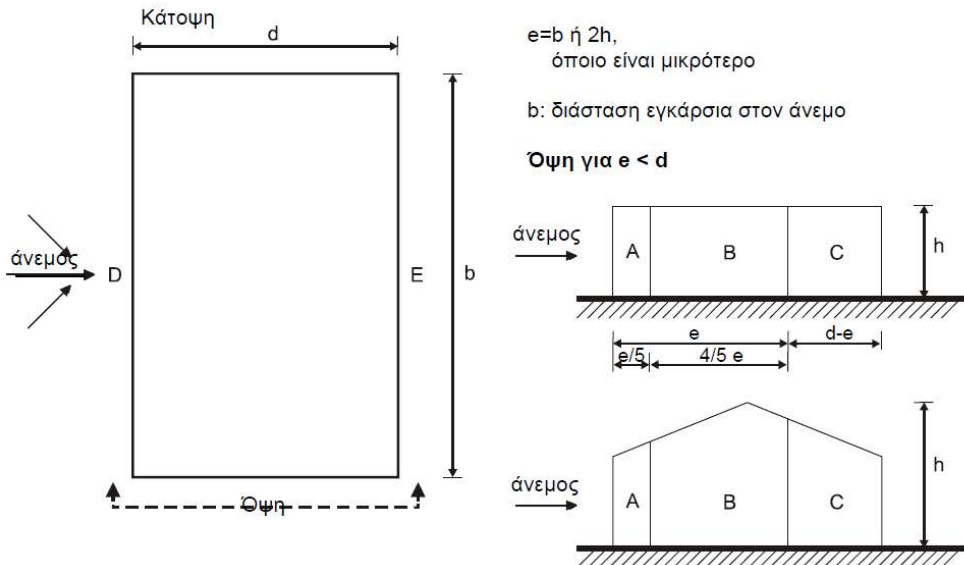
Κάτω τμήμα (ισόγειο):

- $b=8,7\text{m}$
- $h=3,75\text{m}$
- $d=16,69\text{m}$
- $e=\min(b;2h)=7,5\text{m}<d=16,69\text{m}$ , άρα προκύπτουν οι παρακάτω (Σχήμα 3.19) ζώνες υποδιαίρεσης, σύμφωνα με τον Κανονισμό.
- $h/d=0,22$ , οπότε προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους μέσω γραμμικής παρεμβολής των αντίστοιχων του Ευρωκώδικα 1. (Πηγή: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $C_{pe}$ )

Άνω τμήμα (1<sup>ος</sup> όροφος):

- $b=8,7\text{m}$
- $h=6,06\text{m}$
- $d=9,69\text{m}$
- $e=\min(b;2h)=8,7\text{m}<d=9,69\text{m}$ , άρα προκύπτουν οι παρακάτω (Σχήμα 3.19) ζώνες υποδιαίρεσης, σύμφωνα με τον Κανονισμό.
- $h/d=0,625$ , οπότε προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους μέσω γραμμικής παρεμβολής των αντίστοιχων του Ευρωκώδικα 1. (Πηγή: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $C_{pe}$ )



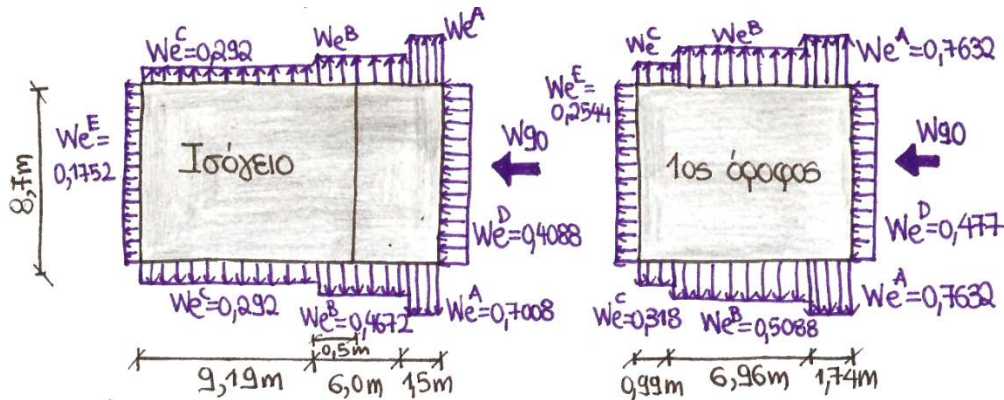


Σχήμα 3.19: Ορισμός ζωνών για κατακόρυφους τοίχους

Με βάση τις τιμές των συντελεστών αυτών και μέσω της αρχικής σχέσης (3.6) υπολογίζονται οι εξωτερικές πιέσεις  $w_e$  κάθε ζώνης (Πίνακας 3.6). Οι τιμές αυτών, η κατανομή και το μήκος κατανομής της κάθε ζώνης απεικονίζονται στο Σχήμα 3.20.

Πίνακας 3.6: Συντελεστές και εξωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων για  $\theta=90^\circ$

Ζώνη	A	B	C	D	E
$cp_{e,a}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,75	-0,4
$w_{e,a}$	-0,763	-0,509	-0,318	0,477	-0,254
$cp_{e,\kappa}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
$w_{e,\kappa}$	-0,701	-0,467	-0,292	0,409	-0,175



Σχήμα 3.20: Εξωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων για  $\theta=90^\circ$

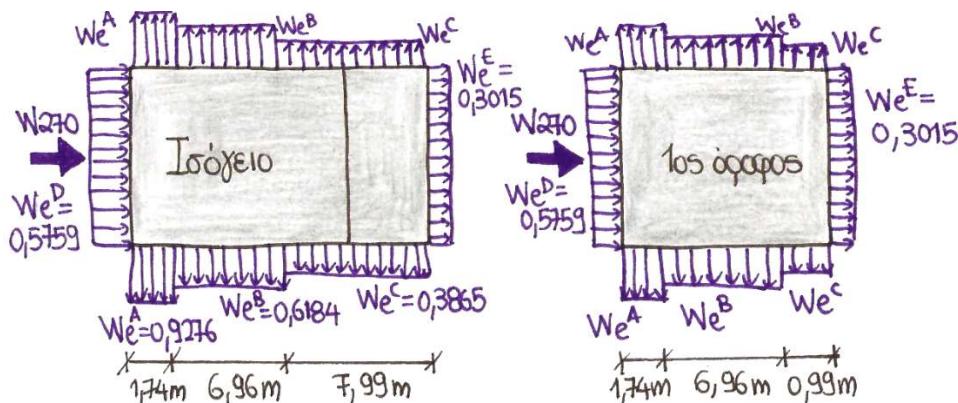
#### IV. Διεύθυνση ανέμου $\theta=270^\circ$ (-Y)

- $b=8,7\text{m}$
- $h=9,813\text{m}$
- $d=16,69\text{m}$
- $e=\min(b;2h)=8,7\text{m}<d=16,69\text{m}$ , άρα προκύπτουν ζώνες υποδιαίρεσης όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.19, σύμφωνα με τον Κανονισμό.
- $h/d=0,588$ , οπότε προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους μέσω γραμμικής παρεμβολής των αντίστοιχων του Ευρωκώδικα 1. (Πηγή: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $C_{pe}$ )

Με βάση τις τιμές των συντελεστών αυτών και μέσω της αρχικής σχέσης (3.6) υπολογίζονται οι εξωτερικές πιέσεις  $w_e$  κάθε ζώνης (Πίνακας 3.7). Οι τιμές αυτών, η κατανομή και το μήκος κατανομής της κάθε ζώνης απεικονίζονται στο Σχήμα 3.21.

Πίνακας 3.7: Συντελεστές και εξωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων για  $\theta=270^\circ$

Ζώνη	A	B	C	D	E
$c_{pe}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,745	-0,39
$w_e$	-0,928	-0,618	-0,387	0,576	-0,302

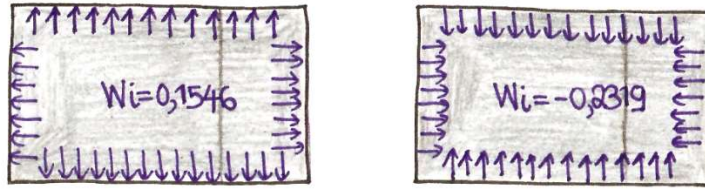


Σχήμα 3.21: Εξωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων για  $\theta=270^\circ$

#### 3.3.4.5 Υπολογισμός Εσωτερικών Πίεσεων Κατακόρυφων Επιφανειών

Οι εσωτερικές πιέσεις δρουν ταυτόχρονα με τις εξωτερικές πιέσεις και πρέπει στους υπολογισμούς να λαμβάνονται υπόψη μαζί με αυτές, για κάθε συνδυασμό δυνατών ανοιγμάτων και άλλων δρόμων διαρροής. Ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης  $c_{pi}$  εξαρτάται από το μέγεθος και την κατανομή των ανοιγμάτων στη συνολική επιφάνεια του κτιρίου. Όπου δεν είναι δυνατή ή δεν θεωρείται επαρκής η εκτίμηση του ποσοστού των ανοιγμάτων μ τότε το  $c_{pi}$  πρέπει να λαμβάνεται ως το πλέον δυσμενές από τα +0,2 και -0,3. Για τις δύο, λοιπόν, αυτές περιπτώσεις και μέσω της σχέσης (3.6) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.22 :

- για  $c_{pi}=0,2$  προκύπτει  $W_i=0,1546 \text{ kN/m}^2$
- για  $c_{pi}=-0,3$  προκύπτει  $W_i=-0,2319 \text{ kN/m}^2$



Σχήμα 3.22: Εσωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων για  $cr_i=0.2$  και  $cr_i=-0.3$  αντίστοιχα

### 3.3.4.6 Υπολογισμός Εξωτερικών Πιέσεων Στέγης

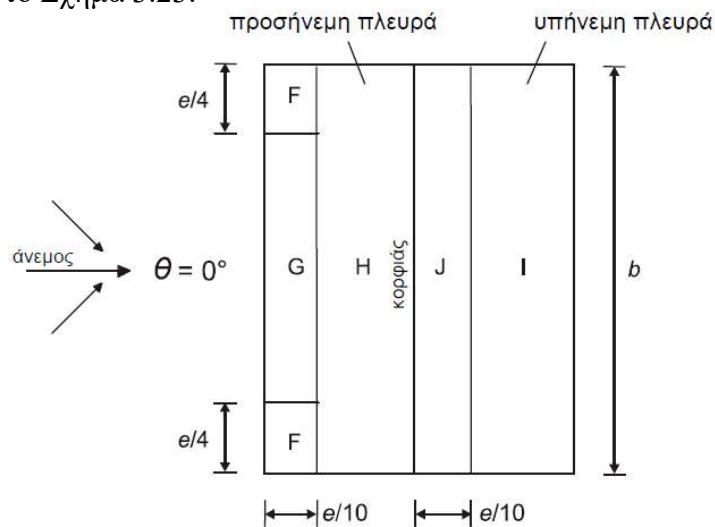
Η κατοικία που μελετάται διαθέτει μια δικλινή στέγη ( $\alpha=28^\circ$ ) και μια οριζόντια στέγη (με αιχμηρά άκρα).

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

Δικλινής Στέγη:

- $b=16,69\text{m}$
- $h=9,813\text{m}$
- $d=8,7\text{m}$
- $e=\min(b;2h)=16,69\text{m}$
- $\alpha=28^\circ$ , οπότε προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κάθε ζώνη για δικλινείς στέγες μέσω γραμμικής παρεμβολής των αντίστοιχων του Ευρωκώδικα 1.

Ανάλογα με τη φορά του ανέμου ορίζονται στον Κανονισμό οι ζώνες υποδιαίρεσης όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.23.

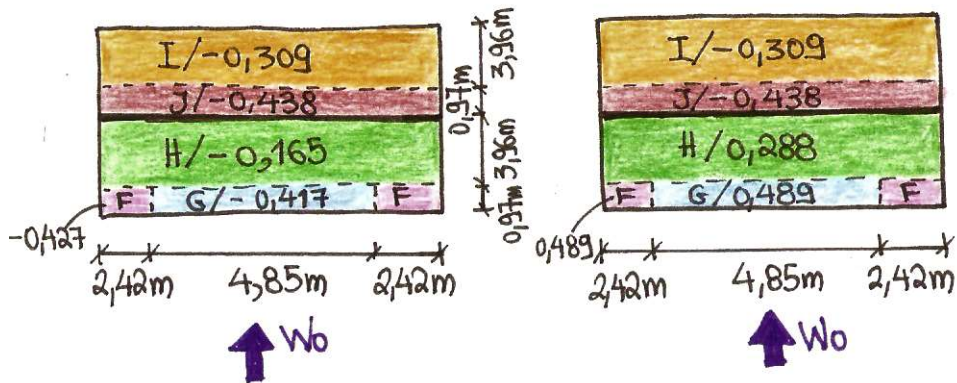


Σχήμα 3.23: Ορισμός ζωνών για δικλινείς στέγες

Με βάση τις τιμές των συντελεστών  $cr_e$  και μέσω της αρχικής σχέσης (3.6) υπολογίζονται οι εξωτερικές πιέσεις  $w_e$  κάθε ζώνης (Πίνακας 3.8). Στον πίνακα φαίνονται δυο περιπτώσεις καθώς έχουν αγνοηθεί εκείνες με συντελεστή 0 στις ζώνες I,J αφού η επίδρασή του είναι ευμενής. Οι τιμές αυτών, η κατανομή και το μήκος κατανομής της κάθε ζώνης απεικονίζονται στο Σχήμα 3.24.

Πίνακας 3.8: Συντελεστές και εξωτερικές πιέσεις επί δικλινούς στέγης για  $\theta=0^\circ$

Ζώνη	F	G	H	I	J
$cp_{e,1}$	-0,553	-0,54	-0,213	-0,4	-0,567
$w_{e,1}$	-0,427	-0,417	-0,165	-0,309	-0,438
$cp_{e,2}$	0,633	0,633	0,373	-0,4	-0,567
$w_{e,2}$	0,489	0,489	0,288	-0,309	-0,438

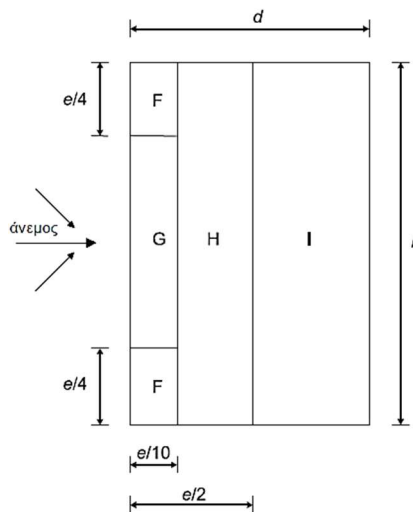


Σχήμα 3.24: Εξωτερικές πιέσεις δικλινούς στέγης για  $\theta=0^\circ$

Οριζόντια Στέγη (αιχμηρά άκρα):

- $b=7m$
- $h=3,75m$
- $d=8,7m$
- $e=\min(b;2h)=7m$

Εφόσον η οριζόντια στέγη διαθέτει αιχμηρά άκρα, με βάση τον Ευρωκώδικα 1 προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κάθε ζώνη, όπως ορίζεται στο Σχήμα 3.25.

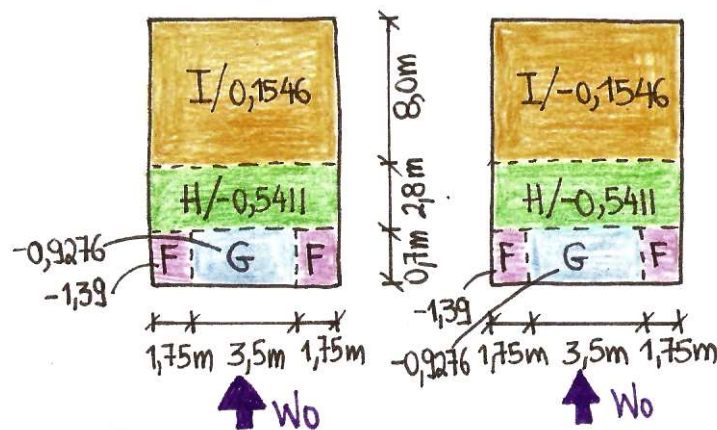


Σχήμα 3.25: Ορισμός ζωνών για επίπεδες στέγες

Με βάση τις τιμές των συντελεστών  $cp_e$  και μέσω της αρχικής σχέσης (3.6) υπολογίζονται οι εξωτερικές πιέσεις  $w_e$  κάθε ζώνης (Πίνακας 3.9). Οι τιμές αυτών, η κατανομή και το μήκος κατανομής της κάθε ζώνης απεικονίζονται στο Σχήμα 3.26.

Πίνακας 3.9: Συντελεστές και εξωτερικές πιέσεις επί οριζόντιας στέγης για  $\theta=0^\circ$

Ζώνη	F	G	H	I
$cp_e$	-1,8	-1,2	-0,7	$\pm 0,2$
$w_e$	-1,39	-0,928	-0,541	$\pm 0,155$



Σχήμα 3.26: Εξωτερικές πιέσεις οριζόντιας στέγης για  $\theta=0^\circ$

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

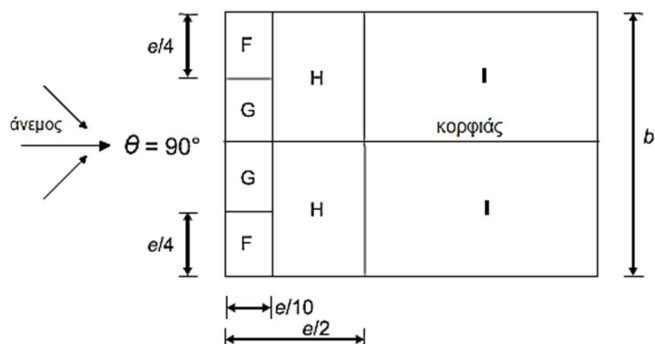
Για τη διεύθυνση ανέμου  $\theta=180^\circ$  ισχύουν τα ίδια με τη διεύθυνση  $\theta=0^\circ$  αλλά με συμμετρική φορά.

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

Δικλινής Στέγη:

- $b=8,7\text{m}$
- $h=9,813\text{m}$
- $d=16,69\text{m}$
- $e=\min(b;2h)=8,7\text{m}$
- $\alpha=28^\circ$ , οπότε προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κάθε ζώνη για δικλινείς στέγες μέσω γραμμικής παρεμβολής των αντίστοιχων του Ευρωκώδικα 1.

Ανάλογα με τη φορά του ανέμου ορίζονται στον Κανονισμό οι ζώνες υποδιαίρεσης όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.27.

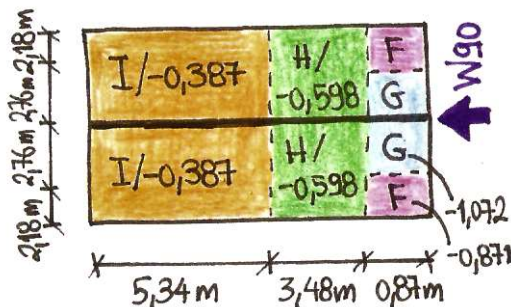


Σχήμα 3.27: Ορισμός ζωνών για δικλινείς στέγες

Με βάση τις τιμές των συντελεστών  $cp_e$  και μέσω της αρχικής σχέσης (3.6) υπολογίζονται οι εξωτερικές πιέσεις  $w_e$  κάθε ζώνης (Πίνακας 3.10). Οι τιμές αυτών, η κατανομή και το μήκος κατανομής της κάθε ζώνης απεικονίζονται στο Σχήμα 3.28.

Πίνακας 3.10: Συντελεστές και εξωτερικές πιέσεις επί δικλινούς στέγης για  $\theta=90^\circ$

Ζώνη	F	G	H	I
<b>cpe</b>	-1,127	-1,387	-0,773	-0,5
<b>we</b>	-0,871	-1,072	-0,598	-0,387



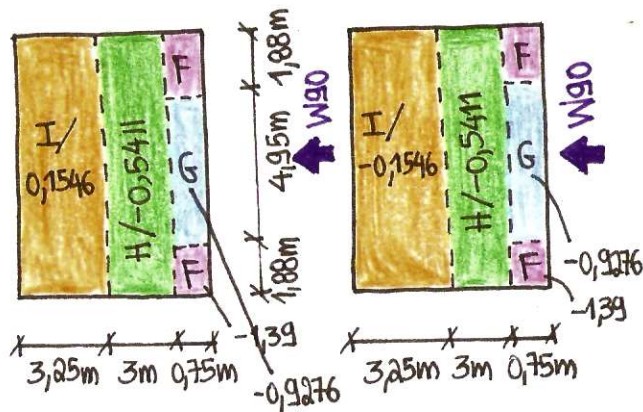
Σχήμα 3.28: Εξωτερικές πιέσεις δικλινούς στέγης για  $\theta=90^\circ$

Οριζόντια Στέγη (αιχμηρά άκρα):

- $b=8,7m$
- $h=3,75m$
- $d=7m$
- $e=\min(b;2h)=7,5m$

Εφόσον η οριζόντια στέγη διαθέτει αιχμηρά άκρα, με βάση τον Ευρωκώδικα 1 προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κάθε ζώνη, όπως ορίζεται στο Σχήμα 3.25.

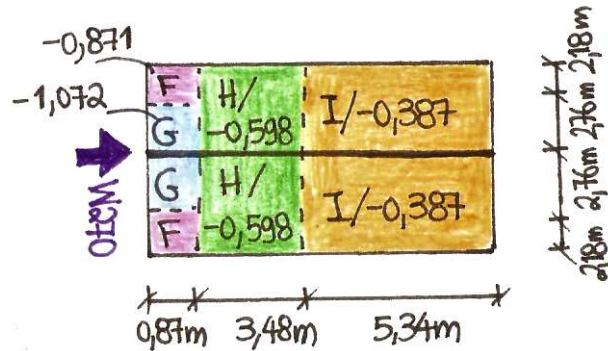
Με βάση τις τιμές των συντελεστών  $cp_e$  και μέσω της αρχικής σχέσης (3.6) υπολογίζονται οι εξωτερικές πιέσεις  $w_e$  κάθε ζώνης (Πίνακας 3.9). Οι τιμές αυτών, η κατανομή και το μήκος κατανομής της κάθε ζώνης απεικονίζονται στο Σχήμα 3.29.



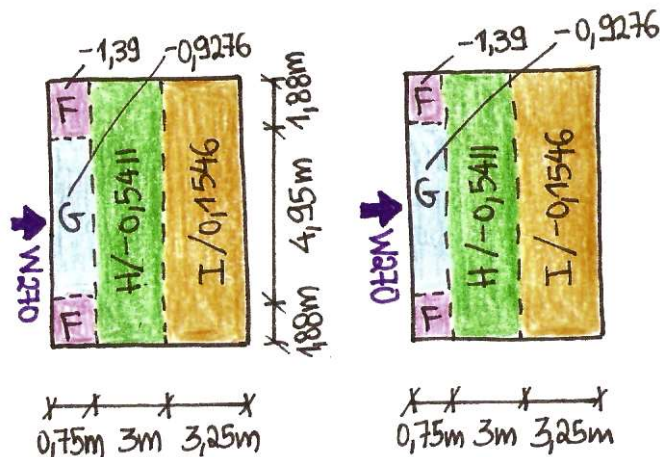
Σχήμα 3.29: Εξωτερικές πιέσεις οριζόντιας στέγης για  $\theta=90^\circ$

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

Για τη διεύθυνση ανέμου  $\theta=270^\circ$  ισχύουν τα ίδια με τη διεύθυνση  $\theta=90^\circ$  αλλά με συμμετρική φορά. Στα σχήματα 3.30-3.31 απεικονίζονται οι τιμές των εξωτερικών πιέσεων  $w_e$  κάθε ζώνης, η κατανομή και το μήκος κατανομής της κάθε ζώνης για τη δικλινή και την επίπεδη στέγη αντίστοιχα.



Σχήμα 3.30: Εξωτερικές πιέσεις δικλινούς στέγης για  $\theta=270^\circ$



Σχήμα 3.31: Εξωτερικές πιέσεις οριζόντιας στέγης για  $\theta=270^\circ$

#### 3.3.4.7 Υπολογισμός Εσωτερικών Πιέσεων Στέγης

Όπως και πριν για τις εσωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων. Έτσι και των για τις εσωτερικές πιέσεις επί της στέγης, θα ληφθούν υπόψη οι δύο δυσμενέστερες

περιπτώσεις οι οποίες προκύπτουν για συντελεστή εσωτερικής πίεσης  $c_{pi}=-0,3$  και  $c_{pi}=+0,2$  χρησιμοποιώντας τη σχέση (3.6).

### 3.3.5 Σεισμικές Δράσεις

Όταν αναπτύσσεται το φαινόμενο του σεισμού, λόγω των σχετικών κινήσεων και συγκρούσεων των λιθοσφαιρικών πλακών, το έδαφος αποκτά επιτάχυνση η οποία έχει ως συνέπεια τη δημιουργία αδρανειακών δυνάμεων επί των κατασκευών. Από τις δυνάμεις αυτές εκείνες που δύνανται να έχουν καταστροφικές συνέπειες στις κατασκευές είναι κυρίως οι οριζόντιες. Οι ταλαντώσεις ή αλλιώς σεισμικές διεγέρσεις που προκαλεί στα κτίρια ο σεισμός θεωρούνται ως σεισμικές δράσεις σχεδιασμού. Κατατάσσονται στις τυχηματικές και δεν συνδυάζονται με άλλες τυχηματικές δράσεις, όπως επίσης δεν συνδυάζονται με τις δράσεις λόγω ανέμου.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 1 (EN 1998-1), τα αποτελέσματα της σεισμικής απόκρισης μπορούν να υπολογιστούν με βάση την γραμμική – ελαστική συμπεριφορά του φορέα. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φορέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας από τους ακόλουθους δύο τύπους γραμμικής – ελαστικής ανάλυσης:

- Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης
- Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης

Ως βασικές αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού θεωρούνται η ύπαρξη αποδεκτών πλαστικών παραμορφώσεων για μικρούς σεισμούς και η αποφυγή σοβαρών βλαβών για το σεισμό σχεδιασμού. Για την επίτευξη αυτών κρίνεται αναγκαίος ο προσδιορισμός της πλαστιμότητας της κατασκευής, μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  και του ορισμού του μηχανισμού κατάρρευσης.

Στη υπό μελέτη κατοικία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης, η οποία περιλαμβάνει πλήρη ιδιομορφική ανάλυση του συστήματος και υπολογισμό της μέγιστης σεισμικής απόκρισης για κάθε ιδιομορφή. Η μέθοδος αυτή πραγματοποιήθηκε κατά την ανάλυση με το πρόγραμμα Robot Structural Analysis.

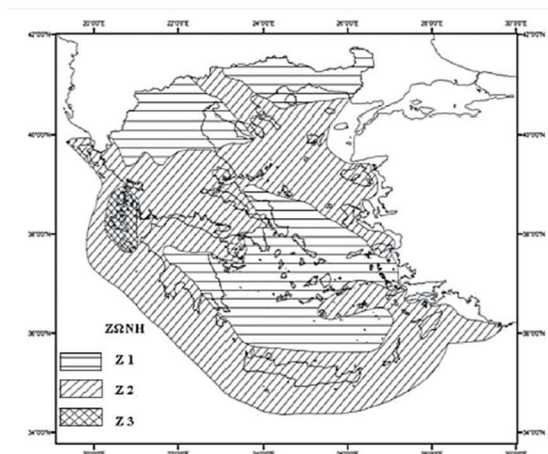
#### Εδαφική Επιτάχυνση $a_{gR}$ (Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας)

Η επιτάχυνση του εδάφους καθορίζεται με βάση τον κανονισμό (EN 1998-1) ανάλογα τη περιοχή στην οποία βρίσκεται η κατασκευή. Ο ελλαδικός χάρτης υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας, όπου σε κάθε ζώνη ορίζεται μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης (Σχήμα 3.32) η οποία έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια, δηλαδή περίοδο επαναφοράς 475 χρόνια.

Η κατοικία που μελετάται βρίσκεται στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας, σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2 οπότε λαμβάνεται η τιμή του κανονισμού  $a_{gR}=0,24g$ .



Ζώνη	$a_R/g$
Z1	0.16
Z2	0.24
Z3	0.36



Σχήμα 3.32: Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας στην Ελλάδα

### Συντελεστής σπουδαιότητας $\gamma_i$

Μια πολύ σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών είναι το είδος της υπό μελέτης κατασκευής. Η παράμετρος αυτή, που ουσιαστικά περιγράφει τη σπουδαιότητα της εκάστοτε κατασκευής, εισέρχεται στους υπολογισμούς μέσω του συντελεστή  $\gamma_i$  (Ευρωκώδικας 8). Σημαντικές κατασκευές, όπως για παράδειγμα ένα νοσοκομείο ή ένα σχολείο απαιτείται να σχεδιάζονται για σεισμούς με μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς της τάξεως των 1000 ή 2000 χρόνων.

Η συγκεκριμένη κατασκευή, που αποτελεί κτίριο κατοικίας, ανήκει στην Κατηγορία Σπουδαιότητας II (Πίνακας 13), άρα  $\gamma_i=1$  και  $a_g=\gamma_i \cdot a_{gR}=1 \cdot 0,24g=0,24g$ .

Πίνακας 3.11: Κατηγορίες σπουδαιότητας

Κατηγορία σπουδαιότητας	$\gamma_i$	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, αίθουσες 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.

