ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)
«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

Κτήρια μηδενικής ενέργειας – Σχεδιασμός και ανάλυση ενεργειακού ισοζυγίου – Παράδειγμα στη Μυτιλήνη

Παναγιώτης Ζαχαριάδης

Μεταπτυχιακή (Διπλωματική) Εργασία η οποία υποβάλλεται για μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για το Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Δίπλωμα Ειδίκευσης του Δ.Π.Μ.Σ. του Ε.Μ.Πολυτεχνείου "Περιβάλλον και Ανάπτυξη"

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2012

Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη

Επιτροπή Παρακολούθησης:
Επιβλέπων: Επισκέπτης Καθηγητής Χρ. Κορωναίος
Καθηγητής Κ. Κουτσόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής Ι. Σαγιάς

Κτήρια Μηδενικής Ενέργειας – Σχεδιασμός και ανάλυση ενεργειακού ισοζυγίου – Παράδειγμα στη Μυτιλήνη

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ **6**

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ **8**

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ **12**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ **14**

ABSTRACT **15**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ **16**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ **18**

1.1. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΤΗΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ 21

2. ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ **23**

2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ 24

2.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 28

2.3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ 31

2.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΟΡΙΣΜΩΝ 33

2.5. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ 34

3. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ **36**

3.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ 38

3.2. ΜΟΡΦΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΟΥ 41

3.3. ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΕΛΥΦΟΥΣ 45

3.4. ΗΛΙΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΚΙΑΣΗ 50

3.5. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ 52

3.6. ΚΤΗΡΙΑΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ 67

4. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ **81**

4.1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ 83

4.2. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ 94

4.3. ΒΙΟΜΑΖΑ 95

4.4. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ 100

5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ **105**

5.1. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ 106
5.2. ΕΜΠΟΔΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 108
5.3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 109

6. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗ ΜΥΤΙΛΗΝΗ 111

6.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 112
6.2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ 116
6.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ 127
6.4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΗΡΙΟΥ 129
6.5. ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 140
6.6. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ 152
6.7. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ 157
6.8. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ 164
6.9. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ . 167
6.10. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ 172

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 179

ΕΠΙΛΟΓΟΣ 180

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 182

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΝΑΔΙΑΤΥΠΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ, 2010. ΠΗΓΗ: [65] *20*

ΕΙΚΟΝΑ 2. ΣΧΕΔΙΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ. ΠΗΓΗ: NET ZERO ENERGY HOME COALITION *23*

ΕΙΚΟΝΑ 3. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ MIT SOLAR HOUSE 4. ΠΗΓΗ: MIT *24*

ΕΙΚΟΝΑ 4. ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ADVANCED HOUSE PROGRAM ΣΤΟΝ ΚΑΝΑΔΑ. ΠΗΓΗ: [67] *26*

ΕΙΚΟΝΑ 5. ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ PASSIVE HOUSE. ΠΗΓΗ: FEIST *27*

ΕΙΚΟΝΑ 6. ΤΥΠΟΙ ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΕΝΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ. ΠΗΓΗ: [52] *62*

ΕΙΚΟΝΑ 7. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΕ ΜΗ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ. ΠΗΓΗ: [79] *69*

ΕΙΚΟΝΑ 8. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΕ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ. ΠΗΓΗ: [79] *69*

ΕΙΚΟΝΑ 9. ΠΛΑΚΕΣ ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗΣ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗΣ. ΠΗΓΗ: [92] *73*

ΕΙΚΟΝΑ 10. ΦΥΛΛΟ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ. ΠΗΓΗ: [90] *73*

ΕΙΚΟΝΑ 11. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ. ΠΗΓΗ: [102] *75*

ΕΙΚΟΝΑ 12. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. ΠΗΓΗ: [60] *81*

ΕΙΚΟΝΑ 13. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕ ΣΤΕΓΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ. ΠΗΓΗ: [63] *83*

ΕΙΚΟΝΑ 14. ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΝΕΛ. ΠΗΓΗ: [82] *84*

ΕΙΚΟΝΑ 15. ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΝΕΛ. ΠΗΓΗ: [82] *85*

ΕΙΚΟΝΑ 16. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ. ΠΗΓΗ: [70] *86*

ΕΙΚΟΝΑ 17. ΣΤΕΓΑΣΤΡΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΝΕΛΟ. ΠΗΓΗ: [86] *90*

ΕΙΚΟΝΑ 18. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΣΕ ΚΤΗΡΙΟ. ΠΗΓΗ: [96] *95*

ΕΙΚΟΝΑ 19. ΜΟΡΦΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ - ΞΥΛΑ. ΠΗΓΗ: [72] *98*

ΕΙΚΟΝΑ 20. ΜΟΡΦΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ - PELLETS. ΠΗΓΗ: [77] *99*

ΕΙΚΟΝΑ 21. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ. ΠΗΓΗ: [100] *100*

ΕΙΚΟΝΑ 22. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ. ΠΗΓΗ: [110] *109*

ΕΙΚΟΝΑ 23. ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΜΕΛΕΤΗΣ. ΠΗΓΗ: [68] *115*

ΕΙΚΟΝΑ 24. ΚΑΤΟΨΗ ΔΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *129*

ΕΙΚΟΝΑ 25. ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *130*

ΕΙΚΟΝΑ 26. ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *130*

ΕΙΚΟΝΑ 27. ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *134*

ΕΙΚΟΝΑ 28. ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *136*

ΕΙΚΟΝΑ 29. ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *137*

ΕΙΚΟΝΑ 30. ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *139*

ΕΙΚΟΝΑ 31. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΠΑΤΙΚΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ. ΠΗΓΗ: [101] *142*

ΕΙΚΟΝΑ 32. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΔΑΠΕΔΟΥ ΤΥΠΟΥ LAMINATE. ΠΗΓΗ: [85] *143*

ΕΙΚΟΝΑ 33. ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ ΜΕ ΘΕΡΜΟΔΙΑΚΟΠΗ. ΠΗΓΗ: [106] *144*

ΕΙΚΟΝΑ 34. ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ (LOW-E). ΠΗΓΗ: [106] *145*

ΕΙΚΟΝΑ 35. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ. ΠΗΓΗ: [106] *146*

ΕΙΚΟΝΑ 36. ΠΛΑΚΕΣ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ. ΠΗΓΗ: [78] *149*

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1. ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ - ΕΕ30. ΠΗΓΗ: [35] ... 21

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2. ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ - 2004. ΠΗΓΗ: [74] ... 22

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3. ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΠΙΘΑΝΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΝΑ ΚΤΗΡΙΟ. ΠΗΓΗ: [19] ... 30

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΕΝΑ ΚΤΗΡΙΟ. ΠΗΓΗ: [15] ... 38

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5. ΚΙΝΗΣΗ ΗΛΙΟΥ ΣΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΠΟΧΕΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ. ΠΗΓΗ: [98] .. 39

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΤΗΡΙΟΥ – ΚΥΒΟΥ. ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ ΟΣΟ ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ. ΠΗΓΗ: [37] ... 44

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7. ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΜΙΑΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΠΟΧΕΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ. ΠΗΓΗ: [37] ... 45

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΓΩΓΗ ΕΠΑΦΗ. ΠΗΓΗ: [94] ... 46

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΑΝΑΜΕΙΞΗ. ΠΗΓΗ: [94] ... 46

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ. ΠΗΓΗ: [94] ... 46

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11. ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ. ΠΗΓΗ: [57] ... 47

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12. ΤΥΠΙΚΟ ΠΑΘΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΑ. ΠΗΓΗ: [14] ... 58

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13. ΤΟΙΧΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ. ΠΗΓΗ: [14] ... 59

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14. ΤΟΙΧΟΣ TROMBE. ΠΗΓΗ: [14] ... 60

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΟ ΠΑΘΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ TROMBE. ΠΗΓΗ: [35] ... 61

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16. ΠΑΘΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΙΣΜΟΥ. ΠΗΓΗ: [14] ... 63

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17. ΣΧΕΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ. ΠΗΓΗ: [14] ... 74

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ. ΠΗΓΗ: [94] *77*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19. ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ, Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕ ΚΤΗΡΙΟ. ΠΗΓΗ: [78] *88*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20. Η ΚΛΙΣΗ ΚΑΙ Η ΑΖΙΜΟΥΘΙΑ ΓΩΝΙΑ ΠΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΟΥΝ ΤΟΝ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΕΝΟΣ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ. ΠΗΓΗ: [35] *89*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΣΕ ΚΤΗΡΙΟ. ΠΗΓΗ: Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΑ ΣΤΑ ΚΤΗΡΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PURE - ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ *92*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ. ΠΗΓΗ: [42] *93*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23. ΚΥΚΛΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ. ΠΗΓΗ: [61] *97*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 24. ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΤΗΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ. ΠΗΓΗ: [83] *101*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 25. ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ. ΠΗΓΗ: [107] *111*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 26. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ Ν. ΛΕΣΒΟΥ, ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ. ΠΗΓΗ: [76] *112*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 27. ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ Ν. ΛΕΣΒΟΥ, ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ. ΠΗΓΗ: [76] *113*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 28. ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ. ΠΗΓΗ: [48] *118*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 29. ΣΧΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ, ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΥΤΙΛΗΝΗΣ. ΠΗΓΗ: [75] *121*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 30. ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ. ΠΗΓΗ: [75] *123*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 31. ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΩΝ. ΠΗΓΗ: [75] *124*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 32. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΑΙ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΥΤΙΛΗΝΗΣ. ΠΗΓΗ: [103] *127*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 33. ΚΑΤΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *132*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 34. ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΟΨΗΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *134*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 35. ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΟΨΗΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *136*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 36. ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΟΨΗΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *138*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 37. ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΟΨΗΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *140*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 38. ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ. ΠΗΓΗ: [52] *148*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 39. ΣΕΙΡΑ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΒΑΤΟ ΔΩΜΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ. ΠΗΓΗ: [52] *152*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 40. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ. ΠΗΓΗ: [20] .. *154*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 41. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ. ΠΗΓΗ: [91] *155*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 42. ΟΙΚΙΑΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ. ΠΗΓΗ: [59] *157*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 43. ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ. *159*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 44. ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ. *161*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 45. ΜΗΝΙΑΙΑ ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ. *161*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 46. ΕΤΗΣΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΡΟΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ. *170*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 47. ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ. *171*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 48. ΣΧΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ. *171*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 49. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ. *174*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 50. ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ. *174*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 51. ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΧΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ. *175*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 52. ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΧΕΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ. *176*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 53. ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ. *176*

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 54. ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΧΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ. *178*

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ Ν. ΛΕΣΒΟΥ, ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ. ΠΗΓΗ: [76] *112*

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΣΧΕΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ Ν. ΛΕΣΒΟΥ. ΠΗΓΗ: [74] *113*

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ. ΠΗΓΗ: [75] *120*

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ. ΠΗΓΗ: [75] *123*

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ. ΠΗΓΗ: [75] *123*

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΥΤΙΛΗΝΗΣ. ΠΗΓΗ: [75] *125*

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΩΡΕΣ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΙΜΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΚΑΙ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ. ΠΗΓΗ: [103] *126*

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. ΕΜΒΑΔΟΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ. *132*

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ. *163*

ΠΙΝΑΚΑΣ 10. ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ. ΠΗΓΗ: [74] *165*

ΠΙΝΑΚΑΣ 11. ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΠΟ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ. ΠΗΓΗ: [74] *166*

ΠΙΝΑΚΑΣ 12. ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ. *177*

Περίληψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, εξετάζεται η έννοια των Κτηρίων Μηδενικής Ενέργειας. Αναλύονται ο ορισμός τους, οι δυνατότητες και οι αδυναμίες τους, οι τρόποι σχεδιασμού, εφαρμογής και υλοποίησής τους. Η ανάλυση αυτή, οδηγεί στο σχεδιασμό ενός Κτηρίου Μηδενικής Ενέργειας στη Λέσβο και συγκεκριμένα στην πόλη της Μυτιλήνης.

Η έννοια των Κτηρίων Μηδενικής Ενέργειας έχει κερδίσει ευρεία διεθνή προσοχή κατά τα τελευταία χρόνια και θεωρείται πλέον ως ο επόμενος μελλοντικός στόχος για το σχεδιασμό των κτηρίων. Ωστόσο, προτού εφαρμοστεί πλήρως σε εθνικά και διεθνή πρότυπα, η έννοια αυτή απαιτεί ένα σαφή και συνεπή ορισμό και μια κοινή μεθοδολογία υπολογισμού του ενεργειακού ισοζυγίου. Τα Κτήρια Μηδενικής Ενέργειας αποτελούν μία ικανή λύση για τα προβλήματα που έχουν προκύψει από την υπερκατανάλωση ενέργειας, για την κάλυψη των αναγκών των κτηρίων. Στην εργασία αυτή, αναφέρονται οι δύο σημαντικότερες συνιστώσες των Κτηρίων Μηδενικής Ενέργειας, δηλαδή ο περιορισμός (εξοικονόμηση) της ενεργειακής κατανάλωσης και η παραγωγή ενέργειας, για την εξισορρόπηση του ενεργειακού ισοζυγίου. Οι δύο αυτές συνιστώσες μπορούν να επιτευχθούν με βάση τη βιοκλιματική αρχιτεκτονική και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αντίστοιχα.

Στην εργασία, γίνεται εφαρμογή των στοιχείων που ορίζουν ένα Κτήριο Μηδενικής Ενέργειας, σε μία μονοκατοικία στη Μυτιλήνη. Αναλύονται ο αρχιτεκτονικός και οικοδομικός σχεδιασμός του, η επιλογή των ενεργητικών μέσων θέρμανσης, κλιματισμού, ζεστού νερού χρήσης και του φωτοβολταϊκού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και γενικότερα τα στοιχεία εκείνα που απαρτίζουν τη λειτουργία του. Επίσης γίνεται εκτίμηση του ενεργειακών καταναλώσεων και παραγωγών των στοιχείων αυτών, με τη χρήση του λογισμικού που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες εφαρμογής του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων. Με βάση τα στοιχεία που προκύπτουν, συμπεραίνεται ότι η συνολική κατανάλωση του κτηρίου μελέτης ανέρχεται στις 8899,12 kWh/έτος, ενώ αντίστοιχα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα που τοποθετείται στο δώμα της κατοικίας ανέρχεται στις 14541,0 kWh/έτος. Παρατηρείται ένα πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας 5641,88 kWh/έτος, το οποίο παρέχεται στο κεντρικό δίκτυο.

Abstract

This thesis examines the concept of Zero Energy Buildings. Moreover, the definition, the strengths and weaknesses and how to design and implement, are analyzed. This analysis leads to the design of a Zero Energy Building in Lesvos and specifically in the city of Mytilene.

The concept of Zero Energy Buildings has gained widespread international attention in recent years and is now considered as the next target for the design of future buildings. However, before full implementation in national and international standards, this concept requires a clear and consistent definition and a common methodology for calculating the energy balance.

The Zero Energy Buildings are a capable solution for the problems that have arisen from the overconsumption of energy to meet the needs of buildings. In this paper are indicated the two major components of Zero Energy Buildings, namely the reduction (saving) of energy consumption and the energy production, which is provided for the energy balance. These two components can be achieved by the passive solar architecture (bioclimatic) and renewable energy sources, respectively.

In this paper, the elements that define a Zero Energy Building are applied in a house in Mytilene. The architectural and building design, choice of active means of heating, cooling, hot water and photovoltaic generation system are analyzed and in general the elements that are necessary for the operation of the building. Also an estimation of energy consumption and production of data is made, using the software created for the Greek national energy code (KENAK). Based on the data obtained it is concluded that the total consumption of the building is 8899,12 kWh / year, while the production of electricity by the photovoltaic system installed on the roof of the house is 14541,0 kWh / year. There is a surplus of electricity, 5641,88 kWh / year, which is provided on the grid.

Πρόλογος

Είναι πλέον ευρέως κατανοητό ότι πλησιάζουμε στο τέλος της συμβατικής εποχής του πετρελαίου, κατά το πρώτο μισό του 21ου αιώνα. Από περιβαλλοντική σκοπιά, η δραματική αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από την καύση των ορυκτών καυσίμων, έχει οδηγήσει στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης και απειλεί με αλλαγή στη χημεία του πλανήτη και το παγκόσμιο κλίμα, με σημαντικές επιπτώσεις για το μέλλον του ανθρώπινου πολιτισμού και των οικοσυστημάτων της γης. Από οικονομική σκοπιά, ενώ το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο θα συνεχίσει να καλύπτει ένα σημαντικό μέρος της ενεργειακής ζήτησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα, υπάρχει μια αυξανόμενη συναίνεση ότι το πλήρες αντίκτυπο της εξάρτισής μας στη χρήση ορυκτών καυσίμων, έχει αρχίσει να λειτουργεί ως τροχοπέδη για την παγκόσμια οικονομία. Και τελευταίο, αλλά όχι λιγότερο σημαντικό, οι αλλαγές που θα επέλθουν από την επίδραση στο κλίμα, θα επηρεάσουν κι αυτές με τη σειρά τους βαθιά τις κοινωνίες μας, αμφισβητώντας τα θέματα της βιωσιμότητας, της διανομής της ενέργειας, της μετανάστευσης και της ισότητας των γενεών. [4*]

Κατά τη διάρκεια αυτής της εποχής, τα 27 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης καταβάλλουν προσπάθειες για να εξασφαλιστεί ότι το υπόλοιπο απόθεμα των ορυκτών καυσίμων θα χρησιμοποιείται πιο αποτελεσματικά και πειραματίζονται με τις καθαρές ενεργειακές τεχνολογίες, για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, που παράγεται κατά την καύση των συμβατικών καυσίμων. Ωστόσο, η βελτίωση της αποδοτικότητας στη χρήση των ορυκτών καυσίμων και η παγκόσμια μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, δεν αποτελούν αρκετά και ικανοποιητικά μέτρα για να αντιμετωπίσουν επαρκώς, την πρωτόγνωρη κρίση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Στο μέλλον, κάθε κυβέρνηση θα πρέπει να εξερευνήσει νέες οδούς και τρόπους παραγωγής ενέργειας και τη δημιουργία νέων οικονομικών και κοινωνικών μοντέλων, με απώτερο στόχο την επίτευξη όσο το δυνατόν πλησιέστερων μοντέλων στις μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Πρέπει να είναι σαφές, ότι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις ανεπτυγμένες οικονομίες, δε θα πρέπει και δεν μπορεί να επιτευχθεί μέσω των παραδοσιακών μέσων. Απαιτείται πιθανώς, μια ουσιαστική αναδιοργάνωση της κοινωνίας. Στο πλαίσιο αυτό, οι προκλήσεις της αλλαγής του κλίματος και της ενέργειας, έχουν μέχρι τώρα χαρακτηριστεί ως περιορισμοί, παρά ως ευκαιρίες. Οι πολιτικές και οι ενέργειες για την αντιμετώπισή τους θεωρούνται ως πιθανές απειλές για την ικανότητά μας να παράγουμε πλούτο και επιπλέον να διατηρήσουμε τα σημερινά κοινωνικά μοντέλα. Η

---

* *Η βιβλιογραφία παρατίθεται σε αλφαβητική σειρά.*

αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος, ιδίως σε περίοδο παγκόσμιας οικονομικής ύφεσης, έχει θεωρηθεί ως μια «πολυτέλεια» που συγκρούεται με άλλες, επιτακτικές προτεραιότητες. Από την άλλη πλευρά, το όραμα μιας κοινωνίας που δε θα περιστρέφεται γύρω από τη χρήση άνθρακα, παρέχει τη δυνατότητα να εντάξουμε την ενέργεια και τις προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής ως ευκαιρίες, όχι μόνο για την προώθηση μιας κοινωνίας πιο πλούσιας, αλλά και μιας πιο δίκαιης και βιώσιμης. Οι χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν πρέπει να χρησιμοποιούν την οικονομική κρίση ως δικαιολογία για την αναβολή των μέτρων κατά της κλιματικής αλλαγής. Από τη σκοπιά αυτή των γεγονότων και της πραγματικότητας, η Ευρωπαϊκή Ένωση απαιτεί ένα νέο κοινωνικό όραμα, ικανό να πλαισιώσει την έρευνα και την ανάπτυξη γύρω από την παγκόσμια κλιματική αλλαγή, μετατρέποντας την απειλή σε ευκαιρία και τους οικονομικούς περιορισμούς σε οικονομικές δυνατότητες. [4]

Αναγνωρίζοντας τα παραπάνω στοιχεία, παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντικό περιθώριο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τον τομέα της ενέργειας, καθώς και σημαντικές δυνατότητες περιορισμού της κατανάλωσης ενέργειας σε όλο τον κόσμο, αλλά αυτό θα επιτευχθεί σταδιακά, εκτός αν υπάρξει μια αποφασιστική δράση σε διεθνές και εθνικό επίπεδο. Ένας συνδυασμός του μηχανισμού της αγοράς και των διάφορων ρυθμίσεων και κανονισμών για την επίτευξη ταχείας προόδου, αποτελεί ίσως την πιο αποτελεσματική λύση. [4]

1. Εισαγωγή

Πολλοί παράγοντες συνηγορούν στην εξεύρεση λύσεων για την ορθολογικότερη κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια και στην αξιοποίηση των ήπιων μορφών ενέργειας. Η οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη έχει ως αποτέλεσμα τον πολλαπλασιασμό των ενεργειακών αναγκών. Ιδίως με τη διαρκή βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, η κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία των κτηρίων συνεχώς αυξάνει. Η αύξηση είναι τόσο ποσοτική, καθώς καταναλώνουμε περισσότερη ενέργεια σε απόλυτο μέγεθος, όσο και ποιοτική, επειδή χρησιμοποιούμε όλο και περισσότερο τον ηλεκτρισμό για τον κλιματισμό των κτηρίων μας. [41] Όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες απαιτούν κατ' ουσία, την ενέργεια ως κινητήρια δύναμη, με τα ορυκτά καύσιμα να είναι η βασική πηγή παραγωγής ενέργειας. Η καύση των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή της ενέργειας οδηγεί σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, κυρίως διοξειδίου του άνθρακα. Με βάση την αυξανόμενη ανησυχία, για τη μείωση των εκπομπών αερίων από τις ανθρωπογενής δραστηριότητες, εξελίχθηκε η έννοια της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. [19]

Τα κτήρια αποτελούν ουσιαστικό μέρος της σύγχρονης, πολιτισμένης κοινωνίας. Αντιπροσωπεύουν το ένα έκτο της συγκομιδής φρέσκου νερού στον κόσμο, το ένα τέταρτο της συγκομιδής της ξυλείας και τα δύο πέμπτα των ροών ενέργειας και υλικών. Σε παγκόσμια κλίμακα, τα κτήρια θα συμβάλλουν το ένα τρίτο των αερίων του θερμοκηπίου έως το 2030. Το ήμισυ αυτής της ενέργειας χρησιμοποιείται για θέρμανση και κλιματισμό. Η υπόλοιπη μισή καταναλώνεται ως ηλεκτρική ενέργεια για άλλες χρήσεις, ενώ περίπου το 85% αυτής της ενέργειας παράγεται από ορυκτά καύσιμα. [34]

Η κατασκευή ενός κτηρίου είναι μια ενεργοβόρα διαδικασία, που καταναλώνει ενέργεια σε κάθε στάδιό της, από την εκκαθάριση του χώρου κατασκευής, το σχεδιασμό, την υλοποίηση, τη λειτουργία και τη συντήρησή του και τελικά καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός κτηρίου, περιλαμβάνουν άνθρακα στην κατασκευή των δομικών υλικών, πετρέλαιο και καύσιμα στις μεταφορές και τη λειτουργία του εξοπλισμού και ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία των συσκευών. [19]

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων οδηγεί σε μείωση της ζήτησης ενέργειας, εξοικονόμηση των περιορισμένων φυσικών πόρων του πλανήτη και μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων του κτηρίου μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσής του, μπορεί να διαιρεθεί σε τέσσερα στάδια:

1. τη χάραξη πολιτικής σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο,
2. τον προγραμματισμό και το σχεδιασμό ενεργειακά αποδοτικών κτηρίων,
3. την ενεργειακή βελτίωση της διαδικασίας κατασκευής και
4. τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών συσκευών. [19]

Η ενέργεια που καταναλώνεται στα κτήρια ευθύνεται για το 40% της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο και έχει γίνει ευρέως αποδεκτό το γεγονός ότι τα μέτρα και οι αλλαγές που γίνονται στον τρόπο λειτουργίας τους, μπορεί να αποφέρει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον, τα κτήρια σήμερα όλο και περισσότερο πρέπει να μπορούν να ανταποκριθούν σε υψηλότερα και δυνητικά πιο σύνθετα επίπεδα απόδοσης και λειτουργίας. Θα πρέπει να είναι βιώσιμα, να κάνουν χρήση καθαρής ενέργειας, να είναι υγιή και άνετα, φιλικά προς το δίκτυο και το περιβάλλον, αλλά και οικονομικά στην κατασκευή και τη διατήρησή τους. [1]

Η αναδιατύπωση της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Ενεργειακή Απόδοση των κτηρίων (2010/31/EU), προβλέπει ότι τα κράτη-μέλη της, πρέπει να ορίζουν για κάθε κατασκευή τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, με σκοπό την επίτευξη του βέλτιστου κόστους εφαρμογής για τα κτήρια, τις κτηριακές μονάδες και τα δομικά στοιχεία, με χρήση ενός συγκριτικού μεθοδολογικού πλαισίου, που θεσπίστηκε από την Επιτροπή και το οποίο ολοκληρώθηκε βάσει των αντίστοιχων εθνικών παραμέτρων. Βέλτιστο κόστος απόδοσης, εννοείται ως η ενεργειακή απόδοση με βάση την πρωτογενή ενέργεια, η οποία οδηγεί στο ελάχιστο κόστος του κύκλου ζωής. [9] Εκτός από την πολιτική του βέλτιστου κόστους, η αναδιατύπωση της οδηγίας καθιέρωσε ως στόχο τη «σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας» (nZEB) για όλα τα νέα κτήρια από την 1η Ιανουαρίου 2021. Λόγω της τρέχουσας αντίληψης για το πρότυπο αυτό, το οποίο θεωρείται σήμερα μη αποδοτικό, οι δύο παραπάνω απαιτήσεις θα πρέπει να συνδυαστούν, έτσι ώστε να γίνει εφικτή μία ομαλή μετάβαση από τη στρατηγική του βέλτιστου κόστους σε αυτή της σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Γι' αυτό, η επίτευξη βέλτιστου κόστους στα κτήρια έως το 2013, μπορεί να θεωρηθεί ως το πρώτο βήμα για την επίτευξη του στόχου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. [9]

Εικόνα 31. Ενεργειακή κατάταξη με βάση τις αποφάσεις της αναδιατύπωσης της Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων, 2010. Πηγή: [65]

Επιπλέον, η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης θεωρείται ως ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για τη βελτίωση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού και της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι είναι φθηνότερη και πιο αποτελεσματική, η αντιμετώπιση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων στο στάδιο του σχεδιασμού και της κατασκευής, ενώ αντίθετα κατά τη φάση της ανασυγκρότησης ή εκ των υστέρων κατά την επιχειρησιακή φάση, είναι πολύ δαπανηρή. [21]