### Κατηγορία Εδάφους

Το είδος του εδάφους επηρεάζει τις εδαφικές επιταχύνσεις και χρειάζεται να λαμβάνεται υπόψη. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις σκληρών ή βραχωδών εδαφών τα φάσματα δείχνουν μεγάλες επιταχύνσεις για μικρές ιδιοπεριόδους ενώ σε μαλακά εδάφη εμφανίζονται μεγάλες φασματικές επιταχύνσεις ακόμα και σε μεγαλύτερες περιόδους. Οι τιμές των παραμέτρων ανάλογα με την κατηγορία εδάφους, οι οποίες καθορίζουν το φάσμα απόκρισης δίνονται στον Πίνακα 3.12.

Η κατοικία εδράζεται σε έδαφος κατηγορίας B δηλαδή:  $S=1.2$ ,  $T_B=0.15\text{sec}$ ,  $T_C=0.50\text{sec}$  και  $T_D=2.00\text{sec}$ .

Πίνακας 3.12: Κατηγορίες Εδάφους και Παράμετροι Απόκρισης

Κατηγορία Εδάφους	S	T <sub>B</sub> (sec)	T <sub>C</sub> (sec)	T <sub>D</sub> (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

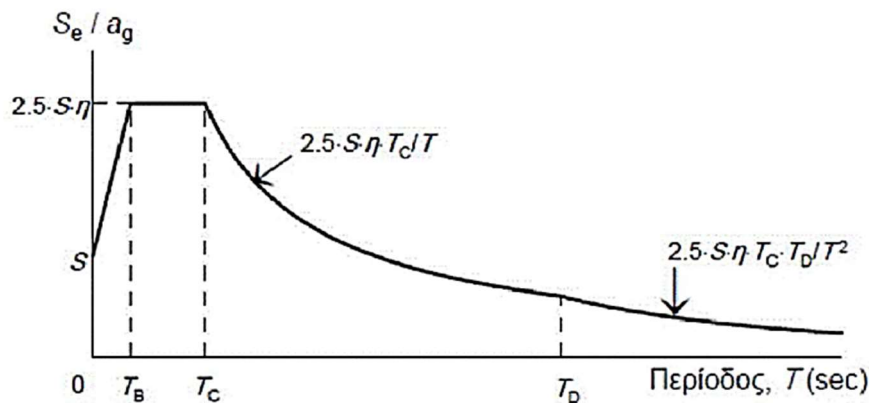
Συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  (κατηγορία πλαστιμότητας)

Πλαστιμότητα είναι η ικανότητα της κατασκευής να μπορεί να αντισταθεί στο σεισμό σχεδιασμού αναπτύσσοντας μεγάλες αλλά επιτρεπτές βλάβες (πλαστικές παραμορφώσεις). Η κατηγορία πλαστιμότητας μπορεί να είναι υψηλή (ΚΠΥ), μέση (ΚΜΜ) ή χαμηλή (ΚΠΧ). Η πλαστιμότητα της κατασκευής εκφράζεται μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ .

Το συγκεκριμένο κτίριο σχεδιάστηκε για περιορισμένη πλαστιμότητα, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι μετακινήσεις λόγω σεισμού. Συνεπώς  $q=1,5$  και κατά συνέπεια δεν απαιτείται η εφαρμογή των πρόσθετων διατάξεων του EN 1998-1 για τον ικανοτικό σχεδιασμό του κτιρίου.

Φάσμα Σχεδιασμού

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 για συντελεστή απόσβεσης  $\eta=\sqrt{(0,1\zeta+0,05)}$ , και για οριζόντια σεισμική δράση με απόσβεση 5%, δίνεται το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού που φαίνεται στο Σχήμα 3.33.



Σχήμα 3.33: Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού Ευρωκώδικα 8 στην οριζόντια διεύθυνση για απόσβεση 5%

Ανάλογα με την κατηγορία εδάφους και τον συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  που επιλέχθηκε μέσω των παρακάτω αναλυτικών σχέσεων προκύπτει η επιτάχυνση σχεδιασμού.

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B \quad (3.15)$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C \quad (3.16)$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D \quad (3.17)$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{sec} \quad (3.18)$$

### 3.4 Συνδυασμοί Δράσεων

Ως οριακές καταστάσεις ορίζονται οι καταστάσεις πέρα από τις οποίες ο φορέας ή τμήμα αυτού δεν ικανοποιεί πλέον τα κριτήρια σχεδιασμού του. Σύμφωνα με τις διατάξεις του EN 1990 διακρίνονται δυο κατηγορίες:

- Οι οριακές καταστάσεις αστοχίας (Ultimate Limit States-ULS, πλαστικές αντοχές, απώλεια ευστάθειας, θραύση, κόπωση, ανατροπή κ.τ.λ.), που συνδέονται με κατάρρευση ή με ισοδύναμες μορφές αστοχίας του φορέα ή τμήματος αυτού και σχετίζονται με την ασφάλεια των ανθρώπων, του φορέα και την προστασία των περιεχομένων του.
- Οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (Serviceability Limit States-SLS, μετατοπίσεις, ταλαντώσεις, ρηγματώσεις κ.τ.λ.), που συνδέονται με συνθήκες πέραν των οποίων δεν παρατηρούνται πλέον οι καθορισμένες λειτουργικές απαιτήσεις για το φορέα ή για μέλος αυτού.

Οι καταστάσεις αυτές (ULS και SLS) προσεγγίζονται με προσαύξηση των φορτίων λειτουργίας του φορέα μέσω των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας ( $\gamma$ ), Πίνακας 3.13, και των μειωτικών συντελεστών ( $\psi$ ), Πίνακας 3.14, για την περίπτωση ταυτόχρονης εμφάνισης των ακραίων μεγεθών των μεταβλητών δράσεων στο φορέα. Τα φορτία που προκύπτουν ονομάζονται φορτία ή δράσεις σχεδιασμού και χρησιμοποιούνται υπό μορφή συνδυασμών για το σχεδιασμό του φορέα. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να βασίζεται στη χρήση κατάλληλων, για τη συγκεκριμένη οριακή κατάσταση, προσομοιωμάτων του φορέα και της φόρτισης και πρέπει να ελέγχεται ότι δεν υπάρχει υπέρβαση σε καμία οριακή κατάσταση.

Πίνακας 3.13: Συντελεστές ασφαλείας φορτίων

	Οριακή κατάσταση αστοχίας		Οριακές κατάσταση λειτουργικότητας	
	Δυσμενής Επίδραση	Ευμενής Επίδραση	Δυσμενής Επίδραση	Ευμενής Επίδραση
$\gamma_G$	1,35	1,0	1,0	1,0
$\gamma_Q$	1,5	0	1,0	0

Πίνακας 3.14: Προτεινόμενες τιμές των συντελεστών  $\psi_i$  σύμφωνα με τον ΕΚ1

Δράσεις	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Ωφέλιμα φορτία κτιρίων			
Κατηγορία Α: κατοικίες	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία Β: γραφεία	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία C: σχολεία, θέατρα κτλ	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία D: καταστήματα	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης	1,0	0,9	0,8
Οχήματα σε κτίρια			
Κατηγορία F: βάρος <30kN	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία G: 30kN<βάρος<160kN	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία H: στέγες	0	0	0
Χιόνι			
Για υψόμετρο 1000m<H<1500m	0,7	0,5	0,2
Για υψόμετρο H≤1000m	0,5	0,2	0
Άνεμος	0,6	0,2	0
Θερμοκρασία	0,6	0,5	0

Η υπό μελέτη κατοικία ανήκει στην Κατηγορία Α οπότε:

- για κινητά φορτία:  $\psi_0=0,7$  ,  $\psi_2=0,3$  (για σεισμικό συνδυασμό)
- για φορτία ανέμου:  $\psi_0=0,6$
- για φορτία χιονιού:  $\psi_0=0,5$

### Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Οι συνδυασμοί σχεδιασμού για τον έλεγχο στην οριακή κατάσταση αστοχίας, είναι οι ακόλουθοι:

1. Βασικός Συνδυασμός:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{Q,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.19)$$

2. Σεισμικός Συνδυασμός:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + E + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.20)$$

Στους συνδυασμούς που πραγματοποιήθηκαν για την διαστασιολόγηση και τον έλεγχο της συγκεκριμένης κατασκευής, συμβολίζονται:

G: μόνιμα φορτία

Q: κινητά φορτία

S: φορτία χιονιού

W: φορτία ανέμου

$E_x$ : σεισμική δράση κατά X

$E_y$ : σεισμική δράση κατά Y

Συγκεκριμένα:

- Καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές (δυσμενής συνδυασμός)

Βασικό μεταβλητό τα κινητά:  $1,35 \cdot G + 1,50 \cdot Q + 1,50 \cdot 0,50 \cdot S + 1,50 \cdot 0,60 \cdot W$

Βασικό μεταβλητό το χιόνι:  $1,35 \cdot G + 1,50 \cdot S + 1,50 \cdot 0,70 \cdot Q + 1,50 \cdot 0,60 \cdot W$

Βασικό μεταβλητό ο άνεμος:  $1,35 \cdot G + 1,50 \cdot W + 1,50 \cdot 0,70 \cdot Q + 1,50 \cdot 0,50 \cdot S$

- Καταστάσεις σεισμού

Σεισμική δράση κατά X:

$$G+0,3 \cdot Q+Ex+0,3 \cdot Ey$$

$$G+0,3 \cdot Q-Ex-0,3 \cdot Ey$$

$$G+0,3 \cdot Q-Ex+0,3 \cdot Ey$$

$$G+0,3 \cdot Q+Ex-0,3 \cdot Ey$$

Σεισμική δράση κατά Y:

$$G+0,3 \cdot Q+Ey+0,3 \cdot Ex$$

$$G+0,3 \cdot Q-Ey+0,3 \cdot Ex$$

$$G+0,3 \cdot Q+Ey-0,3 \cdot Ex$$

$$G+0,3 \cdot Q-Ey-0,3 \cdot Ex$$

### **Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας**

Ο συνδυασμός σχεδιασμού για τον έλεγχο στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, είναι ο ακόλουθος:

1. Χαρακτηριστικός συνδυασμός:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.21)$$

Συγκεκριμένα:

- Χαρακτηριστικός συνδυασμός (δυσμενής συνδυασμός)

Βασικό μεταβλητό τα κινητά:  $1,00 \cdot G+1,00 \cdot Q+0,50 \cdot S+0,60 \cdot W$

Βασικό μεταβλητό το χιόνι:  $1,00 \cdot G+1,00 \cdot S+0,70 \cdot Q+0,60 \cdot W$

Βασικό μεταβλητό ο άνεμος:  $1,00 \cdot G+1,00 \cdot W+0,70 \cdot Q+0,50 \cdot S$

## 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΟ ΣΤΑΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, μέσω του στατικού προγράμματος Robot Structural Analysis, πραγματοποιούνται η διαστασιολόγηση των μελών της κατασκευής καθώς και οι απαιτούμενοι έλεγχοι σε Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας και Αστοχίας, με γνώμονα τους Ευρωκώδικες 3 και 4. Για την διεκπεραίωση του έργου αυτού, τα μέλη ομαδοποιήθηκαν προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ομοιομορφία στις διατομές, έτσι ώστε η κατασκευή να μην προκύψει περίπλοκη και αντιοικονομική.

Σε ότι αφορά τη Σύμμικτη Πλάκα, αυτή αναλύθηκε με την βοήθεια του προγράμματος Symdeck Designer 2, ενώ οι Σύμμικτες Δευτερεύουσες Δοκοί διαστασιολογήθηκαν με την βοήθεια του προγράμματος ArcelorMittal Beams Calculator.

Προκειμένου να γίνει ο έλεγχος βελών στα μέλη, τα αναπτυσσόμενα βέλη συγκρίθηκαν με τα μέγιστα επιτρεπτά, όπως φαίνονται παρακάτω, σύμφωνα με τον Κανονισμό. Στη φάση κατασκευής που δεν έχει επιτευχθεί σύμμικτη λειτουργία τα βέλη που δημιουργεί το ίδιο βάρος του νωπού σκυροδέματος παραλαμβάνονται από τη μεταλλική δοκό ενώ στη φάση λειτουργίας δημιουργούνται τα βέλη λόγω των πρόσθετων μόνιμων και κινητών φορτίων και παραλαμβάνονται από τη σύμμικτη δοκό.

- Μέγιστο επιτρεπόμενο κατακόρυφο βέλος από συνολικά φορτία:  $W_{max}= l/250$ , όπου  $l$ =μήκος μέλους
- Μέγιστο επιτρεπόμενο κατακόρυφο βέλος από μεταβλητά φορτία:  $W_2=l/300$ , όπου  $l$ =μήκος μέλους
- Μέγιστη επιτρεπόμενη οριζόντια μετατόπιση σε πολυώροφα μεταλλικά κτίρια:  $h/150$ , όπου  $h$ =ύψος ορόφου

### 4.1 Διαστασιολόγηση Σύμμικτης Πλάκας

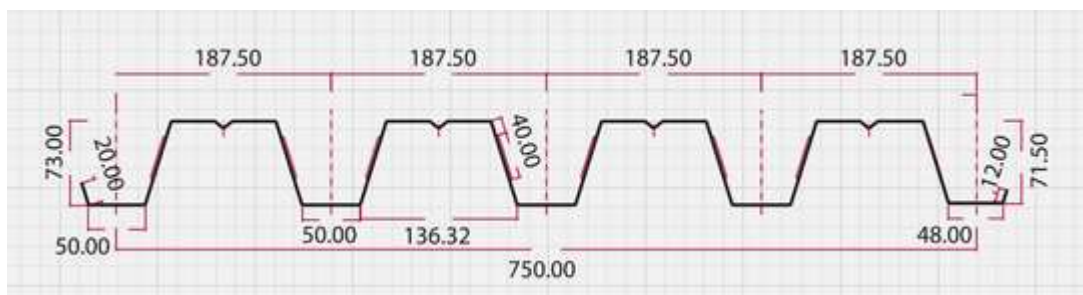
Μια σύμμικτη πλάκα συνίσταται από χαλυβδόφυλλο και επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα. Για τον περιορισμό της ρηγμάτωσης αλλά και την παραλαβή των αρνητικών ροπών που αναπτύσσονται στο άνω μέρος της πλάκας, διατάσσεται οπλισμός, συνήθως με μορφή πλέγματος. Το χαλυβδόφυλλο στην φάση κατασκευής παίζει το ρόλο του ξυλότυπου για το έγχυτο σκυρόδεμα ενώ στη φάση λειτουργίας λειτουργεί ως οπλισμός της πλάκας. Η συνεργασία χαλυβδόφυλλου-σκυροδέματος επιτυγχάνεται με την πρόβλεψη νευρώσεων στο χαλυβδόφυλλο και με διάταξη διατμητικών συνδέσεων (διατμητικών ήλων) στις στηρίξεις των χαλυβδόφυλλων.

Για το σχεδιασμό των σύμμικτων πλακών χρησιμοποιήθηκε χαλυβδόφυλλο SYMDECK 73 (της εταιρίας: ΕΛΑΣΤΡΟΝ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ) το οποίο είναι ένα γαλβανισμένο προφίλ τραπεζοειδούς σχήματος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή σύμμικτων πλακών μεγάλων ανοιγμάτων. Το άνω πέλμα του είναι ενισχυμένο έναντι τοπικού λυγισμού με μία ενδιάμεση ενίσχυση στο μέσο του. Στο κορμό υπάρχουν ειδικές νευρώσεις (εντυπώματα) μήκους 40mm, τα οποία προσδίδουν την επιπλέον συνάφεια που απαιτείται μεταξύ χαλυβδόφυλλου και σκυροδέματος ούτως ώστε να μεταφέρονται οι δυνάμεις διαμήκους διάτμησης που αναπτύσσονται μεταξύ των δύο υλικών. Τα χαλυβδόφυλλα έχουν πάχος από 0,75-1,25mm, ο χάλυβας που χρησιμοποιείται είναι υψηλής ποιότητας S320 (σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3) και διαθέτουν τα εξής χαρακτηριστικά, Σχήμα 4.1:

- Ανάπτυγμα: 1250mm
- Πάχος: 0,75mm-1,25mm ( $\pm 0,02$ )
- Κάλυψη:  $750 \pm 5,0$ mm
- Βάθος:  $73 \pm 1,0$ mm
- Πάτημα:  $187,5 \pm 2,0$ mm

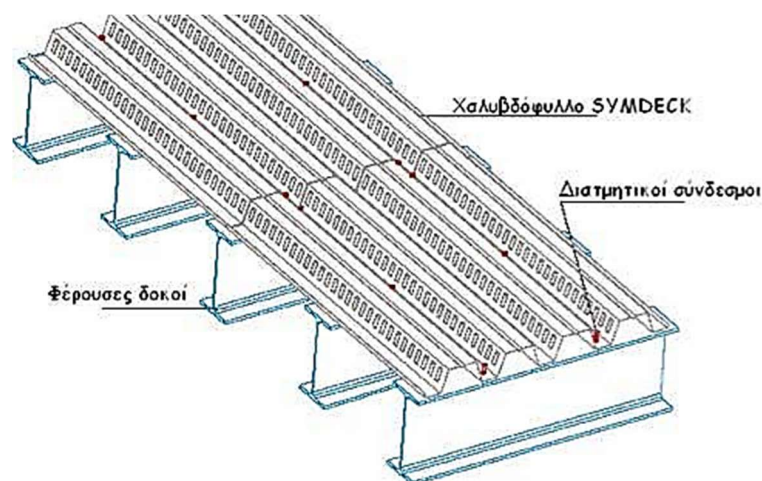
Με γνώμονα τις παραπάνω απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 4 (Μέρος 1.1) επιλέχθηκε τελικά πλάκα συνολικού πάχους  $h_{\pi\lambda}=150$ mm ( $h_p=73$ mm,  $h_c=77$ mm), με:

- Πάχος χαλβδόφυλλου:  $t_p=1,25$ mm
- Οπλισμούς Στηρίξεων:  $\Phi 8/20$  ( $=A_{s,min}=0,2\%$  αποφυγή ρηγματώσης)
- Οπλισμούς Ανοιγμάτων:  $\Phi 6/25$  ( $=A_{s,min}=0,1\%$  αποφυγή ρηγματώσης)
- Επικάλυψη οπλισμών:  $c=30$ mm



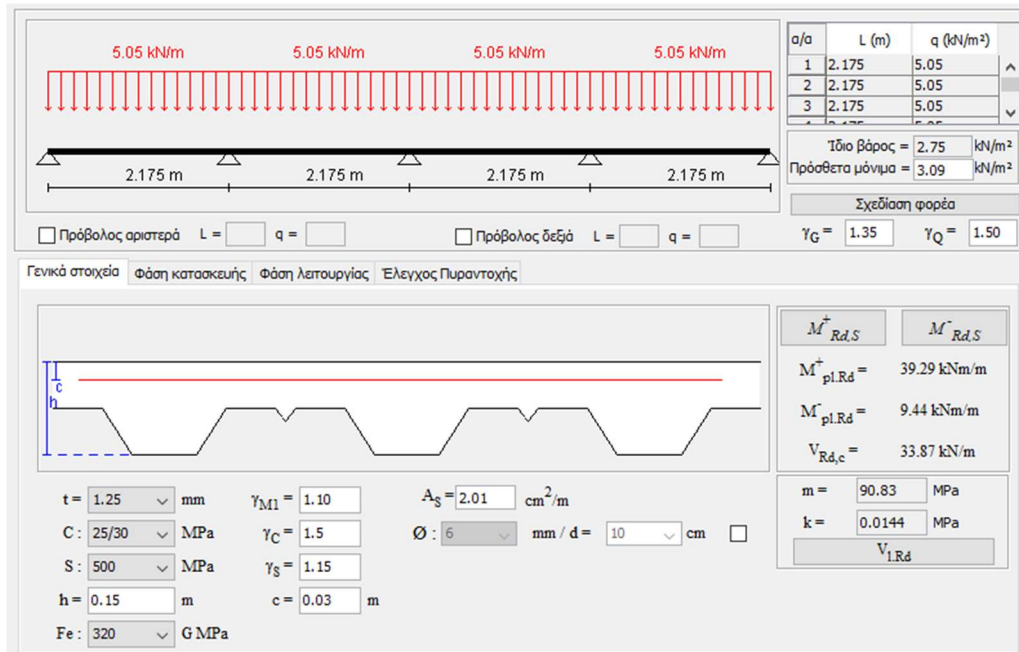
Σχήμα 4.1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά χαλβδόφυλλου

Τοποθετήθηκαν συνεχή χαλβδόφυλλα με τις νευρώσεις κάθετες στις δευτερεύουσες δοκούς, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Διάταξη χαλβδόφυλλου επί των δοκών

Καθώς τα φορτία διαφέρουν στο φυτεμένο δώμα και στο εσωτερικό του ορόφου, για τον έλεγχο και τη διαστασιολόγηση της πλάκας χρησιμοποιήθηκε το μεγαλύτερο φορτίο εκ των δύο (του φυτεμένου δώματος). Αυτό έγινε για το λόγο ότι είναι επιθυμητή η δημιουργία ενιαίας πλάκας σε όλο τον όροφο. Η επίλυση που έγινε έδειξε πως τα παραπάνω μεγέθη που επιλέχθηκαν επαρκούν. Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος της σύμμικτης πλάκας του ορόφου:



Σχήμα 4.3: Γενικά στοιχεία πλάκας ορόφου

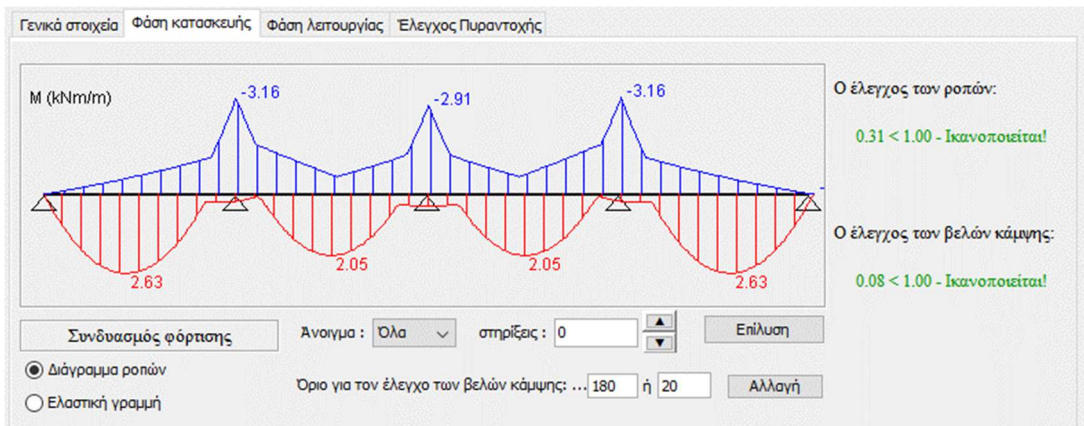
#### 4.1.1 Φάση Κατασκευής

Στη φάση κατασκευής ο σχεδιασμός γίνεται με βάση τις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας. Ειδικότερα, ελέγχεται η δυνατότητα παραλαβής της ροπής κάμψης που προκαλούν τα δρώντα φορτία από το χαλυβδόφυλλο με το δεδομένο στατικό σύστημα. Τα φορτία αυτά είναι:

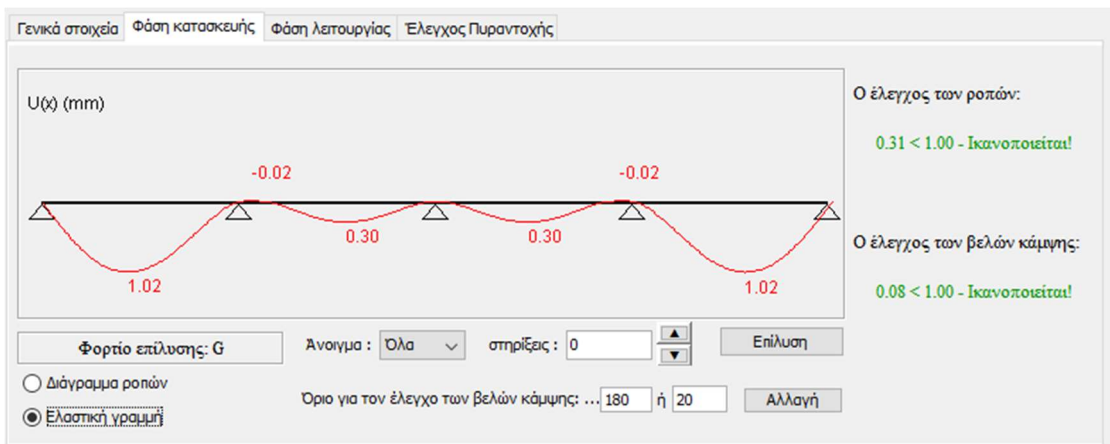
- το ίδιο βάρος χαλυβδόφυλλου
- το ίδιο βάρος νωπού σκυροδέματος
- φορτίο διάστρωσης (λαμβάνεται ως ωφέλιμο) ένα ομοιόμορφο καταναμεμημένο  $0,75\text{kN/m}^2$  που δρα σε επιφάνεια  $3\text{m} \times 3\text{m}$ . Εδώ συντηρητικά έγινε η παραδοχή ότι δρα σε όλο το μήκος.

Η οριακή κατάσταση αντοχής διεξάγεται σύμφωνα με τις διατάξεις του EN 1993-1-3 που αφορούν τις λεπτότοιχες διατομές ψυχρής διαμόρφωσης. Στην περίπτωση που για δεδομένο πάχος χαλυβδόφυλλου ο έλεγχος δεν ικανοποιείται, προβλέπονται ενδιάμεσες στηρίξεις στο χαλυβδόφυλλο. Επίσης θα πρέπει τα βέλη κάμψης που δημιουργούνται να είναι εντός των ορίων που καθορίζονται από τον Ευρωκώδικα 4, Σχήμα 4.4-4.5.





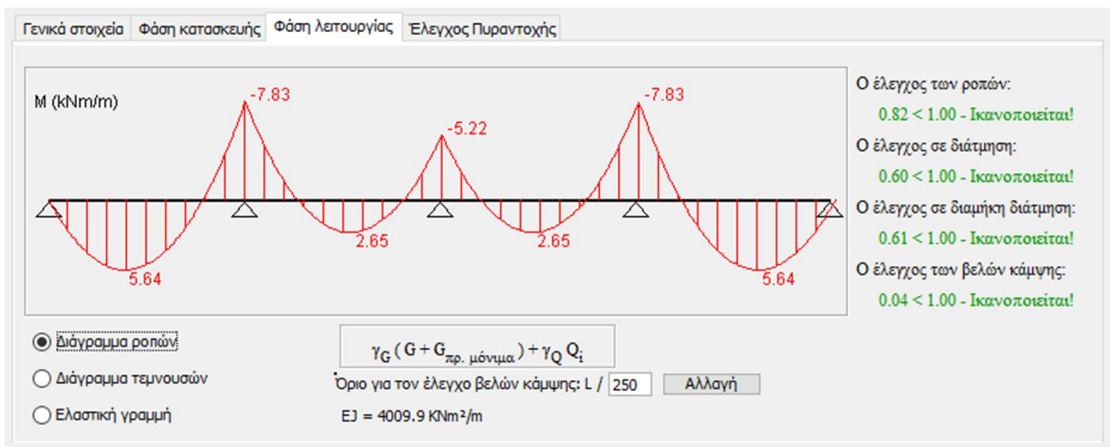
Σχήμα 4.4: Διάγραμμα ροπών σύμμικτης πλάκας και έλεγχοι κατά τη φάση κατασκευής



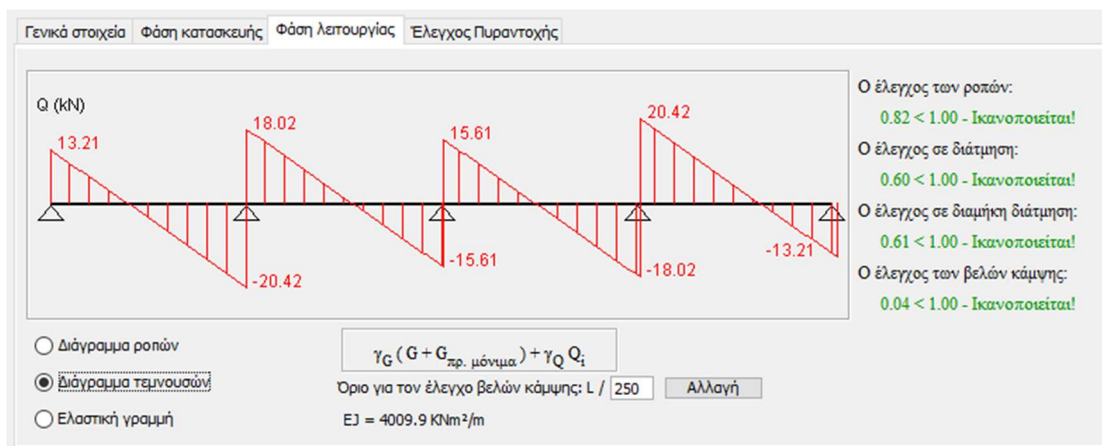
Σχήμα 4.5: Διάγραμμα βελών κάμψης κατά τη φάση κατασκευής

#### 4.1.2 Φάση Λειτουργίας

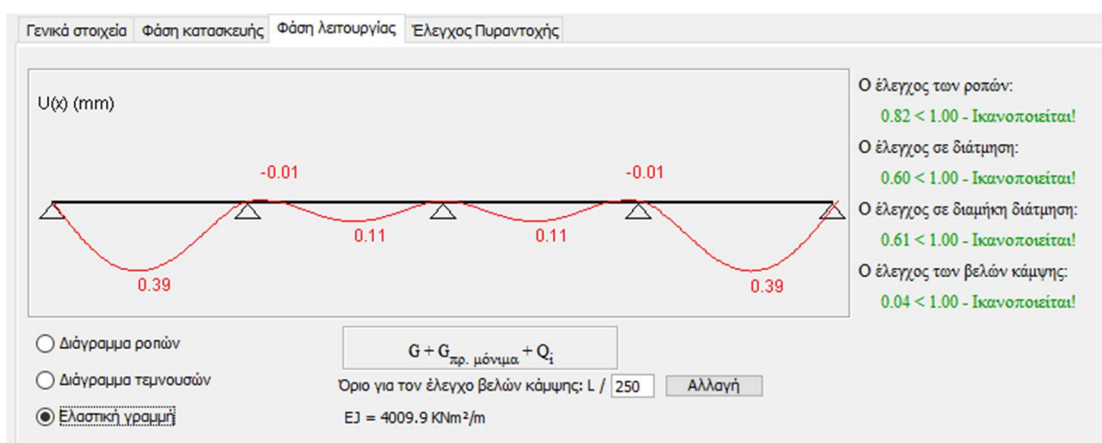
Στη φάση λειτουργίας τα φορτία που δρουν στη σύμμικτη πλάκα είναι τα ίδιο βάρος  $G$  και το ωφέλιμο φορτίο  $Q$ . Για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών του σύμμικτου φορέα λόγω των παραπάνω δράσεων, θεωρείται η επιβολή του ωφέλιμου φορτίου  $Q$  σ' όλη την επιφάνεια του φορέα και διεξάγονται έλεγχοι τόσο σε ΟΚΑ, όσο και σε ΟΚΛ, Σχήμα 4.6-4.8.



Σχήμα 4.6: Διάγραμμα ροπών σύμμικτης πλάκας και έλεγχοι κατά τη φάση λειτουργίας



Σχήμα 4.7: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων σύμμικτης πλάκας και έλεγχοι κατά τη φάση λειτουργίας



Σχήμα 4.8: Διάγραμμα βελών κάμψης κατά τη φάση λειτουργίας

## 4.2 Διατμητικοί Ήλοι

Προκειμένου να επιτευχθεί η διατμητική σύνδεση μεταξύ σιδηροδοκού και σκυροδέματος στις σύμμικτες δοκούς της κατασκευής τοποθετείται κατάλληλη διάταξη διατμητικών συνδέσμων.

Ο αριθμός, η διάταξη καθώς και τα χαρακτηριστικά των διατμητικών ήλων καθορίστηκαν, με βάση το EN ISO 13918, λαμβάνοντας υπόψη ότι:

- Το ύψος  $h$  του κάθε διατμητικού ήλου θα πρέπει να απέχει απόσταση μεγαλύτερη των 20mm από την επιφάνεια του σκυροδέματος, μεγαλύτερη των 30mm από το υψηλότερο σημείο του χαλυβδόφυλλου και επίσης να βρίσκεται κατά το δυνατόν σε θλιβόμενο σκυροδέμα (δηλαδή να έχει κατά το δυνατόν μεγαλύτερο  $h$ ). Άρα στη συγκεκριμένη περίπτωση θα πρέπει να ισχύει:  $150 - 73 = 77\text{mm} < h < 150 - 20 = 130\text{mm}$ , οπότε επιλέγεται ύψος ήλου:  $h = 125\text{mm}$ .
- Το πάχος των διατμητικών ήλων επιλέγεται  $d = 19\text{mm}$ .

Χρησιμοποιήθηκαν, λοιπόν, διατμητικοί ήλοι κεφαλής τύπου TRW Nelson KB  $\frac{3}{4}$ "-125, με διάμετρο  $d = 19\text{mm}$ , εφελκυστική αντοχή  $f_u = 450\text{MPa}$  και όριο διαρροής  $f_y = 350\text{MPa}$ .

### 4.3 Διαστασιολόγηση Σύμμικτων Δοκών

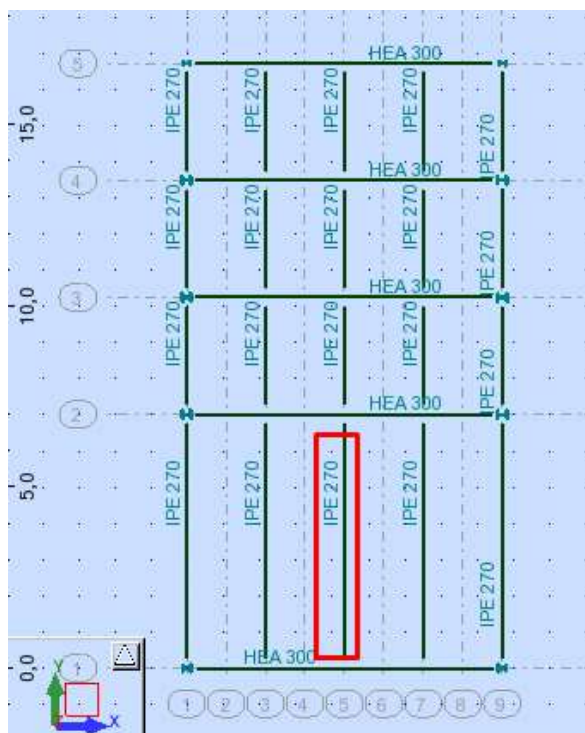
Οι πλάκα του ορόφου εδράζονται επί αμφιέριστων σύμμικτων δευτερευουσών δοκών (παράλληλων στη διεύθυνση Y) με πλάτος επιρροής 2,175m (εκτός των ακραίων δοκών κατά Y που είναι το μισό). Οι δευτερεύουσες δοκοί του φυτεμένου δώματος έχουν μήκος ίσο με 7m, ενώ του ορόφου 3,23m.

Επειδή στη φάση κατασκευής, τα παραπάνω μέλη δουλεύουν ως σιδηροδοκοί, προέκυψε μετά από ελέγχους ότι συγκεκριμένα οι δοκοί του δώματος κινδυνεύουν έναντι πλευρικού λυγισμού. Αποφασίστηκε λοιπόν να γίνει προσωρινή υποστήριξη στα μισά του μήκους των μελών αυτών, για λόγους οικονομίας και για την αποτροπή του φαινομένου. Οπότε στην φάση κατασκευής οι δοκοί αυτοί αντιμετωπίζονται ως συνεχείς δυο ανοιγμάτων, ενώ στη φάση λειτουργίας ως αμφιέριστες.

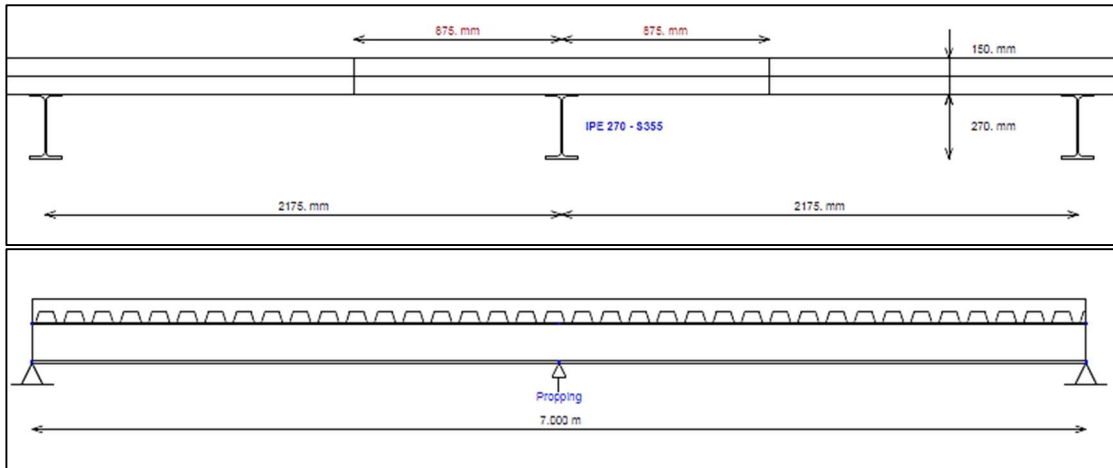
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση και οι έλεγχοι μιας τυπικής δευτερεύουσας δοκού του φυτεμένου δώματος (Σχήμα 4.9), όπως πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του προγράμματος ArcelorMittal Beams Calculator ενώ παράλληλα πραγματοποιήθηκε και ο έλεγχος επάρκειας των διατμητικών ήλων.

#### 4.3.1 Έλεγχος Τυπικής Δοκού Επίπεδης Στέγης

- Διατομή: IPE270
- Μήκος:  $l=7\text{m}$
- Πλάτος επιρροής:  $b=2,175\text{m}$



Σχήμα 4.9: Κάτοψη της εξεταζόμενης σύμμικτης δευτερεύουσας δοκού



Σχήμα 4.10: Τομές της σύμμικτης δευτερεύουσας δοκού

<u>General parameters</u>		COMPOSITE BEAM	
<b>Main span</b>		<b>L</b> =	7.000 m
<b>Intermediate beam</b>			
Width on the left	$L_1 = 2.175 \text{ m}$	Max. participating width	$L_1 = 1.088 \text{ m}$
Width on the right	$L_2 = 2.175 \text{ m}$	Max. participating width	$L_2 = 1.088 \text{ m}$
<b>Slab</b>			
Slab with profiled sheeting	Total thickness = 15.00 cm		
Profiled steel sheeting "" , perpendicular to the beam	(h = 73.0 mm ; e = 187.5 mm ; $b_1 = 50.0 \text{ mm}$ ; $b_2 = 95.5 \text{ mm}$ ; t = 1.25 mm ; $f_y = 320 \text{ N/mm}^2$ ; M = 11.97 daN/m <sup>2</sup> )		
	Sheeting not interrupted at beam		
<b>Section</b>			
	IPE 270 - S355 JR/J0/J2/K2		
	$h_t = 270.0 \text{ mm}$	A =	45.95 cm <sup>2</sup>
	$b_f = 135.0 \text{ mm}$	$A_v =$	22.14 cm <sup>2</sup>
	$t_w = 8.8 \text{ mm}$	$I_y =$	5789.78 cm <sup>4</sup>
	$t_f = 10.2 \text{ mm}$	$I_z =$	419.87 cm <sup>4</sup>
	$r = 15.0 \text{ mm}$	$I_t =$	15.94 cm <sup>4</sup>
		$I_w =$	70577.88 cm <sup>6</sup>
		$W_{el,y} =$	428.87 cm <sup>3</sup>
		$W_{pl,y} =$	484.00 cm <sup>3</sup>
<b>Materials</b>			
<b>Steel</b>	E = 210000 N/mm <sup>2</sup>		
	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$		
Steel grade S355 JR/J0/J2/K2 - Reduction of $f_y$ with thickness according to EC3			
Databases 2018_01	Flanges	$f_{yf} = 355 \text{ N/mm}^2$	
	Web	$f_{yw} = 355 \text{ N/mm}^2$	
	Section	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
	$\epsilon = 0.814$		
<b>Concrete slab C25/30</b>			
	$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$		
	$E_{cm} = 31478 \text{ N/mm}^2$		

Σχήμα 4.11: Γενικά στοιχεία δευτερεύουσας δοκού

Στη φάση κατασκευής, η δοκός παραλαμβάνει το ίδιο βάρος της, το ίδιο βάρος του χαλυβδόφυλλου, τα φορτία του νωπού σκυροδέματος της πλάκας και τα φορτία διάστρωσης του σκυροδέματος (Σχήμα 4.12). Στην φάση λειτουργίας, που η διαδοκίδα είναι πλέον σύμμικτη και αμφιέρειστη, ελέγχεται μόνο για θετικές ροπές με φορτία

αυτά που είχε στη φάση κατασκευής επαυξημένα και με τα πρόσθετα μόνιμα και τα κινητά.

<b>Connection</b>		<b>Connectors</b>	
		$\phi$ = 19.0 mm	
		$h$ = 125.0 mm	
		$f_y$ = 350.0 N/mm <sup>2</sup>	
		$f_u$ = 450.0 N/mm <sup>2</sup>	
Main span		$L = 7.000$ m	$e = 0.188$ m $n = 2$ row(s)
Total number of connectors : 74			
<b>Lateral restraint of the beam</b> - The beam is laterally restrained at supports			
Main span	$x = 3.50$ m	(upper and lower flange laterally restrained)	
<b>Propping in the construction stage</b>		Number of proppings in the span : 1	
<b>Loads</b>			
<b>Loads at construction stage</b>			
Permanent loads (g)	Dead weight of the profile	0.35 kN/m	
	Dead weight of the slab ( 2.74 kN/m <sup>2</sup> )		5.96 kN/m
Construction load (Q <sub>c</sub> )	Q <sub>c</sub> = 0.75 kN/m <sup>2</sup>	1.63 kN/m	
<b>Loads at final stage</b>			
Permanent loads	Dead weight of the profile	0.35 kN/m	
	Dead weight of the slab ( 2.74 kN/m <sup>2</sup> )		5.96 kN/m
Span	Surface load = 3.09 kN/m <sup>2</sup>		
Live load case n° 1 ( $\psi_0 = 0.70$ )			
Span	Surface load = 5.05 kN/m <sup>2</sup>		

Σχήμα 4.12: Γενικά στοιχεία δευτερεύουσας δοκού, διατμητικών ήλων και φορτίων

Στη συνέχεια παρατίθενται οι έλεγχοι της διατομής στη Φάση Κατασκευής. Αφού γίνει κατάταξη της διατομής της σιδηροδοκού (έλεγχος κορμού σε κάμψη και πέλμα σε θλίψη), με βάση τα φορτία πραγματοποιούνται οι έλεγχοι σε Διάτμηση και Κάμψη. Επειδή δεν υπάρχει πλευρική εξασφάλιση, ελέγχεται στη συνέχεια το μέλος σε Στρεπτοκαμπτικό Λυγισμό. (Σχήμα 4.13) καθώς και η ικανοποίηση του ελέγχου λειτουργικότητας.

<b>Partial Factors</b>			
Permanent loads	$\gamma_{G,sup} = 1.35$	Structural steel	$\gamma_{M0} = 1.00$
	$\gamma_{G,inf} = 1.00$	Structural steel (instabilities)	$\gamma_{M1} = 1.00$
Live loads	$\gamma_Q = 1.50$	Concrete	$\gamma_c = 1.50$
		Reinforcement bars	$\gamma_s = 1.15$
		Connectors	$\gamma_v = 1.25$
		Shear resistance of the steel sheeting	$\gamma_{sp} = 1.10$
<b>Combinations of actions</b>			
ULS combination (construction stage)	1.35 G + 1.50 Q <sub>c</sub>		
ULS combination(s)	1.35 G + 1.50 Q <sub>1</sub>		
SLS combination(s)	G + R + Q <sub>1</sub>		

<b>CONSTRUCTION stage</b>					
Moment resistance	Section Class 1		$M_{Rd} =$	171.82 kN.m	
Plastic shear force resistance	$V_{pl,Rd} =$		453.74 kN	( $\eta = 1.20$ )	
No risk of shear buckling ( $h_w / t_w < 72 \varepsilon / \eta$ EN 1993-1-1 § 6.2.6(6))					
ULS combination (construction stage) : 1.35 G + 1.50 Q <sub>o</sub>					
Support reactions			$R_{V1} =$	14.39 kN	
			$R_{V2} =$	48.00 kN	
			$R_{V3} =$	14.39 kN	
Critical amplification factor / Lateral Torsional Buckling					
$\mu_{cr} = 9.87$ (LTBeam calc. module)					
$M_{Ed,max(+)} =$	9.44 kN.m	$M_{Ed,max(-)} =$	-16.81 kN.m	$\Gamma_M =$	0.028 (x = 3.500 m)
$V_{Ed,max} =$	24.00 kN			$\Gamma_V =$	0.053 (x = 3.500 m)
				$\Gamma_{MV} =$	0.028 (x = 3.500 m)
				$\Gamma_{LT} =$	0.142
Support reactions			$R_{V1} =$	14.83 kN	
			$R_{V2} =$	42.64 kN	
			$R_{V3} =$	10.65 kN	
Critical amplification factor / Lateral Torsional Buckling					
$\mu_{cr} = 10.67$ (LTBeam calc. module)					
$M_{Ed,max(+)} =$	10.15 kN.m	$M_{Ed,max(-)} =$	-14.93 kN.m	$\Gamma_M =$	0.087 (x = 3.500 m)
$V_{Ed,max} =$	23.46 kN			$\Gamma_V =$	0.052 (x = 3.500 m)
				$\Gamma_{MV} =$	0.087 (x = 3.500 m)
				$\Gamma_{LT} =$	0.129

Σχήμα 4.13: Έλεγχοι στη φάση κατασκευής

Στο Σχήμα 4.14 παρουσιάζονται και οι μέγιστοι βαθμοί εκμετάλλευσης, όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα, για τους ελέγχους κάμψης, διάτμησης, αλληλεπίδρασης κάμψης με αξονική και πλευρικού λυγισμού, ενώ στο Σχήμα 4.15 οι έλεγχοι λειτουργικότητας, όπου:

- $W = (5 * q * L^4) / (384 * E * I) = 0,4 \text{ mm} + 0,5 \text{ mm} + 0,6 \text{ mm} = 1,5 \text{ mm}$
- $W_{max} = L / 250 = 2,8 \text{ mm}$

Οπότε ικανοποιούνται οι έλεγχοι στη φάση κατασκευής.

Maximum criterion for bending resistance	$\Gamma_{M,max} =$	0.098
Maximum criterion for shear force resistance	$\Gamma_{V,max} =$	0.053
Maximum criterion for bending moment - shear force interaction	$\Gamma_{MV,max} =$	0.098
Maximum criterion for lateral torsional buckling	$\Gamma_{LT,max} =$	0.142

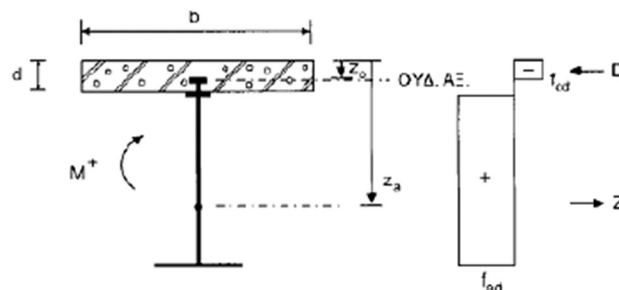
Σχήμα 4.14: Μέγιστοι βαθμοί εκμετάλλευσης για κάθε έλεγχο της διατομής

<u>Serviceability Limit States</u> (CONSTRUCTION stage)			
<u>Deflections per load case</u>			
Case 'Dead weight'	Span	$v_{max} =$	0.4 mm
Case 'Construction load' ( $Q_o$ )	<u>Arrangement n° 1</u>		
	Span	$v_{max} =$	0.1 mm
	Total deflection	$v_{max} =$	0.5 mm
Case 'Construction load' ( $Q_o$ )	<u>Arrangement n° 2</u>		
	Span	$v_{max} =$	0.2 mm
	Total deflection	$v_{max} =$	0.6 mm

Σχήμα 4.15: Έλεγχοι λειτουργικότητας στη φάση κατασκευής

Εν συνεχεία, πραγματοποιούνται οι έλεγχοι της διατομής στη Φάση λειτουργίας όπου η δοκός, ως αμφιέριστη πλέον, με θλιβόμενο το άνω πέλμα το οποίο εξασφαλίζεται πλευρικά με την βοήθεια της πλάκας, δε διατρέχει κίνδυνο πλευρικής εκτροπής. Άρα, δεν απαιτείται έλεγχος σε πλευρικό λυγισμό σε αυτή τη φάση.

Έπειτα από υπολογισμούς προέκυψε πως η χαλύβδινη δοκός είναι Κατηγορίας 1, καθώς η θλιπτική δύναμη του σκυροδέματος προέκυψε μεγαλύτερη από την εφελκυστική δύναμη της σιδηροδοκού, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.17, που σημαίνει ότι για να υπάρχει ισορροπία εσωτερικών δυνάμεων ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της πλάκας σκυροδέματος (Σχήμα 4.16) και επομένως εφελκύεται όλη η χαλύβδινη δοκός.



Σχήμα 4.16: Κατανομή τάσεων σε διατομή με συμπαγή πλάκα για θετικές ροπές

Σχετικά με τη διατμητική σύνδεση, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν διατμητικοί ήλοι κεφαλής TRW Nelson KB  $\frac{3}{4}$ "-125 με διάμετρο  $d=19\text{mm}$  και εφελκυστική αντοχή  $f_u=450\text{MPa}$ . Το πρόγραμμα υπολόγισε την οριακή αντοχή ενός ήλου  $P_{RD}$  και ελέγχθηκε αν με βάση συγκεκριμένο αριθμό ήλων κατά μήκος της δοκού επαρκούσε, Σχήμα 4.18. Ύστερα από ελέγχους προέκυψε ότι τοποθετώντας 2 σειρές αποτελούμενες από 74 ήλους επαρκεί ο έλεγχος με πλαστική ανάλυση.

		<u>FINAL stage</u>	
<u>Participating width</u>	on left support		1.313 m
	L/4 (= 1.750 m)		1.750 m
	3 L/4 (= 5.250 m)		1.750 m
	on right support		1.313 m
<u>Moments of inertia</u>	...at mid-span		
	Long-term	21497 cm <sup>4</sup>	
	Short-term	29531 cm <sup>4</sup>	
Resistance of the connectors		$P_{Rd} =$	28.11 kN
<b>Verification of the degree of connection</b>			
Minimum degree of connection = 0.460			
$F_{Steel}$	=		1631.05 kN
$F_{Concrete}$	=		1908.96 kN
Degree of connection = 0.608 > 0.460			
The degree of connection is calculated for the section with maximum bending moment			
<b>Plastic resistance with partial connection</b>			
Plastic shear force resistance		$V_{pl,Rd} =$	453.74 kN ( $\eta = 1.20$ )
No risk of shear buckling ( $h_w / t_w < 72 \varepsilon / \eta$ )			
ULS combination : 1.35 G + 1.50 Q <sub>1</sub>			
<b>Support reactions</b>		$R_{V1} =$	119.23 kN
		$R_{V2} =$	119.23 kN
Calculation of the transverse reinforcement ratio of slab :		$A_s / s_r >$	0.62 cm <sup>2</sup> /m
$M_{Ed,max(+)} =$	208.68 kN.m	$M_{Ed,max(-)} =$	0.00 kN.m
$V_{Ed,max} =$	119.24 kN	$\Gamma_M =$	0.827 (x = 4.317 m)
		$\Gamma_V =$	0.263 (x = 7.000 m)
		$\Gamma_{Mv} =$	0.627 (x = 4.317 m)
		$\Gamma_{vh} =$	0.467

Σχήμα 4.17: Έλεγχοι στη φάση λειτουργίας

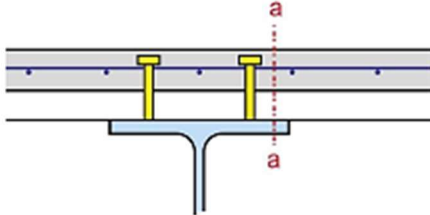


**Longitudinal shear resistance of the slab - Transverse reinforcing bars**

Minimum transverse reinforcement ratio :  $\rho_{w,min} = 0.08 \%$   
(EN 1994-1-1 §6.6.6.3 & EN 1992-1-1 §9.2.2(5))  
 $A_{s_t} / s_t > 0.62 \text{ cm}^2/\text{m}$

Reinforcement ratio (EN 1992-1-1 §6.2.4) :  $A_{s_t} / s_t > 0.62 \text{ cm}^2/\text{m}$  ( $\rho_w > 0.08 \%$ )

Note: this result is provided as an indication.  
Calculations must be performed in order to take into account specific conceptual details.  
Note particularly that the calculations do not include the design of the slab.



Calculation according to the reinforcement configuration displayed above  
Transverse reinforcement is assumed to be uniform along the length of the beam  
Any other configuration requires a specific calculation  
the reinforcement of a composite slab is generally provided by one layer only.  
In order to transfer the longitudinal shear, the connectors should necessarily go through the reinforcement.  
When another layer is added either in the sheeting ribs or in the slab,  
their influence can be considered with a specific calculation.  
The contribution of non continuous profiled steel sheeting to the longitudinal shear resistance  
has not been considered.

Plastic moment in span	$M_{pLRd} =$	347.01 kN.m
Maximum criterion for bending resistance	$\Gamma_{M,max} =$	0.627
Maximum criterion for shear force resistance	$\Gamma_{V,max} =$	0.263
Maximum criterion for bending moment - shear force interaction	$\Gamma_{MV,max} =$	0.627
Maximum criterion for longitudinal shear force resistance of slab	$\Gamma_{Vh,max} =$	0.467

Σχήμα 4.18: Μέγιστοι βαθμοί εκμετάλλευσης για τους ελέγχους στη φάση λειτουργίας

Τέλος, στη φάση λειτουργίας για τους ελέγχους λειτουργικότητας θα πρέπει να ισχύει  $W_{2,max} = l/300 = 23,3\text{mm} > W_2$ . Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.19 η απαίτηση αυτή ικανοποιείται.

<u>Serviceability Limit States</u>	
<u>Deflections per load case</u>	
Case 'Dead weight'	$v_{max} = 4.4 \text{ mm (L / 1596)}$
Case 'Other permanent loads'	$v_{max} = 4.7 \text{ mm (L / 1499)}$
Case 'Q <sub>1</sub> '	$v_{max} = 5.5 \text{ mm (L / 1281)}$
Case 'Shrinkage (R) - Long term'	$v_{max} = 5.9 \text{ mm (L / 1180)}$
<u>Deflections per combination</u>	
Combination SLS 'G + R + Q <sub>1</sub> '	$v_{max} = 20.5 \text{ mm (L / 341)}$

Σχήμα 4.19: Έλεγχοι λειτουργικότητας στη φάση λειτουργίας

Οπότε τελικά ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια και στη φάση κατασκευής και στη φάση λειτουργίας.

## 4.4 Διαστασιολόγηση Μελών

Η προσομοίωση των κύριων δοκών, υποστυλωμάτων, χιαστί συνδέσμων δυσκαμψίας, κεφαλοδοκών και τεγίδων έγινε με γραμμικά στοιχεία. Οι διατομές τους, αρχικά εισήχθησαν στο λογισμικό μέσω της βιβλιοθήκης που διαθέτει. Συγκεκριμένα εισήχθησαν οι σύμμικτες δοκοί (IPE 270) που υπολογίστηκαν προηγουμένως, οι διατομές τύπου HEA και IPE των κύριων δοκών της διεύθυνσης X, οι διατομές τύπου HEB των υποστυλωμάτων, οι διατομές τύπου HEA των κεφαλοδοκών, των χιαστί συνδέσμων δυσκαμψίας τύπου RHS και SHS και των τεγίδων τύπου RHS. Τελικά προέκυψαν, μέσω επαναληπτικής διαδικασίας, οι τελικές τους διατομές.

### 4.4.1 Κύριες Δοκοί κατά X (Δοκοί Πλαισίων Ροπής)

Αρχικά ομαδοποιήθηκαν οι κύριες δοκοί κατά X σε 2 κατηγορίες:

- Δοκοί Πλαισίων Ροπής Ισογείου
- Δοκοί Στέγης

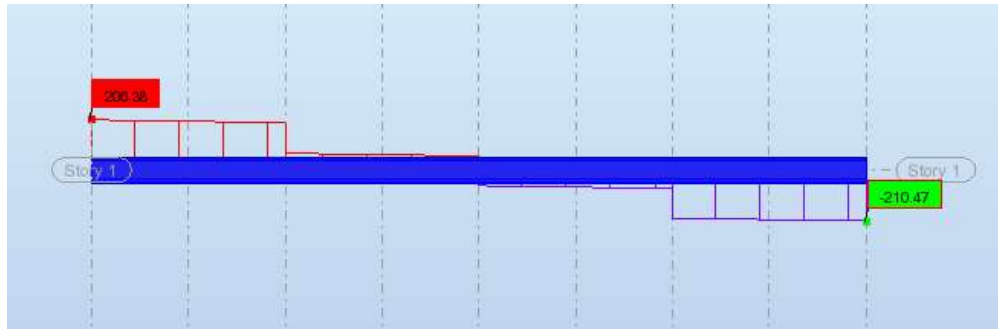
Οι κύριες δοκοί σε αυτή τη διεύθυνση δεν είναι συνδεδεμένες διατμητικά με την σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος οπότε δεν εξασφαλίζονται έναντι πλευρικού λυγισμού στη φάση λειτουργίας. Όμως, η σύνδεσή τους με τις δευτερεύουσες δοκούς ανά 2,175m εξασφαλίζει τα πέλατά τους σε θλίψη. Επίσης δεν υφίστανται καμπτικό λυγισμό αφού δεν καταπονούνται από αξονικά φορτία, λόγω του διαφράγματος που δημιουργείται από την σύμμικτη πλάκα. Η διαδικασία της διαστασιολόγησης και των ελέγχων πραγματοποιήθηκε σε ΟΚΑ και ΟΚΛ και έπειτα από επαναληπτικές διαδικασίες μέσω του λογισμικού Robot Structural Analysis προέκυψε στατική επάρκεια των κύριων δοκών για διατομές:

- Δοκοί Πλαισίων Ροπής Ισογείου: HEA 300
- Δοκοί Στέγης: IPE 300

Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη (Σχήμα 4.20-4.21) και ο έλεγχος για τη δυσμενέστερη δοκό (ΔΟΚΟΣ 30- HEA 300) μεσαίου πλαισίου του ισογείου, μήκους  $l=8,7m$  (Σχήμα 4.22). Όπως προέκυψε από την ανάλυση, κρίσιμος συνδυασμός ήταν εκείνος σε ΟΚΑ με κύρια δράση το κινητό φορτίο Q και διεύθυνση ανέμου X:  $1,35*G+1,50*Q+1,50*0,60*(W11+W22+W31+W42)+1,5*0,5*S$ , όπου το W42 αντιστοιχεί σε  $Cp_i = -0,3$ . Κατά τον συνδυασμό αυτό η διατομή αξιοποιήθηκε σε ποσοστό 90%. Σε ότι αφορά τα βέλη κάμψης κρίσιμότερος συνδυασμός ήταν αυτός με κύρια μεταβλητή δράση το Q και διεύθυνση ανέμου X.