Σημαντικές μειώσεις στις μελλοντικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση των πιο ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών, που ταυτόχρονα οδηγούν και σε εξοικονόμηση χρήματος. Επιπλέον, αυτές οι τεχνολογίες προσφέρουν συχνά και άλλα οφέλη πέρα από αυτά της ενέργειας, της μειωμένης εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα και της αποταμίευσης σε χρήμα, συμπεριλαμβανομένων των εξής:

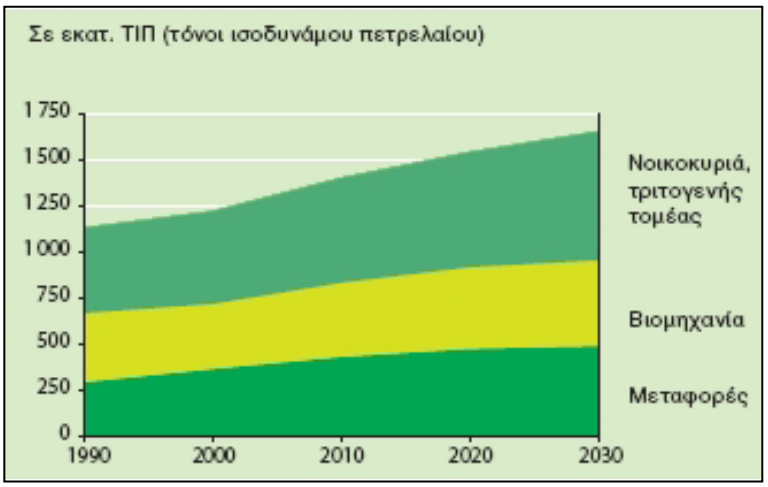
- βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης και της ασφάλειας του εσωτερικού περιβάλλοντος
- μειωμένο θόρυβο
- βελτιωμένο έλεγχο των εσωτερικών συνθηκών
- αύξηση της άνεσης και της ευκολίας

Αυτά τα έμμεσα κέρδη, ενώ είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν από οικονομική άποψη, μπορεί να είναι ακόμη πιο σημαντικά από τη μείωση του κόστους ενέργειας, ιδιαίτερα όταν βελτιώνεται

η άνεση των ιδιοκτητών μιας κατοικίας ή η παραγωγικότητα των εργαζομένων ενός κτηρίου γραφείων. [10]

1.1. Κατανάλωση ενέργειας στον κτηριακό τομέα

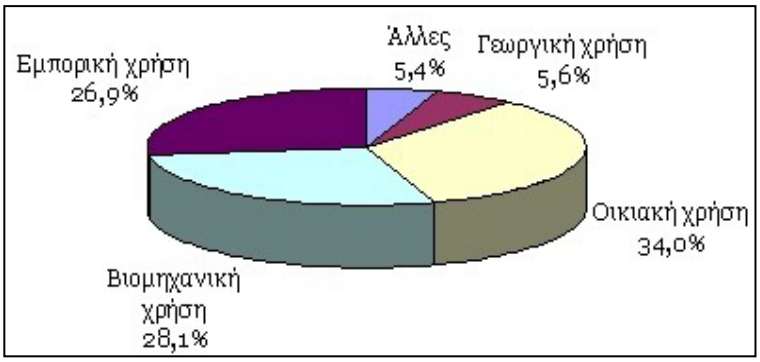
Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο κτηριακός τομέας (οι κατοικίες και ο τριτογενής τομέας) αντιπροσωπεύει το σημαντικότερο τομέα κατανάλωσης της τελικής ενέργειας σε απόλυτες τιμές (37%) (διάγραμμα 1). Έχει καταγραφεί ότι η θέρμανση των κτηρίων κατέχει σημαντικό μέρος των συνολικών ενεργειακών καταναλώσεών τους (69%) ακολουθούμενη από την παραγωγή ζεστού νερού (15%), τις ηλεκτρικές συσκευές και το φωτισμό (11%). Η μέση κατανάλωση ενέργειας/ κατοικία για θέρμανση έχει ελαφρά μειωθεί στην Ε.Ε. από το 1990, ενώ η θεωρητική κατανάλωση των νέων κατοικιών στην Ε.Ε. είναι κατά 22% μικρότερη από το 1985. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο οι κατοικίες, όσο και οι ηλεκτρικές συσκευές είναι πιο ενεργειακά αποδοτικές, αν και οι απαιτήσεις σε άνεση είναι αυξημένες. Επιπλέον, υπάρχουν αυστηρότερα κριτήρια ενεργειακής απόδοσης που έχουν θεσπιστεί σε αρκετές χώρες την τελευταία πενταετία. [36]



Διάγραμμα 1. Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα - ΕΕ30. Πηγή: [35]

Στην Ελλάδα, χώρα με πολύ λιγότερες απαιτήσεις σε θέρμανση κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου (ΚΑΠΕ, 1997). Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο, αντιστοιχούν στο 35,5% του συνόλου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο, 12% ηλεκτρικό ρεύμα και 18% καυσόξυλα. Σε αντίθεση με το σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στην Ελλάδα η κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια παρουσιάζει αυξητική τάση. Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας είναι ιδιαίτερα εμφανής στον κτηριακό τομέα, αφού επιπλέον, τα κτήρια ευθύνονται για περισσότερο από το 45% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. [36]

Η θέρμανση των κτηρίων στην Ελλάδα βασίζεται κυρίως στην χρήση του πετρελαίου. Για την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος, ο λιγνίτης παραμένει το κατεξοχήν καύσιμο συμμετέχοντας κατά 69%, ενώ με την κατανάλωση πετρελαίου παράγεται περίπου το 20% του απαιτούμενου ηλεκτρικού φορτίου (ποσοστά του 1996). Το υπόλοιπο 11% του ηλεκτρικού φορτίου καλύπτεται από την εκμετάλλευση των υδατοπτώσεων, μέσω των υδροηλεκτρικών εργοστασίων. [41] Στην Ελλάδα το ποσοστό που αντιστοιχεί στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τον κτηριακό τομέα, φτάνει το 34% (διάγραμμα 2). Η ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων κατοικιών είναι κατά συνέπεια ένας βασικός τομέας που αφορά τη μείωση της συνολικής ενεργειακής ζήτησης της χώρας.



Διάγραμμα 2. Σύνθεση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα - 2004. Πηγή: [74]

2. Κτήρια Μηδενικής Ενέργειας

Η έννοια των κτηρίων μηδενικής ενέργειας, είναι σχετικά νέα, όμως το ενδιαφέρον για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον κτηριακό τομέα ξεκίνησε λίγο πριν από τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Η έννοια των κτηρίων μηδενικής ενέργειας, βασίζεται στο σημερινό, χαμηλό κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων (PV), τα οποία είναι το κύριο μέσο για την επί τόπου παραγωγή ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια δεν αποτελεί μοναδική επιλογή, ωστόσο, είναι η επιλογή η οποία είναι η πιο ευρέως διαθέσιμη, ανεξαρτήτως κλίματος. Κατά τη διάρκεια του 1980, το κόστος της επί τόπου παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά μειώθηκε, με αποτέλεσμα η πηγή αυτή να είναι πιο βιώσιμη σε σχέση με άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών. [32]

Τα κτήρια μηδενικής ενέργειας (ΚΜΕ) δεν αποτελούν πλέον μία έννοια του μακρινού μέλλοντος, αλλά μια ρεαλιστική λύση για τη μείωση των εκπομπών CO^2 και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον κτηριακό τομέα. Ο αυξανόμενος αριθμός έργων ΚΜΕ και το ερευνητικό ενδιαφέρον στον τομέα σε διεθνές επίπεδο, υπογραμμίζει την αυξανόμενη προσοχή που δίνεται στην ανάπτυξη και κατασκευή τους. Οι στόχοι για την εφαρμογή των ΚΜΕ συζητούνται και έχουν προταθεί σε διεθνές επίπεδο, π.χ. στις ΗΠΑ, με το νόμο EISA (Energy Independence and Security Act) του 2007 και σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, κατά την αναδιατύπωση της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων (EPBD), που εγκρίθηκε τον Μάιο του 2010. Η EISA 2007 προωθεί τα κτήρια μηδενικής ενέργειας για εμπορικούς σκοπούς, ώστε όλα τα νέα εμπορικά κτήρια μέχρι το 2030 να ακολουθούν το στόχο της μηδενικής καθαρής ενέργειας. Επίσης, ο νόμος αυτός έχει ως στόχο το 50% των αμερικανικών εμπορικών κτηρίων ως το 2040, να ακολουθεί το πρότυπο της μηδενικής ενέργειας και μέχρι το 2050 όλα τα εμπορικά κτήρια να είναι μηδενικής ενέργειας. [8]. Η οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθορίζει το «σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας κτήριο», ως στόχο για το 2018

Εικόνα 32. Σχέδιο εισαγωγής της έννοιας των κτηρίων μηδενικής ενέργειας στον οικιακό τομέα. Πηγή: Net Zero Energy Home Coalition

για όλα τα δημόσια κτήρια ή κτήρια που χρησιμοποιούνται από δημόσιες αρχές και για όλα τα νέα κτήρια μέχρι το 2020 [9]. Παρά τους σαφείς διεθνείς στόχους και την προσοχή της διεθνούς κοινότητας για τα ΚΜΕ, δύο μεγάλες προκλήσεις πρέπει να επιτευχθούν πριν από την πλήρη ενσωμάτωση της έννοιας στους εθνικούς οικοδομικούς κανονισμούς και στα διεθνή πρότυπα. Αυτές περιλαμβάνουν, συγκεκριμένα, τη δημιουργία ενός κοινού και σαφούς ορισμού καθώς και την ανάπτυξη μιας μεθοδολογικής υποστήριξης για τον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, η έννοια του κτηρίου μηδενικής ενέργειας, περιγράφεται με ένα ευρύ φάσμα όρων και εκφράσεων και μπορεί να διακριθεί ένας σημαντικός αριθμός διαφορετικών προσεγγίσεων. Παρατηρείται λοιπόν, η ανάγκη για τη δημιουργία μιας κοινής μεθοδολογίας, για το σχεδιασμό και τον υπολογισμό των κτηρίων μηδενικής ενέργειας, δηλαδή ενός ευρέως αποδεκτού πλαισίου για τον ορισμό και τη μεθοδολογία υπολογισμού. [32]

2.1. Ιστορική αναδρομή

Οι πρώτες μελέτες που είχαν στόχο τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης κτηρίων, πραγματοποιήθηκαν στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT) και επικεντρώθηκαν στη χρήση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση. Μέσα από αυτές τις μελέτες προήλθε το MIT Solar House IV, που χτίστηκε το 1959 και ήταν σε θέση να καλύψει το 57% της θέρμανσης του χώρου και του ζεστού νερού χρήσης από ηλιακή ενέργεια που συλλεγόταν από ενεργητικούς ηλιακούς συλλέκτες, εμβαδού 60m². Το επόμενο κύμα ανάπτυξης της ενεργειακής απόδοσης των κατοικιών στις Ηνωμένες Πολιτείες προήλθε από την ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970. Η τεχνολογία την εποχή αυτή, επικεντρώθηκε στην παθητική ηλιακή θέρμανση, ως αποτέλεσμα των υψηλών δαπανών που συνδέονταν με την ενεργητική ηλιακή θέρμανση και είχαν προσδιοριστεί από τις κατασκευές του MIT. Τα παθητικά συστήματα που εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου, χρησιμοποιούν ευρέως, μονωμένα νότια συστήματα, με γνώμονα τα υαλοστάσια άμεσου κέρδους, συστήματα έμμεσου κέρδους (π.χ. τοίχοι Trombe) και ενσωματωμένους ηλιακούς χώρους. Το σημαντικότερο στοιχείο του παθητικού σχεδιασμού

Εικόνα 33. Φωτογραφική παρουσίαση του MIT Solar House 4. Πηγή: MIT

αποτελεί η θερμική μάζα. Η θερμική μάζα λειτουργεί απορροφώντας ηλιακή θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και απελευθερώνοντάς την με καθυστέρηση την περίοδο της νύχτας, παρέχοντας θέρμανση στους εσωτερικούς χώρους. Η θερμική μάζα ήταν απαραίτητη για την παροχή εσωτερικής άνεσης και μείωση της ζήτησης για ενεργητικά θερμικά συστήματα. Οι παθητικές αυτές στρατηγικές σχεδιασμού κατέληξαν σε μια μέση εξοικονόμηση της τάξης του 70%. Κατά τη διάρκεια αυτής της εποχής ήρθε η συνειδητοποίηση ότι η συνολική μείωση στον κτηριακό τομέα της ζήτησης ενέργειας, μέσω αποτελεσματικών ενεργητικών συστημάτων, σε συνδυασμό με την ηλιακή θέρμανση μπορεί να αποφέρει τη σημαντικότερη απόδοση με το χαμηλότερο συνολικό κόστος. Οι οικοδομικοί κανονισμοί και τα πρότυπα ενέργειας, που εμφανίστηκαν και υιοθετήθηκαν ευρέως μετά την κρίση του 1970, επικεντρώθηκαν γενικότερα στον περιορισμό της μετάδοσης θερμότητας από τα δομικά στοιχεία, η οποία αποτέλεσε μια πρώτη προσέγγιση για τη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για το κλιματισμό των χώρων. [13]

Η επόμενη εξελικτική κίνηση του ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού, εμφανίστηκε με την εφαρμογή των υπέρ-μονωμένων κατοικιών, με τους ερευνητές να αναγνωρίζουν και να κατανοούν τη σχέση μεταξύ υψηλών επιπέδων μόνωσης και χαμηλής συνολικής ενεργειακής ζήτησης. Τα γενικά χαρακτηριστικά των υπέρ-μονωμένων κατοικιών αποτελούν:

- τα υψηλά επίπεδα μόνωσης για την οροφή, τους τοίχους και το δάπεδο,
- η πολύ αεροστεγής κατασκευή και
- ο έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας, με τα περισσότερα υαλοστάσια και ανοίγματα να βρίσκονται στη νότια πλευρά του κτηρίου. [20]

Ένας σημαντικός αριθμός υπέρ-μονωμένων κατοικιών χτίστηκαν και αποδείχθηκαν επιτυχή σε σχετικά χαμηλό κόστος. Το ενδιαφέρον για τα κτήρια αυτά, υποχώρησε κατά τη δεκαετία του 1980 καθώς το κόστος της ενέργειας μειώθηκε. Το κίνημα αποτέλεσε ένα μεγάλο βήμα προς τα εμπρός όσον αφορά την οικιακή ενεργειακή απόδοση. Η εστίαση στα παθητικά ηλιακά συστήματα και οι κινήσεις για τη βελτίωση της μόνωσης των κατοικιών, είχαν ως στόχο τη μείωση του ποσού της ενέργειας που χρησιμοποιούν για να θερμανθούν. [20]

Αυτές οι προσεγγίσεις όμως παραμέλησαν τις ενεργειακές ανάγκες μιας κατοικίας σε κλιματισμό, θέρμανση νερού και λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών. Χωρίς την αντιμετώπιση αυτών των μεγάλων απαιτήσεων ενέργειας, η συνολική απόδοση των κατοικιών συνέχισε να έχει σημαντικά ενεργειακά προβλήματα. Το γεγονός αυτό τίθεται ως βασικό ζήτημα αντιμετώπισης, με το πρότυπο των κτηρίων μηδενικής ενέργειας, που προσπαθεί να αντιμετωπίσει όλο το

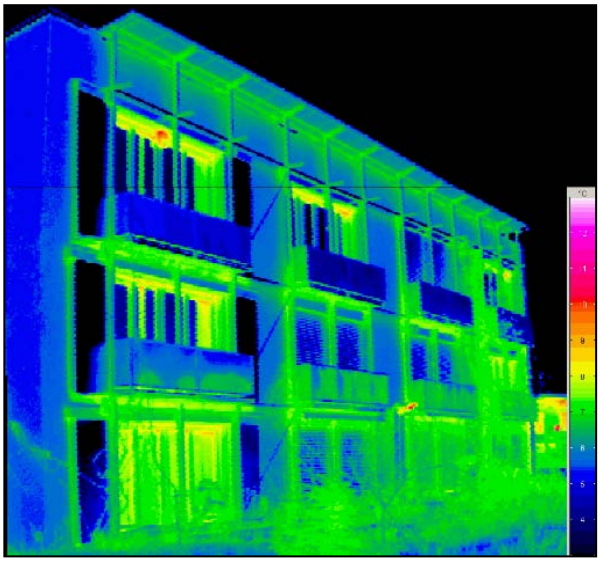
ενεργειακό φάσμα λειτουργίας ενός κτηρίου. Στην δεκαετία του 1990, το κέντρο Florida Solar Energy (FSEC) ανέπτυξε το Minimum Electricity Building (MEB), ένα σπίτι σχεδιασμένο για να μειώσει σημαντικά το ποσό της ενέργειας που χρειάζεται για να λειτουργεί σε ετήσια βάση, μέσω της βελτίωσης του κελύφους του και της χρήσης φωτοβολταϊκών. Λόγω της επιτυχίας του εγχειρήματος, το κέντρο, αναγνώρισε το γεγονός ότι μπορούσε να επιτευχθεί ακόμη και η κατασκευή και λειτουργία ενός κτηρίου μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, μέσω της μείωσης ζήτησης ενέργειας και την περαιτέρω παραγωγή, επί τόπου ηλεκτρικής ενέργειας, από φωτοβολταϊκά. Μεταξύ του 1998 και 2001, υπήρξε στην Ευρώπη η πρωτοβουλία Cost Efficient Passive Houses, η οποία αποσκοπούσε στη δημιουργία 250 κατοικιών υψηλής απόδοσης. Αυτές οι κατοικίες εκμεταλλεύονταν την ηλιακή ενέργεια και την αποτελεσματική σχεδίαση, με επιπλέον στόχο την οικονομικά εφικτή κατασκευή. Οι ενεργειακές απαιτήσεις ήταν αρκετά χαμηλές και για το λόγο αυτό, οι τεχνολογίες όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ (PV) ήταν σε θέση να ικανοποιήσουν τη ζήτηση ενέργειας. Ως εκ τούτου, θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως κτήρια

Εικόνα 34. Κατοικία με βάση το πρόγραμμα Advanced House Program στον Καναδά. Πηγή: [67]

μηδενικής ενέργειας. Το πρόγραμμα «Ηλιακή θέρμανση και ψύξη» του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA) ενέκρινε τον Ιούνιο του 2008, το πρόγραμμα «Task 40, προς τα κτήρια μηδενικής καθαρής ηλιακής ενέργειας», με στόχο τη μελέτη και την προώθηση ρεαλιστικών σχεδίων, για την επίτευξη μηδενικής και σχεδόν μηδενικής καθαρής ενέργειας. Στον Καναδά, δύο κύριες πρωτοβουλίες έχουν λάβει χώρα: το Advanced House Program και το Net-Zero Energy Home Coalition. Το πρώτο δημιουργήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Ο στόχος ήταν να αναπτυχθούν κατοικίες μικρής καταναλισκόμενης ενέργειας, σε ολόκληρο τον Καναδά, χρησιμοποιώντας διάφορες διαθέσιμες τεχνολογίες. Επιτεύχθηκαν σημαντικές μειώσεις της ενέργειας, έως και 75% σε σύγκριση με μία τυπική κατοικία. Η χαμηλότερη κατανάλωση ήταν 11.600kWh/έτος σε σύγκριση με 39.000kWh/έτος που απαιτούσε κατά μέσο όρο μία συμβατική κατοικία το 1993. Οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν φωτοβολταϊκά πάνελ,

ηλιακή θέρμανση και βελτίωση του σχεδιασμού του κελύφους του κτηρίου, ώστε να περιοριστούν οι απώλειες και η διαρροή αέρα. [20]

Οι κανονισμοί που αναπτύχθηκαν κατά την περίοδο του 1970, εξελίχθηκαν με τα χρόνια και πλέον περιλαμβάνουν λεπτομερείς αξιολογήσεις και μεθόδους για τη χρήση ενέργειας. Πιστοποιήσεις της κτηριακής ενέργειας και συστήματα διαβάθμισης με βάση την υπολογισμένη ενεργειακή χρήση, είναι πολύ συνηθισμένες και συχνά υποχρεωτικές σε περιοχές όπως η Ευρώπη. Υπάρχει επίσης μια προοδευτική προσέγγιση που αφορά τη δημιουργία ρυθμίσεων που θα προωθήσουν τη χαμηλή ενέργεια και τη «μηδενική κατανάλωση ενέργειας», όπως εκφράζεται, για παράδειγμα, στις συστάσεις της Διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας, για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων. [13] Ιστορικά λοιπόν, οι ορισμοί της μηδενικής ενέργειας, βασίζονται κυρίως στην ετήσια κατανάλωση που απαιτείται για τη λειτουργία ενός κτηρίου (θέρμανση, κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, κλπ.). Ο όρος «καθαρή μηδενική ενέργεια» χρησιμοποιείται συχνά για να παρουσιάσει το ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο του κτηρίου που είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο. [17]



Εικόνα 35. Εξωτερική θερμοφωτογραφία του πρώτου Passive House. Πηγή: Feist

Τέσσερα γεγονότα ήταν εκείνα που άλλαξαν δραματικά την κοινή γνώμη όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση των σημερινών κτηρίων. Το πρώτο ήταν ο καύσωνας στην Ευρώπη το καλοκαίρι του 2003, κατά τη διάρκεια του οποίου πέθαναν περισσότεροι από 35.000 άνθρωποι, από τους οποίους 15.000 κατοικούσαν στη Γαλλία. Επλήγησαν κυρίως κατοικίες παραδοσιακής αρχιτεκτονικής, που ήταν ευάλωτες στις μεγάλες θερμοκρασίες, εξαιτίας της έλλειψης μόνωσης. Έτσι ακόμα και τα παλιά, παραδοσιακά κτήρια έπρεπε να προσαρμοστούν στις καταστάσεις αυτές, ταυτόχρονα με τα σύγχρονα κτήρια, τα οποία απαιτούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας για τη λειτουργία τους. Το δεύτερο γεγονός αποτελεί και πάλι ένας καύσωνας, που έπληξε εκατομμύρια ανθρώπους στις ΗΠΑ, τον Αύγουστο του 2003. Ούτε τα κτήρια στις περιοχές που επλήγησαν τότε (ανατολική ακτή), δεν κατάφεραν να ανταπεξέλθουν στις ακραίες καιρικές συνθήκες που παρουσιάστηκαν. Το τρίτο σημαντικό γεγονός αφορά την πλημμύρα της Νέας Ορλεάνης, που προκάλεσε ο τυφώνας Κατρίνα, το Σεπτέμβριο του 2005. Αυτό που προκάλεσε την κοινή αίσθηση, ήταν η αδυναμία τελικά των συστημάτων να αντιμετωπίσουν την τεράστια καταστροφή. Ο τελευταίος

παράγοντας που επηρέασε σημαντικά την κοινή γνώμη, αποτελεί η ραγδαία άνοδος της τιμής του πετρελαίου και του φυσικού αερίου παγκοσμίως, η οποία παράλληλα σηματοδοτεί τη σταδιακή εξάντληση των αποθεμάτων τους. Το γεγονός αυτό έχει ως άμεσο αντίκτυπο την πολύ μεγάλη αύξηση στους λογαριασμούς κοινής ωφελείας σε όλες τις χώρες. [14]

Σήμερα, αναπτύσσονται ολοένα και περισσότερα εθελοντικά πρότυπα για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας σε κτήρια, σύμφωνα με τις αρχές της υψηλής μόνωσης και αεροστεγανότητας και της χρήσης συστημάτων εξαερισμού και ανάκτησης θερμότητας, όπως το σύστημα Ε-2000 στον Καναδά ή το Passivhaus στη Γερμανία. Παρόλο που τα πρότυπα αυτά δεν αφορούν τη μηδενική κατανάλωση ενέργειας, επιτυγχάνουν σημαντική μείωση στη ζήτηση για θέρμανση και κλιματισμό, χρησιμοποιώντας μια πρακτική και οικονομικά αποδοτική προσέγγιση, γεγονός που αποτελεί σημαντικό πρώτο βήμα προς την επίτευξη κτηρίων μηδενικής ενέργειας. Οι λύσεις αυτές, επίσης, χρησιμοποιούν γενικά μικρότερες ποσότητες υλικών σε σχέση με τις πιο ακραίες λύσεις μηδενικής ενέργειας. [17]

2.2. Ορισμός κτηρίων μηδενικής ενέργειας

Ένα κτήριο μηδενικής ενέργειας, αναφέρεται σε ένα κτήριο με μηδενική καθαρή κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός τυπικού έτους. Η φιλοσοφία του κτηρίου μηδενικής ενέργειας, είναι μία εξέλιξη του παθητικού σχεδιασμού. Το αντικείμενο της φιλοσοφίας αυτής, δεν είναι μόνο η ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου με παθητικές μεθόδους σχεδιασμού, αλλά και ο σχεδιασμός ενός κτηρίου που εξισορροπεί τις ενεργειακές ανάγκες του, με ενεργές τεχνικές και τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και το αποτέλεσμα μπορεί να μετρηθεί είτε με βάση την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας ή τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. [6]

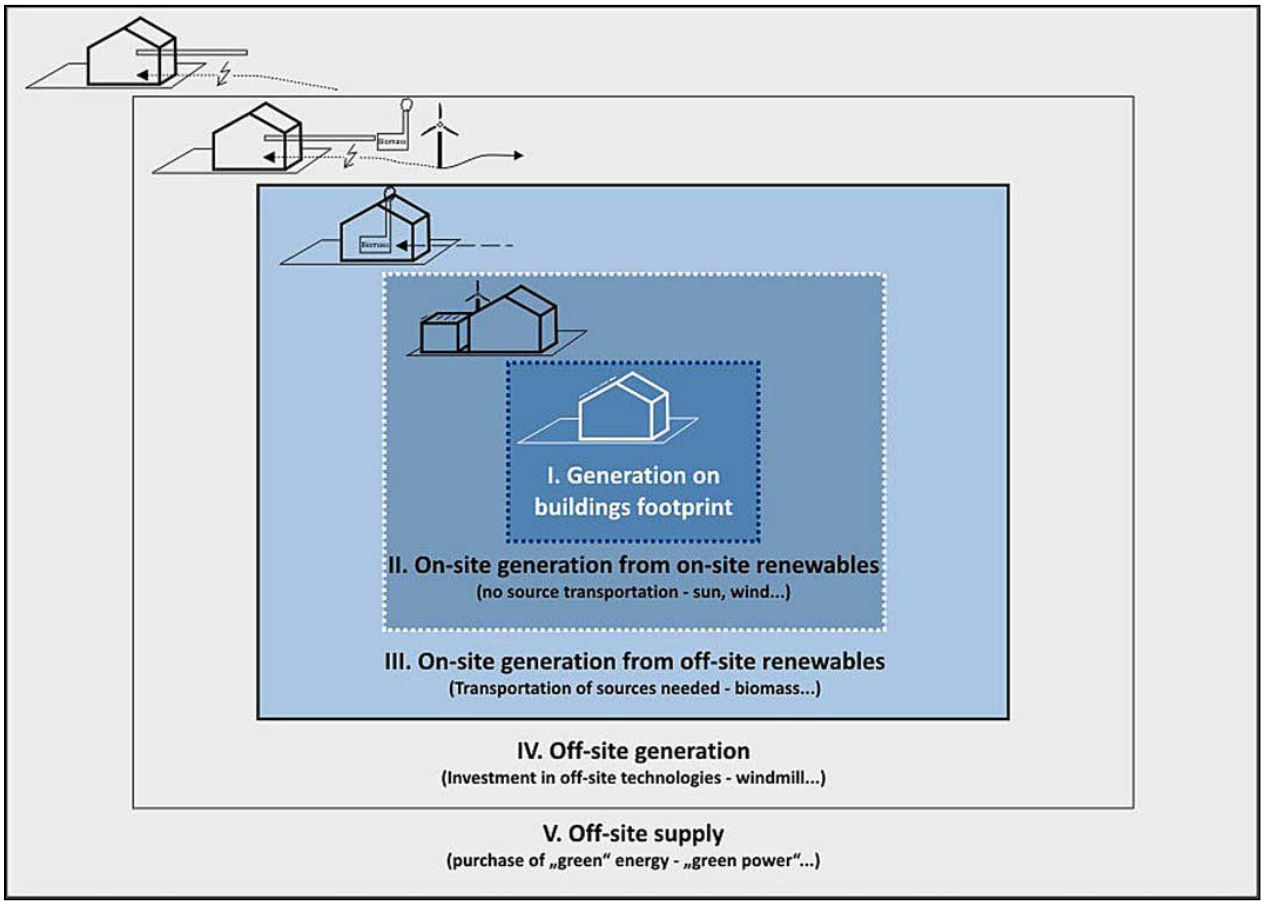
Όπως αναφέρθηκε, τα κτήρια μηδενικής ενέργειας, πρέπει αρχικά να έχουν υψηλή ενεργειακή απόδοση και εξοικονόμηση ενέργειας και στη συνέχεια να κάνουν χρήση ανανεώσιμων πηγών που βρίσκονται στο χώρο του κτηρίου, για την κάλυψη των αναγκών τους. Για να είναι δυνατή η εκτέλεση των απαραίτητων υπολογισμών για το σχεδιασμό ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας, πρέπει αρχικά να υπάρξει ένας σχετικός ορισμός. [9] Ένα κτήριο μηδενικής ενέργειας, μπορεί να οριστεί με διάφορους τρόπους. Οι διαφορετικοί ορισμοί μπορεί να είναι κατάλληλοι, ανάλογα με τους στόχους του έργου, τις σχεδιαστικές αρχές, αλλά και τις ανάγκες του ιδιοκτήτη του κτηρίου. [33] Παρουσιάζονται λοιπόν, τέσσερις βασικοί ορισμοί ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς στόχους:

1. Μηδενικής τελικής ενέργειας: Κτήρια τα οποία παράγουν επί τόπου τόση ενέργεια όση καταναλώνουν ετησίως.
2. Μηδενικής ενέργειας από την πηγή: Κτήρια τα οποία παράγουν τουλάχιστον όση ενέργεια χρησιμοποιούν σε ένα χρόνο. Η ενέργεια από την πηγή αναφέρεται στην πρωτογενή ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία και την παράδοση της απαιτούμενης ενέργειας στο χώρο του κτηρίου. Για να υπολογιστεί η συνολική πρωτογενής ενέργεια ενός κτηρίου, η εισαγόμενη και εξαγόμενη ενέργεια μετατρέπεται με βάσει διάφορους συντελεστές.
3. Μηδενικού κόστους ενέργεια: Κτήρια στα οποία, υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ του κέρδους από την πώληση της παραγόμενης επί τόπου ενέργειας και του κόστους από την αγορά ενέργειας από το δίκτυο κοινής ωφελείας.
4. Καθαρής ενέργειας με μηδενικές εκπομπές: Κτήρια στα οποία οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την ενέργεια που προσλαμβάνεται από το δίκτυο, εξισορροπούνται από την ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες, επί τόπου πηγές. [33]

Ένα κτήριο μηδενικής ενέργειας, παράγει επί τόπου τόση ενέργεια όση καταναλώνει, με χρήση διάφορων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά στοιχεία στη στέγη, ηλιακούς συλλέκτες ζεστού νερού, μικρής κλίμακας αιολική ενέργεια, φωτοβολταϊκά συστήματα στους χώρους στάθμευσης ή χαμηλών επιδόσεων υδροηλεκτρικά συστήματα. Ο σημαντικότερος περιορισμός του ορισμού αυτού είναι ότι δεν λαμβάνονται υπόψη οι τιμές των διαφόρων καυσίμων πρωτογενούς ενέργειας. Για παράδειγμα, μια μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται επί τόπου, είναι ισοδύναμη με μια μονάδα ενέργειας φυσικού αερίου στην περιοχή, η ηλεκτρική ενέργεια είναι όμως περισσότερο από τρεις φορές ακριβότερη στην πηγή. Ένα πλεονέκτημα της μηδενικής καθαρής ενέργειας στον τόπο του κτηρίου, αποτελεί η ευκολία επιτόπιων μετρήσεων, γεγονός που δεν είναι δυνατό για την πρωτογενή ενέργεια και για τον ορισμό των μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, αφού σε αυτές τις περιπτώσεις, απαιτείται ο καθορισμός διαφορετικών παραγόντων, που σχετίζονται με την πηγή παραγωγής ενέργειας. Παράλληλα, ο ορισμός της μηδενικής ενέργειας, επηρεάζεται από τις λιγότερες εξωτερικές διακυμάνσεις, με αποτέλεσμα να μπορεί να επιτύχει πιο εύκολα το στόχο του. Ο κάθε διαφορετικός ορισμός κτηρίων μηδενικής ενέργειας, επηρεάζει αντίστοιχα τον τρόπο που σχεδιάζονται τα κτήρια για την επίτευξη του ίδιου κάθε φορά στόχου. [33]

Στην τρέχουσα πρακτική, η πιο κοινή προσέγγιση για τα ΚΜΕ, είναι η χρήση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο ως πηγή, αλλά και ως μέσο αποθήκευσης, αποφεύγοντας έτσι την

τοποθέτηση ηλεκτρικών συστημάτων αποθήκευσης στο κτήριο. Ο όρος «καθαρή» ενέργεια χρησιμοποιείται για κτήρια που συνδέονται στο δίκτυο, ώστε να καθοριστεί το ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ χρησιμοποιούμενης και προσφερόμενης ενέργειας, ενώ ο όρος «μηδενική καθαρή ενέργεια» εφαρμόζεται όταν το ισοζύγιο αυτό είναι μηδενικό. [28]



Διάγραμμα 3. Το σύνολο των πιθανών πηγών εισαγωγής ενέργειας σε ένα κτήριο. Πηγή: [19]

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε πρόσφατα μια αναδιατύπωση που αφορά την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων, στην οποία καθορίζεται κτήριο μηδενικής ενέργειας ως ένα κτήριο όπου, ως αποτέλεσμα του πολύ υψηλού επιπέδου ενεργειακής απόδοσης, η συνολική ετήσια πρωτογενής ενέργεια που καταναλώνεται είναι ίση ή μικρότερη από την παραγόμενη ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, που είναι συνδεδεμένες στο κτήριο. [28] Στην οδηγία, η «σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας», ορίζεται ως ένα κτήριο που έχει πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ μικρή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται, θα πρέπει να καλύπτεται σε πολύ σημαντικό βαθμό με ενέργεια παραγόμενη από ανανεώσιμες πηγές, που βρίσκονται είτε επί τόπου ή στη γύρω περιοχή. [9] Αυτό σημαίνει ότι η ζήτηση ενέργειας μειώνεται και αυτή η μειωμένη ζήτηση θα καλύπτεται σε ετήσια βάση από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές μπορεί είτε να ενσωματωθούν στο

κτηριακό κέλυφος ή μπορεί να διαβιβάζονται σε αυτό, για παράδειγμα, ως μέρος ενός κοινοτικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών. Επίσης, συνήθως σημαίνει ότι το δίκτυο χρησιμοποιείται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, όταν αυτή δεν υπάρχει διαθέσιμη από τις ΑΠΕ και παράλληλα το κτήριο θα εξάγει ενέργεια πίσω στο δίκτυο όταν έχει περίσσεια παραγωγής (διάγραμμα 3). Αυτή η «αμφίδρομη» ροή θα πρέπει να οδηγήσει σε μια θετική ή μηδενική εξαγωγή ενέργειας από το κτήριο προς το δίκτυο. Διάφορες καινοτόμες και ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες είναι ώριμες πλέον και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την εσωτερική άνεση των κτηρίων:

- Η βελτίωση της δομής του κτηρίου, δηλαδή η βελτίωση της μόνωσης, η αύξηση της θερμικής μάζας, η χρήση υλικών κλιματισμού, η δημιουργία υλικών αλλαγής φάσης, κλπ.
- Η χρήση καινοτόμων συστημάτων σκίασης.
- Η ενσωμάτωση υψηλής απόδοσης θέρμανσης και κλιματισμού, π.χ. αντλίες θερμότητας σε συνδυασμό με γεωθερμική ενέργεια ή ηλιακοί συλλέκτες, ηλιακός κλιματισμός, κλπ.
- Η αποδοτική χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακά θερμικά συστήματα, υβριδικά συστήματα, κλπ.).
- Η χρήση «έξυπνων» τρόπων διαχείρισης ενέργειας, όπως για παράδειγμα εξελιγμένων αισθητήρων, ελέγχου της ενέργειας (ζώνη θέρμανσης και κλιματισμού) και συστήματα παρακολούθησης. [1]

2.3. Ενεργειακό ισοζύγιο

Μονάδα μέτρησης του ισοζυγίου

Η μονάδα μέτρησης που εφαρμόζεται για τη «μηδενική ισορροπία», μπορεί να επηρεαστεί από μια σειρά παραμέτρων, σύμφωνα με τον κάθε φορά χρησιμοποιούμενο ορισμό, ως εκ τούτου μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερες της μίας μονάδας για τη μέθοδο υπολογισμού. Αυτές μπορεί να είναι η τελική ή μη-σταθμισμένη ενέργεια, η πρωτογενής ενέργεια, οι ισοδύναμες εκπομπές CO^2, η εξέργεια, το κόστος της ενέργειας ή άλλοι παράμετροι, που μπορεί να ορίζονται από την εκάστοτε εθνική ενεργειακή πολιτική. [32] Η μονάδα που εφαρμόζεται σε κάθε ορισμό κτηρίων μηδενικής ενέργειας μπορεί να επηρεαστεί από:

- τους στόχους του έργου,
- τις προθέσεις των επενδυτών,

- το ενδιαφέρον για το κλίμα και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και
- το ενεργειακό κόστος. [32]

Σύμφωνα με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης «Ενεργειακή απόδοση των κτηρίων - συνολική κατανάλωση ενέργειας και ορισμός της ενεργειακής βαθμολόγησης», ο υπολογισμός της ενεργειακής απόδοσης και κατάταξης των κτηρίων, θα πρέπει υποχρεωτικά να περιλαμβάνει μόνο την κατανάλωση ενέργειας που δεν «εξαρτάται από τη συμπεριφορά των κατοίκων, τις καιρικές συνθήκες και άλλες συνθήκες (εξωτερικές και εσωτερικές)», παράγοντες που αφορούν τη θέρμανση, κλιματισμό, αφύγρανση, αερισμό, ζεστό νερό και φωτισμό. Στην πράξη, οι μέθοδοι για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας ενός κτηρίου ποικίλουν και χρησιμοποιούν διαφορετικές κάθε φορά εισόδους και δεδομένα. [32]

Χρονική περίοδος ενεργειακού ισοζυγίου

Η χρονική περίοδος για την οποία πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί, μπορεί να διαφέρει πάρα πολύ. Πιθανές εκδοχές είναι ο πλήρης κύκλος ζωής του κτηρίου, ο χρόνος λειτουργίας του κτηρίου (π.χ. 50 χρόνια), το ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας ή ακόμη και το εποχιακό ή μηνιαίο ισοζύγιο. [32]

Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με την έννοια του κτηρίου μηδενικής ενέργειας, το ετήσιο ισοζύγιο είναι η πιο διαδεδομένη περίοδος υπολογισμού. Παρ' όλα αυτά ο πλήρης κύκλος ζωής του κτηρίου θα μπορούσε να είναι η πιο κατάλληλη περίοδος για την ενεργειακή ισορροπία, καθώς στην περίοδο αυτή περιλαμβάνονται, όχι μόνο η χρήση ενέργειας για τη λειτουργία του κτηρίου, αλλά και η ενέργεια που ενσωματώνεται στα δομικά υλικά, στην κατασκευή και την κατεδάφιση των τεχνικών εγκαταστάσεων. [32]

Τύπος του ισοζυγίου

Αυτό το θέμα αφορά ως επί το πλείστον κτήρια μηδενικής ενέργειας, που είναι συνδεδεμένα σε δίκτυο κοινής ωφελείας, αφού σε αυτό τον τύπο υπάρχουν δύο πιθανά ισοζύγια:

1. μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ή
2. μεταξύ της ενέργειας που παρέχεται στο κτήριο και της ενέργειας που προσφέρεται στο δίκτυο.

Καθώς το αποτέλεσμα και των δύο ισοζυγίων είναι το ίδιο στις περισσότερες περιπτώσεις, η κύρια διαφορά τους είναι η περίοδος εφαρμογής. Το πρώτο ισοζύγιο εφαρμόζεται κυρίως κατά τη φάση του σχεδιασμού ενός κτηρίου, ενώ το δεύτερο κατά τη φάση της παρακολούθησης. Στα εκτός δικτύου κτήρια μηδενικής ενέργειας, η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να αντισταθμίζεται από την παραγωγή. [32]

2.4. Συμπεράσματα ορισμών

Κατά την ανάλυση των υφιστάμενων ορισμών, μπορεί να παρατηρηθεί μια κοινή πορεία για την επίτευξη του στόχου. Πρώτον, η μείωση της ζήτησης ενέργειας με τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών μέτρων και δεύτερον η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που παρέχουν το υπόλοιπο της ενεργειακής ζήτησης. Τα μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας, είναι συνήθως διαθέσιμα για όλη τη διάρκεια ζωής του κτηρίου, ωστόσο, πρέπει να ελέγχονται ανά διαστήματα για να βεβαιώνεται ότι συνεχίζουν να εξοικονομούν ενέργεια. Είναι σχεδόν πάντα ευκολότερο να εξοικονομηθεί ενέργεια, παρά να παραχθεί και αυτή η στρατηγική είναι η πιο λογική προσέγγιση για την επίτευξη ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας. Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα κτήρια αυτά, είναι ταυτόχρονα ενεργειακά αποδοτικά, είναι δυνατό να οριστεί μια σταθερή τιμή της μέγιστης επιτρεπόμενης χρήσης ενέργειας, σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για συγκεκριμένα εξαρτήματα και τεχνολογίες. Πλησιάζοντας σε πιο συγκεκριμένα κριτήρια, οι απαιτήσεις του εσωτερικού κλίματος μπορεί επίσης να είναι μέρος του ορισμού. Από μία πλευρά, θα ήταν επωφελής, όλα τα διαφορετικά κτήρια μηδενικής ενέργειας, να χρησιμοποιούν τις ίδιες απαιτήσεις όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση και τις εσωτερικές κλιματικές συνθήκες, με αποτέλεσμα να είναι ευκολότερη η αξιολόγηση και η σύγκρισή τους, από διαφορετικές τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο. Από την άλλη πλευρά όμως, η θέσπιση λεπτομερών κριτηρίων για τον ορισμό ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας, θα μπορούσε να περιορίσει σημαντικά τη χρησιμότητα και την εφαρμογή του σε πολλές περιπτώσεις, δεδομένου ότι, διαφορετικές τιμές πρέπει να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τον τύπο του κτηρίου, τη θέση, το εφαρμοζόμενο πρότυπο και τις τοπικές κλιματικές συνθήκες. [32]

Το κόστος είναι ένα επιπλέον ζήτημα που συνήθως αγνοείται στη βιβλιογραφία από τους διάφορους ορισμούς ΚΜΕ, είναι όμως μεγάλης πρακτικής σημασίας και σημαντικό στοιχείο για τη μελλοντική ευρεία εφαρμογή της έννοιας. Μέχρι σήμερα, τα περισσότερα από τα ΚΜΕ είναι έργα επίδειξης και έρευνας, όπου το κόστος δεν έχει συχνά κεντρικό ρόλο. Δυστυχώς όμως, στην καθημερινή ζωή για ένα μέσο άτομο το κόστος είναι συνήθως ο βασικότερος παράγοντας λήψης αποφάσεων. Έτσι, η έννοια των ΚΜΕ και οι ορισμοί τους πρέπει να αναπτυχθούν ώστε να

προσελκύσουν την προσοχή ενός «μέσου ιδιοκτήτη» κτηρίου. Ένας πιθανός τρόπος θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει τον κύκλο ζωής του κτηρίου ως την περίοδο του ισοζυγίου. Με την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, παρατηρείται ότι αν και οι επενδυτικές δαπάνες για την κατασκευή ενός ΚΜΕ είναι υψηλότερες σε σχέση με ένα συμβατικό κτήριο, το κόστος λειτουργίας είναι αρκετά χαμηλότερο, λόγω της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών. Ως εκ τούτου, το συνολικό κόστος ενός ΚΜΕ σε σχέση με ένα συμβατικό κτήριο είναι μικρότερο. [32]

2.5. Ο ρόλος του βιοκλιματικού σχεδιασμού

Σύμφωνα με τους ορισμούς που αναφέρθηκαν παραπάνω, ένα κτήριο μηδενικής ενέργειας μπορεί να είναι ένα συμβατικό κτήριο, στο οποίο παρέχεται ένας πολύ μεγάλος ηλιακός συλλέκτη. Εάν το εν λόγω σύστημα προσφέρει περισσότερη ενέργεια κατά τη διάρκεια του έτους, από την καταναλισκόμενη, ο στόχος της μηδενικής ενέργειας επιτυγχάνεται. Αυτή η προσέγγιση για την επίτευξη ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας όμως, είναι επιθετική προς το περιβάλλον και τελικά αναποτελεσματική. Αντίθετα, όπως αναφέρθηκε, για την επίτευξη ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας, ο σχεδιασμός του πρέπει να γίνεται βάσει αρχών και προδιαγραφών, ώστε αφενός να εξοικονομείται ενέργεια για τη θέρμανση και τον κλιματισμό του (μείωση θερμικού και ψυκτικού φορτίου) και αφετέρου να εκμεταλλεύεται τις ήπιες μορφές ενέργειας, για την κάλυψη του θερμικού και ψυκτικού του φορτίου, με σύγχρονο στόχο να επιτυγχάνεται και η μικρότερη δυνατή επιβάρυνση του περιβάλλοντος. [32]

Ο καταλληλότερος ίσως τρόπος, για την επιτυχία του πρώτου τμήματος, της εξοικονόμησης δηλαδή ενέργειας, είναι η χρήση των σχεδιαστικών και κατασκευαστικών αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Ο όρος βιοκλιματικός σχεδιασμός, σχετίζεται με το σχεδιασμό εκείνο που ανταποκρίνεται στις κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος κλπ, με τρόπο ώστε το κτηριακό κέλυφος να τις τροποποιεί, για να δημιουργείται εσωτερικό κλίμα, που να απαιτεί τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και κλιματισμό και να παρέχει τις βέλτιστες συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης στους χρήστες. [41]

Στη χειμερινή περίοδο, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών, του αερισμού και της εξάτμισης, επιτρέποντας μόνον τον απαραίτητο για λόγους υγιεινής αερισμό και στην αύξηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία, ώστε αφενός να μειωθεί η διάρκεια της θερμαντικής περιόδου και αφετέρου να ελαττωθούν οι δαπάνες για την παροχή θέρμανσης. Αντίστοιχα, στη θερινή περίοδο ο ενεργειακός σχεδιασμός

στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία και στη βελτιστοποίηση των διαφόρων μεθόδων φυσικού κλιματισμού, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ή ακόμη και να αποτραπεί ο παρεχόμενος κλιματισμός από τον μηχανολογικό εξοπλισμό. [41]

3. Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων

Η αρχιτεκτονική που ονομάζεται βιοκλιματική, αποτελεί ουσιαστικά τη συνέχεια της παγκόσμιας παραδοσιακής αρχιτεκτονικής. Η ιδιαίτερη αρχιτεκτονική κάθε τόπου, προήλθε από τα υλικά που υπήρχαν διαθέσιμα σε κάθε περιοχή, σε συνδυασμό με τις κλιματολογικές συνθήκες και τη μορφολογία του εδάφους. [37] Η ιστορία της αρχιτεκτονικής όλων των χωρών, μας δείχνει ότι οι ενεργειακές θεωρήσεις έπαιζαν πάντα έναν πολύ σπουδαίο ρόλο στο σχεδιασμό, με βάση πάντα την κατάλληλη κάλυψη των συνθηκών άνεσης των χρηστών. Αντίθετα η καλύτερη κατανόηση του ενεργειακού παράγοντα, βοηθούσε στην αναζήτηση αρχιτεκτονικών λύσεων, πιο προσαρμοσμένων στις ειδικές συνθήκες ενός τόπου και γι' αυτό κατάλληλα ενταγμένων αισθητικά και λειτουργικά. [43] Αρχικά προσφέρονται στους ενοίκους καλύτερες, πιο ευχάριστες και πιο υγιεινές συνθήκες διαβίωσης. Μειώνεται η χρήση ορυκτών καυσίμων που κινδυνεύουν να εξαντληθούν, όπως το πετρέλαιο, και έχουν υψηλό οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος. Επίσης, οικονομικά οφέλη υπάρχουν και από τον περιορισμό του μηχανολογικού εξοπλισμού των κτηρίων, που συνεπάγεται μείωση του κόστους συντήρησης και λειτουργίας του. [37]

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά στο σχεδιασμό κτηρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών) με βάση το τοπικό κλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές, αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτήρια, με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών για θέρμανση, κλιματισμό και φωτισμό των κτηρίων. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και των περιβαλλοντικών πηγών, μέσω παθητικών συστημάτων, επιτυγχάνεται στα πλαίσια της συνολικής θερμικής λειτουργίας του κτηρίου και της σχέσης κτηρίου - περιβάλλοντος. Η θερμική λειτουργία ενός κτηρίου αποτελεί μία δυναμική κατάσταση, η οποία:

- εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους (την ηλιοφάνεια, τη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα, τη σχετική υγρασία, τον άνεμο, τη βλάστηση, το σκιασμό από άλλα κτήρια), αλλά και τις συνθήκες χρήσης του κτηρίου (είδος, χρονική διάρκεια κλπ) και
- βασίζεται στην αντίστοιχη ενεργειακή συμπεριφορά των δομικών του στοιχείων και κατ’ επέκταση των ενσωματωμένων παθητικών ηλιακών συστημάτων. [40]

Το ενεργειακό όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού οφείλεται στους παρακάτω κυρίως λόγους:

- εξοικονόμηση ενέργειας από την σημαντική μείωση απωλειών, λόγω της βελτιωμένης προστασίας του κελύφους και της συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων,
- παραγωγή θερμικής ενέργειας (θερμότητας) μέσω των παθητικών, ηλιακών συστημάτων, άμεσου η έμμεσου κέρδους, με συμβολή στις θερμικές ανάγκες των εσωτερικών χώρων και μερική κάλυψη των απαιτήσεων θέρμανσης του κτηρίου,
- δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης και μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων. [40]

Η απόδοση του βιοκλιματικού σχεδιασμού εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, γεγονός που τον καθιστά ευάλωτο σε εξωγενείς, μη ελεγχόμενους παράγοντες. Για τον λόγο αυτό, βασικά κριτήρια για την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού πρέπει να είναι:

- η απλότητα χρήσης των εφαρμογών και η αποφυγή πολύπλοκων παθητικών συστημάτων και τεχνικών,
- η μικρή συμβολή του χρήστη του κτηρίου στη λειτουργία των συστημάτων,
- η χρήση ευρέως εφαρμοσμένων συστημάτων,
- η χρήση τεχνικοοικονομικά αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών. [40]

Τέσσερα είναι τα βασικά συστήματα που επηρεάζουν και ελαχιστοποιούν τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτηρίου:

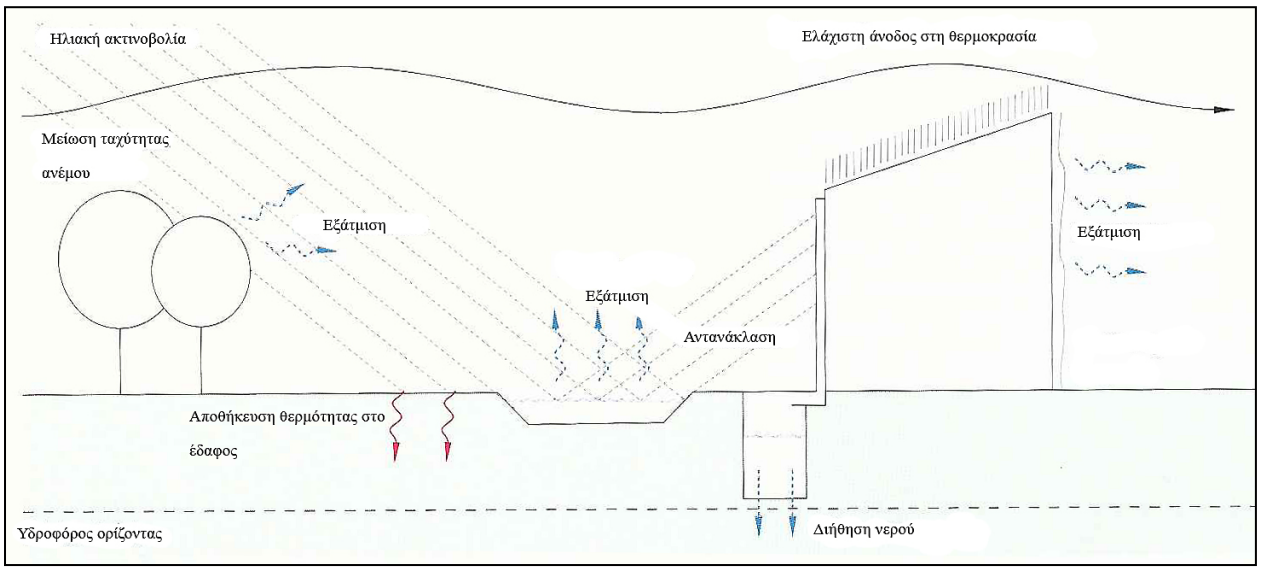
- Τα μη ενεργειακά συστήματα του κτηρίου, δηλαδή το κέλυφος και το εσωτερικό του κτηρίου (τοίχοι, δάπεδα, οροφές, χωρίσματα, παράθυρα, πόρτες κλπ).
- Τα συστήματα του περιβάλλοντος χώρου του κτηρίου, όπως φύτευση, ένταξη υγρών στοιχείων, υπαίθρια σκίαστρα, εκμετάλλευση των καλοκαιρινών ρευμάτων αέρα, προστασία από τους ψυχρούς χειμερινούς ανέμους κλπ.
- Τα ενεργειακά συστήματα του κτηρίου, δηλαδή τα συστήματα που απαιτούνται για τη θέρμανση, τον κλιματισμό, τον αερισμό, το φωτισμό, τη διακίνηση των ενοίκων, τη λειτουργία του μηχανικού εξοπλισμού των χώρων του κτηρίου κλπ.
- Τα ανθρώπινα συστήματα, που περιλαμβάνουν το προσωπικό για τη διαχείριση, τη λειτουργία και τη συντήρηση του κτηρίου. [43]