Σχήμα 4.20: Διάγραμμα ροπών κάμψης  $M_{y,Ed}$ , Δοκός 30



Σχήμα 4.21: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_{z,Ed}$ , Δοκός 30

ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ:  
ΜΕΛΟΣ: 30 Δοκός\_30  
8.70 m

ΣΗΜΕΙΟ: 3

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΟΣ:  $x = 1.00 L =$

ΦΟΡΤΙΑ:

ΚΥΡΙΑΡΧΗ  $\neq$  ΟΡΤΙΣΗ:  $85 \text{ ULS}/58 = 4 \cdot 1.35 + 6 \cdot 1.35 + 7 \cdot 1.35 + 5 \cdot 1.50 + 8 \cdot 0.90 + 11 \cdot 0.90 + 17 \cdot 0.90 \dots (4+6+7) \cdot 1.35 + 5 \cdot 1.50 + (8+11+17+22) \cdot 0.90 + (25+27) \cdot 0.75$

ΥΛΙΚΟ:

S275 ( S275 )  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ: HEA 300

$h = 29.0 \text{ cm}$	$gM0 = 1.00$	$gM1 = 1.00$	
$b = 30.0 \text{ cm}$	$A_y = 94.85 \text{ cm}^2$	$A_z = 37.28 \text{ cm}^2$	$A_x = 112.53 \text{ cm}^2$
$t_w = 0.9 \text{ cm}$	$I_y = 18263.50 \text{ cm}^4$	$I_z = 6309.56 \text{ cm}^4$	$I_x = 75.30 \text{ cm}^4$
$t_f = 1.4 \text{ cm}$	$W_{ply} = 1383.40 \text{ cm}^3$	$W_{plz} = 641.18 \text{ cm}^3$	

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ:

$N_{,Ed} = 0.00 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = -330.13 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed} = 0.26 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{y,Ed} = -0.71 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 3094.52 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = -330.13 \text{ kN} \cdot \text{m}$		$M_{z,Ed,max} = 0.46 \text{ kN} \cdot \text{m}$
	$V_{y,T,Rd} = 1505.90 \text{ kN}$		
$N_{b,Rd} = 1154.36 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 380.44 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 176.32 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{z,Ed} = -210.47 \text{ kN}$
	$M_{N,y,Rd} = 380.44 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{N,z,Rd} = 176.32 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{z,T,Rd} = 591.86 \text{ kN}$
	$M_{b,Rd} = 366.35 \text{ kN} \cdot \text{m}$		$T_{t,Ed} = -0.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$
			ΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ = 2



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:

$z = 1.00$	$M_{cr} = 2931.36 \text{ kN} \cdot \text{m}$	ΚΑΜΠΥΛΗ, LT - a	$X_{LT} = 0.96$
$L_{cr,low} = 2.18 \text{ m}$	$\lambda_{m,LT} = 0.36$	$\eta_{LT} = 0.58$	

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ  $y$ :

$L_y = 8.70 \text{ m}$	$\lambda_{m,y} = 0.20$
$L_{cr,y} = 2.18 \text{ m}$	$\chi_y = 1.00$
$\lambda_{m,y} = 17.07$	$\chi_{yy} = 1.00$



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ  $z$ :

$L_z = 8.70 \text{ m}$	$\lambda_{m,z} = 1.34$
$L_{cr,z} = 8.70 \text{ m}$	$\chi_z = 0.37$
$\lambda_{m,z} = 116.18$	$\chi_{yz} = 0.74$

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:

ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ:

$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.4.(1))  
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.75 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))  
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.36 < 1.00$  (6.2.6-7)

$\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

$\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

ΟΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕΛΟΥΣ:

$\lambda_{m,y} = 17.07 < \lambda_{m,max} = 210.00$   $\lambda_{m,z} = 116.18 < \lambda_{m,max} = 210.00$  ΣΤΑΘΕΡΟ



$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.90 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))

$N_{,Ed}/(\chi_y \cdot N_{Rk}/gM1) + \chi_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}/gM1) + \chi_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.90 < 1.00$

(6.3.3.(4))  

$$N_{Ed}/(Xz \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(Mz_{Rk}/\gamma_{M1}) = 0.47 < 1.00$$
 (6.3.3.(4))

**ΟΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ**

 **ΕΚΤΡΟΠΕΣ (ΤΟΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ):**  
 $u_y = 0.0 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 4.4 \text{ cm}$  ΕΠΙΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ  
**ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ:** 716 SLS:CHR/141=4\*1.00+6\*1.00+7\*1.00+8\*1.00+10\*1.00+18\*1.00+21... (4+6+7+8+10+18+21)\*1.00+(23+26)\*0.50  
 $u_z = 2.6 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 4.4 \text{ cm}$  ΕΠΙΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ  
**ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ:** 695 SLS:CHR/120=4\*1.00+6\*1.00+7\*1.00+5\*1.00+16\*0.60+15\*0.60+19... (4+6+7+5)\*1.00+(16+15+19+22)\*0.60+(25+27)\*0.50  
 **ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ):** ΔΕΝ ΑΝΑΔΙΤΘΗΚΕ

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΚ !!!**

Σχήμα 4.22: Έλεγχοι Δοκού-30 σε ΟΚΑ και ΟΚΛ, Robot Structural Analysis

**4.4.2 Κεφαλοδοκοί Ορόφου**

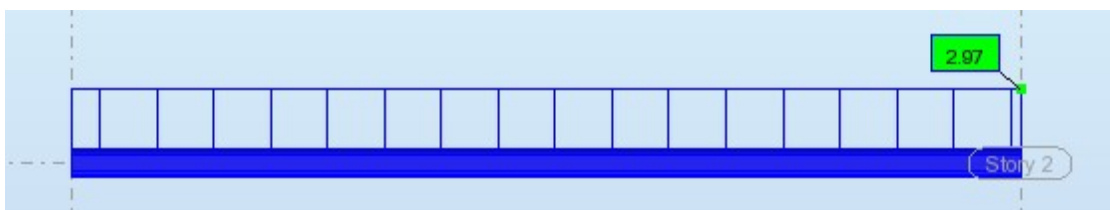
Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη (Σχήμα 4.23-4.25) και ο έλεγχος για τη δυσμενέστερη δοκό (ΔΟΚΟΣ 26- HEA 100), μήκους  $l = 3.23 \text{ m}$  (Σχήμα 4.26). Όπως προέκυψε από την ανάλυση, κρίσιμος συνδυασμός ήταν εκείνος σε ΟΚΑ με κύρια δράση τον άνεμο W270 με διεύθυνση -Y:  $1,35 \cdot G + 1,50 \cdot (W13 + W25 + W33 + W41)$ , όπου το W4 αντιστοιχεί σε  $C_{pi} = 0.2$ .



Σχήμα 4.23: Διάγραμμα ροπών κάμψης  $M_{y,Ed}$ , Κεφαλοδοκός 26



Σχήμα 4.24: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_{z,Ed}$ , Κεφαλοδοκός 26



Σχήμα 4.25: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων, Κεφαλοδοκός 26

**ΦΟΡΤΙΑ:**  
**ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ:** 336 ULS/300=4\*1.35+6\*1.35+7\*1.35+16\*1.50+14\*1.50+19\*1.50+21\*1.50 (4+6+7)\*1.35+(16+14+19+21)\*1.50

**ΥΛΙΚΟ:**  
 S275 ( S275 )  $f_y = 275.00$  MPa



**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ: HEA 100**

b=9.6 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=10.0 cm	Ay=18.44 cm <sup>2</sup>	Az=7.56 cm <sup>2</sup>	Ax=21.24 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=349.22 cm <sup>4</sup>	Iz=133.81 cm <sup>4</sup>	Ix=4.69 cm <sup>4</sup>
tf=0.8 cm	Wply=83.02 cm <sup>3</sup>	Wplz=41.14 cm <sup>3</sup>	

**ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ:**

N <sub>Ed</sub> = 2.97 kN	My <sub>Ed</sub> = 0.29 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = 3.49 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = 0.30 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 583.99 kN	My <sub>Ed,max</sub> = 0.29 kN*m	Mz <sub>Ed,max</sub> = 3.49 kN*m	Vy <sub>c,Rd</sub> = 292.71 kN
N <sub>b,Rd</sub> = 187.10 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 22.83 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 11.31 kN*m	
	MN <sub>y,Rd</sub> = 22.83 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 11.31 kN*m	
	Mb,Rd = 17.60 kN*m		

ΤΑΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ = 1



**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:**

z = 1.00	M <sub>cr</sub> = 32.22 kN*m	ΚΑΜΠΥΛΗ,LT - a	XLT = 0.77
L <sub>cr,upp</sub> = 3.23 m	L <sub>am,LT</sub> = 0.84	fi <sub>LT</sub> = 0.92	

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:**



**ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ y:**

L <sub>y</sub> = 3.23 m	L <sub>am,y</sub> = 0.92
L <sub>cr,y</sub> = 3.23 m	X <sub>y</sub> = 0.65
L <sub>am,y</sub> = 79.65	k <sub>zy</sub> = 0.53



**ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ z:**

L <sub>z</sub> = 3.23 m	L <sub>am,z</sub> = 1.48
L <sub>cr,z</sub> = 3.23 m	X <sub>z</sub> = 0.32
L <sub>am,z</sub> = 128.67	k <sub>zz</sub> = 1.01

**ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:**

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ:**

N<sub>Ed</sub>/N<sub>c,Rd</sub> = 0.01 < 1.00 (6.2.4.(1))  
 (My<sub>Ed</sub>/MN<sub>y,Rd</sub>)<sup>2</sup> + (Mz<sub>Ed</sub>/MN<sub>z,Rd</sub>)<sup>2</sup> = 0.31 < 1.00 (6.2.9.1.(6))  
 Vy<sub>Ed</sub>/Vy<sub>c,Rd</sub> = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))

**ΟΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕΛΟΥΣ:**

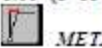
Lambda<sub>y</sub> = 79.65 < Lambda<sub>max</sub> = 210.00      Lambda<sub>z</sub> = 128.67 < Lambda<sub>max</sub> = 210.00      ΣΤΑΘΕΡΟ  
 My<sub>Ed,max</sub>/Mb,Rd = 0.02 < 1.00 (6.3.2.1.(1))  
 N<sub>Ed</sub>/(X<sub>y</sub>\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + k<sub>yy</sub>\*My<sub>Ed,max</sub>/(XLT\*My<sub>Rk</sub>/gM1) + k<sub>yz</sub>\*Mz<sub>Ed,max</sub>/(Mz<sub>Rk</sub>/gM1) = 0.24 < 1.00 (6.3.3.(4))  
 N<sub>Ed</sub>/(X<sub>z</sub>\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + k<sub>zy</sub>\*My<sub>Ed,max</sub>/(XLT\*My<sub>Rk</sub>/gM1) + k<sub>zz</sub>\*Mz<sub>Ed,max</sub>/(Mz<sub>Rk</sub>/gM1) = 0.34 < 1.00 (6.3.3.(4))

**ΟΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ**



**ΕΚΤΡΟΠΕΣ (ΤΟΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ):**

u <sub>y</sub> = 0.9 cm < u <sub>y,max</sub> = L/200.00 = 1.6 cm	ΕΠΙΛΗΘΕΥΕΤΑΙ
<b>ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ:</b> 865 SLS:CHR/290=4*1.00+6*1.00+7*1.00+5*0.70+16*1.00+14*1.00+19... (4+6+7+16+14+19+21)*1.00+5*0.70+(23+27)*0.50	
u <sub>z</sub> = 0.0 cm < u <sub>z,max</sub> = L/200.00 = 1.6 cm	ΕΠΙΛΗΘΕΥΕΤΑΙ
<b>ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ:</b> 586 SLS:CHR/11=4*1.00+6*1.00+7*1.00+5*1.00+8*0.60+11*0.60+17... (4+6+7+5)*1.00+(8+11+17+22)*0.60+(23+26)*0.50	



**ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ): ΔΕΝ ΑΝΑΛΥΘΗΚΕ**

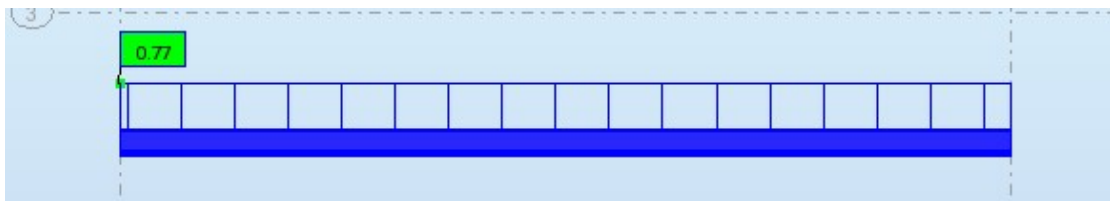
**ΔΙΑΤΟΜΗ OK !!!**

Σχήμα 4.26: Έλεγχοι Κεφαλοδοκού 26 σε ΟΚΑ και ΟΚΛ, Robot Structural Analysis

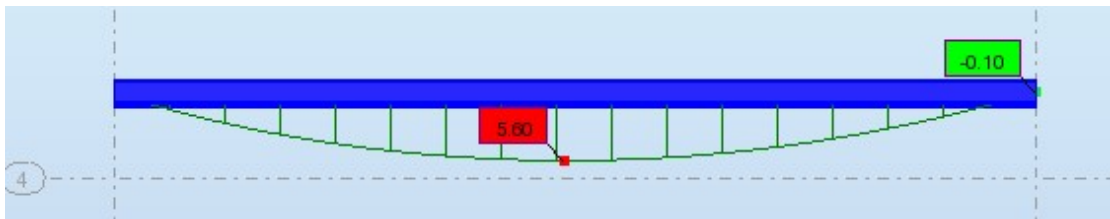
#### 4.4.3 Τεγίδες

Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη (Σχήμα 4.27-4.29) και ο έλεγχος για τη δυσμενέστερη τεγίδα (ΤΕΓΙΔΑ 90-RHS 90x50x5), μήκους  $l=3,23$ m (Σχήμα 4.30). Όπως προέκυψε από την ανάλυση, κρίσιμος συνδυασμός ήταν εκείνος σε ΟΚΑ με κύρια δράση τον άνεμο W270 με διεύθυνση -Y:  $1,35*G+1,50*(W13+W26+W33+W42)+1,50*0,70*Q+1,5*0,5*S$ , όπου το W42

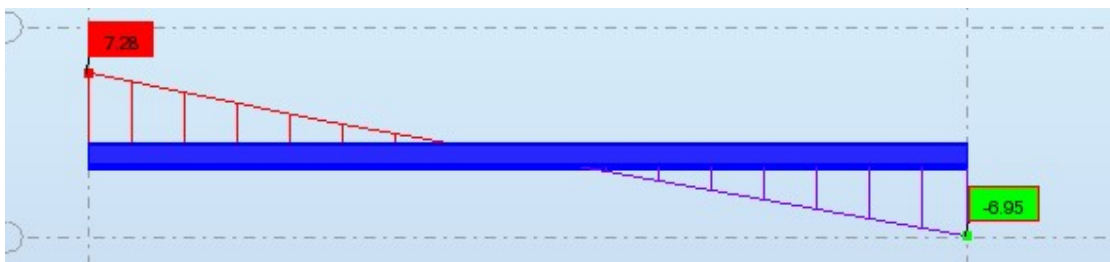
αντιστοιχεί σε  $C_{pi} = -0,3$ . Κατά τον συνδυασμό αυτό η διατομή αξιοποιήθηκε σε ποσοστό 63%.



Σχήμα 4.27: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων, Τεγίδα 90



Σχήμα 4.28: Διάγραμμα ροπών κάμψης  $M_{y,Ed}$ , Τεγίδα 90



Σχήμα 4.29: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_{z,Ed}$ , Τεγίδα 90

**ΦΟΡΤΙΑ:**

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 347 ULS/320=4\*1.35+6\*1.35+7\*1.35+5\*1.05+16\*1.50+15\*1.50+19\*1.50... (4+6+7)\*1.35+5\*1.05+(16+15+19+22)\*1.50+(24+27)\*0.75

**ΥΛΙΚΟ:**

S275 (S275)  $f_y = 275.00$  MPa

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ: RSHH 90x50x5**

b=9.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=5.0 cm	Ay=4.54 cm <sup>2</sup>	Az=8.16 cm <sup>2</sup>	Ax=12.70 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=127.00 cm <sup>4</sup>	Iz=49.20 cm <sup>4</sup>	Ix=116.00 cm <sup>4</sup>
tf=0.5 cm	Wply=36.00 cm <sup>3</sup>	Wplz=23.50 cm <sup>3</sup>	

**ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ:**

N <sub>Ed</sub> = 0.77 kN	My <sub>Ed</sub> = 5.60 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = -0.06 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = -0.02 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 349.25 kN	My <sub>Ed,max</sub> = 5.60 kN*m	Mz <sub>Ed,max</sub> = -0.06 kN*m	Vy <sub>c,Rd</sub> = 72.01 kN
N <sub>b,Rd</sub> = 349.25 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 9.90 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 6.46 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = -0.10 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 9.90 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 6.46 kN*m	Vz <sub>c,Rd</sub> = 129.63 kN
	Mb <sub>Rd</sub> = 9.09 kN*m		

ΤΑΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ = 1

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:**

z = 1.00	M <sub>cr</sub> = 104.96 kN*m	ΚΑΜΠΥΛΗ,LT - d	XLT = 0.92
L <sub>cr,upp</sub> = 3.23 m	Lam <sub>LT</sub> = 0.31	fi <sub>LT</sub> = 0.59	

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:**

ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ y:

k<sub>yy</sub> = 1.00



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ z:

k<sub>zz</sub> = 1.00

**ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:****ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ:**

N<sub>Ed</sub>/N<sub>c,Rd</sub> = 0.00 < 1.00 (6.2.4.(1))  
 (My<sub>Ed</sub>/MN<sub>y,Rd</sub>)<sup>1.66</sup> + (Mz<sub>Ed</sub>/MN<sub>z,Rd</sub>)<sup>1.66</sup> = 0.39 < 1.00 (6.2.9.1.(6))  
 Vy<sub>Ed</sub>/Vy<sub>c,Rd</sub> = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))  
 Vz<sub>Ed</sub>/Vz<sub>c,Rd</sub> = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))

**ΟΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕΛΟΥΣ:**

My<sub>Ed,max</sub>/Mb<sub>Rd</sub> = 0.62 < 1.00 (6.3.2.1.(1))  
 N<sub>Ed</sub>/(X<sub>y</sub>\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + k<sub>yy</sub>\*My<sub>Ed,max</sub>/(XLT\*My<sub>Rk</sub>/gM1) + k<sub>yz</sub>\*Mz<sub>Ed,max</sub>/(Mz<sub>Rk</sub>/gM1) = 0.63 < 1.00 (6.3.3.(4))  
 N<sub>Ed</sub>/(X<sub>z</sub>\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + k<sub>zy</sub>\*My<sub>Ed,max</sub>/(XLT\*My<sub>Rk</sub>/gM1) + k<sub>zz</sub>\*Mz<sub>Ed,max</sub>/(Mz<sub>Rk</sub>/gM1) = 0.63 < 1.00 (6.3.3.(4))

**ΟΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ****ΕΚΤΡΟΠΕΣ (ΤΟΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ):**

u<sub>y</sub> = 0.0 cm < u<sub>y,max</sub> = L/200.00 = 1.6 cm ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ  
 ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 841 SLS:CHR/266=4\*1.00+6\*1.00+7\*1.00+9\*1.00+12\*1.00+20\*1.00+21... (4+6+7+9+12+20+21)\*1.00+(24+27)\*0.50  
 u<sub>z</sub> = 1.6 cm < u<sub>z,max</sub> = L/200.00 = 1.6 cm ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ  
 ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 894 SLS:CHR/319=4\*1.00+6\*1.00+7\*1.00+5\*0.70+16\*1.00+15\*1.00+19... (4+6+7+16+15+19+22)\*1.00+5\*0.70+(24+26)\*0.50

**ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ): ΔΕΝ ΑΝΑΛΥΘΗΚΕ****ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΚ !!!**

Σχήμα 4.30: Έλεγχοι Τεγίδας 90 σε ΟΚΑ και ΟΚΛ, Robot Structural Analysis

#### 4.4.4 Υποστυλώματα

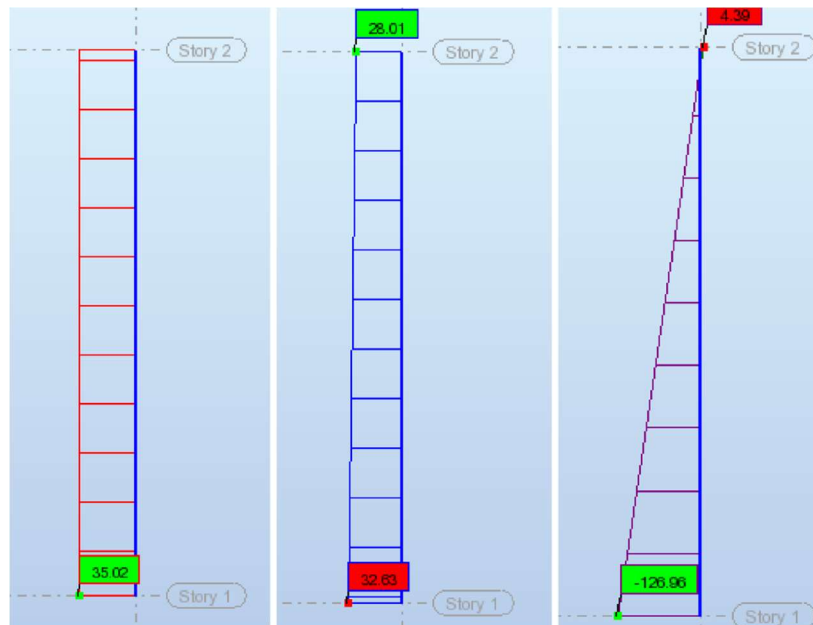
Ο σχεδιασμός των υποστυλωμάτων πραγματοποιήθηκε με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι ικανά να παραλάβουν όλα τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής. Στα υποστυλώματα επομένως αναπτύσσονται πολύ μεγάλες θλιπτικές δυνάμεις καθιστώντας τους ελέγχους σε λυγισμό ιδιαίτερα κρίσιμους. Για λόγους κατασκευαστικής ευκολίας και οικονομίας, επιλέχθηκε η διατομή τους να παραμείνει σταθερή καθ' ύψος ενώ η θεμελίωσή τους με το έδαφος προσομοιώθηκε στο λογισμικό με πακτώσεις. Για την ευκολότερη διαχείριση των αποτελεσμάτων τα υποστυλώματα ομαδοποιήθηκαν σε πέντε κατηγορίες:

- Στα ενδιάμεσα υποστυλώματα του ισογείου
- Στα ακραία υποστυλώματα της πίσω πλευράς του ισογείου
- Στα ακραία υποστυλώματα της μπροστινής πλευράς του ισογείου
- Στα υποστυλώματα ορόφου
- Στα ακραία υποστυλώματα της πίσω πλευράς του ορόφου

Οι διατομές των υποστυλωμάτων έχουν τοποθετηθεί ώστε στη διεύθυνση των πλαισίων ροπής να ενεργοποιείται ο ισχυρός τους άξονας οπότε λειτουργούν και σε πλαίσια ροπής για τον υπολογισμό του μήκους λυγισμού, ενώ κατά τον ασθενή άξονα το μήκος λυγισμού υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε υποστυλώμα μέσω της σχέσης δυσκαμψιών του Ευρωκώδικα. Η διαδικασία της διαστασιολόγησης και των ελέγχων πραγματοποιήθηκε σε OKA και OKL και έπειτα από επαναληπτικές διαδικασίες μέσω του προγράμματος Robot Structural Analysis προέκυψε στατική επάρκεια των υποστυλωμάτων για διατομές:

- Στα γωνιακά υποστυλώματα της πίσω πλευράς: HEB 200
- Στα γωνιακά υποστυλώματα της μπροστινής πλευράς: HEB 240
- Στα ενδιάμεσα υποστυλώματα: HEB 260

Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη (Σχήμα 4.31) και ο έλεγχος για το δυσμενέστερο υποστυλώμα (ΥΠ/ΜΑ 35- HEB 260) του ορόφου και μήκους  $l=3,75$  m (Σχήμα 4.32). Όπως προέκυψε από την ανάλυση, κρίσιμος συνδυασμός ήταν εκείνος σε OKA με κύρια δράση το κινητό φορτίο Q και διεύθυνση ανέμου -Y:  $1,35 \cdot G + 1,50 \cdot Q + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W13 + W26 + W33 + W42)$ , όπου το W42 αντιστοιχεί σε  $C_{pi} = -0,3$ . Κατά τον συνδυασμό αυτό η διατομή αξιοποιήθηκε σε ποσοστό 39%.



Σχήμα 4.31: Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων, αξονικών δυνάμεων και ροπών κάμψης κατά Y, Υποστυλώματος 35



**ΦΟΡΤΙΑ:**

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 147 ULS/120=4\*1.35+6\*1.35+7\*1.35+5\*1.50+16\*0.90+15\*0.90+19\*0.90... (4+6+7)\*1.35+5\*1.50+(16+15+19+22)\*0.90+(25+27)\*0.75

**ΥΛΙΚΟ:**

S275 ( S275 )  $f_y = 275.00$  MPa

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ: HEB 260**

b=26.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=26.0 cm	Ay=100.74 cm <sup>2</sup>	Az=37.59 cm <sup>2</sup>	Ax=118.44 cm <sup>2</sup>
tw=1.0 cm	Iy=14919.40 cm <sup>4</sup>	Iz=5134.52 cm <sup>4</sup>	Ix=125.00 cm <sup>4</sup>
tf=1.8 cm	Wply=1283.00 cm <sup>3</sup>	Wplz=602.26 cm <sup>3</sup>	

**ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ:**

N <sub>Ed</sub> = 32.63 kN	My <sub>Ed</sub> = -126.96 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = -0.81 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = -0.20 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 3257.21 kN	My <sub>Ed,max</sub> = -126.96 kN*m		Mz <sub>Ed,max</sub> = -0.81 kN*m
	Vy <sub>T,Rd</sub> = 1599.13 kN		
N <sub>b,Rd</sub> = 2078.50 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 352.82 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 165.62 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = 35.02 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 352.82 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 165.62 kN*m	Vz <sub>T,Rd</sub> = 596.80 kN
	Mb <sub>Rd</sub> = 338.01 kN*m		Tt <sub>Ed</sub> = 0.01 kN*m
			ΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ = 1

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:**

z = 0.00	M <sub>cr</sub> = 2444.55 kN*m	ΚΑΜΠΥΛΗ,LT - a	XLT = 0.96
L <sub>cr,low</sub> = 3.75 m	Lam <sub>LT</sub> = 0.38	fi <sub>LT</sub> = 0.59	

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:**

ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ y:	ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ z:
Ly = 3.75 m	Lz = 3.75 m
L <sub>cr,y</sub> = 9.12 m	L <sub>cr,z</sub> = 3.75 m
Lamy = 81.24	Lamz = 56.96
Lam <sub>y</sub> = 0.94	Lam <sub>z</sub> = 0.66
Xy = 0.64	Xz = 0.75
kyy = 0.98	kyz = 0.62

**ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:****ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ :**

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00$  (6.2.4.(1))  
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.13 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))  
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.06 < 1.00$  (6.2.6-7)

$\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)  
 $\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

**ΟΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕΛΟΥΣ:**

$\lambda_{b,y} = 81.24 < \lambda_{b,max} = 210.00$   $\lambda_{b,z} = 56.96 < \lambda_{b,max} = 210.00$  ΣΤΑΘΕΡΟ  
 $M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.38 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))  
 $N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.39 < 1.00$  (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.21 < 1.00$  (6.3.3.(4))

**ΟΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ**

**ΕΚΤΡΟΠΕΣ (ΤΟΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ): ΔΕΝ ΑΝΑΙΥΘΗΚΕ**



**ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ):**

$v_x = 0.3$  cm  $< v_{x,max} = L/150.00 = 2.5$  cm **ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ**  
 ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 594 SLS:CHR/19=4\*1.00+6\*1.00+7\*1.00+5\*1.00+23\*0.50+27\*0.50 (4+6+7+5)\*1.00+(23+27)\*0.50  
 $v_y = 0.1$  cm  $< v_{y,max} = L/150.00 = 2.5$  cm **ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ**  
 ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 909 SLS:CHR/334=4\*1.00+6\*1.00+7\*1.00+5\*0.70+16\*1.00+15\*1.00+19... (4+6+7+16+15+19+21)\*1.00+5\*0.70+(25+27)\*0.50

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΚ !!!**

Σχήμα 4.32: Έλεγχοι Υπ/τος 35 σε ΟΚΑ και ΟΚΛ, Robot Structural Analysis

**4.4.5 Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας**

Οι χιαστοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας προσομοιώθηκαν στο πρόγραμμα Robot Structural Analysis για δυνατότητα παραλαβής μόνο αξονικών δυνάμεων (truss bars)

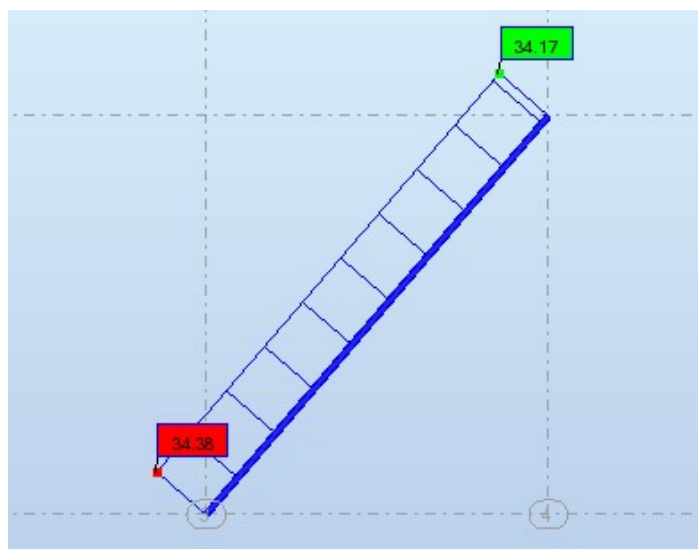
και μήκος λυγισμού ίσο με το μισό του φυσικού τους μήκους. Αρχικά ομαδοποιήθηκαν σε δύο κατηγορίες:

- Στους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας ισογείου και ορόφου
- Στους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας στέγης (θα έχουν διαφορετικές απαιτήσεις ορίων λειτουργικότητας, όπως και διαφορετικό μήκος λυγισμού)

Η διαδικασία της διαστασιολόγησης και των ελέγχων πραγματοποιήθηκε σε ΟΚΑ και ΟΚΛ και ύστερα από επαναληπτικές διαδικασίες προέκυψαν οι εξής διατομές:

- Στους χιαστί συνδέσμους ορόφου-ισογείου: RHS 60x40x3
- Στους χιαστί συνδέσμους στέγης: SHS 40x40x2

Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη (Σχήμα 4.33) και ο έλεγχος για το δυσμενέστερο χιαστί σύνδεσμο δυσκαμψίας (Ράβδος 130 - RHS 60x40x3) του ισογείου μήκους  $l=4,95\text{m}$  (Σχήμα 4.34). Όπως προέκυψε από την ανάλυση, κρίσιμος συνδυασμός ήταν εκείνος σε ΟΚΑ με κύρια δράση τον άνεμο με διεύθυνση -Y:  $1,35*G+1,50*(W13+W25+W33+W41)+ 1,50*0,70*Q+1,5*0,5*S$ , όπου το W41 αντιστοιχεί σε  $C_{pi}= 0,2$ . Κατά τον συνδυασμό αυτό η διατομή αξιοποιήθηκε σε ποσοστό 86%.



Σχήμα 4.33: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων, Σύνδεσμος Δυσκαμψίας Ισογείου 130

ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ:  
 ΜΕΛΟΣ: 130 *χασπ130* ΣΗΜΕΙΟ: 3 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΟΣ:  $x = 1.00 L = 4.95 \text{ m}$

ΦΟΡΤΙΑ:  
 ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ:  $356 \text{ ULS}/329 = 4 * 1.35 + 6 * 1.35 + 7 * 1.35 + 5 * 1.05 + 16 * 1.50 + 14 * 1.50 + 19 * 1.50 \dots (4+6+7) * 1.35 + 5 * 1.05 + (16+14+19+21) * 1.50 + (25+26) * 0.75$

ΥΛΙΚΟ:  
 S275 ( S275 )  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ: RHSC 60x40x3

$b = 6.0 \text{ cm}$	$gM0 = 1.00$	$gM1 = 1.00$	
$b = 4.0 \text{ cm}$	$A_y = 2.16 \text{ cm}^2$	$A_z = 3.25 \text{ cm}^2$	$A_x = 5.41 \text{ cm}^2$
$t_w = 0.3 \text{ cm}$	$I_y = 25.40 \text{ cm}^4$	$I_z = 13.40 \text{ cm}^4$	$I_x = 29.30 \text{ cm}^4$
$t_f = 0.3 \text{ cm}$	$W_{ply} = 10.50 \text{ cm}^3$	$W_{plz} = 7.94 \text{ cm}^3$	

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ:  
 $N_{Ed} = 34.38 \text{ kN}$   
 $N_{c,Rd} = 148.73 \text{ kN}$   
 $N_{b,Rd} = 39.76 \text{ kN}$

ΤΑΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ = 1



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ y:

$L_y = 4.95 \text{ m}$   
 $L_{cr,y} = 2.47 \text{ m}$   
 $L_{amy} = 114.21$   
 $\lambda_{m,y} = 1.32$   
 $\chi_y = 0.46$



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ z:

$L_z = 4.95 \text{ m}$   
 $L_{cr,z} = 2.47 \text{ m}$   
 $L_{amz} = 157.24$   
 $\lambda_{m,z} = 1.81$   
 $\chi_z = 0.27$

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:

ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.23 < 1.00$  (6.2.4.(1))

ΟΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕΛΟΥΣ:

$\lambda_{m,y} = 114.21 < \lambda_{m,max} = 210.00$   $\lambda_{m,z} = 157.24 < \lambda_{m,max} = 210.00$  ΣΤΑΘΕΡΟ

$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.86 < 1.00$  (6.3.1.1.(1))

ΟΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ



ΕΚΤΡΟΠΕΣ (ΤΟΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ):

$u_y = 0.0 \text{ cm} < u_{y,max} = L/200.00 = 2.5 \text{ cm}$

ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 8 W11

$u_z = 0.0 \text{ cm} < u_{z,max} = L/200.00 = 2.5 \text{ cm}$

ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ:  $811 \text{ SLS:CHR}/236 = 4 * 1.00 + 6 * 1.00 + 7 * 1.00 + 5 * 0.70 + 9 * 1.00 + 12 * 1.00 + 20 \dots (4+6+7+9+12+20+22) * 1.00 + 5 * 0.70 + (23+27) * 0.50$



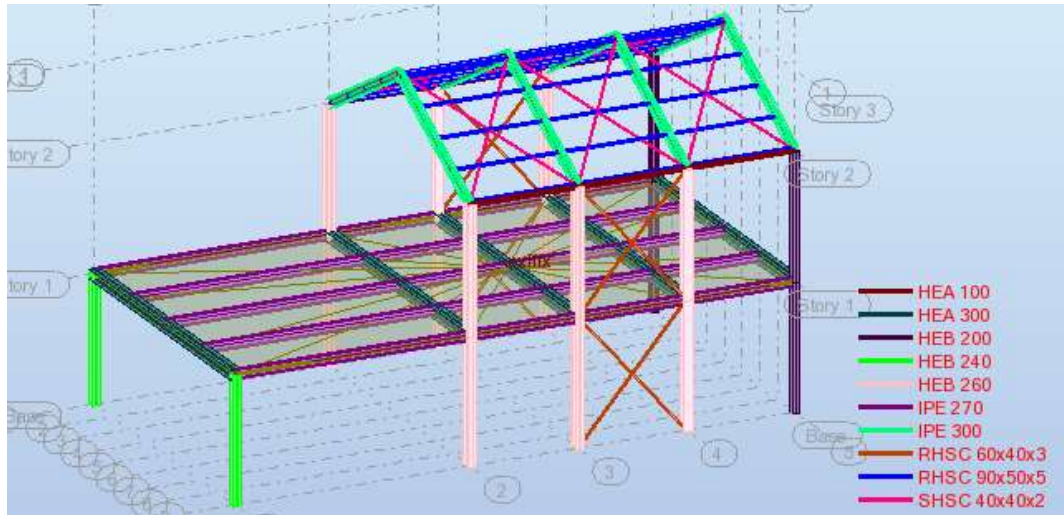
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ): ΔΕΝ ΑΝΑΛΙΘΗΚΕ

**ΔΙΑΤΟΜΗ OK !!!**

Σχήμα 4.34: Έλεγχοι συνδέσμου δυσκαμψίας ισογείου 130, Robot Structural Analysis

#### 4.4.6 Συμπεράσματα

Ύστερα από τη διαστασιολόγηση του φορέα υπό στατικούς συνδυασμούς προέκυψαν οι διατομές που παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.35.



Σχήμα 4.35: Τελικές διατομές φορέα από διαστασιολόγηση υπό στατικούς συνδυασμούς

#### Τελικές Διατομές:

- Κεφαλοδοκοί στέγης HEA 100
- Κύριες δοκοί πλαισίων ισογείου HEA 300
- Υποστυλώματα (ακραία) πίσω πλευράς HEB 200
- Υποστυλώματα (ακραία) μπροστινής πλευράς HEB 240
- Ενδιάμεσα Υποστυλώματα HEB 260
- Δευτερεύουσες σύμμικτες δοκοί ορόφου IPE 270
- Κύριες δοκοί στέγης IPE 300
- Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας RHS 60x40x3
- Τεγίδες RHS 90x50x5
- Χιαστί σύνδεσμοι στέγης SHS 40x40x2

Προκειμένου να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις που θέτει ο Ευρωκώδικας 8 για τον αντισεισμικό σχεδιασμό, υπήρξαν τροποποιήσεις στις διατομές αυτές όπως φαίνεται και στο παρακάτω κεφάλαιο.

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ

### 5.1 Γενικά

Η δυναμική ανάλυση της κατασκευής, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης. Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζονται οι ιδιομορφές της κατασκευής και στη συνέχεια λαμβάνονται υπόψη τόσες ιδιομορφές ώστε το άθροισμα των ιδιομορφικών μαζών να γίνεται μεγαλύτερο ή ίσο του 90% της συνολικής ταλαντευόμενης μάζας κατά τις διευθύνσεις x και y. Ως συμμετέχουσα μάζα ορίστηκε η μάζα που προέρχεται από τα μόνιμα φορτία G και τα κινητά φορτία Q πολλαπλασιασμένα με τον συντελεστή 0,3.

Κατά τη ανάλυση σεισμού στη διεύθυνση Y, στην οποία υπάρχουν κεντρικοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας, εκείνοι οι οποίοι βρίσκονται υπό θλίψη αγνοούνται υπέρ της ασφαλείας (εντολή *inactive*) και λαμβάνονται υπόψη μόνο εκείνοι που βρίσκονται υπό εφελκυσμό. Με τον τρόπο αυτό οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας μπορούν να αναπτύξουν σημαντικές πλαστικές παραμορφώσεις πριν την αστοχία τους.

Αφού εισήχθησαν όλα τα σεισμικά δεδομένα στο πρόγραμμα και πραγματοποιήθηκε η Ιδιομορφική ανάλυση για συνολικά 30 ιδιομορφές, προέκυψε ότι απαιτούνται 9 ιδιομορφές ώστε το άθροισμα των ιδιομορφικών μαζών να φθάσει το 90% της συνολικής μάζας και για τις 2 διευθύνσεις σεισμού, Πίνακας 5.1.

Πίνακας 5.1: Ιδιοπερίοδοι και αθροιστικά ποσοστά ταλαντευόμενης μάζας για κάθε ιδιομορφή

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ/ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (Hz)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ (sec)	ΣΧΕΤ.ΜΑΖΑ.Υ X (%)	ΣΧΕΤ.ΜΑΖΑ.Υ Y (%)	ΤΡΕΧ.ΜΑΖ.ΥX (%)	ΤΡΕΧ.ΜΑΖ.ΥY (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΑΖΑ UX (kg)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΑΖΑ UY (kg)
1172/ 1	3,00	0,33	85,18	0,00	85,18	0,00	87675,37	87675,37
1172/ 2	4,12	0,24	85,18	90,60	0,00	90,60	87675,37	87675,37
1172/ 3	4,30	0,23	87,86	90,60	2,68	0,00	87675,37	87675,37
1172/ 4	4,49	0,22	87,86	92,23	0,00	1,64	87675,37	87675,37
1172/ 5	5,20	0,19	87,86	92,23	0,00	0,00	87675,37	87675,37
1172/ 6	6,20	0,16	87,86	92,29	0,00	0,06	87675,37	87675,37
1172/ 7	6,32	0,16	87,86	92,80	0,00	0,50	87675,37	87675,37
1172/ 8	6,57	0,15	87,86	99,15	0,00	6,35	87675,37	87675,37
1172/ 9	6,87	0,15	95,08	99,15	7,23	0,00	87675,37	87675,37

### 5.2 Έλεγχος Πλαισίων με Κεντρικούς Συνδέσμους Δυσκαμψίας (Σεισμός κατά Y)

#### 5.2.1 Περιορισμός Φαινομένων 2<sup>ας</sup> τάξης

Οι επιρροές 2ας τάξης λόγω πλευρικής μετάθεσης, για πολύροφα πλαίσια, υπολογίζονται αυξάνοντας τα οριζόντια φορτία  $H_{Ed}$  (π.χ. άνεμο) και τα ισοδύναμα φορτία  $\varphi^*V_{Ed}$  λόγω ατελειών, μέσω του συντελεστή  $a_{cr} = 1/(1-\theta)$ , υπό την προϋπόθεση ότι  $a_{cr} \geq 3$ . Για κάθε όροφο υπολογίζεται ο συντελεστής  $\theta$  (τα ισοδύναμα φορτία  $\varphi^*V_{Ed}$  λόγω ατελειών απλοποιητικά αγνοούνται):

- Εάν  $\theta \leq 0,1$  τα αποτελέσματα δευτέρας τάξεως μπορούν να αμεληθούν
- Εάν  $0,1 < \theta \leq 0,2$ , τα αποτελέσματα δευτέρας τάξεως μπορούν να ληφθούν υπόψη προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας τα αντίστοιχα σεισμικά εντατικά μεγέθη και μετακινήσεις με συντελεστή ίσο με  $a_{cr}$ .
- Εάν  $0,2 < \theta < 0,3$  θα πρέπει να γίνει ανάλυση 2ας τάξης

Ισχύει ότι:  $\theta = (P_{tot} * dr) / (V_{tot} * h) < 0,3$  (Πηγή: EN1993-1-1:2005) (5.1)

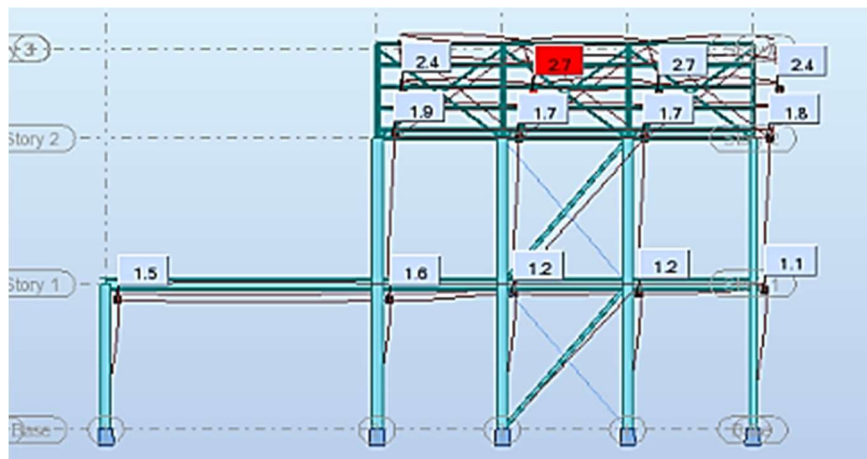
όπου:

- $\theta$ : συντελεστής ευαισθησίας σχετικής μετακίνησης ορόφου
- $P_{tot}$ : συνολικό κατακόρυφο φορτίο στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού,  $G+0.3Q$
- $V_{tot}$ : συνολική σεισμική τέμνουσα ορόφου
- $dr$ : σχετική μετακίνηση ορόφου
- $h$ : ύψος ορόφου

Η συνολική τέμνουσα ανά όροφο δίνεται μέσω του Robot Structural Analysis για την δυσμενέστερη σεισμική φόρτιση κατά Y καθώς και η σχετική μετακίνηση ανά όροφο, Πίνακα 5.2. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης καθώς και οι υπολογισμοί για τον συντελεστή  $\theta$  παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.1 και στον Πίνακα 5.3 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.2: Σεισμικές Τέμνουσες ανά Όροφο στη Διεύθυνση Y

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ/ΟΡΟΦΟΣ	G (x,y,z) (m)	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kNm)	FX ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	FX ΤΟΙΧΕΙΟ (kN)	FY ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	FY ΤΟΙΧΕΙΟ (kN)
1174/ 1	4,35 8,61 3,66	0,00	387,55	0,00	0,00	-0,00	387,55	0,00
1174/ 2	4,35 11,85 5,81	0,00	77,78	0,00	0,00	0,00	77,78	0,00
1174/ 3	4,35 11,85 8,66	0,00	67,81	0,00	0,00	0,00	67,81	0,00



Σχήμα 5.1: Συνολικές μετακινήσεις υπό την δυσμενέστερη σεισμική δράση κατά Y

Πίνακας 5.3: Υπολογισμός συντελεστή  $\theta$  κατά τη διεύθυνση Y

Όροφος	Ισόγειο	1ος όροφος
Συνολικό κατακόρυφο φορτίο στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού (G+0,3Q) $P_{tot}$ (kN)	877,24	111,5
Συνολική σεισμική τέμνουσα ορόφου $V_{tot}$ (kN)	387,55	77,78
Σχετική μετακίνηση ορόφου $dr$ (cm)	0,9	0,3
Ύψος ορόφου $h$ (cm)	375	375
Συντελεστής ευαισθησίας σχετικής μετακίνησης ορόφου $\theta$	<b>0,005</b>	<b>0,001</b>

Όπως παρατηρείται ο συντελεστής  $\theta < 0,1$  σε κάθε όροφο, οπότε τα φαινόμενα 2ης τάξης μπορούν να αγνοηθούν και δεν απαιτείται προσαύξηση των σεισμικών συνδυασμών. Τελικά οι διατομές όλων των στοιχείων του κτιρίου ελέγχονται με τους αρχικούς σεισμικούς συνδυασμούς και προέκυψε ότι επαρκούσαν έναντι αυτών. Πολύ συνοπτικά παρουσιάζεται η επάρκεια των δυσμενέστερων διατομών καθώς και το ποσοστό αξιοποίησης της διατομής του καθενός στον παρακάτω Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Συνοπτικοί Έλεγχοι για Σεισμό κατά Y

ΜΕΛΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	Lay	Laz	ΛΟΓΟΣ	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 1 1</b>						
11 11	OK HEB 260	S275	47.34	39.87	0.42	1178 G+0.3Q+Ey+0.3Ex
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 2 2</b>						
6 6	OK HEB 200	S275	58.52	51.82	0.50	1178 G+0.3Q+Ey+0.3Ex
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 3 3</b>						
1 1	OK HEB 240	S275	44.27	43.15	0.41	1178 G+0.3Q+Ey+0.3Ex
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 4 4</b>						
35 35	OK HEB 260	S275	81.24	56.96	0.23	1178 G+0.3Q+Ey+0.3Ex
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 5 5</b>						
39 39	OK HEB 200	S275	83.43	74.03	0.30	1178 G+0.3Q+Ey+0.3Ex
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 6 6</b>						
84 Τσιβδα_84	OK RHSC 90x50x	S275	103.40	165.21	0.13	1178 G+0.3Q+Ey+0.3Ex
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 8 8</b>						
26 Δοκός_26	OK HEA 100	S275	79.65	128.67	0.05	1178 G+0.3Q+Ey+0.3Ex
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 9 9</b>						
130 χιαστί130	OK RHSC 100x50	S275	72.07	125.02	0.89	1178 G+0.3Q+Ey+0.3Ex
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 10 10</b>						
118 Δοκός_118	OK SHSC 40x40x	S275	191.72	191.72	0.61	1178 G+0.3Q+Ey+0.3Ex
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 11 11</b>						
69 ΔΟΚΟΣ_69	OK IPE 300	S275	0.80	147.08	0.36	1178 G+0.3Q+Ey+0.3Ex
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 12 2</b>						
30 Δοκός_30	OK HEA 300	S275	17.07	116.18	0.45	1178 G+0.3Q+Ey+0.3Ex

## 5.2.2 Έλεγχος Διαγώνιων Συνδέσμων Δυσκαμψίας

Ο κρίσιμος έλεγχος για τη διαστασιολόγηση των χιαστί συνδέσμων δυσκαμψίας του ισογείου και του ορόφου είναι υπό σεισμικά φορτία. Αυτό διαπιστώνεται καθώς η διατομή που είχε επιλεγθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο με βάση τους στατικούς συνδυασμούς δεν επαρκεί.

Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο έλεγχος για το δυσμενέστερο χιαστί σύνδεσμο δυσκαμψίας (Ράβδος 130 - RHS 100x50x5) του ισογείου μήκους  $l=4,95\text{m}$  (Σχήμα 5.3). Όπως προέκυψε από την ανάλυση, κρίσιμος συνδυασμός ήταν ο σεισμικός κατά Y ( $G+0,3*Q+Ey+0,3*Ex$ ), κατά τον συνδυασμό αυτό η διατομή αξιοποιήθηκε σε ποσοστό 89%.

Επίσης σε πλαίσια με X διαγώνιους συνδέσμους, η αδιάστατη λυγηρότητα  $\lambda$ , όπως ορίζεται στο EN 1993-1-1:2004 επιθυμούμε να περιορίζεται σε:  $1,3 < \lambda \leq 2,0$ , για λόγους καλού σχεδιασμού, και η αντοχή διαρροής  $N_{pl,Rd}$  της συνολικής διατομής των διαγωνίων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε:  $N_{pl,Rd} \geq N_{Ed}$ .

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2 οι δυο αυτές απαιτήσεις ικανοποιούνται για διατομή RHS 100x50x5.

Στοιχείο	Διατομή	L (cm)	Lcr (cm)	iz (cm)	$\lambda$	$N_{pl,Rd}/N_{Ed} \geq 1$
Διαγώνιος ισογείου και ορόφου	RHSC 100x50x5	495	247,5	1,99	1,627691	2,871132449
$\lambda 1$	$N_{Ed}$ (kN)	$A$ (cm <sup>2</sup> )	$f_y$ (kN/cm <sup>2</sup> )			
76,41	131,22	13,7	27,5			

Σχήμα 5.2: Έλεγχος λυγηρότητας και αντοχής διαρροής χιαστί συνδέσμων



ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ: 9 9  
ΜΕΛΟΣ: 130 χιαστί130

ΣΗΜΕΙΟ: 3

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ: x = 1.00 L = 4.95 m

**ΦΟΡΤΙΑ:**

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 1178 G+0.3Q+Ey+0.3Ex (4+6+7+1174)\*1.00+(5+1173)\*0.30

**ΥΛΙΚΟ:**

S275 (S275) fy = 275.00 MPa



**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ: RHSC 100x50x5**

h=10.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=5.0 cm	Ay=4.47 cm <sup>2</sup>	Az=8.93 cm <sup>2</sup>	Ax=13.40 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=158.00 cm <sup>4</sup>	Iz=52.50 cm <sup>4</sup>	Ix=135.00 cm <sup>4</sup>
tf=0.5 cm	Wply=40.80 cm <sup>3</sup>	Wplz=25.00 cm <sup>3</sup>	

**ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ:**

N<sub>Ed</sub> = 131.36 kN  
N<sub>c,Rd</sub> = 368.50 kN  
N<sub>b,Rd</sub> = 146.98 kN

ΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ = 1



**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:**

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:**



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ y:

L<sub>y</sub> = 4.95 m  
L<sub>cr,y</sub> = 2.47 m  
L<sub>amy</sub> = 72.07

L<sub>am,y</sub> = 0.83  
X<sub>y</sub> = 0.78



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ z:

L<sub>z</sub> = 4.95 m  
L<sub>cr,z</sub> = 2.47 m  
L<sub>amz</sub> = 125.02

L<sub>am,z</sub> = 1.44  
X<sub>z</sub> = 0.40

**ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:**

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ:**

N<sub>Ed</sub>/N<sub>c,Rd</sub> = 0.36 < 1.00 (6.2.4.(1))

**ΟΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕΛΟΥΣ:**

L<sub>amda,y</sub> = 72.07 < L<sub>amda,max</sub> = 210.00    L<sub>amda,z</sub> = 125.02 < L<sub>amda,max</sub> = 210.00    ΣΤΑΘΕΡΟ

N<sub>Ed</sub>/N<sub>b,Rd</sub> = 0.89 < 1.00 (6.3.1.1.(1))

**ΔΙΑΤΟΜΗ OK !!!**

Σχήμα 5.3: Έλεγχοι συνδέσμου δυσκαμψίας ισογείου, Robot Structural Analysis

### 5.2.3 Περιορισμός Βλαβών

Η απαίτηση για τον περιορισμό των βλαβών εξασφαλίζεται με τον περιορισμό της σχετικής μετακίνησης των ορόφων για σεισμό μικρότερο του σεισμού σχεδιασμού, όμως με σημαντικά μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης. Η απαίτηση για τον περιορισμό των βλαβών ικανοποιείται εφόσον για κάθε όροφο της κατασκευής ικανοποιείται η σχέση:

$$dr \cdot \nu \leq 0,0075 \cdot h \quad (5.2)$$

Για κτίρια κατηγορίας II (γ<sub>I</sub>=1,00) με πλάστιμα μη φέροντα στοιχεία, οι μετακινήσεις λόγω του σεισμού αυτού λαμβάνονται ως το 50% των τιμών του σεισμού σχεδιασμού (ν=0,50). Με βάση τις τιμές των σχετικών μετακινήσεων και του ύψους των ορόφων του Πίνακα 5.5 προκύπτει:

Πίνακας 5.5: Έλεγχοι για περιορισμό βλαβών

όροφος	dr(cm)	dr*ν (cm)	0,0075*h(cm)	έλεγχος
ισόγειο	0,9	0,45	2,8125	OK
1ος	0,3	0,15	2,8125	OK

Επομένως οι έλεγχοι για τον περιορισμό των βλαβών ικανοποιούνται κατά Y, σε όλους τους ορόφους του κτιρίου.

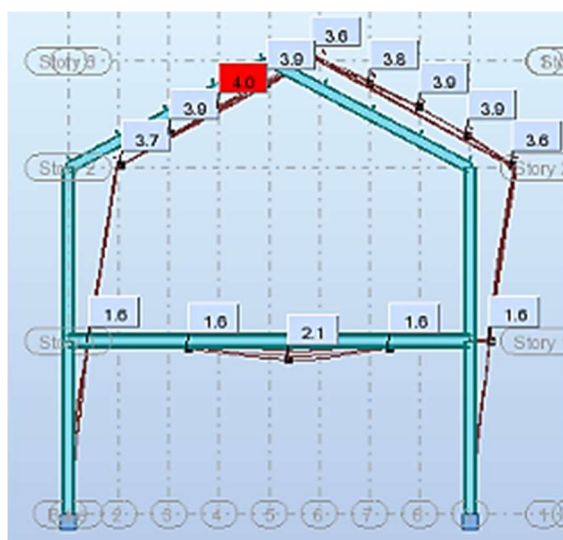
## 5.3 Έλεγχος Πλαισίων Ροπής (Σεισμός κατά X)

### 5.3.1 Περιορισμός Φαινομένων 2<sup>ας</sup> τάξης

Στα πλαίσια ροπής αναπτύσσονται αξονικές, τέμνουσες δυνάμεις και ροπές κάμψης τόσο από τα κατακόρυφα όσο και από τα σεισμικά φορτία. Αντίστοιχα με προηγουμένως, προκύπτουν η συνολική σεισμική τέμνουσα ανά όροφο καθώς και η τιμή σχεδιασμού της σχετικής μετακίνησης του κάθε ορόφου (Πίνακας 5.6 και Σχήμα 5.4). Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης καθώς και οι υπολογισμοί για τον συντελεστή ευαισθησίας  $\theta$  παρουσιάζονται παρακάτω στον Πίνακα 5.7, όπου χρησιμοποιήθηκε εκ νέου η σχέση υπολογισμού (5.1) (τα ισοδύναμα φορτία  $\varphi \cdot V_{Ed}$  λόγω ατελειών απλοποιητικά αγνοούνται και σε αυτή την περίπτωση).