Συνεπώς, η βιοκλιματική λογική, μέσα από τη διαδικασία του σχεδιασμού του δομημένου χώρου, στοχεύει άμεσα στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προσαρμογή των κτηρίων στο περιβάλλον τους. [54]

3.1. Κλιματικές συνθήκες

Οι κλιματικές συνθήκες και το μικροκλίμα της περιοχής είναι τα πρώτα στοιχεία που πρέπει να εξετάζονται κατά το βιοκλιματικό σχεδιασμό ενός κτηρίου. (διάγραμμα 5). Στόχος είναι να αναλυθούν και να ερμηνευθούν τα ποσοτικά, κλιματικά στοιχεία της περιοχής, έτσι ώστε το κτήριο, μέσο του σχεδιασμού, να εναρμονιστεί με το περιβάλλον του. Τα στοιχεία αυτά που καθορίζουν και χαρακτηρίζουν το κλίμα είναι [37]:

- Εξωτερική θερμοκρασία
- Σχετική υγρασία
- Κίνηση του ήλιου
- Άνεμος
- Ηλιοφάνεια και νεφώσεις
- Βροχόπτωση [49]



Διάγραμμα 4. Στοιχεία και διεργασίες που επηρεάζουν το μικροκλίμα γύρω από ένα κτήριο. Πηγή: [15]

Εξωτερική θερμοκρασία

Το πιο σημαντικό στοιχείο του κλίματος που επηρεάζει άμεσα τις μεθόδους βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η εξωτερική θερμοκρασία. Δύο μέσα διερεύνησης της εξωτερικής θερμοκρασίας, αποτελούν οι μέσες μηνιαίες τιμές και οι ωριαίες τιμές για κάθε μήνα του χρόνου. Η διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας, καθώς επίσης και η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του ημερονυκτίου, αποτελούν κύριους παράγοντες για την επιλογή των κατάλληλων παθητικών συστημάτων. [49]

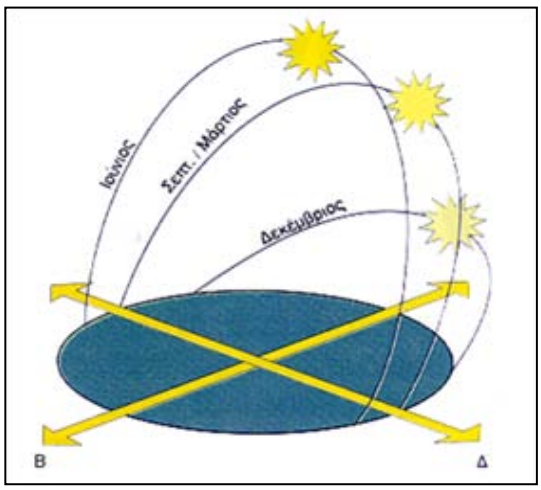
Υγρασία

Η παρουσία βλάστησης και υγρών στοιχείων όπως λίμνες, ποτάμια ή θάλασσες κοντά σε μια περιοχή επηρεάζει την υγρασία. Η υγρασία συμβάλει σημαντικά στην αίσθηση άνεσης του χρήστη. Έλλειψη θερμικής άνεσης, παρατηρούμε σε κλίματα που συνδυάζουν υψηλά ποσοστά υγρασίας με υψηλές θερμοκρασίες ή χαμηλά ποσοστά υγρασίας με υψηλές θερμοκρασίες, δημιουργώντας ξηρό περιβάλλον. Ανάλογες κλιματικές συνθήκες επικρατούν σε μερικές περιοχές της Μεσογείου. [37]

Η σχετική υγρασία είναι ο λόγος της ποσότητας ή του βάρους των υδρατμών, που περιέχει ο αέρας, προς εκείνη την ποσότητα ή το βάρος των υδρατμών, τους οποίους μπορεί να συμπεριλάβει (υπό αυτή τη θερμοκρασία και πίεση) μέχρις ότου αυτός κορεσθεί. Η σχετική υγρασία εκφράζεται επί τοις %, ενώ σε συνθήκες άνεσης θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 30% και 70%. [49]

Κίνηση του ήλιου

Η θέση του ήλιου στον ουρανό προσδιορίζεται από το ηλιακό ύψος (altitude) και το αζιμούθιο (azimuth), δηλαδή την γωνία μεταξύ της οριζόντιας προβολής της ηλιακής ακτίνας και του άξονα βορρά-νότου. [37] Η εύρεση της τροχιάς και της θέσης του ήλιου είναι απαραίτητο εργαλείο για μελέτες φυσικού φωτισμού, σκίασης και εντοπισμού εμποδίων ηλιασμού από διπλανά κτήρια, δένδρα, ακόμη και παρακείμενους λόφους. Κατά τη περίοδο υψηλών θερμοκρασιών, η σκίαση από τέτοια εμπόδια είναι



Διάγραμμα 5. Κίνηση του ήλιου στις διάφορες εποχές του χρόνου. Πηγή: [98]

επιθυμητή, ενώ σε περιόδους με χαμηλές θερμοκρασίες, η σκίαση πρέπει να μειώνεται, για την εκμετάλλευση της ηλιακή ακτινοβολίας και τη θέρμανση των εσωτερικών χώρων. [49] Όπως διακρίνεται στο διάγραμμα 4, η ηλιακή τροχιά διαφέρει ανάλογα με την εποχή, έτσι το καλοκαίρι ο ήλιος έχει μεγάλη γωνία ως προς το οριζόντιο επίπεδο, ενώ το χειμώνα έχει μικρή.

Άνεμος

Η γνώση των επικρατέστερων κατευθύνσεων και ταχυτήτων του ανέμου σε κάθε περιοχή είναι σημαντική. Ανεμομετροδεικτικά διαγράμματα για κάθε περιοχή παρέχουν αυτές τις πληροφορίες, που συλλέγονται από μετεωρολογικά δίκτυα, συνήθως σε τοποθεσίες εκτεθειμένες σε όλες τις διευθύνσεις. Η τοπογραφική διαμόρφωση (π.χ. ύπαρξη λόφων) είναι δυνατόν να τροποποιήσει τη διεύθυνση του ανέμου, να προστατεύσει ή ακόμα και να εκθέσει μια τοποθεσία σε δυσμενείς ανέμους. Ο αέρας που έρχεται σε επαφή με επιφάνειες θερμαινόμενες από τον ήλιο, τείνει να ανέβει προς τα πάνω, ενώ αντίθετα σε επαφή με ψυχρές επιφάνειες δημιουργεί καθοδικά ρεύματα. [37] Η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου αποτελούν σημαντικά κριτήρια για την κατάλληλη επιλογή παθητικών συστημάτων. [49]

Ηλιοφάνεια και νεφώσεις

Η ποσότητα και η διάρκεια της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους σε μια περιοχή εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας, την ώρα της μέρας, την εποχή του έτους και από μετεωρολογικούς παράγοντες. [37] Τα επίπεδα ηλιοφάνειας και νεφώσεων, αποτελούν σημαντικά στοιχεία στο σχεδιασμό του φυσικού φωτισμού, καθώς επίσης και στην επιλογή εγκατάστασης ηλιοθερμικών συστημάτων και φωτοβολταϊκών πλαισίων. [49]

Βροχόπτωση

Η ένταση της βροχόπτωσης μετριέται με βάση τα χιλιοστά βροχής (mm) που πέφτουν ανά ώρα. Τα επίπεδα βροχόπτωσης αποτελούν χρήσιμα δεδομένα στο σχεδιασμό του κτηρίου και στη βελτιστοποίηση της τοποθεσίας του εντός του οικοπέδου. Επίσης χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του μέτρου συλλογής και χρήσης βρόχινων νερών, καθώς και διασταύρωσης των κλιματικών δεδομένων σχετικής υγρασίας. Υψηλά επίπεδα βροχόπτωσης συμπίπτουν με υψηλή σχετική υγρασία του περιβάλλοντος αέρα. [49]

3.2. Μορφή και προσανατολισμός κτηρίου

Η μορφή του κτηρίου παίζει κυρίαρχο ρόλο στην αποτελεσματική εφαρμογή των βιοκλιματικών μέτρων και είναι άμεσα συνυφασμένη με την αρχιτεκτονική του κτηρίου και την ευρύτερη ενσωμάτωση του οικοδομήματος στο αστικό ή αγροτικό περιβάλλον. Ο όγκος, οι επιφάνειες και η περίμετρος επηρεάζουν τις θερμικές απώλειες και τα θερμικά κέρδη του κτηρίου. [49]

Η απλούστερη μέθοδος παθητικής θέρμανσης είναι η συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μέσα από τα κατάλληλα προσανατολισμένα ανοίγματα. Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν και διασφαλίζουν τη λειτουργία ενός κτηρίου ως «φυσικού ηλιακού συλλέκτη» και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, από τα πρώτα στάδια σχεδιασμού ενός κτηρίου είναι:

- Το σχήμα και η χωροθέτηση του κτηρίου στο οικόπεδο
- Ο προσανατολισμός του κτηρίου και των ανοιγμάτων
- Το μέγεθος και ο τύπος των ανοιγμάτων [37]

Η βελτιστοποίηση των σχέσεων μεταξύ των μεγεθών αυτών, συμβάλλει στη μείωση των θερμικών απωλειών και κερδών, ανάλογα την περίοδο λειτουργίας, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση και κλιματισμό. [49]

Σχήμα και χωροθέτηση του κτηρίου στο οικόπεδο

Η χωροθέτηση του κτηρίου στο οικόπεδο πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται ο σκιασμός του κατά τους ψυχρούς μήνες, από άλλα κτήρια ή φυσικά στοιχεία όπως δέντρα. Η χειμερινή περίοδος είναι η πιο επιρρεπής στο σκιασμό μεγάλων επιφανειών, γιατί ο ήλιος είναι χαμηλά και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων μικρή. [37]

Από ενεργειακή άποψη η μορφή του κτηρίου έχει καθοριστικό ρόλο στη θερμική του συμπεριφορά, καθώς προδιαγράφει μέσω του κελύφους που λειτουργεί ως φίλτρο, την ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. [39] Το καταλληλότερο από ενεργειακή σκοπιά σχήμα ενός κτηρίου είναι εκείνο που εμφανίζει το χειμώνα τις μικρότερες θερμικές απώλειες και το μεγαλύτερο ηλιακό κέρδος, ενώ το καλοκαίρι τη μικρότερη δυνατή θερμική επιβάρυνση από την ηλιακή ακτινοβολία. Για ένα συγκεκριμένο όγκο, το συμπαγές σχήμα εμφανίζει τις μικρότερες θερμικές απώλειες το χειμώνα. Το κτήριο όμως τετράγωνης κάτοψης, δεν είναι η καλύτερη λύση για όλες τις περιοχές: για τα ψυχρά κλίματα βέλτιστη λύση αποτελούν τα κτήρια κυβικής μορφής, ενώ για τα εύκρατα κλίματα, τα επιμήκης κτήρια στον άξονα Ανατολής - Δύσης. [41]

Έτσι υπάρχει δυνατότητα μεγαλύτερης επιφάνειας προς νότο για συλλογή άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα και δυνατότητα ελέγχου της με οριζόντια σκίαστρα το καλοκαίρι. [37]

Οι μικροκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στις πλευρές ενός κτηρίου είναι επίσης καθοριστικές για μια ορθή διάταξη των χώρων. Η βόρεια πλευρά παραμένει η πιο ψυχρή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, γιατί δε δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία και γιατί οι χειμερινοί άνεμοι έχουν συνήθως βόρεια κατεύθυνση. Η ανατολική και δυτική πρόσοψη, δέχεται ίση περίπου ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά η δυτική παραμένει πιο ζεστή εξαιτίας του συνδυασμού ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών μεσημβρινών θερμοκρασιών του αέρα. Η νότια πλευρά είναι η φωτεινότερη και η πιο ζεστή και δέχεται ηλιακή ακτινοβολία στη διάρκεια όλης της ημέρας. [41]

Προσανατολισμός ανοιγμάτων

Όσον αφορά το βιοκλιματικό σχεδιασμό, τα ανοίγματα (μέγεθος, θέση, προσανατολισμός) και οι ιδιότητες των υλικών τους, επηρεάζουν όσο κανένα άλλο στοιχείο του κτηρίου τα ποσοστά της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο εσωτερικό του κτηρίου. Η γνώση της ημερήσιας τροχιάς του ήλιου στις διάφορες εποχές του έτους, βοηθά στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για το σχεδιασμό των κτηρίων και την τοποθέτηση των χώρων σε σχέση με τις απαιτήσεις ηλιασμού και θέρμανσης. [41]

Ο καλύτερος προσανατολισμός για μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, φωτεινότητα και θερμότητα είναι προς τον ισημερινό (νότιος προσανατολισμός). Προσανατολίζοντας τους κύριους χώρους ενός σπιτιού προς τον ήλιο, μπορεί να εξοικονομηθεί έως 30% των ετήσιων αναγκών για θέρμανση. Αντίθετα, ο δυτικός προσανατολισμός πρέπει να αποφεύγεται ιδιαίτερα σε χώρους με ηλιοφάνεια, λόγω της πιθανής υπερθέρμανσής τους, επειδή ο ήλιος κατά τη δύση του συμπίπτει με τη θερμότερη ώρα της ημέρας (μεταμεσημβρινή). [14]

Μέγεθος, θέση και τύπος των ανοιγμάτων

Η αναλογία ανοιγμάτων/τοίχων είναι μια άλλη σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το εσωτερικό περιβάλλον και την κατανάλωση ενέργειας. Τα σχετικά χαμηλά επίπεδα μόνωσης που παρέχονται από τα παράθυρα, έχουν αντίκτυπο στην εσωτερική θερμική απόδοση κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ αντίθετα τα μεγαλύτερα παράθυρα αυξάνουν τα εσωτερικά κέρδη από την ηλιακή ακτινοβολία. [6] Με την αύξηση της επιφάνειας κυρίως των νότιων ανοιγμάτων, αυξάνονται τα άμεσα ηλιακά κέρδη, αλλά ταυτόχρονα αυξάνονται και οι απώλειες θερμότητας, ο κίνδυνος υπερθέρμανσης τις ζεστές μέρες και τα φαινόμενα θάμβωσης. Σαν γενικός κανόνας για

κλίματα με πολύ θερμά καλοκαίρια, ισχύει ότι η επιφάνεια των διαφανών στοιχείων δεν πρέπει να ξεπερνά το 10-15% του εμβαδού των θερμαινόμενων χώρων του κτηρίου. Σε ψυχρότερα κλίματα μεγαλύτερα ποσοστά υαλοστασίων (20-30%) είναι αποδεκτά με την προϋπόθεση ότι τα υαλοστάσια διαθέτουν ικανοποιητική μόνωση και προσανατολίζονται κυρίως στο νότο. [37]

Στερεότητα

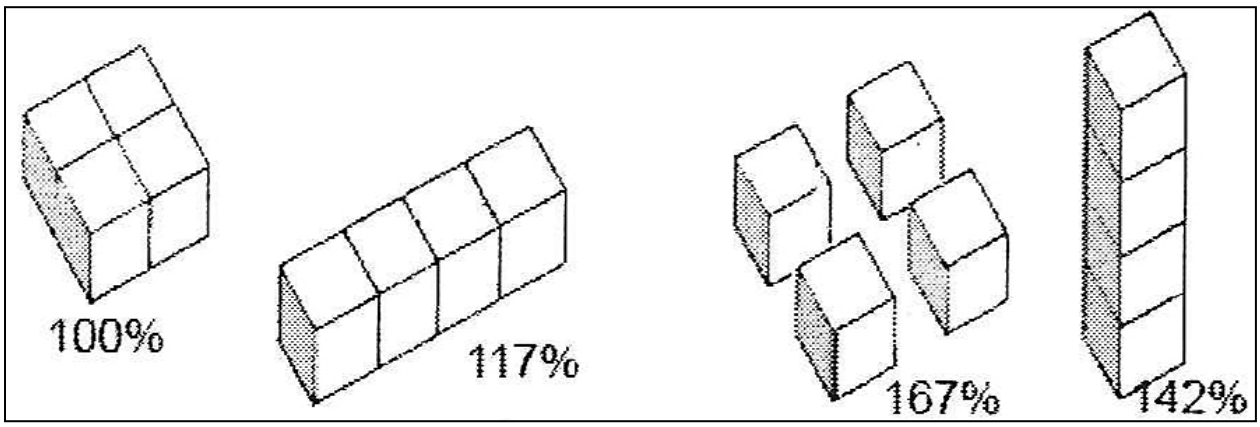
Ο λόγος του εμβαδού της επιφάνειας προς τον όγκο του κτηρίου, είναι πολύ σημαντικός για τη μεταφορά θερμότητας μέσα και έξω από το κτήριο. Μια γενική αρχή είναι πως όσο μεγαλύτερος ο όγκος του κτηρίου, τόσο μεγαλύτερο είναι και το μέγεθος της επιφάνειας που θα χάσει ή θα αποταμιεύσει θερμότητα. Το κτήριο πρέπει να είναι σχεδιασμένο ως μια συμπαγής μορφή, για να επιτευχθεί και να διατηρηθεί το επιθυμητό επίπεδο θερμικής άνεσης. Σε χώρες με θερμό κλίμα, το κτήριο πρέπει παράλληλα, να διαχέει αποτελεσματικά τη θερμότητα που προσλαμβάνει. [14]

Ένας άμεσος τρόπος αξιολόγησης της μορφής σε σχέση με το σχήμα μιας κατοικίας είναι το μέγεθος στερεότητας, το οποίο χρησιμοποιείται από τους κανονισμούς PassivHaus και ορίζεται ως ο λόγος του όγκου του θερμαινόμενου κτηρίου προς το άθροισμα των επιφανειών που παρουσιάζουν θερμικές απώλειες. Δύο κτήρια που έχουν τον ίδιο όγκο και είναι κτισμένα από τα ίδια υλικά, μπορεί να έχουν διαφορετική εξωτερική επιφάνεια και συνεπώς διαφορετικές απώλειες κελύφους. [43] Ένα κτήριο με αποτελεσματική μορφή, ως προς την κατανάλωση ενέργειας, είναι ένα κτήριο με υψηλή στερεότητα. Κατά τους χειμερινούς μήνες οι εξωτερικές επιφάνειες του κτηρίου είναι σχετικά μικρές και κατά συνέπεια οι θερμικές απώλειες διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα. Παρ' όλα αυτά και ιδιαίτερα στο ελληνικό μεσογειακό κλίμα, στο οποίο τα ηλιακά κέρδη είναι πολύ μεγαλύτερα, κτήρια με μέση στερεότητα είναι προτιμητέα με σκοπό τη δημιουργία μεγάλων, νότια προσανατολισμένων όψεων, οι οποίες μπορούν να εκμεταλλευτούν άμεσα τα ηλιακά κέρδη κατά τη χειμερινή περίοδο. [49]

Περίμετρος και επιφάνεια κτηρίου

Ένα δεύτερο μέγεθος αξιολόγησης της μορφής του κτηρίου αποτελεί ο λόγος της περιμέτρου προς την επιφάνεια του κτηρίου. Για την προστασία από τις θερμικές απώλειες, το κτήριο θα πρέπει να σχεδιάζεται με όσο το δυνατόν λιγότερες εξωτερικές επιφάνειες, δηλαδή ο λόγος περιμέτρου προς επιφάνεια θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος (διάγραμμα 6). Για τον ελληνικό χώρο και το μεσογειακό κλίμα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω κριτήρια κατά το σχεδιασμό της μορφής του κτηρίου:

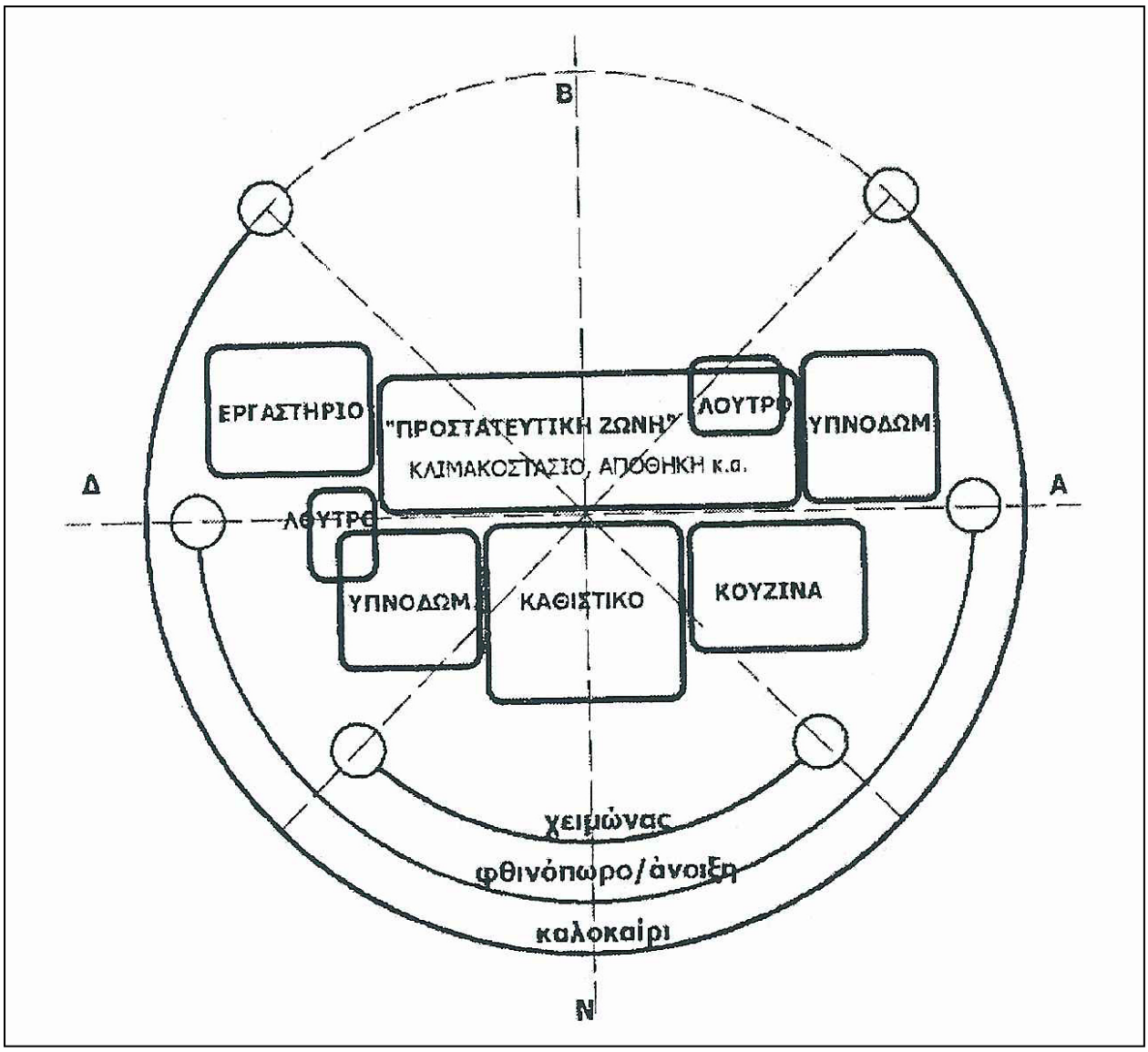
- Μείωση της επιφάνειας της δυτικής όψης για τη μείωση των θερμικών κερδών τους θερμούς μήνες.
- Μέτρια επιφάνεια της νότιας όψης για την εκμετάλλευση των θερμικών κερδών του χειμερινούς μήνες.
- Μικρό έως μέτριο μέγεθος ανοιγμάτων για τη μείωση των θερμικών κερδών το καλοκαίρι και την επίτευξη ικανοποιητικού φυσικού φωτισμού το χειμώνα. [49]



Διάγραμμα 6. Διάφορες διατάξεις μιας μονάδας κτηρίου – κύβου. Το ποσοστό των θερμικών απωλειών αυξάνεται όσο αυξάνεται η επιφάνεια του κτηρίου. Πηγή: [37]

Λειτουργική οργάνωση των εσωτερικών χώρων

Κατά το σχεδιασμό της κάτοψης ενός κτηρίου, οι εσωτερικοί χώροι θα πρέπει να οργανωθούν και να ομαδοποιηθούν, έτσι ώστε αυτοί με μεγάλο χρόνο χρήσης και υψηλές επιθυμητές εσωτερικές θερμοκρασίες (καθιστικό, τραπεζαρία, κουζίνα) να χωροθετηθούν στη νότια πλευρά του κτηρίου (διάγραμμα 7). Αντίθετα οι χώροι με περιορισμένο χρόνο χρήσης που απαιτούν συγκριτικά χαμηλότερες θερμοκρασίες (W.C., υπνοδωμάτια) θα πρέπει να χωροθετούνται σε ενδιάμεση θερμική ζώνη. Οι υπόλοιποι βοηθητικοί χώροι, (garage, αποθήκες κλπ) θα πρέπει να τοποθετούνται στη βορινή πλευρά, ώστε να λειτουργούν ως ζώνη θερμικής ανάσχεσης, ανάμεσα στους θερμαινόμενους χώρους και το εξωτερικό περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι θερμικές απώλειες από τους κύριους χώρους χρήσης. [39]



Διάγραμμα 7. Διάταξη των χώρων μιας κατοικίας με βάση τις θερμικές ζώνες και σχηματική απεικόνιση της τροχιάς του ήλιου τις διάφορες εποχές του χρόνου. Πηγή: [37]

3.3. Θερμική συμπεριφορά κελύφους

Με βάση τα κριτήρια του ενεργειακού σχεδιασμού, το κέλυφος καλείται να εκπληρώσει τρεις βασικούς ρόλους:

- Να λειτουργήσει ως «επιλεκτικός ηλιακός συλλέκτης», δηλαδή να συνεισφέρει στη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας, όταν αυτή είναι διαθέσιμη και απαραίτητη και να την κρατήσει μακριά όταν είναι ανεπιθύμητη.
- Να λειτουργήσει ως «φράγμα θερμικών απωλειών» ώστε η θερμότητα που δεσμεύτηκε από την ηλιακή ακτινοβολία να μη διαφύγει στο εξωτερικό περιβάλλον.