Πίνακας 5.6: Σεισμικές Τέμνουσες ανά Όροφο στη Διεύθυνση X

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ/ΟΡΟΦΟΣ	G (x,y,z) (m)	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kNm)	FX ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	FX ΤΟΙΧΕΙΟ (kN)	FY ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	FY ΤΟΙΧΕΙΟ (kN)
1173/ 1	4,35 8,61 3,66	361,07	0,00	511,90	361,07	-0,00	0,00	0,00
1173/ 2	4,35 11,85 5,81	87,30	0,00	72,84	87,30	0,00	0,00	-0,00
1173/ 3	4,35 11,85 8,66	71,33	0,00	60,81	71,33	-0,00	0,00	0,00



Σχήμα 5.4: Συνολικές μετακινήσεις υπό την δυσμενέστερη σεισμική δράση κατά X

Πίνακας 5.7: Υπολογισμός συντελεστή  $\theta$  κατά τη διεύθυνση X

Όροφος	Ισόγειο	1ος όροφος
Συνολικό κατακόρυφο φορτίο στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού (G+0,3Q) Ptot (kN)	877,24	111,5
Συνολική σεισμική τέμνουσα ορόφου Vtot (kN)	361,07	87,3
Σχετική μετακίνηση ορόφου dr (cm)	1,5	2
Ύψος ορόφου h (cm)	375	375
Συντελεστής $\theta$	<b>0,0097</b>	<b>0,007</b>

Όπως παρατηρείται και σε αυτή την περίπτωση ο συντελεστής  $\theta < 0,1$  σε κάθε όροφο, οπότε τα φαινόμενα 2ης τάξης μπορούν να αγνοηθούν και δεν απαιτείται προσαύξηση των σεισμικών συνδυασμών. Τελικά οι διατομές όλων των στοιχείων του κτιρίου ελέγχονται με τους αρχικούς σεισμικούς συνδυασμούς της διεύθυνσης X και προέκυψε ότι επαρκούσαν έναντι αυτών. Πολύ συνοπτικά παρουσιάζεται η επάρκεια των δυσμενέστερων διατομών των πλαισίων ροπήs κατά X στον παρακάτω Πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.8: Συνοπτικοί έλεγχοι για σεισμό κατά X

ΜΕΛΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	Lay	Laz	ΛΟΓΟΣ	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 1 1</b>						
11 11	OK HEB 260	S275	47.34	39.87	0.45	1176 G+0.3Q+Ex+0,3Ey
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 2 2</b>						
7 7	OK HEB 200	S275	58.52	51.82	0.74	1176 G+0.3Q+Ex+0,3Ey
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 3 3</b>						
1 1	OK HEB 240	S275	44.27	43.15	0.53	1176 G+0.3Q+Ex+0,3Ey
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 4 4</b>						
35 35	OK HEB 260	S275	81.24	56.96	0.25	1176 G+0.3Q+Ex+0,3Ey
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 5 5</b>						
39 39	OK HEB 200	S275	83.43	74.03	0.35	1176 G+0.3Q+Ex+0,3Ey
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 6 6</b>						
99 Τεγίδα_99	OK RHSC 90x50x	S275	103.40	165.21	0.13	1176 G+0.3Q+Ex+0,3Ey
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 8 8</b>						
26 Δοκός_26	OK HEA 100	S275	79.65	128.67	0.02	1176 G+0.3Q+Ex+0,3Ey
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 9 9</b>						
130 χιαστί130	OK RHSC 100x50	S275	72.07	125.02	0.38	1176 G+0.3Q+Ex+0,3Ey
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 10 10</b>						
118 Δοκός_118	OK SHSC 40x40x	S275	191.72	191.72	0.46	1176 G+0.3Q+Ex+0,3Ey
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 11 11</b>						
69 ΔΟΚΟΣ_69	OK IPE 300	S275	0.80	147.08	0.39	1176 G+0.3Q+Ex+0,3Ey
<b>ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 12 2</b>						
30 Δοκός_30	OK HEA 300	S275	17.07	116.18	0.55	1176 G+0.3Q+Ex+0,3Ey

### 5.3.2 Περιορισμός Βλαβών

Επαναλαμβάνεται η διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο (5.2.3) όσον αφορά την απαίτηση για τον περιορισμό των βλαβών για κάθε όροφο της κατασκευής, μέσω της σχέσης (5.2). Με βάση τις τιμές των σχετικών μετακινήσεων και του ύψους των ορόφων του Πίνακα 5.9 προκύπτει:

Πίνακας 5.9: Έλεγχοι για περιορισμό βλαβών

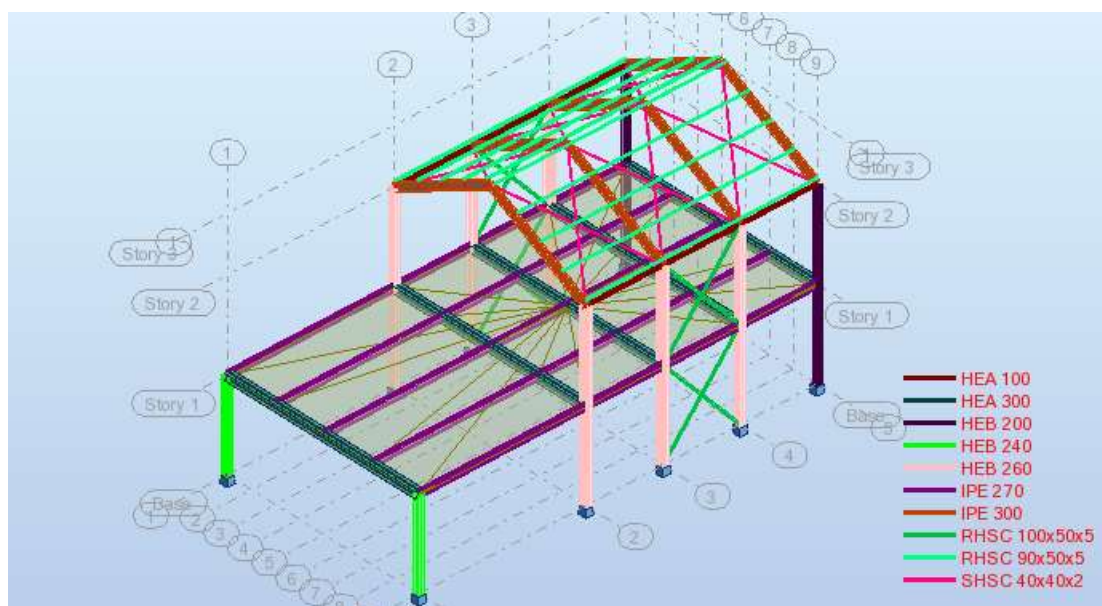
όροφος	dr(cm)	dr*v (cm)	0,0075*h(cm)	έλεγχος
ισόγειο	1,5	0,75	2,8125	OK
1ος	2	1	2,8125	OK

Επομένως οι έλεγχοι για τον περιορισμό των βλαβών ικανοποιούνται και στη διεύθυνση X, σε όλους τους ορόφους του κτιρίου.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως μέσω των τιμών των σχετικών μετακινήσεων των ορόφων γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι η κατασκευή είναι πιο εύκαμπτη με μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων για σεισμό κατά X (πλαίσια ροπήs) σε σχέση με διεύθυνση σεισμού Y (πλαίσια με χιαστί συνδέσμους) όπου σημαντικό μέρος της σεισμικής δύναμης αναλαμβάνεται από τους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας.

### 5.3.6 Συμπεράσματα

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι το φαινόμενο του σεισμού επηρεάζει μόνο τη διαστασιολόγηση των χιαστί συνδέσμων δυσκαμψίας του ισογείου και του ορόφου, καθώς μόνο σε αυτά τα μέλη προέκυψε ως η δυσμενέστερη δράση. Η διατομή τους τροποποιήθηκε κατάλληλα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, προκειμένου να ικανοποιεί τους απαιτούμενους ελέγχους υπό το δυσμενέστερο σεισμικό συνδυασμό. Έτσι, στο Σχήμα 5.5 φαίνονται οι τελικές διατομές όλων των μελών της κατασκευής όπως προέκυψαν από τη ανάλυση του κτιρίου.



Σχήμα 5.5: Τελικές Διατομές Κτιρίου Κατοικίας

## 6. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η ενεργειακή ανάλυση της σχεδιαζόμενης Κατοικίας, μέσω του λογισμικού Revit της Autodesk. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται μέσω διαγραμμάτων τα αποτελέσματα της ενεργειακής συμπεριφοράς της κατασκευής, η επίδραση διαφορετικών συστημάτων ψύξης-θέρμανσης-εξαερισμού-παραγωγής ZNX (HVAC) και συστημάτων φωτισμού, καθώς και τα οφέλη από την πιθανή τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στοιχείων. Τέλος, παρατίθενται εναλλακτικές προτάσεις και στρατηγικές που δύναται να εφαρμοστούν στη κατασκευή για ακόμα καλύτερη ενεργειακή απόδοση.

### 6.1 Λογισμικά Ενεργειακής Προσομοίωσης & Επιλογή Προγραμμάτων

Υπάρχουν διαθέσιμα αρκετά λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης ενός κτιρίου που καθιστούν δυνατή τη γνώση των βέλτιστων πρακτικών και επεμβάσεων πάνω σ' αυτό ώστε να είναι περισσότερο αποδοτικό ενεργειακά. Μεταξύ αυτών είναι το Energy plus, το DOE-2, το eQUEST, το EcoDesigner, το Green Building Studio (GBS), το Revit της Autodesk, το TRNSYS, το IES VE, το Ecotect, το Design Builder, το Energy10 και άλλα.

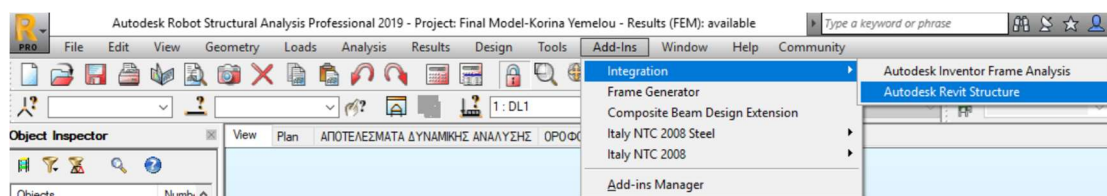
Στην παρούσα εργασία για την πραγματοποίηση της ενεργειακής προσομοίωσης επιλέχθηκε η χρήση του λογισμικού Autodesk Revit 2019, που μέσω της πλατφόρμας Insight 360 εκτελεί την ενεργειακή ανάλυση κτιρίων και δίνει αποτελέσματα ως προς την ενεργειακό αποτύπωμα της κατασκευής. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτέλεσε η δυνατότητα αμφίδρομης σύνδεσης μεταξύ του λογισμικού Revit 2019 με το αντίστοιχο της Autodesk Robot Structural Analysis 2019 που χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό της κατασκευής διότι επιτρέπει την ομαλή δημιουργία ροής εργασιών, διευκολύνοντας στη μείωση χρόνου που απαιτείται για τη δημιουργία και την ενημέρωση μοντέλων πολλαπλών αναλύσεων. Το Insight είναι μια υπηρεσία που διατίθεται online για τις εκδόσεις Revit 2016 και μεταγενέστερες και ενσωματώνεται της Γραμμή Εργαλείων του Revit δίνοντας έτσι τη δυνατότητα ενεργειακής ανάλυσης του τρισδιάστατου μοντέλου, ανάλυσης των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, των φορτίων φωτισμού, αλλά και της ηλιακής ανάλυσης μέσω του Energy Plus και των υπηρεσιών cloud. Η πλατφόρμα βασίζεται στους στόχους που έχει θέσει η Αμερικάνικη Ένωση Αρχιτεκτόνων για το 2030 (AIA 2030) μέσω ενός πλαισίου για τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα στα Κτίρια και τη επίτευξη μηδενικά ανθρακούχων κτιρίων έως το διάστημα αυτό. Το αποτέλεσμα για την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας που προκύπτει (Energy Use Intensity-EUI) βασίζεται στη νομοθεσία των ΗΠΑ «ASHRAE 90.1 & Architecture 2030», οπότε είναι λογικό να υπάρχουν αποκλίσεις από αντίστοιχα αποτελέσματα που θα εφάρμοζαν ακριβώς τις απαιτήσεις του Ελληνικού Κανονισμού Κ.Εν.Α.Κ.

Τέλος ένα σημαντικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης πλατφόρμας αποτελεί η δυνατότητα σε πραγματικό χρόνο, μέσω εργαλείων προβολής να αλλάζουν οι πληροφορίες του κτιρίου, οπότε και να εξετάζονται διαφορετικά σενάρια με σκοπό τη μείωση του δείκτη EUI. Στη παρούσα εργασία αφού ορίστηκε το Κτίριο Αναφοράς πραγματοποιήθηκε σύγκρισή του με διάφορα σενάρια και επιλέχθηκε το βέλτιστο που να προσαρμόζεται όσο γίνεται στα ελληνικά δεδομένα.

## 6.2 Ενεργειακή Προσομοίωση κτιρίου στο Revit

### 6.2.1 Γενικά

Αφότου ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός της Κατοικίας στο λογισμικό Robot 2019 της Autodesk, επιλέγεται από το “Menu Bar” η εντολή *Adds-Ins* και μέσω της επιλογής *Integration*→ *Autodesk Robot Structure* εξάγεται ολόκληρο το μοντέλο στο λογισμικό Revit 2019 (Σχήμα 6.2.).



Σχήμα 6.2: Διαδικασία αποστολής μοντέλου από το Robot 2019 στο Revit 2019

Μετά την ολοκλήρωση της εξαγωγής του μοντέλου, ακολουθεί η διαδικασία εισαγωγής στο λογισμικό Revit των υπολοίπων στοιχείων που απαιτούνται, για την ενεργειακή προσομοίωση, δηλαδή των πλακών των ορόφων και οροφής αλλά και των τοίχοι πληρώσεων με τα ανοίγματα.

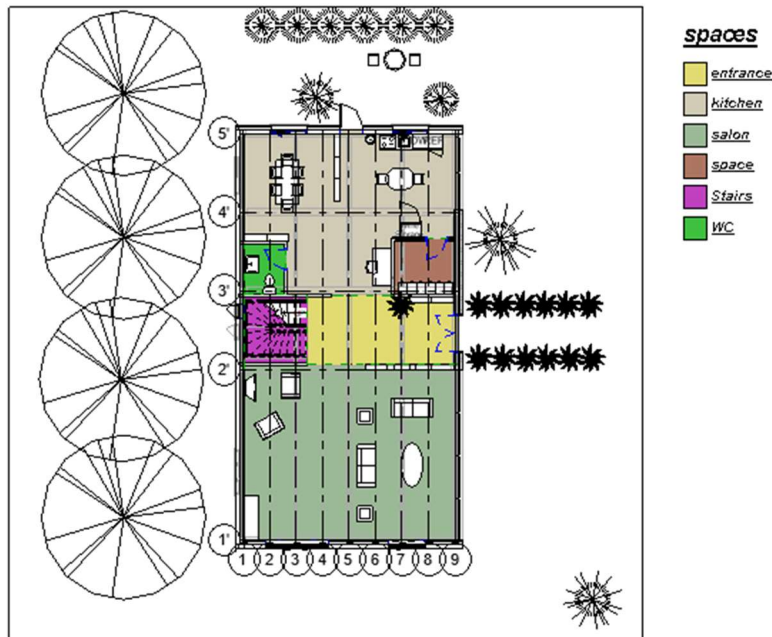
Το λογισμικό Revit της Autodesk, λόγω της σχεδίασης και παραμετροποίησης του στην Αμερική, βασίζεται στα πρότυπα “ASHRAE”, που σημαίνει ότι χρησιμοποιείται μια εκτενή βάση δεδομένων με «έξυπνες» προεπιλογές που λαμβάνονται από εκεί. Για το συγκεκριμένο λόγο έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν υλικά αυτής της βάσης δεδομένων που να συμβαδίζουν, όσο γίνεται, με τις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. για θερμομόνωση, αλλά δεν αποτελούν τις ακριβείς σχεδιαστικές παραμέτρους. Αντίστοιχα συμβαίνει και για τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, που τα διάφορα σενάρια επιλογής βασίζονται σε επιλογές της πλατφόρμας από το πρότυπο. Πάνω σε αυτή την κατεύθυνση, αφού ελέγχθηκαν οι διαθέσιμες επιλογές και αποφασίστηκε το καλύτερο σενάριο, προτάθηκαν διάφορες εναλλακτικές με βάση τα ελληνικά δεδομένα και συστήματα.

### 6.2.2 Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός Κτιρίου στο λογισμικό Revit

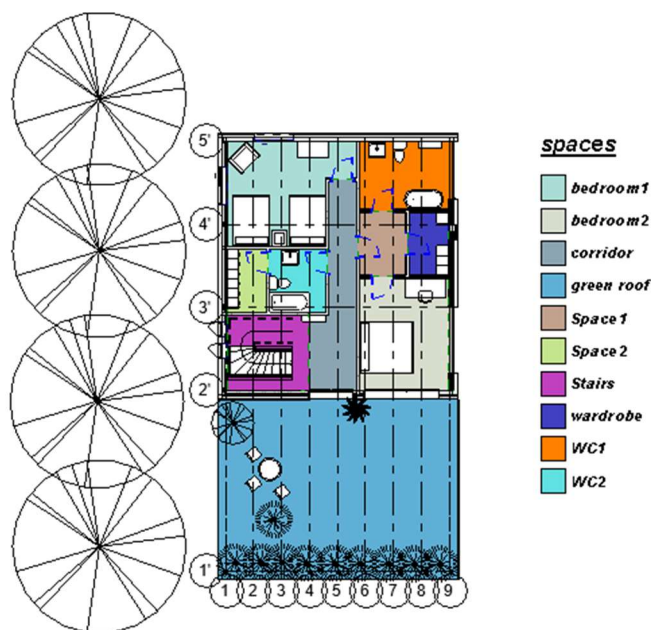
Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν δομικά υλικά από τη βιβλιοθήκη του λογισμικού και σχεδιάστηκε το κτίριο με τους εσωτερικούς του χώρους. Εκ νέου αναφέρεται πως δεν ενδιαφέρει η σύνθεση των υλικών καθώς επιλέγεται συγκεκριμένη σύνθεση για κάθε κατηγορία δομικού στοιχείου από τις ρυθμίσεις ενεργειακής ανάλυσης στη συνέχεια. Σε ότι αφορά την εσωτερική αρχιτεκτονική (Σχήματα 6.3-6.4):

- Στη βόρεια (ψυχρή) πλευρά, τοποθετήθηκαν οι αποθήκες, οι τουαλέτες, η σκάλα και χώροι με μηχανήματα που έχουν μικρές απαιτήσεις φωτισμού και λειτουργούν συνολικά σε ζώνη ανάσχεσης των ψυχρών βόρειων ανέμων. Σε ότι αφορά τα ανοίγματα συστήνεται να είναι μικρά αφού, παρόλο που η ένταση του φωτός είναι σταθερή, δεν υπάρχουν ηλιακά κέρδη για τους εσωτερικούς χώρους και τα βορινά ανοίγματα ευθύνονται επί το πλείστον για τις απώλειες θερμότητας.

- Στη νότια πλευρά τοποθετήθηκαν οι χώροι που απαιτούν το μεγαλύτερο ηλιακό κέρδος και χρησιμοποιούνται περισσότερο, όπως η κουζίνα, το καθιστικό και οι κρεβατοκάμαρα. Στη πλευρά αυτή επιβάλλεται να τοποθετηθούν κατάλληλα συστήματα οριζόντιας σκίασης ώστε να εμποδίζεται, ειδικά το καλοκαίρι, η απευθείας ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό.
- Στην ανατολική και δυτική πλευρά προτιμώνται μέτριου μεγέθους ανοίγματα γιατί ο ηλιασμός των εσωτερικών χώρων σε αυτές τις διευθύνσεις είναι ολιγόωρος. Επειδή συνδράμουν σημαντικά στα φορτία ψύξης, τα ανοίγματα στα ανατολικά και κυρίως αυτά στη δύση πρέπει να σκιάζονται κατάλληλα και κυρίως με κατακόρυφα συστήματα σκίασης.



Σχήμα 6.3: Κάτοψη εσωτερικής διαρρύθμισης ισογείου, Level 1

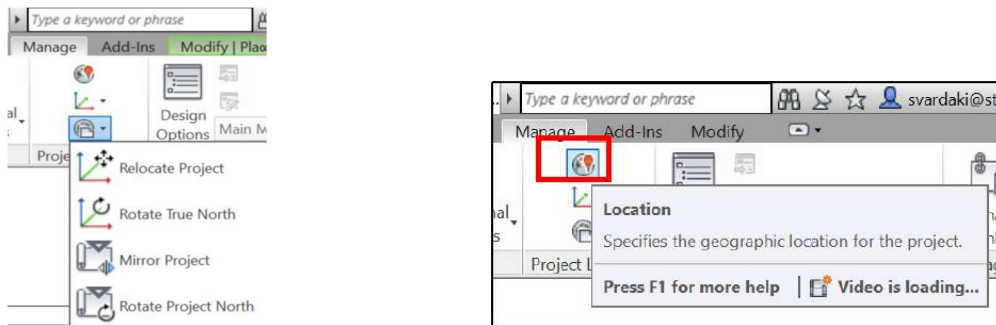


Σχήμα 6.4: Κάτοψη εσωτερικής διαρρύθμισης 1ου ορόφου, Level 2

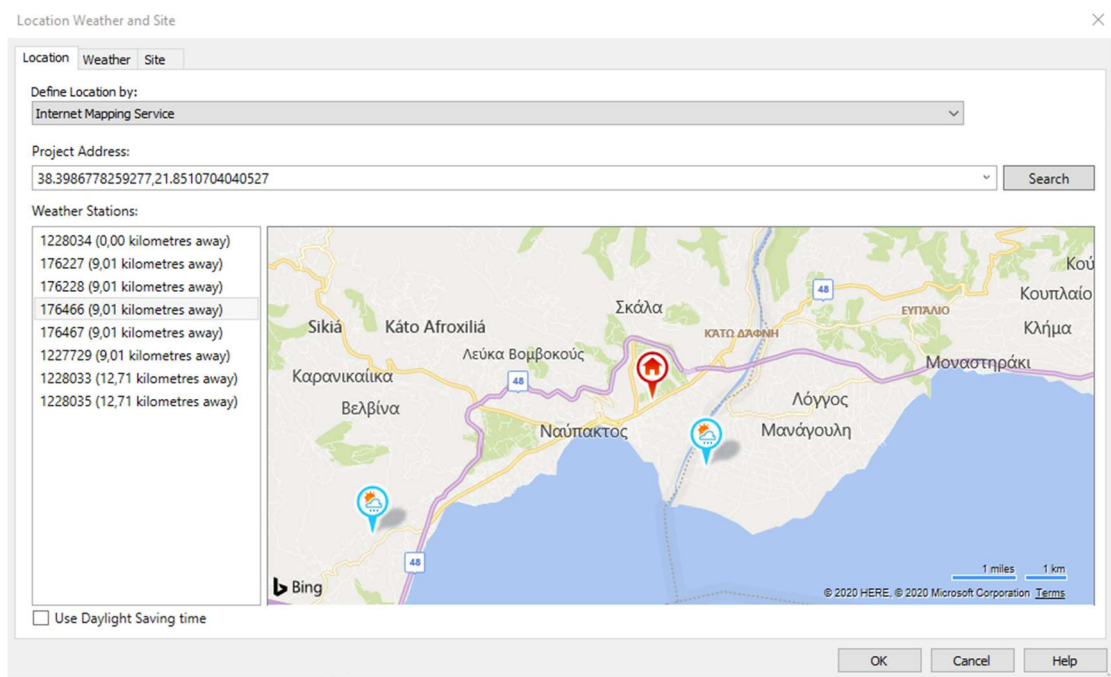
### 6.2.3 Καθορισμός Προσανατολισμού Κτιρίου-Γεωγραφικής Τοποθεσίας

Αρχικά καθορίστηκε ο προσανατολισμός του κτιρίου περιστρέφοντας την κάτοψη του και αλλάζοντας τον προσανατολισμό της, ώστε τόσο ο βορράς σχεδίασης (Project North), όσο και ο πραγματικός βορράς (True North) να είναι προς τα πάνω στην περιοχή σχεδίασης. Από την καρτέλα Διαχείριση (Manage), επιλέγεται θέση «position» και στην πτυσσόμενη λίστα επιλέγεται «περιστροφή πραγματικού βορρά» (Rotate True North-Σχήμα 6.5). Με αυτή την επιλογή καθορίζεται γραφικά η τελική θέση του πραγματικού Βορρά του Κτιρίου που είναι με μια μικρή κλίση προς τα δυτικά, όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 3.1.1. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι επιλέχθηκε κλίση του Βορρά 28° προς την Ανατολή.

Μέσω της ίδιας καρτέλας καθορίζεται και η γεωγραφική τοποθεσία, απ' την οποία εξαρτώνται τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής και επιδρούν σημαντικά στις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης ενός κτιρίου. Στην παρούσα εργασία όπως έχει αναφερθεί, επιλέχθηκε η γεωγραφική θέση του Λυγιά Ναυπάκτου, η διεύθυνση του οικοπέδου επιλέχθηκε μέσω του Google Maps (Σχήμα 6.6), ενώ για το κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής προέκυψαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στο Σχήμα 6.7.

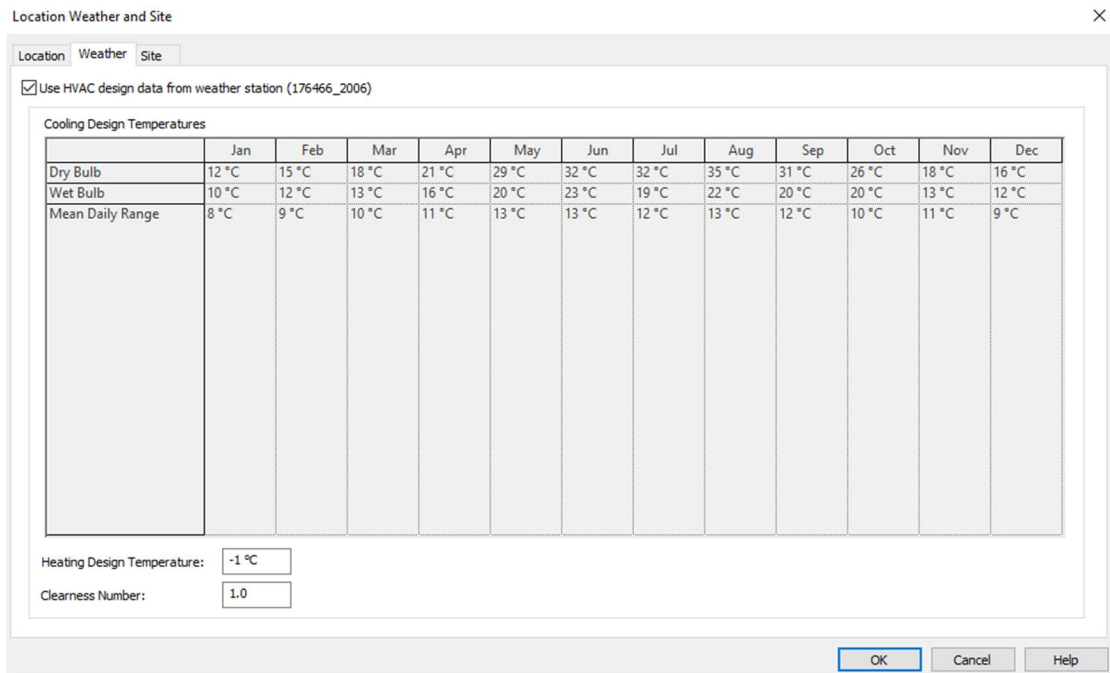


Σχήμα 6.5: Εργαλείο για επιλογή πραγματικού προσανατολισμού και επιλογή τοποθεσίας έργου



Σχήμα 6.6: Παράθυρο για επιλογή τοποθεσίας και μετεωρολογικού σταθμού

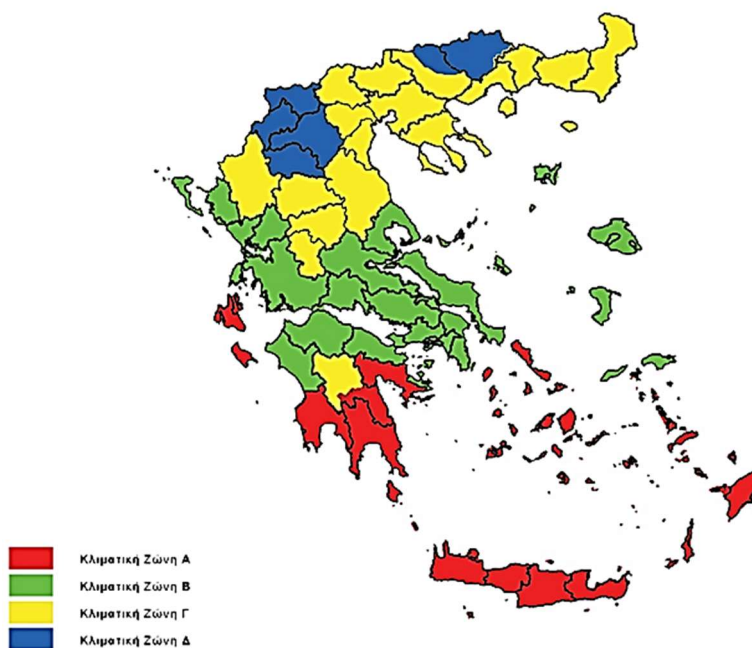




Σχήμα 6.7: Θερμοκρασίες σχεδιασμού για θέρμανση και ψύξη της επιλεγμένης τοποθεσίας

## 6.2.4 Καθορισμός Ενεργειακών Παραμέτρων

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης (Σχήμα 6.8). Στη παρούσα εργασία το οικόπεδο βρίσκεται στην Αιτωλοακαρνανία, οπότε εντάσσεται στην *Κλιματική Ζώνη Β*.



Σχήμα 6.8 Κλιματικές Ζώνες Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ

Για αυτή τη ζώνη ορίζονται μέσω του Κ.Εν.Α.Κ. οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του Συντελεστή Θερμοπερατότητας των Δομικών Στοιχείων (U-Value). Τελικά θα επιλεγούν από τη βιβλιοθήκη του λογισμικού Revit υλικά που θα συμβαδίζουν με τις προδιαγραφές του Ελληνικού Κανονισμού ώστε να ανταποκρίνονται τα δομικά στοιχεία όσο γίνεται καλύτερα στα ελληνικά δεδομένα.

Από την καρτέλα Analyze, επιλέχθηκαν οι ενεργειακές ρυθμίσεις και εν συνεχεία η επιλογή Material Thermal Properties. Για κάθε κατηγορία δομικού στοιχείου επιλέχθηκε υλικό της βάσης που να προσαρμόζεται στις ελληνικές απαιτήσεις Συντελεστή Θερμοπερατότητας, Σχήμα 6.9. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.10. όλα τα υλικά βρίσκονται εντός των ορίων για μέγιστο συντελεστή U-Value στην Κλιματική Ζώνη Β, κατά Κ.Εν.Α.Κ..

Όσον αφορά την οροφή του κτιρίου που στο λογισμικό Robot είχε σχεδιαστεί με την παραδοχή ότι θα είναι φυτεμένο δώμα, εδώ προσομοιώθηκε ως απλή πλάκα οροφής, καθώς δεν υπήρχε η αντίστοιχη επιλογή.

Category	Override	Analytic Construction
Roofs	<input checked="" type="checkbox"/>	Membrane, sheathing, R-15 insulation board, metal deck (U=0.3230 W/(m <sup>2</sup> ·K))
Exterior Walls	<input checked="" type="checkbox"/>	Lightweight curtain wall (U=0.4522 W/(m <sup>2</sup> ·K))
Interior Walls	<input checked="" type="checkbox"/>	Siding, R-10 insulation, interior finish (U=0.4372 W/(m <sup>2</sup> ·K))
Ceilings	<input type="checkbox"/>	8 in lightweight concrete ceiling (U=1.3610 W/(m <sup>2</sup> ·K))
Floors	<input checked="" type="checkbox"/>	Vinyl, screed, concrete, 2 in insulation, building board (U=0.5000 W/(m <sup>2</sup> ·K))
Slabs	<input type="checkbox"/>	Un-insulated solid (U=0.7059 W/(m <sup>2</sup> ·K))
Doors	<input checked="" type="checkbox"/>	French door, wood frame with double glass (U=2.9639 W/(m <sup>2</sup> ·K))
Exterior Windows	<input checked="" type="checkbox"/>	Double glazing - 1/8 in thick - clear/low-E (e = 0.2) glass (U=1.9873 W/(m <sup>2</sup> ·K), SHGC=0.57)
Interior Windows	<input checked="" type="checkbox"/>	Double glazing - 1/8 in thick - clear/low-E (e = 0.2) glass (U=1.9873 W/(m <sup>2</sup> ·K), SHGC=0.57)
Skylights	<input checked="" type="checkbox"/>	Double glazing - 1/8 in thick - clear/low-E (e = 0.2) glass (U=1.9873 W/(m <sup>2</sup> ·K), SHGC=0.57)

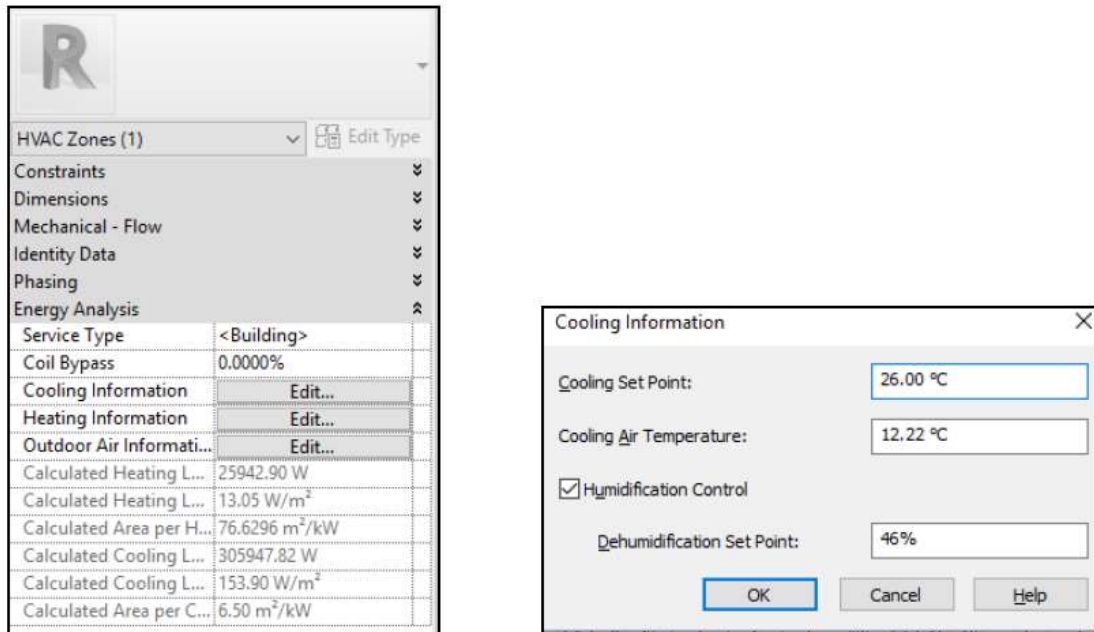
Σχήμα 6.9: Τιμές κατασκευής και συντελεστής θερμοπερατότητας

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m <sup>2</sup> ·K)]			
		ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές)	U <sub>D</sub>	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	U <sub>w</sub>	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (pilotis)	U <sub>DL</sub>	0,50	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους	U <sub>G</sub>	1,20	0,90	0,75	0,70
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους ή με το έδαφος	U <sub>wE</sub>	1,50	1,00	0,80	0,70
Ανοίγματα (παράθυρα, πόρτες μπαλκονιών κτλ)	U <sub>F</sub>	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτιρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες	U <sub>GF</sub>	2,20	2,00	1,80	1,80

Σχήμα 6.10: Μέγιστη τιμή συντελεστή U-Value κατά Κ.Εν.Α.Κ.

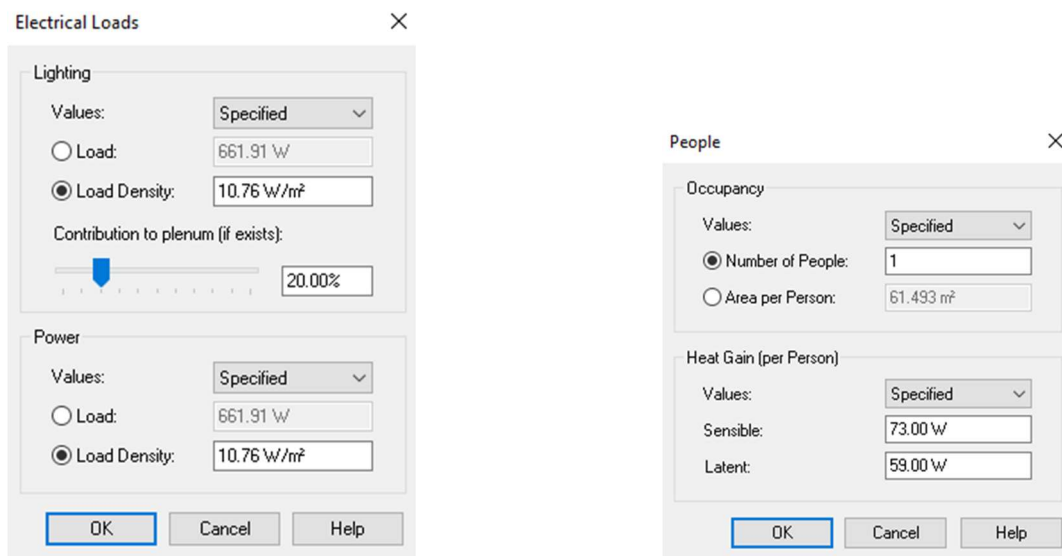
Μέσω της καρτέλας Analyze καθορίζονται επίσης χώροι (spaces), που αποτελούν υποδιαίρεσεις του εσωτερικού του κτιρίου και περικλείονται από δομικά στοιχεία, όπως οι τοίχοι, το πάτωμα και η στέγη. Για κάθε χώρο (space) είναι δυνατόν να οριστούν συνθήκες κλιματισμού (cooled, heated, cooled & heated, naturally vented ή unconditioned). Τέλος γίνεται ορισμός θερμικών ζωνών από την ίδια καρτέλα, δηλαδή επιλογή χώρων (spaces) στους οποίους καθορίζεται ίδια θερμοκρασία για θέρμανση και ψύξη καθώς και ίδια υγρασία και ενοποίηση τους στην ίδια ζώνη.

Στο συγκεκριμένο κτίριο όλοι οι χώροι ισογείου και 1ου ορόφου επιλέχθηκαν Κλιματιζόμενοι & Θερμαινόμενοι (Cooled & Heated) και ενσωματώθηκαν στη Ζώνη 1, εκτός από το φυτεμένο δώμα (Story 2) που επιλέχθηκε να είναι Κλιματιζόμενη μόνο (Cooled) και εντάχθηκε στη Ζώνη 2. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 6.11 για την Ζώνη HVAC 1, τέθηκαν οι επιθυμητές θερμοκρασίες κλιματισμού, αντίστοιχα έγινε και για τη θέρμανση και με βάση τον τύπο του κτιρίου προσεγγίστηκαν τα φορτία θέρμανσης και ψύξης που απαιτούνται.



Σχήμα 6.11: Καθορισμός παραμέτρων ζώνης HVAC 1

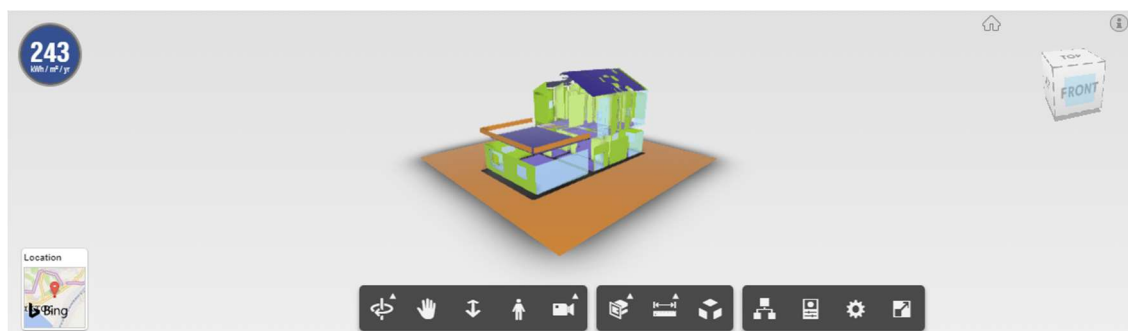
Υπάρχουν ακόμα δυο πεδία που ορίζονται επιπλέον, για κάθε χώρο (Space), αυτά των ηλεκτρικών Φορτίων και του Αριθμού των ανθρώπων που θα βρίσκονται σε αυτό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.12, ενδεικτικά για το Χώρο του ισογείου «Salon».



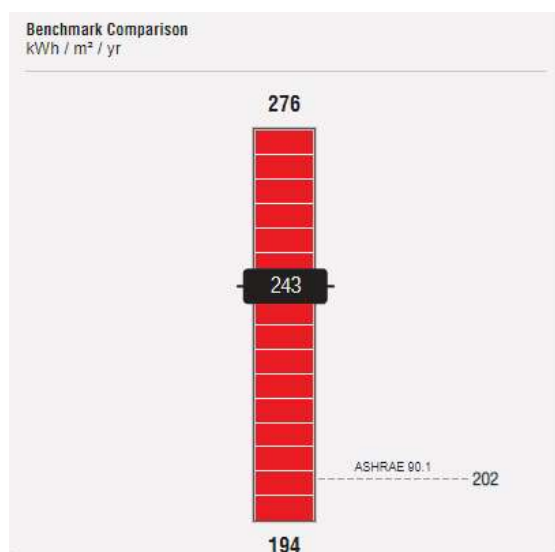
Σχήμα 6.12 Πίνακας ηλεκτρικών φορτίων και πίνακας χωρητικότητας ανθρώπων, χώρος (Space) «Salon»

### 6.3 Ενεργειακή Ανάλυση μέσω της πλατφόρμας Insight 360

Μετά τη σχεδίαση και την παραμετροποίηση του μοντέλου στο Revit, πραγματοποιήθηκε η ενεργειακή του ανάλυση στην πλατφόρμα του Insight και προέκυψε η τρισδιάστατη απεικόνιση που φαίνεται στο Σχήμα 6.13, στην οποία αναγράφεται και ο *Εκτιμώμενος Δείκτης Ενεργειακής Κατανάλωσης (EUI)*: 243 kWh/m<sup>2</sup>/yr (Σχήμα 6.14).



Σχήμα 6.13: Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου και δείκτης EUI (Πηγή: Insight Autodesk)



Σχήμα 6.14: Βαθμονόμηση μοντέλου ως προς ενεργειακή απόδοση με βάση το πρότυπο «ASHRAE 90.1» (Πηγή: Insight, Autodesk)

Για τη δημιουργία του Κτιρίου Αναφοράς (Σενάριο 0), στα διαγράμματα που εμφανίζονται παρακάτω επιλέχθηκαν:

- Οι τιμές που αντιστοιχούν στο τρίγωνο και προέκυψαν από τον τύπο που έχει καθοριστεί ως «Single family home», εκτός της τιμής που αφορά την επιφάνεια τοποθέτησης φωτοβολταϊκών στην οροφή που λήφθηκε αρχικά μηδενική.
- Ως σύστημα κλιματισμού-θέρμανσης είχε επιλεγθεί: Central VAV, HW Heat, Chiller 5.96 COP, Boilers 84.5 eff. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα ολοκληρωμένο σύστημα κεντρικής θέρμανσης-ψύξης-εξαερισμού-παραγωγής ZNX, που χρησιμοποιεί ψυκτική αντλία με απόδοση COP 5.96 (υψηλός δείκτης για τα ελληνικά δεδομένα), λέβητα ζεστού νερού με απόδοση καύσης 84,5% και μονάδα παραγωγής ZNX με συντελεστή αποδοτικότητας 0,575.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν διαφορετικά σενάρια για να επιτευχθεί το βέλτιστο ενεργειακό αποτύπωμα. Τα σενάρια αυτά βασίζονται στις παρακάτω επιλογές, οι οποίες αποτελούν, ουσιαστικά, υλικά με αντίστοιχες ενεργειακές προδιαγραφές και μειώνουν ή αυξάνουν αντίστοιχα την ενεργειακή υπόσταση της κατασκευής.

Ο επόμενος Πίνακας 6.1 αποτελεί το Σενάριο με τις βέλτιστες επεμβάσεις που μπορούν να γίνουν στα επιλεγμένα υλικά και συστήματα ώστε να μειωθεί ο δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης του Κτιρίου.

Πίνακας 6.1: Σενάριο βέλτιστων ενεργειακών επεμβάσεων

<p><b>1) Building Orientation:</b></p> <p>Αφορά τον προσανατολισμό που έχει οριστεί για το κτίριο σύμφωνα με τον πραγματικό Βορρά και θα παραμείνει σταθερός καθώς υπάρχουν περιορισμοί λόγω του σχήματος του οικοπέδου.</p>	<table border="1"> <caption>Building Orientation Data</caption> <thead> <tr> <th>Building Orientation (Degrees)</th> <th>EUI +/- (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>90</td><td>45</td></tr> <tr><td>135</td><td>40</td></tr> <tr><td>45</td><td>25</td></tr> <tr><td>315</td><td>15</td></tr> <tr><td>0</td><td>5</td></tr> <tr><td>BIM</td><td>0</td></tr> <tr><td>270</td><td>10</td></tr> <tr><td>180</td><td>-5</td></tr> <tr><td>225</td><td>-15</td></tr> </tbody> </table>	Building Orientation (Degrees)	EUI +/- (kWh)	90	45	135	40	45	25	315	15	0	5	BIM	0	270	10	180	-5	225	-15
Building Orientation (Degrees)	EUI +/- (kWh)																				
90	45																				
135	40																				
45	25																				
315	15																				
0	5																				
BIM	0																				
270	10																				
180	-5																				
225	-15																				
<p><b>2) WWR–Walls (Southern/Northern/Western/Eastern):</b></p> <p>Αφορά την περιοχή που καλύπτουν οι υαλοπίνακες προς την επιφάνεια καθαρής τοιχοποιίας και επιδρούν σημαντικά στα τελικά φορτία ψύξης -θέρμανσης. Στη Νότια πλευρά τα παράθυρα καλύπτουν το 69% της τοιχοποιίας, στη Βόρεια το 9%, στη Δυτική το 20% και στην Ανατολική το 11%.</p> <p>Ενδεικτικά παρουσιάζεται το διάγραμμα που αντιστοιχεί στη Νότια Πλευρά.</p>	<table border="1"> <caption>WWR - Southern Walls Data</caption> <thead> <tr> <th>WWR - Southern Walls (%)</th> <th>EUI +/- (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>95%</td><td>-35</td></tr> <tr><td>80%</td><td>-35</td></tr> <tr><td>BIM (69%)</td><td>-35</td></tr> <tr><td>65%</td><td>-35</td></tr> <tr><td>50%</td><td>-35</td></tr> <tr><td>40%</td><td>-35</td></tr> <tr><td>30%</td><td>-35</td></tr> <tr><td>15%</td><td>-35</td></tr> <tr><td>0%</td><td>-35</td></tr> </tbody> </table>	WWR - Southern Walls (%)	EUI +/- (kWh)	95%	-35	80%	-35	BIM (69%)	-35	65%	-35	50%	-35	40%	-35	30%	-35	15%	-35	0%	-35
WWR - Southern Walls (%)	EUI +/- (kWh)																				
95%	-35																				
80%	-35																				
BIM (69%)	-35																				
65%	-35																				
50%	-35																				
40%	-35																				
30%	-35																				
15%	-35																				
0%	-35																				

### 3) Window Shades (Southern/Northern/Western/Eastern):

Αφορά την συνολική έκταση από σκιάσεις (περσίδες, οριζόντια σκίαστρα κλπ.) που θα έχει το εκάστοτε άνοιγμα, ώστε να μειώνεται η ανάγκη χρήσης συστημάτων HVAC. Επιλέχθηκε τελικά σκίαση στα 2/3 των ανοιγμάτων που θα προσφέρει εξοικονόμηση:

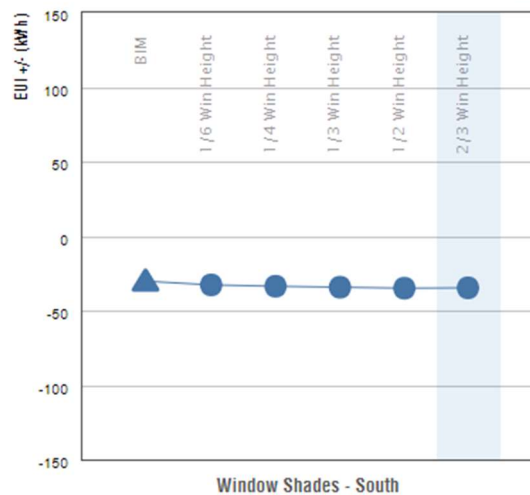
Νότια: 4,42 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

Βόρεια: 0,31 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

Ανατολικά: 1,27 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

Δυτικά: 1,9 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

Window Shades - South



### 4) Window Glass (Southern/Northern/Western/Eastern):

Αφορά τις ιδιότητες των υαλοπινάκων με σκοπό τη μείωση της διείσδυσης φωτός, θερμότητας και των αντίστοιχων αναγκών τους. Κατά το σχεδιασμό είχε ήδη επιλεγθεί Διπλός Υαλοπίνακας Low-e με διάκενο και επιστρώσεις ειδικές για προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία), ο οποίος μεταβλήθηκε στον αντίστοιχο Τριπλός Low-e που θα προσφέρει εξοικονόμηση:

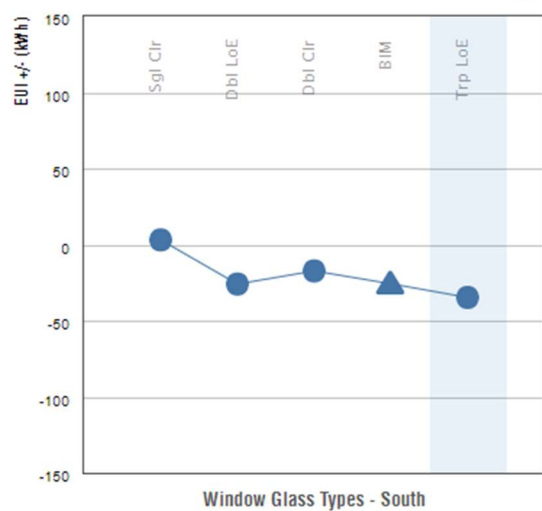
Νότια: 8,97 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

Βόρεια: 0,77 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

Ανατολικά: 2,87 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

Δυτικά: 1,61 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

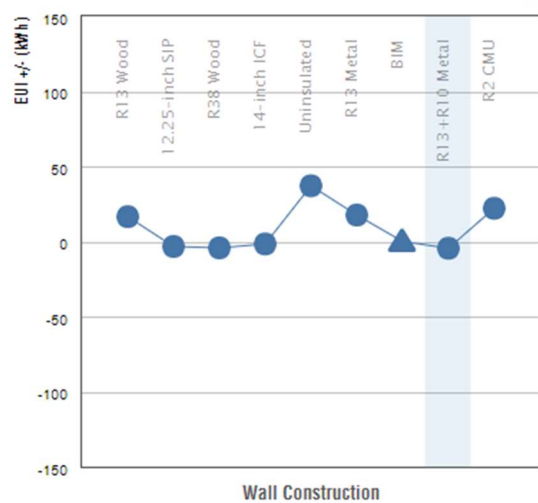
Window Glass - South



### 5) Wall Construction:

Αφορά την ικανότητα της συνολικής τοιχοποιίας στην αντίσταση θερμικών και ψυκτικών απωλειών. Από τις διαθέσιμες επιλογές της βάσης είχε επιλεγθεί μονωμένη τοιχοποιία από γυψοσανίδα με συντελεστή θερμοπερατότητας U-value=0,43 W/m<sup>2</sup>\*k και το οποίο μεταβλήθηκε σε R13+R10 Metal που θα προσφέρει εξοικονόμηση: 4,54 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

Wall Construction

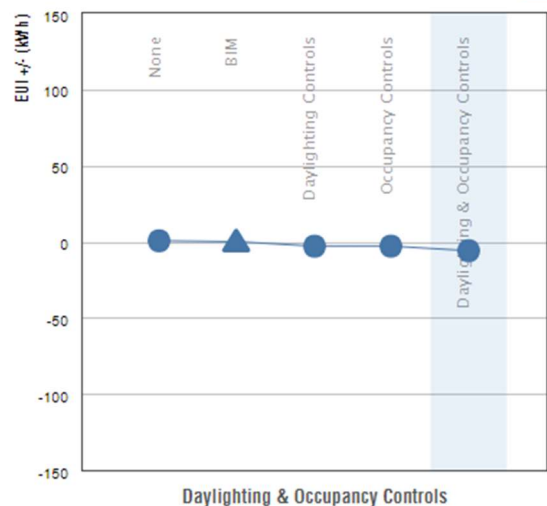


<p><b>6) Roof Construction:</b></p> <p>Αφορά την ικανότητα της οροφής στην αντίσταση θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Από τις διαθέσιμες επιλογές της βάσης είχε επιλεγθεί μονωμένη (με υλικό τύπου R15) οροφή με συντελεστή θερμοπερατότητας U-value=0,32 W/m<sup>2</sup>*k και το οποίο όμως μεταβλήθηκε σε 10,25-inch SIP με το οποίο εξοικονομούνται 8,74 kWh/m<sup>2</sup>/yr.</p>	<p><b>Roof Construction</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Roof Construction</th> <th>EUl +/- (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Uninsulated</td> <td>~125</td> </tr> <tr> <td>R19</td> <td>~10</td> </tr> <tr> <td>R10</td> <td>~5</td> </tr> <tr> <td>BIM</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>R38</td> <td>~-5</td> </tr> <tr> <td>R15</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>R60</td> <td>~-5</td> </tr> <tr> <td>10.25-inch SIP</td> <td>~-10</td> </tr> </tbody> </table>	Roof Construction	EUl +/- (kWh)	Uninsulated	~125	R19	~10	R10	~5	BIM	~0	R38	~-5	R15	~0	R60	~-5	10.25-inch SIP	~-10
Roof Construction	EUl +/- (kWh)																		
Uninsulated	~125																		
R19	~10																		
R10	~5																		
BIM	~0																		
R38	~-5																		
R15	~0																		
R60	~-5																		
10.25-inch SIP	~-10																		
<p><b>7) Infiltration:</b></p> <p>Αφορά τη διείσδυση αέρα λόγω ακούσιων διαρροών του κτιρίου. Εξαρτάται σαν τιμή από τα συστήματα κουφωμάτων που υπάρχουν στο κτίριο, οπότε όσο καλύτερη απόδοση έχουν τα τελευταία, τόσο μικρότερος είναι και αυτός ο δείκτης. Υπερβολικά μεγάλη μείωση αυτού του δείκτη (&lt;0,35 ACH) απαιτεί μεγαλύτερες απαιτήσεις μηχανικού εξαερισμού, οπότε αποφασίστηκε αντικατάσταση κουφωμάτων που επιφέρουν μείωση της διείσδυσης αέρα και εξοικονόμηση 2,96 kWh/m<sup>2</sup>/yr.</p>	<p><b>Infiltration</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Infiltration (ACH)</th> <th>EUl +/- (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.0 ACH</td> <td>~65</td> </tr> <tr> <td>1.6 ACH</td> <td>~45</td> </tr> <tr> <td>1.2 ACH</td> <td>~30</td> </tr> <tr> <td>0.8 ACH</td> <td>~15</td> </tr> <tr> <td>BIM</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>0.4 ACH</td> <td>~-5</td> </tr> <tr> <td>0.17 ACH</td> <td>~-10</td> </tr> </tbody> </table>	Infiltration (ACH)	EUl +/- (kWh)	2.0 ACH	~65	1.6 ACH	~45	1.2 ACH	~30	0.8 ACH	~15	BIM	~0	0.4 ACH	~-5	0.17 ACH	~-10		
Infiltration (ACH)	EUl +/- (kWh)																		
2.0 ACH	~65																		
1.6 ACH	~45																		
1.2 ACH	~30																		
0.8 ACH	~15																		
BIM	~0																		
0.4 ACH	~-5																		
0.17 ACH	~-10																		
<p><b>8) Lighting Efficiency:</b></p> <p>Επιλεγόμενη Ισχύς: 3,23 W/m<sup>2</sup></p> <p>Αφορά την κατανάλωση ενέργειας από ηλεκτρικό φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας και με την κατάλληλη επιλογή δύναται να μειωθούν τα εσωτερικά θερμικά κέρδη. Αντικαθιστώντας τα παλαιά συστήματα με νέες τεχνολογίες φωτισμού (τύπου LED) και συνολικής ισχύος στα 2/3 της πραγματικής που καταναλώνει το κτίριο, επιτυγχάνεται μείωση ενεργειακών καταναλώσεων 11,54 kWh/m<sup>2</sup>/yr.</p>	<p><b>Lighting Efficiency</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lighting Efficiency (W/m<sup>2</sup>)</th> <th>EUl +/- (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20.45 W/m<sup>2</sup></td> <td>~55</td> </tr> <tr> <td>16.15 W/m<sup>2</sup></td> <td>~35</td> </tr> <tr> <td>11.84 W/m<sup>2</sup></td> <td>~20</td> </tr> <tr> <td>7.53 W/m<sup>2</sup></td> <td>~5</td> </tr> <tr> <td>BIM</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>3.23 W/m<sup>2</sup></td> <td>~-10</td> </tr> </tbody> </table>	Lighting Efficiency (W/m <sup>2</sup> )	EUl +/- (kWh)	20.45 W/m <sup>2</sup>	~55	16.15 W/m <sup>2</sup>	~35	11.84 W/m <sup>2</sup>	~20	7.53 W/m <sup>2</sup>	~5	BIM	~0	3.23 W/m <sup>2</sup>	~-10				
Lighting Efficiency (W/m <sup>2</sup> )	EUl +/- (kWh)																		
20.45 W/m <sup>2</sup>	~55																		
16.15 W/m <sup>2</sup>	~35																		
11.84 W/m <sup>2</sup>	~20																		
7.53 W/m <sup>2</sup>	~5																		
BIM	~0																		
3.23 W/m <sup>2</sup>	~-10																		

### 9) Daylighting & Occupancy Controls:

Αφορούν συστήματα ανάγνωσης του ημερήσιου φωτός ώστε να εξοικονομείται ενέργεια από τον τεχνητό φωτισμό. Στο Revit είχε γίνει αρχικά αυτόματη επιλογή βάση των προτύπων του, η οποία μεταβλήθηκε και επιλέχθηκε τελικά νέο σύστημα αυτοματισμών και ελέγχων, στα συστήματα φωτισμού, που εξοικονομούν 5,94 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

Daylighting & Occupancy Controls

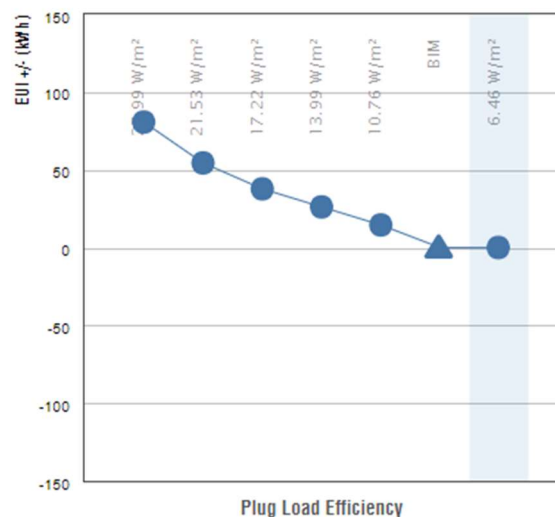


### 10) Plug Load Efficiency:

Επιλεγόμενη Ισχύς : 6,46 W/m<sup>2</sup>

Αφορά την κατανάλωση ενέργειας από ηλεκτρικές συσκευές (π.χ: Η/Υ). Μέσω αντικατάστασης παλαιών ενεργοβόρων συσκευών ή ορθολογικότερης χρήσης των ήδη υπάρχουσών μπορούν να εξοικονομηθούν τελικά 0,08 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