- Να λειτουργήσει ως «θερμική αποθήκη», ώστε η συλλεχθείσα θερμότητα να αποθηκευτεί για να αποδοθεί στους εσωτερικούς χώρους, όταν είναι χρήσιμη (τις βραδινές ώρες ή σε περιόδους με συννεφιά). [41]

Τρόποι μετάδοσης της θερμότητας στα κτήρια

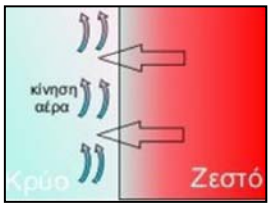
Η θερμότητα, σύμφωνα με τους νόμους της φυσικής, μεταδίδεται με τρεις τρόπους (διάγραμμα 11):

- μέσω αγωγής (conduction)
- μέσω συναγωγής (convection)
- μέσω ακτινοβολίας (radiation)

Αγωγή ονομάζεται η μετάδοση θερμότητας από μόριο σε μόριο σε στερεά, υγρά και αέρια σώματα, με διαφορετική όμως ταχύτητα. Κακοί αγωγοί της θερμότητας είναι τα περισσότερα υγρά και αέρια. Πορώδη υλικά τα οποία παγιδεύουν αέρα, είναι καλοί μονωτές (π.χ. πολυστερίνη, πολυουρεθάνη) (διάγραμμα 8). [37]

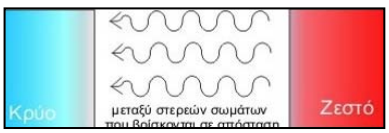
Διάγραμμα 8. Μεταφορά θερμότητας με αγωγή-επαφή. Πηγή: [94]

Συναγωγή ή θερμική μετάβαση είναι η μεταβίβαση θερμότητας με τη μετακίνηση θερμών μορίων υγρών, για παράδειγμα υδρατμών ή αέρα μέσα στο χώρο. Η θέρμανση του αέρα ενός δωματίου με ένα συμβατικό θερμαντικό σώμα (καλοριφέρ) γίνεται και μέσω της διαδικασίας της συναγωγής. Κατά τη διαδικασία της φυσικής συναγωγής, η θερμαινόμενη μάζα του αέρα διαστέλλεται και αποκτά μικρότερο ειδικό βάρος, με αποτέλεσμα να ανεβαίνει προς τα πάνω και να αντικαθίσταται από ψυχρότερη. Αυτό το φαινόμενο δημιουργεί ένα φυσικό ρεύμα αέρα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον αερισμό εσωτερικών χώρων (διάγραμμα 9). [37]



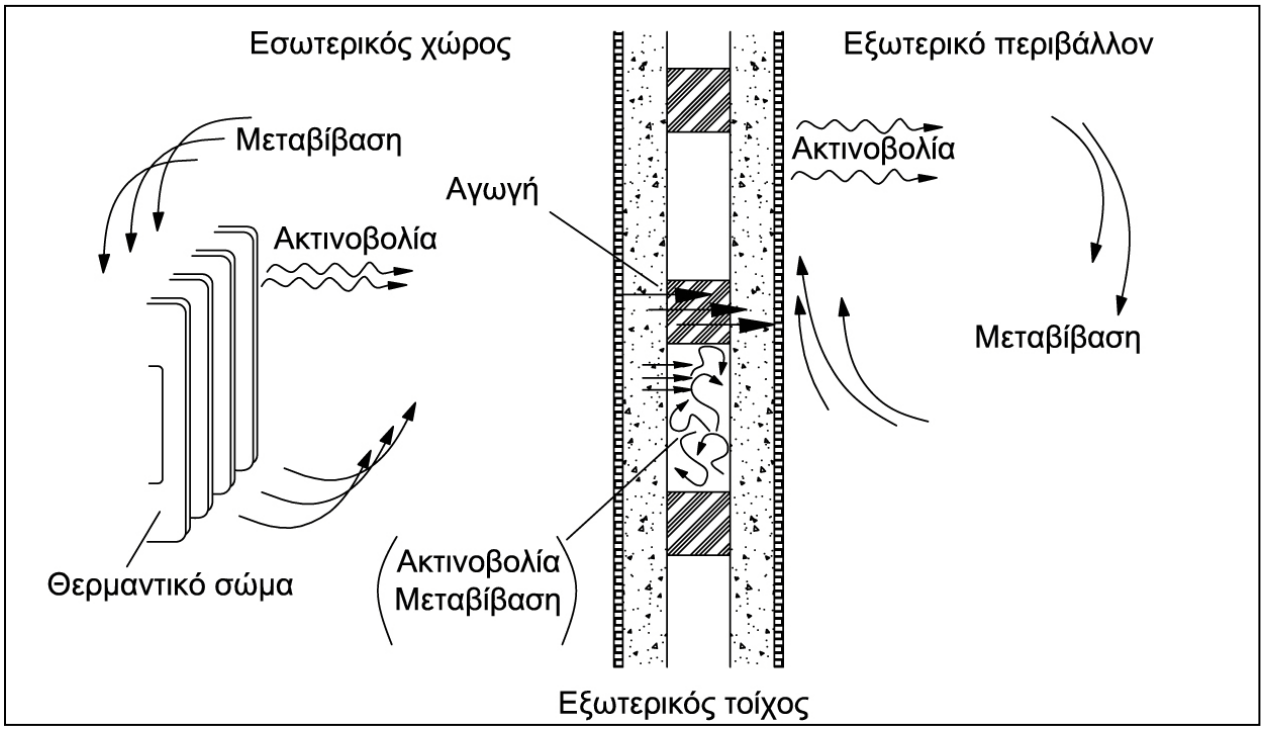
Διάγραμμα 9. Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή- ανάμειξη. Πηγή: [94]

Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία γίνεται με ανταλλαγή θερμικής ακτινοβολίας μεταξύ επιφανειών που διαχωρίζονται από αέρα (διάγραμμα 10). Η ποσότητα της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένα σώμα, εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία και τη φύση της επιφάνειάς του (υφή, χρώμα, μέγεθος). Γι' αυτό το λόγο, υλικά με σκούρες και όχι λείες επιφάνειες, έχουν την



Διάγραμμα 10. Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία. Πηγή: [94]

ιδιότητα να απορροφούν περισσότερη θερμότητα, την οποία εκπέμπουν με ακτινοβολία. Σε ζεστά κλίματα, η χρήση ανοικτών χρωμάτων μειώνει τα θερμικά κέρδη από ακτινοβολία. Για τη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας επιλέγονται σκούρα χρώματα επιφανειών ηλιακών συλλεκτών ή ηλιακών τοίχων, για μέγιστη απόδοση. [37]



Διάγραμμα 11. Τρόποι μετάδοσης θερμότητας. Πηγή: [57]

<u>Η έννοια του θερμικού ισοζυγίου</u>

Η επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα για ένα χώρο, καθορίζεται από τους κανονισμούς που ισχύουν, με στόχο την εξασφάλιση θερμικής άνεσης για τον χρήστη του χώρου και έχει άμεση σχέση με την δραστηριότητα που εκτελείται στον χώρο, την ηλικία, τον τρόπο ένδυσης κλπ. Για να επιτευχθεί και να διατηρηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία, παρέχεται στο κτήριο θέρμανση ή κλιματισμό, που καλύπτει τη θερμοκρασιακή διαφορά από την θερμοκρασία που θα επικρατούσε στο κτήριο χωρίς αυτήν την παροχή, μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία. Όσο μικρότερη είναι η συμβολή της θέρμανσης ή του κλιματισμού για την εξισορρόπηση του θερμικού ισοζυγίου και την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης, τόσο οικονομικότερη είναι η λειτουργία του κτηρίου. [43]

Οι χρήστες του κτηρίου με τη «συμπεριφορά» και τις συνήθειές τους, μπορούν να διαφοροποιήσουν τη θερμική συμπεριφορά και επομένως την τελική κατανάλωση ενέργειας ενός κτηρίου. Ενημερωμένοι και συνεπώς συνειδητοποιημένοι σε σχέση με το «ενεργειακό πρόβλημα» χρήστες, με την ορθολογική χρήση των διαφόρων συστημάτων ελέγχου του

εσωκλίματος που έχουν στην διάθεσή τους, μπορούν να συμβάλλουν στην μείωση των θερμικών απωλειών, στην αποφυγή της υπερθέρμανσης και γενικότερα στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Τελικά, με τον όρο θερμικό ισοζύγιο του κτηρίου εννοούμε το άθροισμα όλων των θερμικών ροών από και προς ένα κτήριο. Οι θερμικές αυτές ροές αναφέρονται σε κέρδη (θερμικές πρόσοδοι ή θερμικά κέρδη) και σε απώλειες (θερμικές απώλειες) του κτηρίου, που οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος. [43]

Θερμικές απώλειες από αγωγιμότητα

Για να υπολογιστούν οι θερμικές απώλειες από αγωγιμότητα σε μία κατοικία, πρέπει να προσδιοριστούν επακριβώς τα στοιχεία του κελύφους της:

Εξωτερικοί τοίχοι

Πρέπει να προσδιοριστεί το υλικό κατασκευής, το είδος της μόνωσης, το πάχος της μόνωσης και ο συντελεστής θερμοπερατότητας που προκύπτει από τη σύνθεση των υλικών και τελικώς να υπολογισθούν οι θερμικές απώλειες.

Οροφή

Πρέπει να προσδιοριστεί το υλικό κατασκευής, το είδος της μόνωσης, το πάχος της μόνωσης, ο συντελεστής θερμοπερατότητας και να υπολογισθούν τελικά οι θερμικές απώλειες.

Δάπεδο

Παρομοίως ως άνω, πρέπει να προσδιοριστεί το υλικό κατασκευής, το είδος της μόνωσης, το πάχος της μόνωσης, ο συντελεστής θερμοπερατότητας και να υπολογισθούν οι θερμικές απώλειες.

Παράθυρα και εξωστόθυρες

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία πλαισίων κουφωμάτων (μεταλλικά, ξύλινα, πλαστικά), διαφορετικός βαθμός εφαρμογής των κινητών πλαισίων στο σκελετό των ανοιγμάτων, καθώς και δυνατότητα χρήσης απλών, διπλών ή τριπλών υαλοπινάκων. Η κατάλληλη επιλογή του παραθύρου μπορεί να μειώσει σημαντικά τις θερμικές απώλειες. Η επιλογή του, με ενεργειακά κριτήρια, θα προκύψει από το χρόνο απόσβεσής του, συνυπολογίζοντας και άλλα πλεονεκτήματα (ηχομόνωση, αεροστεγανότητα, συντήρηση, εμφάνιση κλπ). [43]

Θερμικές απώλειες χώρου από μη ελεγχόμενο αερισμό (Διείσδυση αέρα)

Η ποσότητα διείσδυσης αέρα σε ένα κτήριο εξαρτάται άμεσα από την αεροπερατότητα των δομικών στοιχείων του (παράθυρα, πόρτες, στέγες, τοίχοι, δάπεδα). Η αεροπερατότητα ενός δομικού στοιχείου εξαρτάται:

- Από τον αριθμό, τις διαστάσεις και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ανοιγμάτων που έχουν προβλεφθεί σ' αυτό, για την εξασφάλιση οπτικής επικοινωνίας, φυσικού αερισμού και φωτισμού των εσωτερικών χώρων (πόρτες, παράθυρα, φεγγίτες, οπές εξαερισμού).
- Από τον τρόπο κατασκευής των ανοιγμάτων, τα υλικά κατασκευής, τη στερέωση του πλαισίου στον τοίχο, το μηχανισμό και τη φορά ανοίγματος και κλεισίματος (συρόμενος, περιστρεφόμενος κλπ)
- Από τη θέση και το ύψος του κτηρίου
- Από την ύπαρξη και τον τρόπο κατασκευής ανοιγμάτων που προορίζονται για διέλευση διάφορων αγωγών παροχής (ηλεκτρικά και τηλεφωνικά καλώδια, αγωγοί ύδρευσης, αποχέτευσης, φυσικού αερίου κλπ).
- Από κατασκευαστικές ατέλειες των προβλεφθέντων ανοιγμάτων που έχουν σαν αποτέλεσμα την ύπαρξη ανεπιθύμητων ρωγμών στην επιφάνειά τους, αλλά και λόγω της πορώδους υφής των δομικών υλικών. Αποτέλεσμα αυτών είναι ότι κάθε δομικό στοιχείο, ακόμη και αν δεν περιέχει ανοίγματα, είναι, σε κάποιο βαθμό, αεροπερατό.
- Από φθορές που συνεπάγεται η γήρανση των υλικών, η επίδραση των καιρικών φαινομένων, αλλά και η χρήση τους από τους ενοίκους. Αποτέλεσμα των φθορών είναι η εμφάνιση νέων ρωγμών ή η διεύρυνση των υπαρχουσών.
- Τέλος, εξαρτάται από τις συνήθειες των ενοίκων που αντανακλούν σε χρόνο που τα ανοίγματα παραμένουν ανοικτά για να εξυπηρετήσουν τις υποκειμενικές τους ανάγκες για θέρμανση / κλιματισμό και ανανέωση του αέρα. [43]

Θερμική, οπτική και ηχητική άνεση

Παράμετροι όπως το κλίμα, το φως, ο θόρυβος, η βλάστηση, οι ζωντανοί οργανισμοί, η μόλυνση της ατμόσφαιρας κλπ, συνθέτουν το φυσικό περιβάλλον και επηρεάζουν την υγεία και την παραγωγικότητα του ανθρώπου. Η θερμική, η οπτική και η ηχητική άνεση είναι οι τρεις σημαντικότερες συνισταμένες που επηρεάζουν την ευεξία του ανθρώπου και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το κέλυφος του κτηρίου και τα συστήματα ελέγχου του εσωκλίματος. [41]

Με τον όρο «θερμική άνεση» εννοούμε την αίσθηση φυσικής και πνευματικής ευεξίας που έχει ένας άνθρωπος σε ένα περιβάλλον και ως εκ τούτου αισθάνεται την ανάγκη για αλλαγή στη θερμοκρασία του χώρου. [37] Το αίσθημα της θερμικής άνεσης δημιουργείται όταν καταναλώνεται η ελάχιστη ενέργεια από τον οργανισμό για την εξασφάλιση των θερμορρυθμιστικών λειτουργιών στο ανθρώπινο σώμα, ώστε να διατηρηθεί το θερμικό ισοζύγιο του ατόμου. [41]

3.4. Ηλιοπροστασία και σκίαση

Η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων του κτηρίου αποτελεί μια από τις κύριες τεχνικές για τη μείωση των θερμικών κερδών, κατά τη διάρκεια των θερμών ημερών του έτους. Ιδιαίτερα στον ελληνικό χώρο, όπου τα ηλιακά φορτία είναι εξαιρετικά υψηλά, η σκίαση των ανοιγμάτων είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική εφαρμογή των συστημάτων φυσικού κλιματισμού και κλιματισμού. Στην περίπτωση των συστημάτων κλιματισμού, η σκίαση επιτυγχάνει τη διατήρηση των εσωτερικών θερμοκρασιών σε ανεκτά επίπεδα και συνεπώς συμβάλλει στη βελτίωση των συνθηκών άνεσης, ενώ στην περίπτωση των συστημάτων κλιματισμού, επιτυγχάνει μείωση των ηλιακών κερδών και των φορτίων αιχμής με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας. Παράλληλα η σκίαση θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να εξασφαλίζει ικανοποιητικό ηλιασμό και να μην παρεμποδίζει τη θέα στους περιβάλλοντες χώρους. Σκίαση επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, όπως με εξωτερικά σκίαστρα, με το ίδιο το σχήμα το κτηρίου, καθώς και με ειδικά διαμορφωμένες προεξοχές αυτού. [49]

Σκιασμός κτηρίου και ηλιοπροστασία ανοιγμάτων

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί τη σημαντικότερη εξωτερική πηγή για το ψυκτικό φορτίο των κτηρίων. Μολονότι τα παράθυρα καλύπτουν, κατά κανόνα, σχετικά μικρό ποσοστό της εξωτερικής επιφάνειας του κτηρίου, τα ηλιακά κέρδη που προκύπτουν από αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικά. [54] Η ηλιοπροστασία ενός κτηρίου τις εποχές ή μέρες του χρόνου όπου η θερμοκρασία ξεπερνά τα επίπεδα άνεσης, επιτυγχάνεται με το σκιασμό του κελύφους του κτηρίου και κυρίως των ανοιγμάτων του. Όσον αφορά το κτήριο, σημαντική είναι, όπως και στην παθητική ηλιακή θέρμανση, η χωροθέτησή του στο οικόπεδο, ο όγκος και το σχήμα του και η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου του οικοπέδου. [37]

Η μελέτη της ηλιοπροστασίας πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν τις ανάγκες του φυσικού φωτισμού και του χειμερινού ηλιασμού για την παθητική θέρμανση του χώρου. Συγκεκριμένα, ο φυσικός φωτισμός μπορεί να περιορίσει την ανάγκη τεχνητού φωτισμού και επομένως τα εσωτερικά

θερμικά κέρδη το καλοκαίρι. Τα δέντρα, οι θάμνοι και τα αναρριχητικά φυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με το διαθέσιμο χώρο. Τα φυλλοβόλα δέντρα προστατεύουν μεγάλες επιφάνειες της όψης του κτηρίου το καλοκαίρι, ενώ αφήνουν τον ήλιο να περάσει το χειμώνα. Σε θερμές περιοχές, ένα σπίτι που η στέγη του σκιάζεται, μπορεί να είναι κατά 6-12°C πιο δροσερό από ένα ασκίαστο. [54]

Η σκίαση είναι αποτελεσματική, όταν γίνεται πριν εισέλθει η ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό του κτηρίου και εγκλωβιστεί μέσω των υαλοπινάκων στους χώρους. Αντίθετα, εσωτερικά συστήματα σκιασμού προσφέρουν μόνο μερική προστασία, αφού η ηλιακή ακτινοβολία που διαπερνά το υαλοστάσιο ανεβάζει τη θερμοκρασία του αέρα στο χώρο, αυξάνοντας στη συνέχεια και τη θερμοκρασία. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα τοποθέτησης του συστήματος σκίασης (περσίδες) ανάμεσα στα δύο στρώματα υαλοστασίου. [37] Παράλληλα, η χρήση κινητών σκιάστρων δίνει τη δυνατότητα σκίασης των ανοιγμάτων, όταν κρίνεται απαραίτητη, όταν οι εσωτερικές θερμοκρασίες υπερβαίνουν τα όρια άνεσης. Η εξωτερική σταθερή σκίαση εξασφαλίζει, με τις κατάλληλες αναλογίες τη στοιχειώδη ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων κατά τη θερινή περίοδο και τον ελεύθερο ηλιασμό κατά το χειμώνα, ενώ τα εσωτερικά στόρια συμπληρώνουν τη λειτουργία της, όταν αυτή δεν επαρκεί και παράλληλα συντελούν στην αποφυγή θάμβωσης. [54]

Η σκίαση ανατολικών και δυτικών επιφανειών είναι δυσκολότερη και πιο πολύπλοκη, επειδή ο ήλιος είναι χαμηλά στον ουρανό και για το λόγο αυτό δέχονται μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας. Γι' αυτό, όταν υπάρχει δυνατότητα, πρέπει να μειώνεται η επιφάνεια των υαλοστασίων προς αυτές τις κατευθύνσεις και να αυξάνεται το ποσοστό των νότιων ανοιγμάτων, στα οποία η σκίαση επιτυγχάνεται ευκολότερα με οριζόντια στοιχεία. Γενικά, για το σχεδιασμό οποιουδήποτε συστήματος ηλιοπροστασίας, είναι απαραίτητη η γνώση της θέσης του ήλιου, δηλαδή η γωνία ύψους και το αζιμούθιο, σε σχέση πάντα με το χρόνο λειτουργίας του κτηρίου (ωράριο και εποχή). [37] Στον ανατολικό προσανατολισμό, εάν το κτήριο αερίζεται καλά κατά τη διάρκεια της νύχτας και συνεπώς, οι πρωινές θερμοκρασίες δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές, είναι πιθανό να επαρκούν οι οριζόντιες εσωτερικές περσίδες, χωρίς επιπρόσθετη εξωτερική σκίαση. Το ίδιο εν γένει ισχύει και για τον νότιο προσανατολισμό. Για το βόρειο προσανατολισμό, δεν απαιτείται ιδιαίτερος σκιασμός. Συμπερασματικά, οι συνιστώμενες τεχνικές σκιασμού είναι:

- Οριζόντια εξωτερικά σταθερά σκίαστρα. Συνιστώνται για νότιο προσανατολισμό. Τα σκίαστρα μπορεί να έχουν τη μορφή προβόλου, ανακλαστικών ραφιών ή περσίδων, με αναλογίες τέτοιες ώστε να σχηματίζεται ανάμεσα στο εξωτερικό σκίαστρο και στο

κατώφλι του ανοίγματος γωνία ύψους 55° για γεωγραφικό πλάτος 40° και 60° για γεωγραφικό πλάτος 36°.

- Κατακόρυφα εξωτερικά σταθερά σκίαστρα. Συνιστώνται για ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό. Μπορεί να είναι κάθετα ή κεκλιμένα ως προς το επίπεδο της κάτοψης του ανοίγματος. Το μήκος της προεξοχής καθορίζεται από τη γωνία των 55°, για όλα τα γεωγραφικά πλάτη της χώρας.
- Εξωτερικά κινητά σκίαστρα. Πρόκειται εν γένει για μεταλλικές περσίδες, οριζόντιες για νότιο προσανατολισμό ή κατακόρυφες για ανατολικό και δυτικό, κινούμενες σε οδηγούς, με χειροκίνητο ή αυτόματο μηχανισμό ρύθμισης.
- Εσωτερικά κινητά σκίαστρα. Συνιστώνται για νότιους, ανατολικούς και δυτικούς προσανατολισμούς.
- Ειδικά διάτρητα ρολά. Κατάλληλα για όλους τους προσανατολισμούς, τοποθετούνται εξωτερικά ή εσωτερικά. Το υλικό αυτών των ρολών αποτελείται από ίνες γυαλιού, πλαστικού ή αλουμινίου, σε αραιή λεπτή ύφανση, που μειώνουν την εισερχόμενη ακτινοβολία έως και 70-80% και συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση της θάμβωσης, ενώ επιτρέπουν μερική θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον.
- Σκίαση από δέντρα. Η σκίαση από φύτευση αποτελεί πολύ αποτελεσματική λύση στον ανατολικό και στο δυτικό προσανατολισμό, η οποία επιτυγχάνεται με φυλλοβόλα δέντρα. [54]
- Φύτευση στις όψεις. Συνήθως χρησιμοποιούνται αναρριχητικά φυτά ή θάμνοι. Μελέτες έδειξαν ότι υπερτερούν σε σχέση με τα άλλα μέσα σκίασης γιατί δεν υπερθερμαίνονται, επιτρέπουν τη κίνηση του αέρα διαμέσου του φυλλώματός τους, μειώνουν τη θερμοκρασία του άμεσου περιβάλλοντος και φιλτράρουν τον αέρα από τα σωματίδια σκόνης. [37]

3.5. Ηλιακή ενέργεια

Με στόχο τη μείωση των αναγκών θέρμανσης, κλιματισμού και φωτισμού, τη βελτίωση του μικροκλίματος, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία των κτηρίων, καθώς και την εξασφάλιση θερμικής και οπτικής άνεσης, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός βασίζεται στη μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Με τον όρο παθητική ηλιακή θέρμανση εννοούμε την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας για θέρμανση των εσωτερικών χώρων των

κτηρίων, όχι όμως με τη χρήση τεχνολογικών μέσων, αλλά κυρίως με τον κατάλληλο σχεδιασμό. [37] Η λειτουργία τους βασίζεται στην ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον και περιλαμβάνει την κατάλληλη αποθήκευση και διανομή της ενέργειας μέσα στους χώρους. Στόχος της επιλογής και του σχεδιασμού των παθητικών συστημάτων, είναι η βελτίωση της θερμικής άνεσης με ταυτόχρονη εξοικονόμηση ενέργειας, για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη περίοδο του έτους. [40]

Σε ένα σύστημα ηλιακής θέρμανσης ενσωματωμένο στο κτηριακό κέλυφος, η ηλιακή ακτινοβολία δεν εισχωρεί στο εσωτερικό του κτηρίου. Αυτή απορροφάται από μία συμπαγή εξωτερική κατασκευή, η οποία αντικαθιστά την οροφή ή το νότιο συνήθως τοίχο. Μερικοί τύποι διαφανών υλικών επικαλύπτουν αυτή τη συμπαγή μάζα ώστε να επιβραδύνουν τις απώλειες θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον. Η απορροφούμενη θερμότητα ρέει προς τους εσωτερικούς χώρους με φυσικά μέσα, δηλαδή με θερμική ακτινοβολία ή φυσική μεταφορά του αέρα. [43] Ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός κτηρίου που εκμεταλλεύεται στο μέγιστο την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση περιλαμβάνει τις εξής αρχές:

- Συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από το περίβλημα του κτηρίου
- Αποθήκευσή της με μορφή θερμότητας στα δομικά στοιχεία του κτηρίου, κυρίως με τη χρήση υλικών μεγάλης θερμοχωρητικότητας
- Διατήρηση της θερμότητας μέσα στο κτήριο, με τη μείωση των θερμικών απωλειών από τα διαφανή και αδιαφανή στοιχεία του κελύφους [37]

Αποθήκευση θερμότητας

Η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι διαθέσιμη τις χρονικές περιόδους της μέρας που υπάρχει συνήθως ανάγκη θέρμανσης, δηλαδή αργά το απόγευμα μέχρι νωρίς το πρωί. Βασικός στόχος είναι η αποθήκευση της πλεονάζουσας θερμότητας, που συλλέχθηκε κατά τη διάρκεια της μέρας στη μάζα του κτηρίου, για να απελευθερωθεί αργότερα. Η θερμότητα συσσωρεύεται τόσο στα εξωτερικά δομικά στοιχεία της κατασκευής, όσο και στο εσωτερικό περίβλημα. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των εσωτερικών τοίχων, δαπέδων και οροφών, καθορίζουν την ικανότητα ενός κτηρίου για αποθήκευση των άμεσων ηλιακών κερδών από τα υαλοστάσια, αλλά και των εσωτερικών θερμικών κερδών από τον τεχνητό φωτισμό, τις ηλεκτρικές συσκευές και τους χρήστες. Υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα και πυκνότητα, όπως η πέτρα, τα τούβλα και το μπετόν, είναι κατάλληλα για θερμική αποθήκευση, γιατί θερμαίνονται με αργό ρυθμό, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του εσωτερικού χώρου τη μέρα. [37]

Βασικές αρχές λειτουργίας των παθητικών συστημάτων

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. [40] Η λειτουργία των παθητικών συστημάτων για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας προϋποθέτει ένα σωστά, ενεργειακά σχεδιασμένο κτήριο. Ιδιαίτερα, η διαμόρφωση του κελύφους του κτηρίου πρέπει να είναι τέτοια, που να επιτρέπει τη μέγιστη συλλογή της ηλιακής ενέργειας, τη δυνατότητα για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας (κατάλληλη θερμική μάζα) και τις ελάχιστες θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον (κατάλληλη θερμική προστασία). Η λειτουργία των παθητικών συστημάτων στηρίζεται στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, στη θερμοχωρητικότητα των υλικών για την αποθήκευση της θερμότητας και στους βασικούς νόμους της θερμοδυναμικής, για τη μεταφορά της θερμότητας από τη συλλογή στην αποθήκευση και τέλος στο χώρο που θα θερμανθεί. [41] Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, θα πρέπει επίσης το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και συχνά με δυνατότητα αερισμού. [40]

Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα βασίζονται στη μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω μιας (ή περισσοτέρων) επιφάνειας από γυαλί. Η επιφάνεια αυτή είναι τοποθετημένη στην ηλιόλουστη πλευρά του κτηρίου (νότια), μπροστά από τον εσωτερικό χώρο, στον οποίο η θερμική μάζα απορροφά την ηλιακή θερμότητα και την αποθηκεύει. Η διαδικασία που ακολουθείται κατά τη λειτουργία τέτοιων συστημάτων είναι:

- Συλλογή. Για να συλλεχθεί η ηλιακή ενέργεια, χρησιμοποιούνται παράθυρα στην πλευρά του κτηρίου με νότιο κυρίως προσανατολισμό
- Αποθήκευση. Αφού συλλεχθεί η ηλιακή ενέργεια, ένα μέρος της θερμότητας χρησιμοποιείται απευθείας στους χώρους του κτηρίου και ένα άλλο μέρος αποθηκεύεται. Το αποθηκευτικό μέσο που αποκαλείται θερμική μάζα, συνήθως είναι το πάτωμα και οι εσωτερικοί τοίχοι του κτηρίου. Η θερμική μάζα χαρακτηρίζεται από την ικανότητά της να απορροφά θερμότητα, να την αποθηκεύει και να την απελευθερώνει αργά, όταν μειώνεται η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτηρίου.
- Μετάδοση. Η θερμότητα που αποθηκεύεται στα δάπεδα και τους τοίχους απελευθερώνεται αργά μέσω των διαδικασιών της ακτινοβολίας, της αγωγιμότητας και της μεταφοράς. Σε ένα υβριδικό σύστημα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μηχανικά μέσα (ανεμιστήρες), οπές αερισμού και φυσητήρες για τη μετάδοση της θερμότητας. [14]

Στοιχεία του συστήματος

Υπάρχουν τρία βασικά στοιχεία που συνθέτουν όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης:

- Ο συλλέκτης
- Η θερμική μάζα
- Ο θερμαινόμενος χώρος [14]

Υλικά παθητικών συστημάτων

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα παθητικά συστήματα, διακρίνονται σε υλικά συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας και σε υλικά αποθήκευσης της θερμότητας.