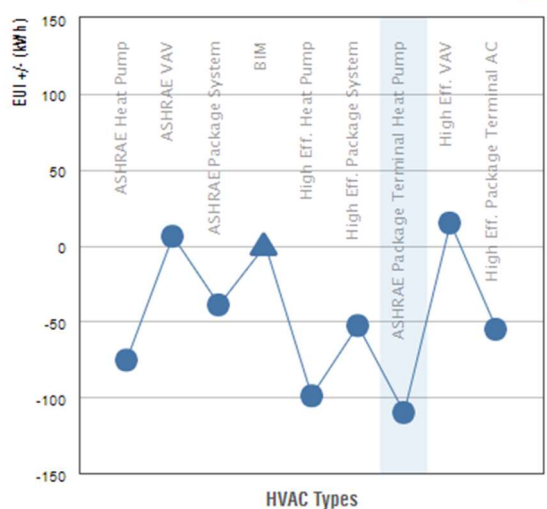
Plug Load Efficiency



### 11) HVAC:

Αφορά τα συστήματα θέρμανσης-ψύξης-αερισμού, τα οποία είναι σύμφωνα με τα αμερικάνικα πρότυπα. Η αντικατάσταση του ήδη επιλεγμένου συστήματος Κεντρικής Θέρμανσης με ένα ολοκληρωμένο σύστημα ASHRAE PACKAGE terminal heat pump (σύστημα επίγειων κλιματιστικών μονάδων με αντλία θερμότητας για καύση φυσικού αερίου κυρίως και συντελεστή εποχικής απόδοσης θέρμανσης) εξοικονομεί τελικά έως και 110,15 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

HVAC





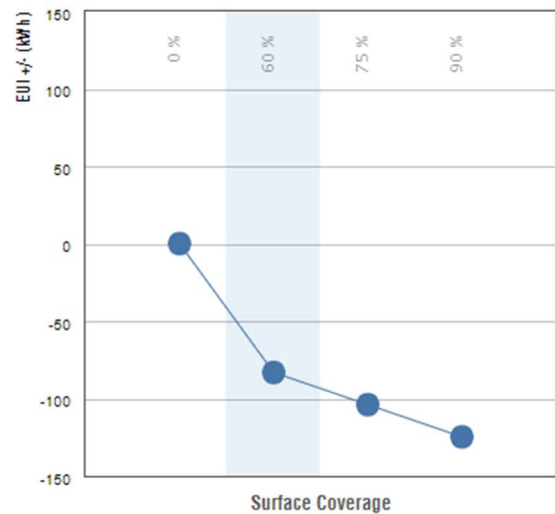
<p><b>12) Operation Schedule:</b></p> <p>24/7 (Κατοικία)</p> <p>Αφορά τις τυπικές ώρες χρήσης του Κτιρίου.</p>	<p><b>Operating Schedule</b></p> <table border="1"> <caption>Operating Schedule Data</caption> <thead> <tr> <th>Operating Schedule</th> <th>EUI +/- (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>24/7</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>BIM</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>12/7</td> <td>-50</td> </tr> <tr> <td>12/6</td> <td>-60</td> </tr> <tr> <td>12/5</td> <td>-75</td> </tr> </tbody> </table>	Operating Schedule	EUI +/- (kWh)	24/7	25	BIM	0	12/7	-50	12/6	-60	12/5	-75
Operating Schedule	EUI +/- (kWh)												
24/7	25												
BIM	0												
12/7	-50												
12/6	-60												
12/5	-75												
<p><b>13) PV - Panel Efficiency:</b></p> <p>Αφορά στην απόδοση των συστημάτων φωτοβολταϊκών, δηλαδή το ποσοστό ηλιακής ενέργειας που δύναται να μετατραπεί σε ηλεκτρική. Όσο αυξάνεται η απόδοσή τους, αυξάνει και το κόστος τους οπότε για συντηρητικούς λόγους πάρθηκε η μέση τιμή του συντελεστή 18,6%, με το οποίο εξοικονομούνται τελικά 83,19 kWh/m<sup>2</sup>/yr.</p>	<p><b>PV - Panel Efficiency</b></p> <table border="1"> <caption>PV - Panel Efficiency Data</caption> <thead> <tr> <th>Panel Efficiency</th> <th>EUI +/- (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16 %</td> <td>-70</td> </tr> <tr> <td>18,6 %</td> <td>-80</td> </tr> <tr> <td>20,4 %</td> <td>-25</td> </tr> </tbody> </table>	Panel Efficiency	EUI +/- (kWh)	16 %	-70	18,6 %	-80	20,4 %	-25				
Panel Efficiency	EUI +/- (kWh)												
16 %	-70												
18,6 %	-80												
20,4 %	-25												
<p><b>14) PV - Payback Limit:</b></p> <p>Αφορά τη χρήση περιόδου αποπληρωμής. Στο Σενάριο αυτό επιλέχθηκε περίοδος 20-30 χρόνια.</p>	<p><b>PV - Payback Limit</b></p> <table border="1"> <caption>PV - Payback Limit Data</caption> <thead> <tr> <th>Payback Limit</th> <th>EUI +/- (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 yr</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>20 yr</td> <td>-40</td> </tr> <tr> <td>30 yr</td> <td>-110</td> </tr> </tbody> </table>	Payback Limit	EUI +/- (kWh)	10 yr	0	20 yr	-40	30 yr	-110				
Payback Limit	EUI +/- (kWh)												
10 yr	0												
20 yr	-40												
30 yr	-110												

### 15) PV Surface Coverage:

Αφορά την συνολική επιφάνεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση των πάνελ. Μπορούν να εξαιρεθούν επιφάνειες με χαμηλό ηλιακό κέρδος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε η παραδοχή ότι θα καλύπτεται το 60% της στέγης, καθώς η στέγη είναι δικλινής και μόνο η μια της πλευρά είναι στραμμένη στο Νότο οπότε είναι και αποδοτική.



PV - Surface Coverage



Ύστερα από τις παραπάνω επεμβάσεις προέκυψε ένα αναβαθμισμένο ενεργειακά μοντέλο, που ονομάστηκε Σενάριο 1. Εφόσον υλοποιηθούν οι προτεινόμενες επεμβάσεις η συνολική ενεργειακή κατανάλωση θα είναι 55,1 kWh/m<sup>2</sup>/yr.

Με σκοπό την επίτευξη ακόμα καλύτερης ενεργειακής απόδοσης, πραγματοποιήθηκε ακόμα ένα σενάριο, όπου αυτή τη φορά ορίστηκε μεγαλύτερο διάστημα απόσβεσης για την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών. Έτσι, για την περίπτωση εφαρμογής συστήματος φωτοβολταϊκών:

- με 60% κάλυψη επιφάνειας (αμετάβλητο)
- 18,6% απόδοση πάνελ (αμετάβλητο)
- 30 χρόνια περίοδο αποπληρωμής,

προέκυψε ενεργειακή κατανάλωση 20,1 kWh/m<sup>2</sup>/yr, δηλαδή σημαντικά μεγαλύτερη μείωση.

## 6.4 Σύγκριση Σεναρίων Ενεργειακής Αναβάθμισης

Μέσω της πλατφόρμας Insight της Autodesk δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας εναλλακτικών σεναρίων για την επίτευξη του βέλτιστου ενεργειακού αποτελέσματος. Στο πλαίσιο αυτό, ύστερα από ανάλυση της Κατοικίας που σχεδιάστηκε, προέκυψαν 2 διαφορετικά σενάρια που φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 6.15. Πιο αναλυτικά:

Σενάριο 0:

- Όπως ορίστηκε ενεργειακά μέσω του Revit της Autodesk, για τύπο κτιρίου «Single family home»
- Σύστημα HVAC: κεντρικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης-εξαερισμού-παραγωγής ZNX (σύμφωνα με τα αμερικάνικα πρότυπα ASHRAE)
- Χωρίς χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ.

Δείκτης EUI: 243 kWh/m<sup>2</sup>/yr

Σενάριο 1:

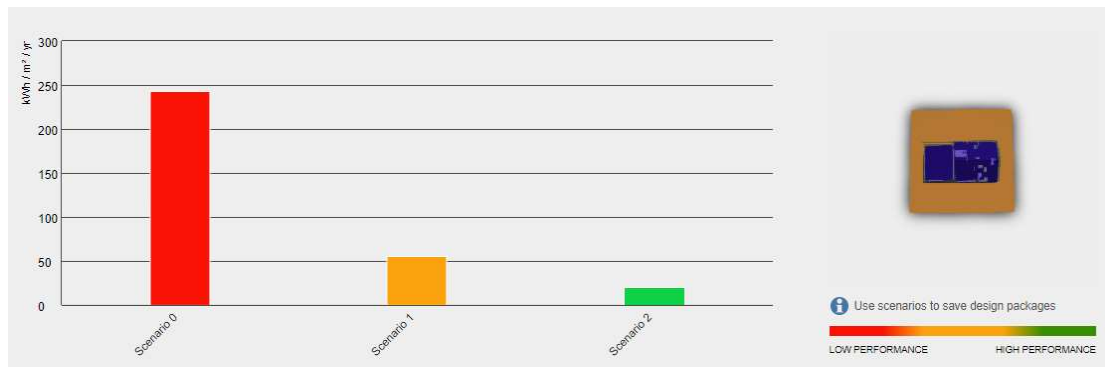
- Επιλογή βέλτιστων ενεργειακών υλικών
- Σύστημα HVAC: ASHRAE PACKAGE terminal heat pump
- Χρήση φωτοβολταϊκών με απόδοση 18,6%, στο 60% της επιφάνειας οροφής και περίοδο απόσβεσης 20-30 χρόνια.

Δείκτης EUI : 50,1 kWh/m<sup>2</sup>/yr

Σενάριο 2:

- Επιλογή βέλτιστων ενεργειακών υλικών
- Σύστημα HVAC: ASHRAE PACKAGE terminal heat pump
- Χρήση φωτοβολταϊκών με απόδοση 18,6%, στο 60% της επιφάνειας οροφής και περίοδο απόσβεσης 30 χρόνια.

Δείκτης EUI : 20,1 kWh/m<sup>2</sup>/yr



Σχήμα 6.15: Σύγκριση πραγματικής κατάστασης κτιρίου με προτεινόμενα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης (Πηγή: Insight, Autodesk)

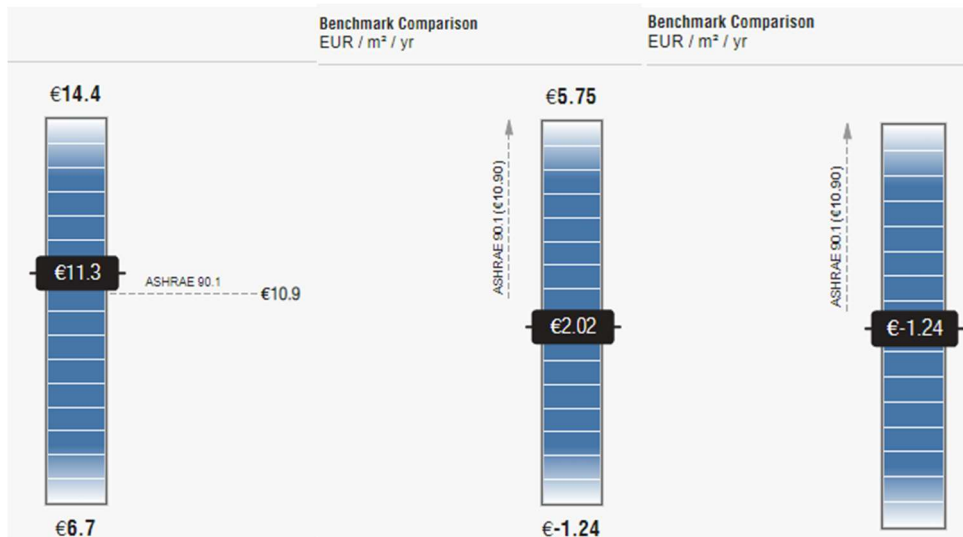
## 6.5 Ενεργειακό Κόστος

Σε ότι αφορά την Κοστολόγηση, η πλατφόρμα δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού, παράλληλα με τον δείκτη EUI, του ενεργειακού κόστους ανά μονάδα επιφάνειας το χρόνο, ορίζοντας σαν παραμέτρους:

- Νομισματική Μονάδα : Ευρώ (€)
- Μέση Τιμή Κιλοβατώρας : 0,093 €/kWh,
- Μέση Τιμή Πετρελαίου : 0,981 €/lit

(Πηγή <http://www.ypeka.gr>)

Τελικά προκύπτουν οι τιμές που φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 6.16:

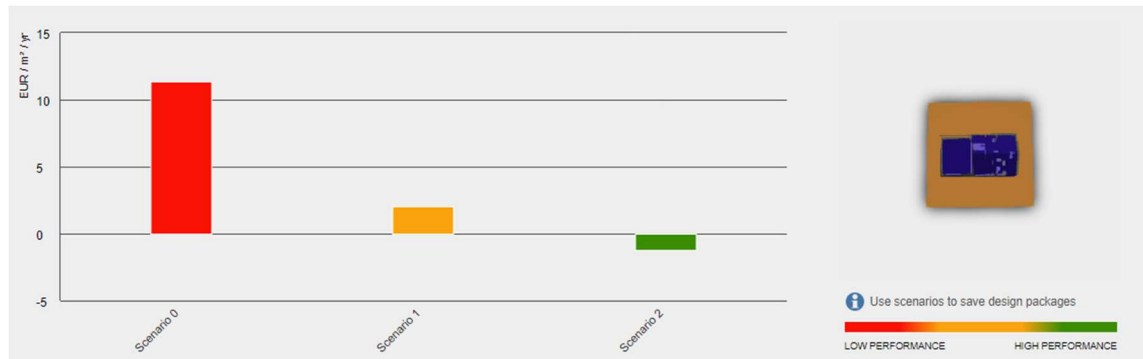


Σχήμα 6.16: Ενεργειακού κόστους ανά μονάδα επιφάνειας το χρόνο

Παρατηρούμε ουσιαστικά ότι με το Σενάριο 2 το Κτίριο έχει μετατραπεί σε σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB) αφού το κόστος του το χρόνο είναι μηδενικό.

Το ετήσιο Ενεργειακό Κόστος τελικά θα είναι:

- Πραγματικό Κτίριο:  $11,3 \text{ €/m}^2/\text{yr} * 404,34\text{m}^2 = 4569,042 \text{ €/yr}$  .
- Σενάριο 1:  $2,02\text{€/m}^2/\text{yr} * 404,34\text{m}^2 = 816,76 \text{ €/yr}$
- Σενάριο 2: Πρακτικά μηδενικό



Σχήμα 6.17: Σύγκριση κόστους πραγματικής κατάστασης κτιρίου με προτεινόμενα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης (Πηγή: Insight, Autodesk)

## 6.6 Συμπεράσματα Ενεργειακής Ανάλυσης

Στην παρούσα εργασία για την πραγματοποίηση της ενεργειακής ανάλυσης της Κατοικίας που σχεδιάστηκε χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία BIM με τη βοήθεια των προγραμμάτων Revit της Autodesk και του Insight 360.

Η ενεργειακή ανάλυση του κτιρίου έδειξε ότι το κτίριο καταναλώνει 243 kWh/m<sup>2</sup>/yr πρωτογενή ενέργεια για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό, με λειτουργικό κόστος 4569,042 €/yr, τιμές που το καθιστούν σημαντικά ενεργοβόρο και μη λειτουργικό. Πραγματοποιώντας τις κατάλληλες προσεγγίσεις, επιλογές υλικών, συστήματος HVAC και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (φωτοβολταϊκά πάνελ αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας) επιτεύχθηκε η μείωση των παραπάνω τιμών, οπότε

για το βέλτιστο ενεργειακά σενάριο προέκυψε ότι η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας θα είναι 20,1 kWh/m<sup>2</sup>/yr, με πρακτικά μηδενικό λειτουργικό κόστος.

Το σημαντικό μεγάλο λειτουργικό κόστος που προκύπτει για το «Πραγματικό Κτίριο» οφείλεται στην παλαιότητα των χρησιμοποιούμενων ηλεκτρικών συσκευών και συσκευών φωτισμού, αλλά και στο γεγονός ότι δε χρησιμοποιείται σύστημα HVAC που να ικανοποιεί σωστά τις ανάγκες του κτιρίου. Αντιθέτως, στις άλλες δύο περιπτώσεις, τα συστήματα είναι τελευταίας τεχνολογίας, μεγάλο μέρος της ενέργειας που απαιτείται παράγεται από τα φωτοβολταϊκά, ενώ τα συστήματα σκίασης εξοικονομούν ενέργεια που θα απαιτούσαν τα συστήματα κλιματισμού σε άλλη περίπτωση.

Συνεπώς μέσω της μεθόδου μπορεί να εξοικονομηθεί το 91,7% πρωτογενούς ενέργειας, με μια σημαντική μείωση του λειτουργικού κόστους του Κτιρίου.

Επισημαίνεται εκ νέου ότι τα δύο λογισμικά βασίζονται στα ενεργειακά πρότυπα «ASHRAE 90.1 & Architecture 2030» και στην Νομοθεσία των Ηνωμένων Πολιτειών και είναι σχεδιασμένα ειδικά για την αμερικάνικη αγορά, οπότε οι ενεργειακές παράμετροι που δόθηκαν κατά την προσομοίωση δεν αντικατοπτρίζουν πλήρως τα πραγματικά δεδομένα με τα οποία σχεδιάστηκε προηγουμένως στο λογισμικό Robot. Έγινε προσπάθεια οι τιμές που ελέγχθησαν να συμφωνούν όσο γίνεται στις πραγματικές παραδοχές και επιπλέον να βρίσκονται εντός των ενεργειακών ορίων που θέτει ο Κ.Εν.Α.Κ. Σε κάθε περίπτωση πάντως, λόγω όλων των παραπάνω, τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι προσεγγιστικά και αποτελούν ένα μετρήσιμο δείκτη σύγκρισης για τις ενεργειακές επεμβάσεις και τα αντίκτυπά τους στην κατασκευή.

Στο Παράρτημα παρουσιάζεται η τελική τρισδιάστατη απεικόνιση της Κατοικίας όπως προέκυψε μέσω του λογισμικού Revit, με το φυτεμένο δώμα και τα φωτοβολταϊκά πάνελ που θα διαθέτει. Στη βόρεια πλευρά της κατοικίας τοποθετήθηκαν φυλλοβόλα δέντρα που βοηθούν στη φυσική σκίαση και την ανάσχεση των ψυχρών βόρειων ανέμων. Όσον αφορά τα συστήματα Σκίασης στο νότο απαιτούνται οριζόντια σκίαστρα, νότια και δυτικά μπορούν να εφαρμοστούν κατακόρυφα συστήματα αλουμινίου, ενώ στο Βορρά δεν απαιτείται σκίαση λόγω μικρού ηλιακού κέρδους στις επιφάνειες του κτιρίου.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την εργασία, αρχικά, έγινε αναφορά στην ιστορία της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και έπειτα στα ενεργειακά δεδομένα που αφορούν την Ε.Ε. και την Ελλάδα. Παρουσιάστηκε η επιτακτική ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα και αναφέρθηκαν οι βασικοί μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια, με στόχο την επίτευξη φιλικότερων προς το περιβάλλον κατασκευών που θα χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Επιλέχθηκε να σχεδιαστεί Κατοικία σε οικόπεδο το οποίο βρίσκεται στο Λυγιά Ναυπάκτου του νομού Αιτωλοακαρνανίας για το οποίο έγιναν οι κατάλληλες παραδοχές ως προς τη γεωμετρία και τα υλικά του και σύμφωνα με αυτές σχεδιάστηκε στο λογισμικό Robot της Autodesk. Από την ανάλυση και διαστασιολόγησή του στο πρόγραμμα προέκυψαν οι διατομές του, οι οποίες επαρκούν έναντι των κρίσιμων συνδυασμών που ασκούνται σε αυτές.

Εν συνεχεία εισάγοντας το μοντέλο στο Revit της Autodesk πραγματοποιήθηκε η τρισδιάστατη απεικόνισή του και η ενεργειακή προσομοίωσή του μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας Insight και δόθηκαν εκτιμήσεις πολλαπλών σεναρίων για τις επεμβάσεις που θα μειώσουν τελικά την ενεργειακή του κατανάλωση. Το αρνητικό αυτής της πλατφόρμας είναι η παραμετροποίηση της στα αμερικάνικα πρότυπα, οπότε η τελική ενεργειακή ανάλυση που έγινε, καθώς και οι επεμβάσεις πάνω σε αυτή, είναι ενδεικτικές αναλύσεις που τα αποτελέσματά τους δεν αποτελούν το πραγματικό ενεργειακό αποτύπωμα του κτιρίου. Βοηθούν, βέβαια, να δοθεί μια κατεύθυνση ως προς την αποδοτικότητα του κτιρίου, αλλά και τους τρόπους με τους οποίους μεταβάλλεται ο ενεργειακός δείκτης με τις εκάστοτε επεμβάσεις.

Σχετικά με τα Ελληνικά Δεδομένα και τους τρόπους με τους οποίους το κτίριο μπορεί να εναρμονιστεί με αυτά, η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνελ στην οροφή, όπως προέκυψε στα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης που έγιναν, αποτελεί μια λύση εφαρμόσιμη και αποδεκτή. Επιπλέον η χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που θα εκμεταλλεύονται τη θερμοκρασία της γης, αποτελεί μια πολύ καλή επιλογή σε συνδυασμό με τα φωτοβολταϊκά και διατίθενται στην ελληνική αγορά πολλές καλές επιλογές αντίστοιχων αντλιών και συστημάτων ολοκληρωμένης θέρμανσης-ψύξης-εξαερισμού-παραγωγής ZNX.

Γενικότερα, σημαντικό ρόλο στην αειφορία του κτιρίου και στην βέλτιστη ενεργειακή λειτουργία του παίζει ο ανθρώπινος παράγοντας, δηλαδή η ενεργειακά αποδοτική συμπεριφορά των χρηστών του. Ιδιαίτερα στις μέρες μας, κρίνεται απαραίτητο ο άνθρωπος να κάνει ορθολογική χρήση και διαχείριση της ενέργειας και οφείλει να βοηθά με τις πράξεις του και την ευσυνειδησία του. Χρειάζεται ευαισθητοποίηση, ενημέρωση, μύηση στην ανακύκλωση και υιοθέτηση συμπεριφορών και νοοτροπιών προς την γενικότερη κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος. Μόνο τότε θα επιτευχθεί η στροφή στα βιοκλιματικά κτίρια και θα αξιοποιηθούν τα πολλαπλά ενεργειακά οφέλη που μπορούν αυτά να προσφέρουν τόσο στο περιβάλλον όσο και στον ίδιο τον άνθρωπο.

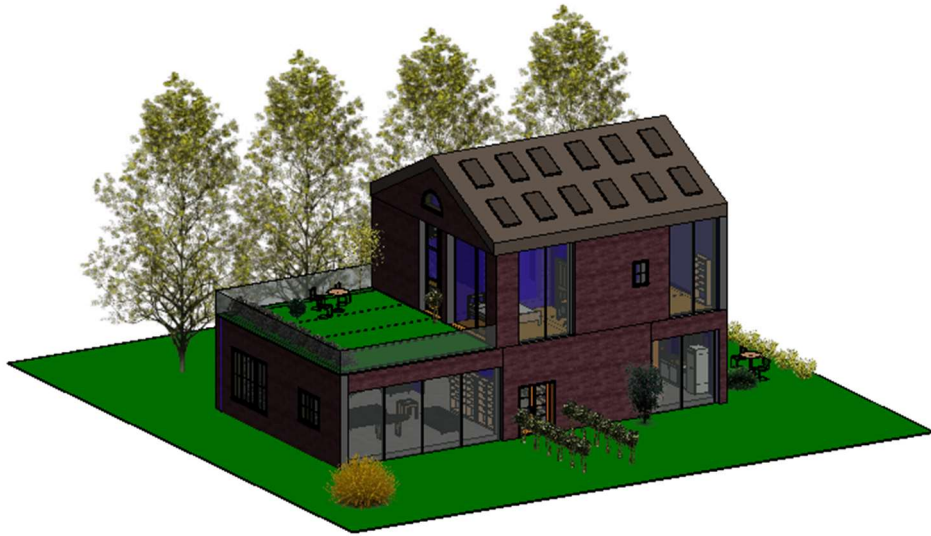
## Βιβλιογραφία

- 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) Εθνικό Τυπογραφείο, Εφημερίδα της κυβερνήσεως, Αρ. Φύλλου 42/ 19 - 2013, “Νόμος υπ' αριθμ. 4122, "Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου”.
- 6) Εθνικό Τυπογραφείο Εφημερίδα της κυβερνήσεως, Αρ. φύλλου 79/9-4-2002, “Νόμος 4067, Νέος Οικοδομικός Κανονισμός”.
- 7) Εθνικό Τυπογραφείο, Εφημερίδα της κυβερνήσεως, Αρ. φύλλου 407/9-4-2010, “Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων”.
- 8) Εθνικό Τυπογραφείο, Εφημερίδα της κυβερνήσεως, Αρ. Φύλλου 3004 /31-12-2015, “Έγκριση έκθεσης μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος”.
- 9) Εθνικό Τυπογραφείο, Εφημερίδα της κυβερνήσεως, Αρ. Φύλλου 4893/31-12-2019, “Κύρωση του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ)”.
- 10) Έλαστρον Α.Ε.Β.Ε. – «Τεχνικό εγχειρίδιο χαλυβδόφυλλου Symdeck 73» ([www.elastron.gr](http://www.elastron.gr)) .
- 11) Κυριακή Γεμέλου «Σχεδιασμός Ενεργειακά Αποδοτικού Κτιρίου Γραφείων», Αθήνα Οκτώβριος 2019.
- 12) Πράσινα Δώματα, «Συστήματα Υποδομής Πράσινων Δωματίων». [Online] Available: <https://www.egreen.gr> .
- 13) ΤΕΕ, “ΤΟΤΕΕ-20701-1-/2010, "Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης”.
- 14) Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος, Στατιστικά αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης κτιρίων. [Online] Available: <http://www.ypeka.gr> .
- 15) EN1990, Eurocode 0: «Basis of structural design», CEN, 2002.
- 16) EN1991-1-1, Eurocode 1: «Actions on structures, Part 1-1: General actions», CEN, 2004.
- 17) EN1991-1-2, Eurocode 1: «Actions on structures, Part 1-3: Fire Loads», CEN, 2004.
- 18) EN1991-1-3, Eurocode 1: «Actions on structures, Part 1-3: Snow loads», CEN, 2004.
- 19) EN1991-1-4, Eurocode 1: «Actions on structures, Part 1-4: Wind actions», CEN, 2004.
- 20) EN1993-1-1, Eurocode 3: «Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings», CEN, 2005.
- 21) EN1994-1-1, Eurocode 4: «Design of composite steel and concrete structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings», CEN, 2004.
- 22) EN1998-1, Eurocode 8: «Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings», CEN, 2004.

- 23) EU Building Stock Observatory - Energy - European Commission (Ener/dg/unit4). [Online] Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/eubuildings>.
- 24) <http://buildinggreen.gr/well-building-standard-to-epomeno-kefalaio-sta-ktiria/>
- 25) <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions/ndc-registry>
- 26) [http://www.oodegr.com/oode/genesis/babel\\_1.htm](http://www.oodegr.com/oode/genesis/babel_1.htm)
- 27) [http://greekworldhistory.blogspot.com/2014/09/blog-post\\_21.html](http://greekworldhistory.blogspot.com/2014/09/blog-post_21.html)
- 28) [https://www.researchgate.net/publication/309266173\\_Bioclimatic\\_Design\\_Approach\\_Integration\\_into\\_Architectural\\_Design\\_a\\_Library\\_Case\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/309266173_Bioclimatic_Design_Approach_Integration_into_Architectural_Design_a_Library_Case_Study)
- 29) [https://www.academia.edu/30256615/The\\_Nature\\_of\\_the\\_Image\\_Olgay\\_and\\_Olgays\\_Architectural-Climatic\\_Diagrams\\_in\\_the\\_1950s](https://www.academia.edu/30256615/The_Nature_of_the_Image_Olgay_and_Olgays_Architectural-Climatic_Diagrams_in_the_1950s)
- 30) [https://www.researchgate.net/publication/253337713\\_Development\\_of\\_bioclimatic\\_chart\\_for\\_passive\\_building\\_design](https://www.researchgate.net/publication/253337713_Development_of_bioclimatic_chart_for_passive_building_design)



## Παράρτημα Α. Όψεις Κατοικίας-Εσωτερικοί Χώροι- Τροχιά Ηλίου



A.1: Νοτιοδυτική τρισδιάστατη όψη κατοικίας



A.2: Νότια όψη κατοικίας



A.3: Ανατολική όψη κατοικίας



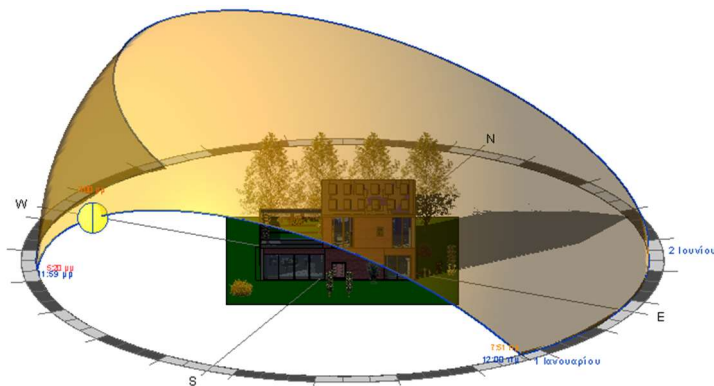
A.4: Εσωτερικός χώρος κύριας εισόδου



A.5: Εσωτερικός χώρος σαλονιού



A.6: Εσωτερικός χώρος κουζίνας-τραπεζαρίας



A.7: Ενδεικτική τροχιά ηλίου την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου και 2 Ιουνίου