Υλικά συλλογής

Τα κριτήρια για την επιλογή των υλικών για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας, σε ένα παθητικό σύστημα είναι:

- Η εμφάνιση, που αφορά τις εξωτερικές όψεις του κτηρίου.
- Η αντοχή, που πρέπει να είναι μεγάλη ώστε να αντέχει στις συνεχές αλλαγές της εξωτερικής θερμοκρασίας και στις κλιματικές μεταβολές.
- Η ποιότητα, που εξαρτάται από τη διαπερατότητα, την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητά του.
- Το κόστος αγοράς, τοποθέτησης και συντήρησης που πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο για να υπάρχει ικανοποιητική απόδοση του συστήματος. [14]

Τα κύρια υλικά συλλογής χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Γυαλί. Είναι άκαμπτο, παρουσιάζει αντοχή στις καιρικές μεταβολές, στο φως και στις χημικές αντιδράσεις και έχει καλή εμφάνιση. Μειονεκτήματά του είναι το βάρος και η μικρή αντοχή του σε μηχανική κρούση. Το κοινό γυαλί έχει διαπερατότητα σε μικρού μήκους ακτινοβολία από 0.91 έως 0.78, ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε οξείδιο του σιδήρου και το πάχος του. Εάν χρησιμοποιηθούν πολλαπλοί υαλοπίνακες, μειώνεται η ηλιακή διαπερατότητα, αλλά βελτιώνεται σημαντικά ο συντελεστής θερμοπερατότητάς του. Προκειμένου να τροποποιηθούν οι θερμικές ιδιότητες των υαλοπινάκων, χρησιμοποιούνται πρόσθετα συστατικά στη μάζα τους, ειδικές επικαλύψεις ή ειδική επεξεργασία. Ανακλαστικά και απορροφητικά γυαλιά δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται

στα παθητικά συστήματα, γιατί μειώνουν το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μπαίνει στο χώρο. [14]

2. Πλαστικό. Τα σκληρά πλαστικά έχουν μεγάλη αντοχή σε μηχανική κρούση, δεν σπάζουν, έχουν μικρότερο βάρος από το κοινό γυαλί, είναι εύκολα στην τοποθέτησή τους και έχουν καλή εμφάνιση. Μειονέκτημά τους είναι ότι έχουν συγκριτικά με το κοινό γυαλί, μικρότερο συντελεστή διαπερατότητας, δεν είναι αδιαπέραστα στη θερμική ακτινοβολία και εμφανίζουν χαμηλή αντίσταση στη φωτιά. Διακρίνονται σε ακρυλικά πλαστικά και πολυανθρακούχα. [14]

Υλικά αποθήκευσης

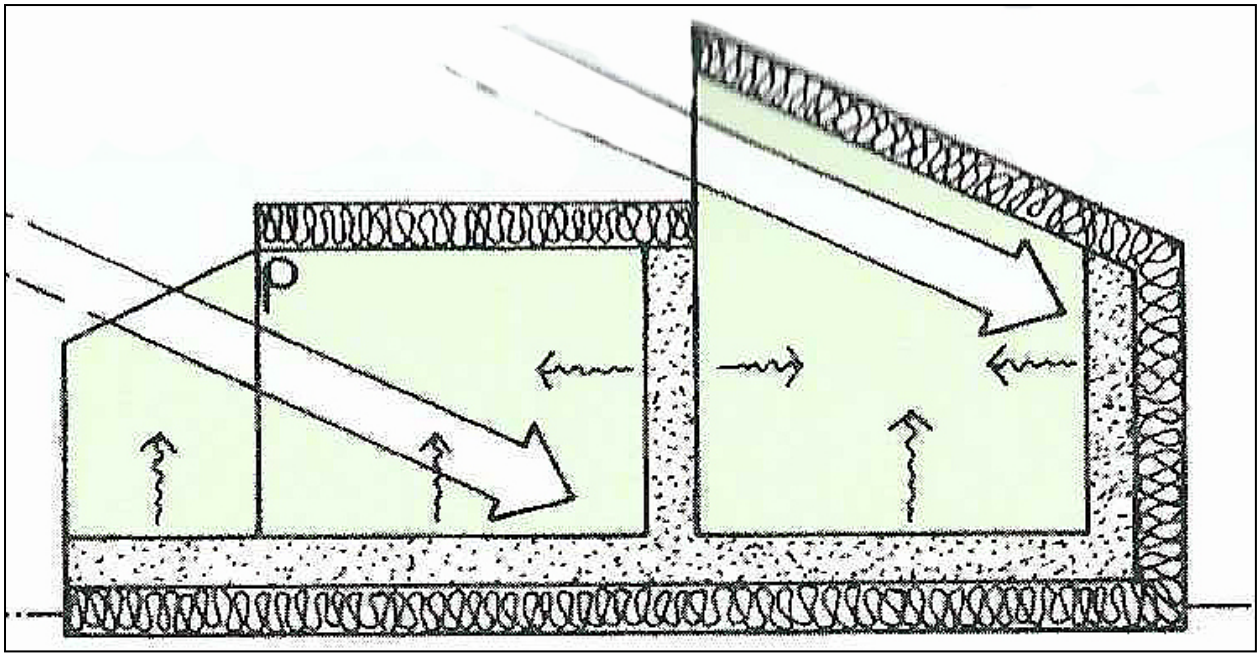
Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της θερμότητας, είναι υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Συνήθως είναι οικοδομικά υλικά του φέροντα οργανισμού και του κελύφους γενικότερα, καθώς και υλικά επενδύσεων:

- Νερό. Είναι το υλικό με τη μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα, αλλά υπάρχουν κατασκευαστικές δυσκολίες για τη χρησιμοποίησή του σε δομικά στοιχεία.
- Σκυρόδεμα. Εμφανίζει το πλεονέκτημα ότι είναι συγχρόνως υλικό με ικανή θερμοχωρητικότητα (506 Kcal/m^{3o}C) και υλικό του φέροντα οργανισμού.
- Πέτρα - συμπαγές τούβλο. Είναι τα υλικά που κυρίως χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της θερμότητας. Είναι υλικά φερόντων δομικών στοιχείων ή στοιχείων πληρώσεως ή υλικά επενδύσεως τοίχων και δαπέδων.
- Εύτηκτα άλατα (π.χ. άλας του Glauber). Είναι νέα υλικά που χρησιμοποιούνται σε επιλεγμένες θέσεις μέσα σε ειδικές δεξαμενές για την αποθήκευση της θερμότητας. Τα υλικά αυτά αλλάζουν φάση (Phase Change Materials- PCM) , αλλάζοντας δηλαδή φυσική κατάσταση, (π.χ. από τη στερεά στην υγρή κατάσταση) αποθηκεύουν θερμότητα, την οποία αποδίδουν για να επιστρέψουν στην αρχική φυσική τους κατάσταση. [14]

Τύποι παθητικών συστημάτων

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα με βάση τη μορφή και τη θέση τους στο κτηριακό κέλυφος (διάγραμμα 12), κατατάσσονται στα:

- Άμεσου ηλιακού κέρδους. Τα ανοίγματα του κτηρίου συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία που στη συνέχεια μετατρέπεται σε θερμότητα, καθώς απορροφάται από τα αντικείμενα και τα εσωτερικά δομικά στοιχεία του θερμαινόμενου χώρου, όπου και αποθηκεύεται.
- Τοίχος θερμικής αποθήκευσης. Η συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και η αποθήκευση της θερμότητας γίνεται στο νότιο τοίχο του κτηρίου, που είναι κατάλληλα διαμορφωμένος. Ο τοίχος είναι κατασκευασμένος από υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα (πέτρα, μπετόν, τούβλο, νερό, εύτηκτα άλατα κλπ), η εξωτερική του επιφάνεια είναι βαμμένη με σκούρο χρώμα για τη μεγιστοποίηση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και μπροστά από την εξωτερική του πλευρά και σε μικρή απόσταση από αυτή υπάρχει υαλοστάσιο για τη δέσμευση της ακτινοβολίας. Μια παραλλαγή του τοίχου είναι ο τοίχος με θυρίδες ή τοίχος Trombe.
- Θερμοκήπιο ή ηλιακός χώρος. Η περίπτωση αυτή είναι συνδυασμός συστήματος άμεσου κέδρους και τοίχου θερμικής αποθήκευσης. Το σύστημα αυτό δηλαδή, αποτελείται από δύο θερμικές ζώνες: τον ηλιακό χώρο που είναι το θερμοκήπιο που προσαρτάται στην νότια επιφάνεια του κτηρίου, όπου γίνεται συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και έναν έμμεσα θερμαινόμενο χώρο. Οι δύο ζώνες χωρίζονται μεταξύ τους με ένα τοίχο με θυρίδες ή χωρίς θυρίδες.
- Στέγη θερμικής αποθήκευσης. Η λειτουργία του συστήματος είναι παρόμοια με εκείνη του τοίχου θερμικής αποθήκευσης, με τη διαφορά ότι η θερμική μάζα για την αποθήκευση της θερμότητας βρίσκεται στη στέγη του κτηρίου.
- Μεταφορικός βρόχος ή αεροσυλλέκτης. Η συλλεκτήρια επιφάνεια, που είναι κατασκευασμένη όπως οι επίπεδοι συλλέκτες των ενεργητικών συστημάτων, είναι ανεξάρτητη θερμικά από την αποθήκη θερμότητας. Η μεταφορά της θερμότητας από το συλλέκτη στην αποθήκη και στη συνέχεια στον θερμαινόμενο χώρο, γίνεται με φυσική θερμική ροή, με την βοήθεια κάποιου ρευστού (αέρα ή νερού). Το σύστημα μοιάζει με τα ενεργητικά συστήματα με τη διαφορά ότι η μεταφορά της θερμότητας γίνεται μόνο με φυσική ροή (με την αρχή του θερμοσιφωνισμού) και όχι με τη χρησιμοποίηση μηχανικών μέσων. [41]



Διάγραμμα 12. Τυπικό παθητικό σύστημα σε κατοικία. Πηγή: [14]

Άμεσο ηλιακό κέρδος

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας για τη θέρμανση των κτηρίων, είναι η δέσμευσή της μέσα από τα γυάλινα ανοίγματα του κτηρίου. Στην περίπτωση αυτή το κτήριο λειτουργεί ταυτόχρονα σα συλλέκτης, αποθήκη και διανομέας της θερμότητας. Τα βασικά στοιχεία του συστήματος του «απευθείας κέρδους», είναι τη θερμική απόδοση των παραθύρων και τα υλικά και το μέγεθος (διαθέσιμη επιφάνεια και πάχος) των δομικών του στοιχείων (τοίχοι, πάτωμα, οροφή). Τα τελευταία κατασκευάζονται από υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας, ώστε να αποθηκεύουν θερμότητα, αφενός χρήσιμη κατά τη διάρκεια της νύχτας και περιόδων συννεφιάς και αφετέρου να συμβάλλουν στην αποφυγή της υπερθέρμανσης του χώρου. Ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, το μέγεθος και τον προσανατολισμό του ανοίγματος, το σχεδιασμό του κελύφους του κτηρίου και την χρησιμοποίηση υλικών μεγάλης θερμοχωρητικότητας, η εξοικονόμηση σε θερμαντική ενέργεια μπορεί να κυμαίνεται από 30% έως 100%. Τα κριτήρια σχεδιασμού για ένα σύστημα απευθείας κέρδους αφορούν:

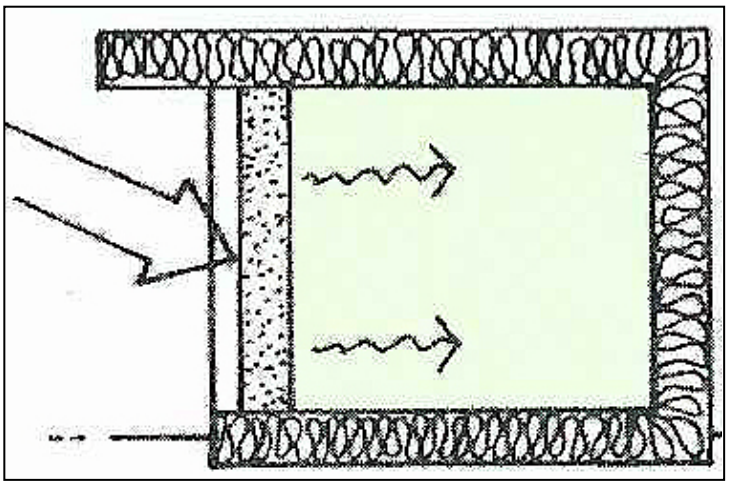
- την ώρα ηλιασμού του ανοίγματος. Η ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να εισέρχεται στο κτήριο το χειμώνα και να εμποδίζεται το καλοκαίρι. Κατάλληλα εργαλεία για την επίτευξη των στόχων αυτών είναι ο προσανατολισμός και η κατάλληλη ηλιοπροστασία.
- τον τύπο του υαλοστασίου που χρησιμοποιείται.

- την απαίτηση για φυσικό φωτισμό του κτηρίου, που θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των χρηστών. [41]

Έμμεσο ηλιακό κέρδος (Τοίχος θερμικής αποθήκευσης)

Ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης (διάγραμμα 13) στην απλούστερη μορφή του, αποτελείται από ένα υαλοστάσιο που τοποθετείται σε κάποια απόσταση (συνήθως 10 με 15cm) μπροστά από ένα τοίχο κατά κανόνα νότιο, κατασκευασμένο από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας. [37] Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης λειτουργούν ως ηλιακοί συλλέκτες, μεταφέροντας τη θερμότητα μέσω του υλικού του τοίχου στους εσωτερικούς χώρους. Ο βαθμός ροής της θερμότητας δια μέσου του τοίχου εξαρτάται από το υλικό και το πάχος του τοίχου. Κατάλληλο πάχος του τοίχου κυμαίνεται μεταξύ 250 με 350mm, σε συνάρτηση με την πυκνότητα του υλικού. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος βελτιώνεται με την πρόβλεψη νυχτερινής μόνωσης, για τη μείωση των θερμικών απωλειών του τοίχου προς το περιβάλλον. Η απενεργοποίησή του τη θερινή περίοδο επιτυγχάνεται με κατάλληλο σκιασμό και ενσωμάτωση θυρίδων αερισμού. [49]

Η λειτουργία του, ακολουθεί την εξής διαδικασία: η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά το υαλοστάσιο και απορροφάται από τον τοίχο, αυξάνοντας την θερμοκρασία της εξωτερικής του επιφάνειας και του αέρα που βρίσκεται στο κενό ανάμεσα στον τοίχο και το γυαλί. Στη συνέχεια η θερμότητα μεταφέρεται σ' ολόκληρη τη μάζα της τοιχοποιίας με αγωγιμότητα και φτάνει στην εσωτερική επιφάνεια της τοιχοποιίας και στους εσωτερικούς χώρους, με χρονική καθυστέρηση και μειωμένη ένταση. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος και η θερμοχωρητικότητα του τοίχου, τόσο μεγαλύτερη είναι η χρονική καθυστέρηση μετάδοσης της θερμότητας στο εσωτερικό. Στόχος είναι η απόδοση της θερμότητας να γίνεται όταν δεν υπάρχει ηλιασμός. [37]



Διάγραμμα 1. Τοίχος θερμικής μάζας. Πηγή: [14]

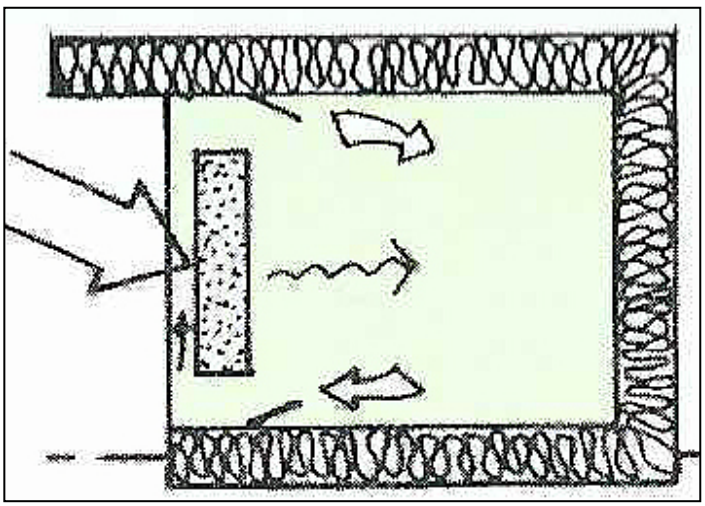
Μια παραλλαγή του τοίχου θερμικής συλλογής και αποθήκευσης είναι ο τοίχος «νερού», οι αρχές του οποίου εφαρμόζονται και στην οροφή «νερού». Και τα δύο βασίζονται στην ικανότητα του νερού να αποθηκεύει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας από οποιοδήποτε άλλο υλικό και σε μικρότερη επιφάνεια. Δοχεία νερού μπορούν να αντικαταστήσουν τον τοίχο μάζας ή ένα μέρος

του ή αντίστοιχα να εγκατασταθούν στο δώμα του κτηρίου. Η υδάτινη οροφή χρησιμοποιείται τόσο για θέρμανση όσο και για κλιματισμό το καλοκαίρι, με κατάλληλες παρεμβάσεις. [37]

Έμμεσο ηλιακό κέρδος (Αεριζόμενος τοίχος Trombe-Michel)

Ο γνωστότερος τύπος τοίχου θερμικής συλλογής και αποθήκευσης αναφέρεται ως τοίχος Trombe-Michel (διάγραμμα 14). Πήρε το όνομα του από τον καθηγητή Felix Trombe και τον αρχιτέκτονα Jacques Michel, οι οποίοι τον μελέτησαν και τον εφάρμοσαν σε κατοικίες στη Γαλλία από τη δεκαετία του 1960. Αποτελείται από ένα νότιο τοίχο από σκυρόδεμα, πάχους 30 με 40cm, βαμμένο εξωτερικά με σκούρο χρώμα και ένα διαφανές υλικό σε απόσταση μερικών εκατοστών από την τοιχοποιία. Ο αεριζόμενος τοίχος Trombe, λειτουργεί όμοια με τον τοίχο θερμικής αποθήκευσης, με την προσθήκη ελεγχόμενων θυρίδων στο κάτω και άνω μέρος του τοίχου για την κυκλοφορία του αέρα και την αποτελεσματικότερη μετάδοση της ηλιακής θερμότητας στο εσωτερικό. Το χειμώνα κατά τη διάρκεια της μέρας, ο θερμαινόμενος από την ηλιακή ενέργεια αέρας που βρίσκεται στο κενό τοίχου-γυαλιού ανεβαίνει ψηλά και εισέρχεται στο εσωτερικό του κτηρίου από τα πάνω ανοίγματα. Τον αντικαθιστά ψυχρότερος αέρας που εισέρχεται από τον εσωτερικό χώρο από τα κάτω ανοίγματα. Το βράδυ όλα τα ανοίγματα πρέπει να παραμένουν κλειστά, έτσι ώστε το εσωτερικό περιβάλλον να επωφελείται από την αποθηκευμένη θερμότητα που απελευθερώνεται από τον τοίχο και να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς τα έξω (διάγραμμα 15). [37]

Η αποτελεσματικότητα του συστήματος βελτιώνεται με την πρόβλεψη νυχτερινής μόνωσης για τη μείωση των θερμικών απωλειών του τοίχου προς το περιβάλλον. Ο χώρος μεταξύ του τοίχου και του υαλοπίνακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί γι' αυτό το σκοπό. [49]

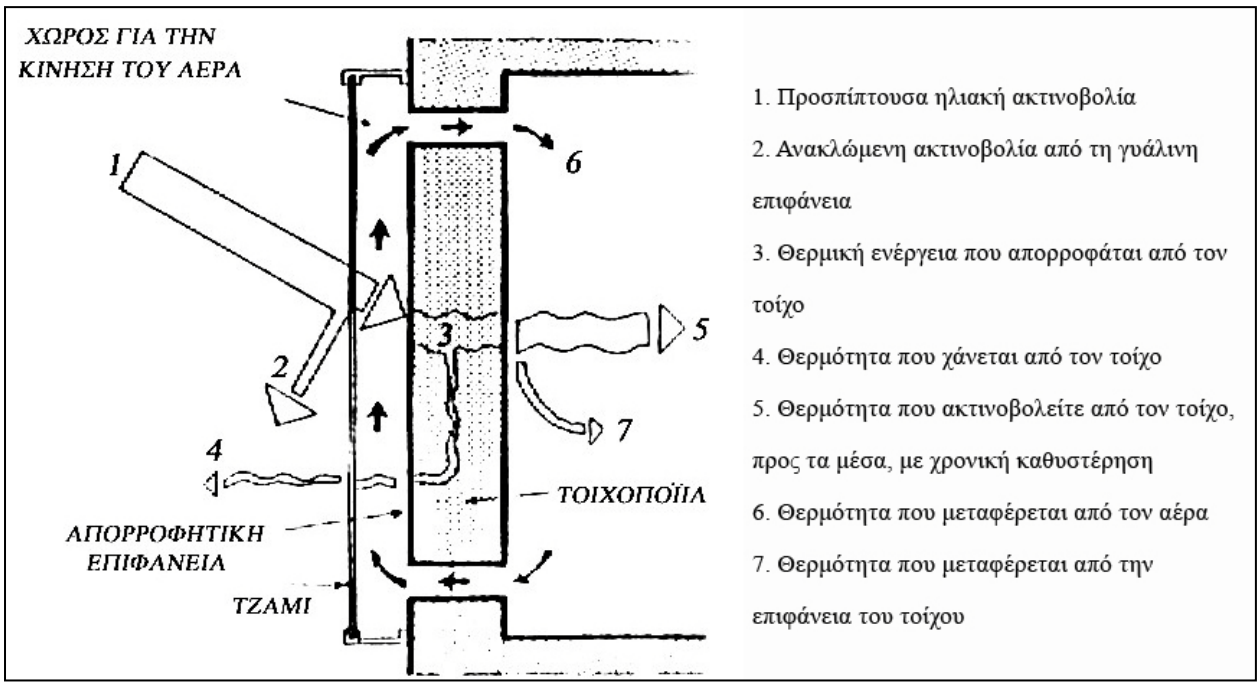


Διάγραμμα 2. Τοίχος Trombe. Πηγή: [14]

Το καλοκαίρι για να περιοριστούν φαινόμενα υπερθέρμανσης του εσωτερικού, πρέπει να απομακρυνθεί ο ζεστός αέρας προς τα έξω, από το κενό τοίχου-διαφανούς επιφάνειας. Αυτό μπορεί να γίνει αν η πάνω θυρίδα του τοίχου μένει κλειστή και υπάρχει άνοιγμα στο πάνω μέρος του εξωτερικού υαλοστασίου, για την αποβολή του θερμού

αέρα. Επιπλέον, κινητά συστήματα σκιασμού των εξωτερικών υαλοστασίων μπορούν να μειώσουν τα ηλιακά θερμικά κέρδη. [37]

Αυτό το παθητικό, ηλιακό σύστημα, λειτουργεί αποδοτικότερα σε ήπια κλίματα, όπου υπάρχει μεγάλη διάρκεια ηλιοφάνειας. Σε ψυχρότερα κλίματα, λόγω των μεγάλων περιόδων συννεφιάς και της μειωμένης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, το θερμικό ισοζύγιο του τοίχου μάζας είναι χαμηλότερο από αυτό ενός συμβατικά μονωμένου τοίχου. Τα ηλιακά θερμικά κέρδη είναι πολύ λίγα για να θερμάνουν τη μάζα του τοίχου και στη συνέχεια τον εσωτερικό αέρα. Σ' αυτή τη περίπτωση προτείνεται η προσθήκη διαφανούς μόνωσης πάνω στην εξωτερική πλευρά του τοίχου ή χρήση κινητής θερμικής μόνωσης στο κενό, που ελαχιστοποιεί τις θερμικές απώλειες. [37]



Διάγραμμα 15. Ενεργειακές διεργασίες στο παθητικό σύστημα του τοίχου Trombe. Πηγή: [35]

Θερμοκήπιο

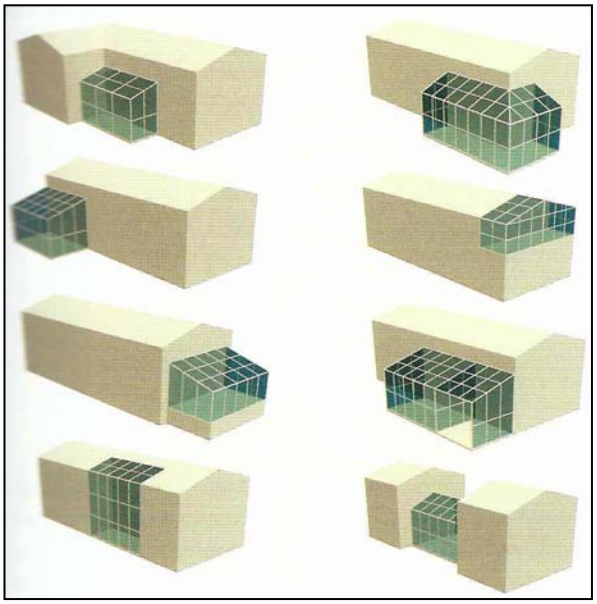
Τα θερμοκήπια ξεκίνησαν τους προηγούμενους αιώνες σαν αυτόνομες, κλειστές, γυάλινες κατασκευές. Χρησιμοποιήθηκαν για να στεγάσουν μεγάλους κήπους, όπως για παράδειγμα κατά τη Βικτοριανή εποχή στη Βρετανία ή ακόμα για την καλλιέργεια φυτών και λαχανικών στη γεωργία. Αργότερα προσαρτήθηκαν στις κατοικίες, κυρίως στη Βόρεια και Κεντρική Ευρώπη, ως μεταβατικοί χώροι μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου του κτηρίου. [37]

Σήμερα τα θερμοκήπια αντιμετωπίζονται σαν παθητικές κατασκευές θέρμανσης, που έχουν τη δυνατότητα να συλλέξουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και να τη προσφέρουν σε μορφή

θερμότητας στους υπόλοιπους χώρους της κατοικίας. Πρόκειται για χώρους μη κλιματιζόμενους, που στο μεγαλύτερο ποσοστό τους αποτελούνται από γυαλί. Έχουν πρόσβαση από το κτήριο, αλλά διαχωρίζονται από αυτό με τοίχους με ανοίγματα, κατασκευασμένους συνήθως από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας. [37] Το περίβλημα που διαχωρίζει το χώρο αυτό από το εξωτερικό περιβάλλον, πρέπει να περιλαμβάνει κατάλληλη επιφάνεια υαλοστασίων, ώστε το θερμοκήπιο να συλλέγει, να αποθηκεύει και να μεταφέρει την ηλιακή ενέργεια προς το εσωτερικό του κτηρίου, μέσω κατάλληλων ανοιγμάτων, κατά θέση και μέγεθος, επί του διαχωριστικού τοιχώματος. Το βάθος του θερμοκηπίου για την καλύτερη απόδοσή του, πρέπει να κυμαίνεται από 1,5 έως 2,5 μέτρα. Οι μη γυάλινες επιφάνειες του θερμοκηπίου, που έρχονται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, πρέπει να είναι επαρκώς μονωμένες. Για την αποφυγή της υπερθέρμανσης του θερμοκηπίου το καλοκαίρι και κατά συνέπεια μετάδοση ανεπιθύμητης θερμότητας προς το εσωτερικό του κτηρίου, πρέπει τα εξωτερικά γυάλινα τοιχώματα του θερμοκηπίου να είναι ανοιγόμενα, να υπάρχει σύστημα εσωτερικού ή εξωτερικού σκιασμού του θερμοκηπίου και κατάλληλα ανοίγματα, στην εξωτερική επιφάνεια του θερμοκηπίου για την απαγωγή της θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον. [43]

Διάφορες μορφές θερμοκηπίων είναι:

- Προσαρτημένα στο κέλυφος του κτηρίου. Ευέλικτη λύση, εύκολα εφαρμόσιμη σε υφιστάμενα κτήρια, αλλά με αυξημένο κίνδυνο υπερθέρμανσης το καλοκαίρι και ψύξης το χειμώνα.
- Ενσωματωμένα εν μέρη στο κτήριο, με τις δύο ή τρεις πλευρές τους (ανατολική, δυτική και βόρεια) να πλαισιώνονται από άλλους χώρους. Οι απώλειες θερμότητας από τους περιμετρικούς συμπαγείς τοίχους είναι μειωμένες και η μετάδοση θερμότητας στα γύρω δωμάτια πιο αποτελεσματική.
- Πλήρως ενσωματωμένα στο κτήριο, μορφή που αποτελεί ουσιαστικά αίθριο με γυάλινη οροφή. Εφαρμόζονται συνήθως σε κτήρια μεγάλου βάθους με



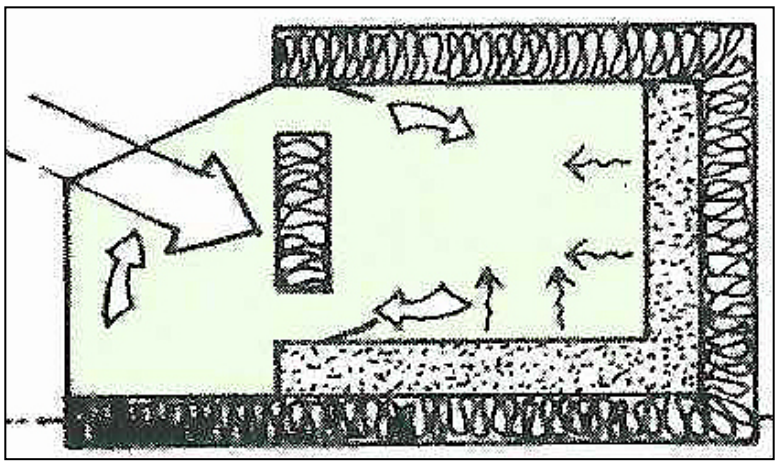
Εικόνα 36. Τύποι προσαρτημένου θερμοκηπίου. Πηγή: [52]

στόχο ταυτόχρονα τον ηλιασμό, το φυσικό φωτισμό και τον αερισμό του εσωτερικού χώρου. [37]

Οι βασικότερες προϋποθέσεις για την καλή απόδοση ενός θερμοκηπίου είναι οι εξής:

- Προσανατολισμός. Συνήθως προσαρτάται στη νότια πλευρά του κτηρίου για μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.
- Κλίση υαλοστασίου. Μια τουλάχιστον επιφάνεια είναι κεκλιμένη προς νότο (συνήθως η οροφή). Η ιδανική γωνία κλίσης εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και τις κλιματικές συνθήκες κάθε περιοχής.
- Σχήμα και μέγεθος. Καταλληλότερο σχήμα είναι το επίμηκες (στον άξονα ανατολή-δύση) με όσο το δυνατό μικρότερο πλάτος. Για τον προσδιορισμό του μεγέθους του θερμοκηπίου ισχύει ο γενικός κανόνας ότι σε ψυχρά κλίματα απαιτούνται περίπου 0,65-1,5μ² νότιου διπλού υαλοστασίου για κάθε μ² θερμαινόμενου κατοικήσιμου χώρου, ενώ σε εύκρατα κλίματα 0.33-0.99μ². [37]
- Υλικά κάλυψης θερμοκηπίου και διαχωριστικού τοίχου. Για το θερμοκήπιο απαιτούνται διπλά υαλοστάσια ή διαφανές πλαστικό. Για το διαχωριστικό τοίχο μεταξύ θερμοκηπίου και κτηρίου, απαιτούνται υλικά μεγάλης θερμοχωρητικής ικανότητας (μπετόν, τούβλα, πέτρα, νερό) και επιχρίσματα σε σκούρα χρώματα. Επίσης, η χρήση αντίστοιχων υλικών και σκούρων χρωμάτων στο δάπεδο, μπορεί να ενισχύσει την αποθήκευση θερμότητας. [37]

Σε διώροφα ή τριώροφα κτήρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί θερμοκήπιο μεγαλύτερου ύψους, παρέχοντας θέρμανση και στους πάνω ορόφους. Πλεονέκτημα αυτής της λύσης είναι η δυνατότητα καλύτερου θερινού αερισμού, με εκμετάλλευση του φαινομένου της «καμινάδας». [37]



Διάγραμμα 16. Παθητικό σύστημα θερμοσιφωνισμού. Πηγή: [14]

Απομονωμένο ηλιακό κέρδος - Σύστημα θερμοσιφωνισμού

Στα συστήματα θερμοσιφωνισμού, η επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας δε βρίσκεται σε άμεση επαφή με το χώρο

θέρμανσης. Αποτελούνται από υαλοπίνακα, διάκενο αέρα και σκουρόχρωμη επιφάνεια, που φέρει εξωτερική μόνωση για τη συγκράτηση της θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας (διάγραμμα 16). Συνήθως βρίσκονται χαμηλότερα από το θερμαινόμενο χώρο, σε νότιο προσανατολισμό και με κλίση 40°. Η θερμότητα αποδίδεται στο χώρο με μεταφορά. Η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει τη σκουρόχρωμη επιφάνεια και έπειτα, είτε μεταδίδεται απευθείας στο χώρο με τη χρήση αγωγών αέρα, είτε αποθηκεύεται σε αποθήκες θερμότητας (σκύρα) και αποδίδεται στο χώρο σταδιακά. [49]

Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των παθητικών συστημάτων

Η βέλτιστη λύση για την εξοικονόμηση ενέργειας, εξαρτάται από τις τεχνικές προδιαγραφές και από την οικονομική απόσβεση της επί πλέον δαπάνης που επενδύεται για να επιτευχθεί η εξοικονόμηση, σε σχέση πάντα με την οικονομία που προκύπτει από τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων. Για την εκλογή του πιο κατάλληλου παθητικού συστήματος, για κάθε περίπτωση λαμβάνονται υπόψη τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε συστήματος που αναφέρθηκαν, σε σχέση με την απόδοση, το κόστος, την απλότητα της κατασκευής και την επίδρασή του στη λειτουργία του κτηρίου, καθώς και οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Στη συνέχεια αναφέρονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των παθητικών συστημάτων. [41]

Σύστημα απευθείας κέρδους

Πλεονεκτήματα

- Είναι το πιο φθηνό παθητικό σύστημα, αφού τα υαλοστάσια είναι ένας σχετικά οικονομικός τρόπος δημιουργίας ηλιακού συλλέκτη.
- Είναι το πιο εύκολα κατασκευάσιμο σύστημα. Στις περισσότερες περιπτώσεις αρκεί η σωστή χωροθέτηση των ανοιγμάτων.
- Τα γυάλινα ανοίγματα συμβάλλουν σε πολλές ταυτόχρονα λειτουργίες, επιτρέποντας την είσοδο φυσικού φωτός στο κτήριο και την οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον.
- Δε απαιτείται πρόσθετη μάζα θερμικής αποθήκευσης.

Μειονεκτήματα

- Ο κίνδυνος εμφάνισης του φαινομένου της «θάμβωσης», από τα μεγάλα ανοίγματα.
- Η μείωση της ιδιωτικότητας.

- Η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία που περνά στο χώρο, μπορεί να αλλοιώσει υφάσματα και αντικείμενα.
- Η μεγάλη επιφάνεια θερμικής μάζας που απαιτείται, όταν προβλέπεται ηλιακή συμμετοχή μεγαλύτερη από 50% (ιδιαίτερα σε ψυχρά κλίματα).
- Οι σχετικά μεγάλες διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας (9-12°C) που εμφανίζονται ακόμη και σε σωστά σχεδιασμένα κτήρια.
- Το υψηλό κόστος της νυχτερινής μόνωσης που απαιτείται, για τη μείωση των θερμικών απωλειών. [41]

Τοίχος θερμικής αποθήκευσης

Πλεονεκτήματα

- Οι διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι σχετικά μικρές (μικρότερες από ότι στο σύστημα του απευθείας κέρδους και του μεταφορικού βρόχου).
- Η μεγάλη χρονική καθυστέρηση για τη μετάδοση της θερμότητας, που έχει σαν αποτέλεσμα η θερμότητα να αποδίδεται σε βραδινές ώρες, όταν είναι περισσότερο απαραίτητη.

Μειονεκτήματα

- Η μείωση των νότιων ανοιγμάτων και η δημιουργία κλειστής νότιας όψης.
- Η μείωση του ωφέλιμου χώρου του κτηρίου από το συμπαγή τοίχο.
- Το υψηλό κόστος της νυχτερινής μόνωσης που είναι απαραίτητη στα ψυχρά κλίματα. [41]

Θερμοκήπιο

Πλεονεκτήματα

- Δημιουργείται πρόσθετος κατοικήσιμος χώρος.
- Δημιουργείται χώρος για την καλλιέργεια φυτών.
- Λειτουργεί ως φράγμα θερμικών απωλειών του κτηρίου.
- Ενσωματώνεται εύκολα σε υφιστάμενα κτήρια.

- Οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στον κατοικήσιμο χώρο είναι μικρές (1,8-4,8 ^{o}C).
- Το κόστος κατασκευής είναι σχετικά μικρό.

Μειονεκτήματα

- Η θερμική απόδοση επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το σχεδιασμό.
- Δυσκολία πρόβλεψης της θερμικής απόδοσής του.
- Υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης, χωρίς την πρόβλεψη κατάλληλων μέτρων ηλιοπροστασίας και αερισμού. [41]

Οροφές θερμικής αποθήκευσης

Πλεονεκτήματα

- Η θέρμανση ή ο κλιματισμός διανέμεται ομοιόμορφα σ' όλο το κτήριο, σε σύγκριση με άλλα παθητικά συστήματα.
- Οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο κτήριο είναι μικρές (1,2-2,4 ^{o}C).
- Δεν υπάρχει κίνδυνος «θάμβωσης» και αλλοίωσης των αντικειμένων από την υπεριώδη ακτινοβολία.
- Χρησιμοποιείται συγχρόνως και για τον κλιματισμό των χώρων.

Μειονεκτήματα

- Το μεγάλο βάρος της θερμικής μάζας στην οροφή επιβαρύνει το στατικό σύστημα.
- Η επιφάνεια της οροφής που διατίθεται για αποθήκευση πρέπει να είναι τουλάχιστον 50% της συνολικής κάτοψης του κτηρίου, για να υπάρχει ικανοποιητική συμμετοχή της ηλιακής ακτινοβολίας στις θερμαντικές απαιτήσεις.
- Η κατασκευή για τη στήριξη της μάζας της οροφής είναι δαπανηρή. [41]

Μεταφορικός βρόγχος - αεροσυλλέκτης

Πλεονεκτήματα

- Δεν προκαλείται «θάμβωση» και κίνδυνος από την υπεριώδη ακτινοβολία.
- Έχει αρκετά χαμηλό κόστος κατασκευής.
- Δεν απαιτείται θερμική αποθήκευση για ηλιακή συμμετοχή ως 25%.

- Ενσωματώνονται εύκολα στις νότιες όψεις.
- Ενσωματώνεται εύκολα σε υφιστάμενα κτήρια.
- Οι νυχτερινές θερμικές απώλειες είναι οι μικρότερες από όλα τα συστήματα, γιατί ο συλλέκτης απομονώνεται θερμικά από το κτήριο.

Μειονεκτήματα

- Είναι πρόσθετη κατασκευή και δημιουργεί μορφολογικά προβλήματα.
- Υπάρχουν κατασκευαστικές δυσκολίες, ώστε να επιτευχθεί σωστή ροή αέρα.
- Η θερμική ενέργεια μεταδίδεται με μεταφορά θερμού αέρα και απαιτείται ειδική κατασκευή για την αποθήκευσή της.
- Όταν χρησιμοποιείται θερμική μάζα για την αποθήκευση της θερμότητας, το σύστημα έχει μεγάλη απόδοση αν ο συλλέκτης τοποθετηθεί χαμηλότερα από το κτήριο και τη θερμική μάζα, γεγονός που είναι δύσκολο να επιτευχθεί στις συμβατικές κατασκευές. [41]

Κόστος και απόδοση παθητικών ηλιακών συστημάτων

Τα σημερινά παθητικά, ηλιακά συστήματα θέρμανσης, μπορούν να καλύψουν 30 έως 70% των απαιτήσεων θέρμανσης ενός κτηρίου, ανάλογα με το μέγεθος του παθητικού ηλιακού συστήματος, το επίπεδο διατήρησης της ενέργειας που χρησιμοποιείται στο εσωτερικό του κτηρίου και το τοπικό κλίμα. Στο ανώτερο σημείο απόδοσης αυτής της κατηγορίας συστημάτων, συχνά απαιτείται η χρήση εξειδικευμένων υλικών και κατασκευών. Τα αποτελέσματα της απόδοσής τους είναι τυπικά για μονοκατοικίες και μικρά εμπορικά καταστήματα ή γραφεία. Το αποδιδόμενο οικονομικό όφελος ορισμένων παθητικών ηλιακών τεχνικών, είναι δύσκολο να αποτιμηθεί, επειδή πολλά χαρακτηριστικά τους αποτελούν μέρος της κατασκευής του ίδιου του κτηρίου, όπως για παράδειγμα το θερμοκήπιο. Η αποτελεσματικότητά τους όμως ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή. [14]

3.6. Κτηριακό κέλυφος

Το κέλυφος του κτηρίου είναι το πιο σημαντικό και συγχρόνως το πιο δύσκολο στοιχείο κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός βιοκλιματικού κτηρίου, καθώς αποτελεί το πρώτο στάδιο αντιμετώπισης των καιρικών και περιβαλλοντικών συνθηκών που περιβάλλουν το κτήριο. Η

ιδιαίτερη δυσκολία που παρουσιάζει ο σχεδιασμός του κελύφους εστιάζεται στο γεγονός ότι καλείται να ικανοποιήσει αντιφατικές μεταξύ τους απαιτήσεις, όπως για παράδειγμα:

- Αποδεκτά επίπεδα θερμικής άνεσης στους εσωτερικούς χώρους και ταυτόχρονα χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση.
- Φυσικό φωτισμό αλλά και μείωση της «θάμβωσης».
- «Ανοικτή» μορφή κτηρίου και ταυτόχρονα δυνατότητα απομόνωσης.
- Φυσικό αερισμό και κλιματισμό, αλλά και μείωση της εισαγωγής μολυσμένου αέρα (καυσαέρια στις μεγάλες πόλεις). [49]

Διατήρηση θερμότητας

Για να εξασφαλιστεί η διατήρηση της θερμότητας που συλλέχθηκε από την ηλιακή ακτινοβολία, πρέπει να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας από το κέλυφος. Οι θερμικές απώλειες οφείλονται κυρίως στη θερμική αντίσταση των υλικών του κελύφους του κτηρίου και στη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Καθώς τους ψυχρούς μήνες οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες από τις εσωτερικές, η ροή θερμότητας κινείται από το θερμότερο προς τον ψυχρότερο χώρο, διαμέσου των συμπαγών και κυρίως των διαφανών στοιχείων του περιβλήματος. [37]

Το σχήμα, ο όγκος ενός κτηρίου και κατά πόσον προσκολλάται σε άλλες οικοδομές ή είναι ελεύθερα τοποθετημένο στο χώρο, επηρεάζουν σημαντικά τα ποσοστά των θερμικών απωλειών. Όσο πιο συμπαγές είναι ένα κτήριο και όσο μικρότερη επιφάνεια έχει εκτεθειμένη στον εξωτερικό αέρα, τόσο λιγότερες είναι οι θερμικές απώλειες. Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο ο κύβος θεωρείται το πιο αποδοτικό σχήμα σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο με τον ίδιο όγκο. Παρ' όλα αυτά δεν μπορεί να καλύψει πάντα λειτουργικές ανάγκες και αισθητικές αρχές, αλλά ούτε και ενεργειακές - βιοκλιματικές, καθώς τα επιμήκη σχήματα με μικρό βάθος έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες φυσικού φωτισμού, αερισμού και ηλιακής πρόσβασης. Σε πολυώροφα κτήρια σε pilotis, που συνηθίζονται στην Ελλάδα, μεγαλύτερες θερμικές απώλειες υπάρχουν στον πρώτο και τελευταίο όροφο, γιατί χάνεται θερμότητα μέσα από τις επιφάνειες του δαπέδου και της οροφής αντίστοιχα (εκτός από τους περιμετρικούς εξωτερικούς τοίχους) και χρειάζεται να θερμομονωθούν κατάλληλα. Επίσης οι βόρειες επιφάνειες κτηρίων που συνήθως είναι εκτεθειμένες σε ψυχρούς ανέμους και επιπλέον δεν ηλιάζονται επαρκώς, πρέπει να αντιμετωπίζονται διαφορετικά από τις υπόλοιπες. Πρέπει όσο το δυνατόν να περιορίζεται η

επιφάνειά τους και τα ανοίγματα που περιλαμβάνουν και να ενισχύεται η θερμομόνωσή τους. [37]

Οι απώλειες θερμότητες αγγίζουν τη μέγιστη τιμή τους το βράδυ και πολύ νωρίς το πρωί, λόγω της μεγάλης θερμοκρασιακής διαφοράς εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος. Η μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας όταν είναι εφικτό, βοηθά στον περιορισμό των απωλειών μετάδοσης αφού μειώνεται έτσι η θερμοκρασιακή διαφορά εσωτερικού και εξωτερικού αέρα. [37]

Τέλος, ένας άλλος τρόπος μείωσης των απωλειών θερμότητας είναι η οργάνωση της κάτοψης με βάση την έννοια της «θερμικής ζώνης». Δηλαδή, χώροι που δεν θερμαίνονται καθόλου ή δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις θέρμανσης, όπως γκαράζ, αποθήκες, λουτρά, κλιμακοστάσια κ.α. τοποθετούνται προς βορρά, σαν ένα είδος προστατευτικής ζώνης. Η επιλογή των χώρων της κάθε ζώνης (ψυχρής-θερμής) πρέπει να γίνεται με κριτήρια το ωράριο και είδος λειτουργίας κάθε χώρου, τα άμεσα ηλιακά κέρδη και τα εσωτερικά θερμικά κέρδη από συσκευές, ενοίκους και φώτα. [37]

Μείωση εξωτερικών θερμικών κερδών

Εκτός από τη σκίαση, άλλα σημαντικά μέτρα και τεχνικές που μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των θερμικών κερδών από την ηλιακή ακτινοβολία διαμέσου του εξωτερικού περιβλήματος είναι:

- Χρήση ανοικτών χρωμάτων και υλικών με μεγάλη ανακλαστικότητα και μικρή απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία, στις όψεις και στα δώματα των κτηρίων.
- Επαρκής θερμομόνωση κελύφους για περιορισμό της ροής θερμότητας, διαμέσου των δομικών στοιχείων του. Η θερμομόνωση είναι εξίσου σημαντική τόσο τους χειμερινούς

Εικόνα 37. Θερμικές απώλειες με μη ικανοποιητική θερμομόνωση. Πηγή: [79]

Εικόνα 38. Θερμικές απώλειες με ικανοποιητική εξωτερική θερμομόνωση. Πηγή: [79]

μήνες (για μείωση των θερμικών απωλειών), όσο και τους θερινούς, γιατί περιορίζει τη μετάδοση θερμότητας από το θερμότερο εξωτερικό, στο ψυχρότερο εσωτερικό περιβάλλον.

- Επιλογή οικοδομικών υλικών με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, για εκμετάλλευση των ιδιοτήτων της αυξημένης θερμικής μάζας. Επιτυγχάνεται έτσι η επιβράδυνση μετάδοσης της θερμότητας διαμέσου του κελύφους και απόδοσή της στους εσωτερικούς χώρους, με χρονική καθυστέρηση.
- Περιορισμός διαφανών στοιχείων στις όψεις και χρήση ειδικών υαλοστασίων, με χαμηλό συντελεστή διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Μεγάλα ποσοστά ανοιγμάτων στις όψεις, όπως π.χ. σε κτήρια γραφείων που φτάνουν και το 90%, συχνά προκαλούν υπερθέρμανση. Η χρήση «ειδικών» υαλοστασίων ενδείκνυται σε ανοίγματα, που δεν μπορούν να σκιαστούν εξωτερικά.
- Περιορισμός συνολικής, εξωτερικής επιφάνειας κτηρίου, που είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία. [37]

Θερμομόνωση κτηρίων

Μέσω του κελύφους του, το κτήριο ανταλλάζει θερμότητα με το περιβάλλον. Η μετάδοση θερμότητας, από και προς το κτήριο, διαμέσου του περιβλήματος, οφείλεται στα φυσικά φαινόμενα της αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας που αναφέρθηκαν παραπάνω. Γίνεται πάντοτε από τα θερμότερα στα ψυχρότερα σώματα ή χώρους, μέχρι να εξισορροπηθούν οι θερμοκρασιακές διαφορές. Αποτέλεσμα αυτής της μετάδοσης είναι η απώλεια θερμότητας από ένα θερμαινόμενο χώρο το χειμώνα, στο εξωτερικό περιβάλλον ή το αντίστροφο. Οι θερμικές απώλειες μπορούν να περιορισθούν με τη προσθήκη θερμομονωτικών υλικών στο κέλυφος του κτηρίου. [37]

Η σωστή θερμομόνωση αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη μείωση των θερμικών απωλειών μέσω του κελύφους, επιτυγχάνοντας ένα σημαντικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας για το κτήριο. [44] Η μόνωση, από τη μια πλευρά, αυξάνει την ικανότητα ενός κτηρίου να διατηρεί τη θερμότητα στο εσωτερικό του, κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Από την άλλη πλευρά, εμποδίζει την απελευθέρωση της ανεπιθύμητης θερμότητας μέσω του κελύφους του κτηρίου, κατά τη διάρκεια του καλοκαιρού. Γενικά η συνολική κατανάλωση ενέργειας μειώνεται όσο αυξάνεται η θερμομόνωση. [6]

Ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών

Η μετάδοση της θερμότητας στα δομικά στοιχεία γίνεται στο μεγαλύτερο ποσοστό της με αγωγιμότητα, για αυτό βασικό κριτήριο για την αξιολόγηση ενός θερμομονωτικού υλικού είναι η τιμή του συντελεστή θερμοαγωγιμότητας. Τα πορώδη υλικά οφείλουν το χαμηλό συντελεστή θερμοαγωγιμότητάς τους (υψηλές μονωτικές ιδιότητες) στο μεγάλο αριθμό μικροκυψελίδων, που παγιδεύουν μέσα τους ακίνητο αέρα, ο οποίος είναι κακός αγωγός της θερμότητας. Επίσης, οι θερμομονωτικές ιδιότητες ενός υλικού, μειώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας και υγρασίας του, για αυτό το λόγο μπορεί να συνδυαστεί με ένα άλλο υδρομονωτικό υλικό. Τα θερμομονωτικά υλικά, χωρίζονται ανάλογα με την προέλευσή τους σε οργανικά και ανόργανα. Η αξιολόγηση και επιλογή του κατάλληλου μονωτικού υλικού, μπορεί να γίνει βάση των εξής ιδιοτήτων του:

- θερμικά χαρακτηριστικά (αγωγιμότητα)
- τεχνικά χαρακτηριστικά (πυκνότητα)
- μηχανική αντοχή
- συμπεριφορά σε φωτιά και υγρασία
- ηχομόνωση
- κόστος
- ευκολία τοποθέτησης
- διάρκεια ζωής
- επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον [37]

Θερμική αγωγιμότητα

Θερμική αγωγιμότητα λ, ορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας σε kcal ή Watt που ρέει ανά μία ώρα, διαμέσου ενός υλικού επιφανείας 1m² και πάχους 1m, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών του είναι 1°C. Μετριέται σε kcal/ mh°C ή W/mK ή W/m°C. [37] Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας δεν είναι σταθερό μέγεθος, αλλά μια γραμμική συνάρτηση που αυξάνεται σε σχέση με τη θερμοκρασία. Χαρακτηρίζεται συνήθως από μια μέση τιμή. Η θερμική αγωγιμότητα επηρεάζεται αρνητικά από την υγρασία. Στην πράξη, κατασκευαστικά τα θερμομονωτικά υλικά απορροφούν υγρασία, παρά τη χρήση φράγματος υδρατμών. Επίσης, λόγω των ιδιοτήτων τους και του τρόπου κατασκευής τους, τα περισσότερα μονωτικά υλικά χάνουν τις

φυσικές ιδιότητές τους, λόγω μηχανικών αλληλεξαρτήσεων και θερμοκρασιακών αλλαγών. Αλλοιώνεται έτσι η αρχική ισορροπία των στερεών και των αέριων συστατικών. [54]

Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα θερμομονωτικά υλικά πρέπει να είναι και να παραμένουν στεγνά, γεγονός που επιτυγχάνεται τόσο ευκολότερα όσο μεγαλύτερη αντίσταση παρουσιάζει ένα υλικό στη διάχυση υδρατμών και καθορίζεται από το συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών. Ο συντελεστής αυτός είναι σχετικό μέγεθος, αδιάστατο και δείχνει κατά πόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στη διάχυση υδρατμών ενός στρώματος του υλικού, σε σχέση με στρώμα αέρα ίσου πάχους. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής αντίστασης, τόσο πιο ευαίσθητο είναι ένα υλικό στην υγρασία. [54] Εκτός από την αντίστασή του στην υγρασία, είναι σημαντικό ένα υλικό να μπορεί να επανακτήσει τις μονωτικές του ιδιότητες αφού βραχεί, γεγονός που είναι πιθανόν να συμβεί κατά τη διάρκεια της κατασκευής μιας οικοδομής. [37]

Μηχανική αντοχή

Η μηχανική αντοχή που απαιτείται για μια κατασκευή, προσδιορίζει το σύστημα θερμομόνωσης που θα χρησιμοποιηθεί. Έτσι, υλικά με μεγάλη μηχανική αντοχή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αυτοφερόμενα, άλλα με μικρότερη αντοχή μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα φέρον πλέγμα και άλλα με πολύ μικρή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά πλήρωσης. Η αντοχή σε συμπίεση είναι ένα καθοριστικό μέγεθος στις θερμομονώσεις δαπέδων. [54]

Σταθερότητα στις διαστάσεις.

Οι ονομαστικές διαστάσεις θερμομονωτικών πλακών που κατασκευάζονται με θερμικές διεργασίες, μπορούν να διαφοροποιηθούν κατά το στάδιο της ψύξης και η κατάσταση να επιδεινωθεί εξαιτίας της γήρανσης. Η διαφοροποίηση αυτή μπορεί να αποφευχθεί με τεχνική γήρανση κατά τη φάση της παραγωγής, έτσι ώστε να σταθεροποιηθούν οι διαστάσεις. [54]

Αντίσταση στη φωτιά

Η συμπεριφορά των θερμομονωτικών υλικών στη φωτιά μπορεί να έχει άμεσες οικονομικές επιπτώσεις. Γενικά, παρά το αυξημένο κόστος τους, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο θερμομονωτικά υλικά που δεν αναφλέγονται ή αναφλέγονται δύσκολα. [54]

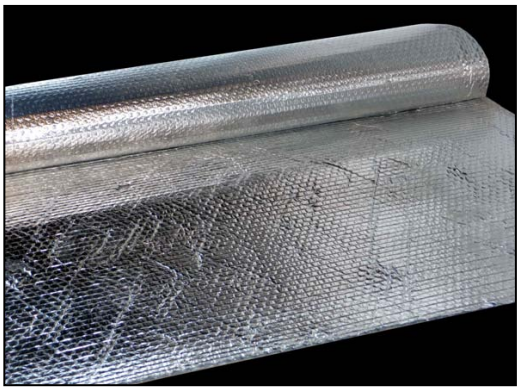
Θερμομόνωση δομικών στοιχείων

Τα υλικά μπορούν να αποθηκεύσουν διαφορετικές ποσότητες θερμότητας, έχουν πολύ διαφορετικές πυκνότητες και είναι καλύτεροι ή χειρότεροι αγωγοί της θερμότητας. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι μόνωσης ενός τοίχου:

1. Ανθεκτική μόνωση. Είναι ο κοινός τύπος μόνωσης. Πρόκειται για «ογκώδη» μονωτικά υλικά, που περιλαμβάνουν πετροβάμβακα, άχυρο, πλάκες ξυλοβάμβακα, προϊόντα από ίνες γυαλιού, μαλλί και ίνες από κυτταρίνη. Περιλαμβάνουν επίσης διογκωμένη πολυστερίνη, πολυουρεθάνη, βερμικουλίτη και περλίτη. Αυτός ο τύπος μόνωσης βασίζεται στην αποτροπή της μεταφοράς θερμότητας, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την αγωγιμότητα και το ιξώδες του υγρού ή αερίου, που ενυπάρχει στον κενό χώρο ή περιλαμβάνεται στο υλικό, τη διαφορά θερμοκρασίας και σε κάποιο βαθμό από το πάχος του κενού χώρου. [14]

Εικόνα 39. Πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης. Πηγή: [92]

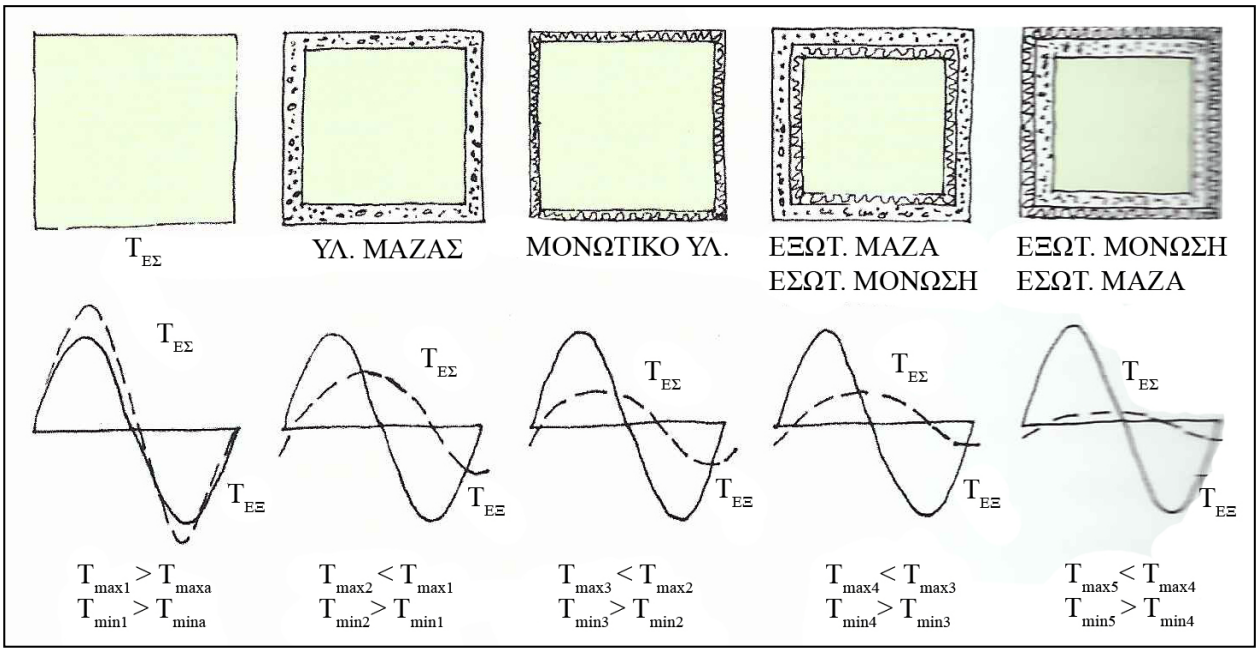
2. Ανακλαστική μόνωση. Η ανακλαστική μόνωση απαιτεί ένα εξαιρετικά ανακλαστικό υλικό, όπως το φύλλο αλουμινίου. Αυτό έχει πολύ μικρό συντελεστή εκπομπής κι επομένως η μεταφορά θερμότητας δια ακτινοβολίας μεταξύ των τοιχωμάτων είναι περιορισμένη. Η ποσότητα θερμότητας που μπορεί να ακτινοβολήσει ένα υλικό εξαρτάται από την ικανότητα εκπομπής της επιφάνειάς του, δηλαδή πόσο εύκολα επιτρέπει στη θερμότητα να κινηθεί πάνω στην επιφάνειά του και από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειάς του και εκείνης στην οποία ακτινοβολεί. Το πάχος του δεν έχει μεγάλη σημασία. Επομένως ένα παράθυρο με χαμηλό συντελεστή εκμπομπής, θα ακτινοβολήσει πολύ λιγότερη θερμότητα σε σχέση με ένα απλό παράθυρο, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση της ενέργειας μέσα στο κτήριο. [14]



Εικόνα 40. Φύλλο ανακλαστικής μόνωσης. Πηγή: [90]

3. Αποθηκευτική μόνωση. Συχνά περιγράφεται ως θερμική μάζα και βρίσκεται σε κτήρια με τη μορφή βαριών τοίχων. Η θερμότητα άγεται μέσα από το συμπαγές υλικό του τοίχου

και ο ρυθμός ροής θερμότητας εξαρτάται από την αγωγιμότητα του υλικού από το οποίο είναι φτιαγμένος ο τοίχος, την πυκνότητά του και τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα στις δύο πλευρές του τοίχου. [14]



Διάγραμμα 3. Σχέση εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας με βάση το κέλυφος. Πηγή: [14]

Εξωτερικές τοιχοποιίες

Η συνηθέστερη κατασκευή εξωτερικών τοίχων στην Ελλάδα, που προσφέρει επιθυμητά επίπεδα θερμοπερατότητας, είναι η κατασκευή δύο παράλληλων στρώσεων, δρομικών τοίχων από συμβατικά τούβλα ή ενός μπατικού και ενός δρομικού, με τη θερμομόνωση τοποθετημένη στο ενδιάμεσο κενό. Μια παραλλαγή αυτής της λύσης είναι η προσθήκη κενού αέρα μερικών εκατοστών, δίπλα στη μόνωση και ανάμεσα στις οπτοπλινθοδομές. Σε αυτή τη περίπτωση, η μόνωση πρέπει να τοποθετείται σε επαφή με τον εσωτερικό τοίχο για να είναι αποδοτική. Τα επίπεδα του συντελεστή θερμοπερατότητας, μπορεί μεν να είναι καλύτερα σε σχέση με την πρώτη κατασκευαστική λύση, αλλά το συνολικό πάχος της τοιχοποιίας είναι αρκετά μεγαλύτερο.

Μια δεύτερη λύση, η οποία έχει καλύτερα αποτελέσματα και απόδοση τους θερινούς μήνες είναι η «αεριζόμενη πρόσοψη». Πρόκειται ουσιαστικά για ένα μονωμένο εξωτερικό κέλυφος και μια προστατευτική τοιχοποιία περιμετρικά, τοποθετημένη σε κάποια απόσταση, σχεδιασμένη έτσι ώστε να επιτρέπει στον αέρα να εισχωρεί στο ενδιάμεσο κενό. Η φυσική κυκλοφορία και ανανέωση του αέρα, μειώνει τον κίνδυνο υπερθέρμανσης του κελύφους, καθώς και το σχηματισμό υδρατμών στην τοιχοποιία (διάγραμμα 17). [37]

Στέγες - δώματα

Η θερμομόνωση δωμάτων και στεγών είναι πρωταρχικής σημασίας για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη δημιουργία άνετων εσωτερικών συνθηκών. Βλάβες που προέρχονται από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία ή την υγρασία, μπορούν να αποφευχθούν με σωστή θερμομόνωση που εξασφαλίζει υδατοστεγανότητα, έχει κατάλληλες κλίσεις για απομάκρυνση των νερών της βροχής και καλές θερμικές ιδιότητες τόσο για προστασία από ψηλές όσο και χαμηλές θερμοκρασίες. [37]

Η μόνωση μπορεί να τοποθετηθεί εσωτερικά ή εξωτερικά της πλάκας. Επικρατέστερη κατασκευαστική λύση σε επίπεδα δώματα είναι η μόνωση στην εξωτερική επιφάνεια της πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος και τη θερμική μάζα εσωτερικά. Η λύση αυτή παρέχει μεγαλύτερη προστασία από τις καιρικές συνθήκες, σε σχέση με την τοποθέτηση μόνωσης στην εσωτερική πλευρά. Σημαντική είναι επίσης και η σωστή τοποθέτηση του φράγματος υδρατμών, γιατί προστατεύει τη θερμομονωτική στρώση από υγρασία. Τα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται σε δώματα είναι διάφορες μορφές εξηλασμένης πολυστερίνης, υαλοβάμβακας και μόνωση με μεταλλικές ίνες. [37]

Σε κεκλιμένες στέγες, οι κατασκευαστικές λύσεις είναι πιο εύκολες και περιορισμένες. Η καλύτερη δυνατή λύση είναι να τοποθετείται μόνωση τόσο κάτω από το υλικό επικάλυψης της στέγης, όσο και στο οριζόντιο επίπεδο κάτω από τη στέγη (όπου δεν είναι εμφανής η κατασκευή της στέγασης). [37]

Εικόνα 41. Φωτογραφική παρουσίαση φυτεμένου δώματος. Πηγή: [102]

<u>Πράσινη στέγη / Φυτεμένο δώμα</u>

Η χρήση φυτεμένων δωμάτων, παρουσιάζει μια σειρά από θετικά αποτελέσματα, όχι μόνο για το μικροκλίμα γύρω από το κτήριο, αλλά και γενικότερα για το κλίμα των πόλεων. Πιο συγκεκριμένα, οι πράσινες στέγες επιτυγχάνουν:

- Μείωση της απορροής βρόχινων νερών. Τα φυτεμένα δώματα μπορούν να συγκρατήσουν έως και το 40% των όμβριων υδάτων, με την προϋπόθεση ότι το χώμα είναι σε ξηρή κατάσταση.
- Μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Τα δομικά υλικά των κτηρίων εντός των πόλεων απορροφούν και συγκρατούν τη θερμότητα, ενώ κατά τις νυχτερινές

ώρες η θερμότητα αυτή ακτινοβολείται, θερμαίνοντας τον περιβάλλοντα αέρα. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα έως και 6°C. Τα φυτεμένα δώματα, βελτιώνοντας τη θερμική συμπεριφορά των κτηρίων, επιτυγχάνουν μείωση του φαινομένου.

- Βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς των δωμάτων, αυξάνοντας τα επίπεδα θερμομόνωσης και μειώνοντας τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα το καλοκαίρι.
- Απορρόφηση της ρύπανσης. Το φύλλωμα των φυτών παίζει ρόλο φίλτρου που καθαρίζει την ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια σκόνης προσκολλώνται επάνω στο φύλλωμα και δεσμεύονται ή πέφτουν μαζί του στη γη.
- Μείωση των επιπέδων θορύβου. Ο θόρυβος από και προς το κτήριο μπορεί να μειωθεί μέχρι και 18dB, ενώ ο ανακλαστικός θόρυβος έως και 3dB.
- Εμπλουτισμό του οικοσυστήματος της περιοχής. [49]

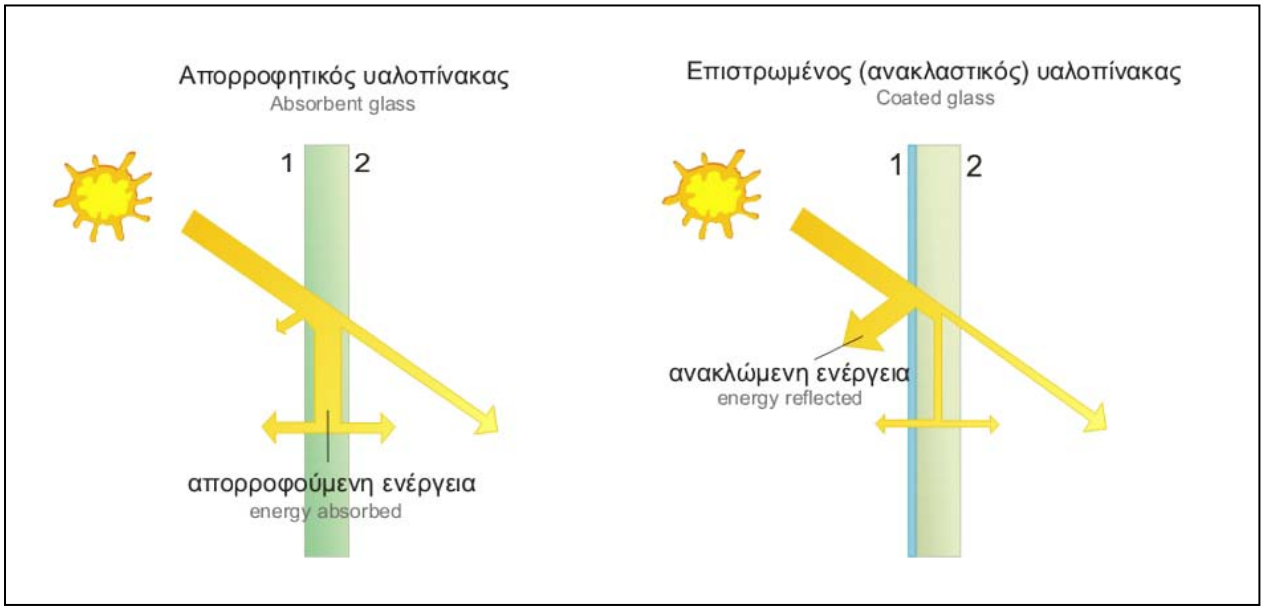
Δάπεδα

Θερμομόνωση, απαιτείται σε δάπεδα θερμαινόμενων χώρων, όπου η μια επιφάνειά τους έρχεται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (π.χ. pilotis) ή βρίσκονται πάνω από μη θερμαινόμενους χώρους όπως υπόγεια, με στόχο να μειωθούν οι θερμικές απώλειες. Η τοποθέτηση της μόνωσης εξωτερικά της πλάκας του οπλισμένου σκυροδέματος, προσφέρει το πλεονέκτημα της αποθήκευσης θερμότητας στη θερμική μάζα του κτηρίου ενώ επιπλέον προσφέρει και ηχομόνωση. Η μόνωση δαπέδων σε επαφή με το έδαφος δεν είναι απαραίτητη σε ζεστά κλίματα, αφού η θερμοκρασία του εδάφους είναι χαμηλότερη από την εξωτερική το καλοκαίρι. [37]

Υαλοστάσια - ανοίγματα

Τα ανοίγματα, εκτός από σημαντικό αρχιτεκτονικό στοιχείο διαμόρφωσης των όψεων, αποτελούν και ένα από τα πιο ευαίσθητα σημεία του κελύφους του κτηρίου, όσον αφορά τις απώλειες θερμότητας. Η ομοιόμορφη θερμομόνωση συμπαγών και διαφανών στοιχείων του περιβλήματος, μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους βελτιωμένους τύπους υαλοστασίων, που έχουν αρκετά χαμηλότερο συντελεστή θερμοπερατότητας σε σύγκριση με τους απλούς. Συνηθέστεροι τύποι είναι οι διπλοί και τριπλοί υαλοπίνακες, που οφείλουν τις μονωτικές τους ιδιότητες στο αυξημένο πάχος και κυρίως στα αέρια μεγάλης θερμικής αντίστασης μεταξύ των στρώσεων γυαλιού. Ειδικές επιστρώσεις χαμηλής εκπομπής της θερμικής ακτινοβολίας (Low-e) στα φύλλα γυαλιού, χρησιμεύουν στον περιορισμό διέλευσης στο εσωτερικό της υπέρυθρης

ακτινοβολίας τους θερινούς μήνες, ενώ μειώνουν τις θερμικές απώλειες από το εσωτερικό το χειμώνα (διάγραμμα 18). [37]



Διάγραμμα 18. Ενεργειακές διεργασίες σε διάφορους τύπους υαλοπινάκων. Πηγή: [94]

Εκτός από τους υαλοπίνακες σημαντικά είναι και τα πλαίσια των ανοιγμάτων, ξύλινα ή μεταλλικά, για τη συνολική θερμική διαπερατότητα των κουφωμάτων. Πλαίσια με ψηλό συντελεστή θερμοπερατότητας, μειώνουν τη συνολική θερμομονωτική απόδοση του ανοίγματος, ενώ μπορεί να γίνει και χρήση θερμομονωμένων πλαισίων. Οι αρμοί μεταξύ των πλαισίων και των τοίχων πρέπει να κλείνονται με παρεμβύσματα ή να σφραγίζονται για να περιορίζονται διεισδύσεις και απώλειες αέρα. [37]

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διάφορων τρόπων θερμομόνωσης

Οι τοίχοι μπορούν να μονωθούν κυρίως κατά τέσσερις τρόπους:

1. Από το εσωτερικό μέρος τους. Στην περίπτωση αυτή, το μονωτικό υλικό τοποθετείται από την πλευρά του εσωτερικού χώρου και προστατεύεται από κάποιο στερεό, δομικό υλικό, που λειτουργεί όπως και το επίχρισμα. Ο τρόπος αυτός θερμομόνωσης έχει τα εξής πλεονεκτήματα:
    - Περιορισμένος χρόνος κατασκευής.
    - Φθηνότερη λύση, σε σχέση με την εξωτερική θερμομόνωση.
    - Δεν απαιτείται ιδιαίτερη προστασία των μονωτικών υλικών, από τις εξωτερικές επιδράσεις.

- Απλή κατασκευαστική λύση.
- Γρήγορη θέρμανση του εσωτερικού χώρου.
- Κατασκευή ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες.

Η θερμομόνωση των τοίχων από την εσωτερική πλευρά έχει τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- Περιορισμός του εσωτερικού χώρου.
- Γρήγορος κλιματισμός του χώρου. Έλλειψη εκμετάλλευσης της θερμοχωρητικότητας του εξωτερικού τοίχου.
- Ύπαρξη θερμογεφυρών.
- Κίνδυνος συστολής και διαστολής των δομικών στοιχείων από τις θερμοκρασιακές μεταβολές. Κίνδυνος ρηγματώσεων και εισροής βρόχινου νερού.
- Προβληματική τακτοποίηση ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.

2. Από το εξωτερικό μέρος τους. Στην περίπτωση αυτή, το μονωτικό τοποθετείται στο εξωτερικό μέρος του τοίχου. Με την κατασκευή αυτή εμφανίζονται τα εξής πλεονεκτήματα:

- Διατήρηση της θερμότητας και μετά τη διακοπή της θέρμανσης, μέσω της θερμοχωρητικότητας των τοίχων.
- Ομαλή λειτουργία του εσωτερικού χώρου.
- Διατήρηση ωφέλιμου κατοικήσιμου χώρου.
- Προστασία εξωτερικών επιφανειών από συστολές και διαστολές.
- Κάλυψη των θερμογεφυρών, ιδιαίτερα στις πλάκες σκυροδέματος, στα δοκάρια και στις κολόνες.

Τα μειονεκτήματα αυτής της κατασκευής είναι:

- Ακριβότερη σε σχέση με τη θερμομόνωση της εσωτερικής πλευράς του τοίχου.
- Δυσκολία εφαρμογής της εξωτερικής θερμομόνωσης στην περίπτωση που οι τοίχοι έχουν πολλές αρχιτεκτονικές προεξοχές.
- Αδυναμία εφαρμογής της εξωτερικής θερμομόνωσης σε κτήρια με έντονο εξωτερικό μορφολογικό ενδιαφέρον όψεων.

- Ανάγκη ύπαρξης ειδικής προστασίας των υλικών των διαφόρων στρώσεων, από τις εξωτερικές καιρικές επιδράσεις.

3. Θερμομόνωση με χρήση ειδικών τούβλων. Στην περίπτωση αυτή, ο τοίχος χτίζεται με ειδικά θερμομονωτικά τούβλα. Η κατασκευή αυτή εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα, αλλά θα πρέπει να εξασφαλίζεται με σωστή κατασκευή των επιχρισμάτων η κατάλληλη στεγανότητα, ώστε να μην υγραίνεται η μάζα των θερμομονωτικών τούβλων.
4. Θερμομόνωση στον πυρήνα μεταξύ δύο τοίχων. Η μέθοδος αυτή τοποθέτησης θερμομόνωσης χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στην Ελλάδα. Το μονωτικό υλικό τοποθετείται συνήθως μεταξύ δύο δρομικών τοίχων και αυτό αποτελεί το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου, αφού περιορίζεται ο εσωτερικός χώρος και δημιουργούνται θερμογέφυρες μεταξύ των τοίχων πλήρωσης και των φερόντων στοιχείων. [54]

Μείωση εσωτερικών θερμικών κερδών

Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη μιας κατοικίας προέρχονται:

- από τις διάφορες συσκευές που λειτουργούν μέσα σ' αυτήν (κουζίνα μαγειρέματος, πλυντήριο, συσκευή τηλεόρασης, εξαεριστήρας, σίδερο σιδερώματος κλπ)
- από τον τεχνητό φωτισμό
- από τη θερμότητα που αποδίδεται από τους ανθρώπους και
- από το ζεστό νερό χρήσης.

Το μέγεθος των εσωτερικών θερμικών κερδών είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια, διότι υπεισέρχονται πολλές μεταβλητές στη διάρκεια λειτουργίας των παραπάνω πηγών θερμότητας. [43] Για το λόγω αυτό, πρέπει να γίνεται:

- Επιλογή ηλεκτρικών συσκευών νέου τύπου, που εξοικονομούν ενέργεια και αποδίδουν λιγότερη θερμότητα στο εσωτερικό περιβάλλον. Για την επίτευξη μιας ολοκληρωμένης, ενεργειακά αποδοτικής κατοικίας, εκτός από παρεμβάσεις στο κτίσμα και στον περιβάλλοντα χώρο, είναι απαραίτητη η χρήση συσκευών χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. [44]
- Κατάλληλη διαμόρφωση της κάτοψης, έτσι ώστε όσο το δυνατό περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές που εκπέμπουν θερμότητα να συγκεντρώνονται σε ένα καλά αεριζόμενο χώρο. Εφαρμόζεται συνήθως σε κτήρια γραφείων.

- Πρόβλεψη καλού φυσικού αερισμού σε χώρους όπου συγκεντρώνονται πολλά άτομα. Ακόμα μπορούν να σχεδιαστούν σε άμεση επαφή και σχέση με σκιασμένους υπαίθριους χώρους, που θα χρησιμοποιούνται για εκτόνωση όταν οι εσωτερικές θερμικές συνθήκες γίνονται δυσάρεστες.
- Βέλτιστη εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού με την κατάλληλη τοποθέτηση ανοιγμάτων στο κέλυφος (τοίχους και οροφές) ώστε να αποφεύγεται η χρήση τεχνητού φωτισμού κατά τη διάρκεια της μέρας.
- Χρήση φωτιστικών συσκευών υψηλής απόδοσης, όπως είναι οι λαμπτήρες φθορισμού. Εκτιμάται ότι ο ηλεκτρικός φωτισμός αποτελεί το 30% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ενός κτηρίου και 19% της παγκόσμιας χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η κατανάλωση της ενέργειας αυτής μπορεί να μειωθεί κατά 75-90%, σε σύγκριση με συμβατικές πρακτικές, μέσω του συνδυασμού φυσικού φωτισμού, ενεργειακά αποδοτικών λαμπτήρων και ελέγχου [27]. Η απόδοση ενός λαμπτήρα εξαρτάται από την αναλογία ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε φως και ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμότητα και διαχέεται στο χώρο. Οι συμβατικοί λαμπτήρες πυρακτώσεως μπορούν να μετατρέψουν μόνο το 5% της ενέργειας εισόδου, ενώ το υπόλοιπο μετατρέπεται σε θερμότητα. [30] Για καλύτερη απόδοση και εξοικονόμηση ενέργειας σε υφιστάμενα κτήρια, οι συμβατικοί λαμπτήρες πυρακτώσεως μπορούν να αντικατασταθούν από λαμπτήρες φθορισμού.
- Εφαρμογή συστημάτων ρύθμισης τεχνητού φωτισμού, σύγχρονης τεχνολογίας. Ο τεχνητός φωτισμός μπορεί να χωριστεί σε ζώνες που ενεργοποιούνται με τη βοήθεια αισθητήρων, όταν το φυσικό φως είναι ανεπαρκές ή ακόμα μόνο με την παρουσία ανθρώπων σε ένα χώρο. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε κτήρια γραφείων και περιλαμβάνονται στο σχεδιασμό των λεγόμενων «έξυπνων» κτηρίων. [37]
- Καθοριστική σημασία έχει η ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη η οποία μπορεί να μειώσει σημαντικά τις ενεργειακές καταναλώσεις συσκευών και λαμπτήρων, με μηδενικό κόστος. [44]

4. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το δεύτερο στάδιο για την επίτευξη ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας, είναι η ενσωμάτωση σε αυτά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Ως ΑΠΕ έχουν οριστεί οι ενεργειακές πηγές που υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνον από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών, που θα έχουν ως σκοπό τη δέσμευση του δυναμικού τους. Οι διάφορες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- Ο ήλιος: Ηλιακή ενέργεια, η οποία μετατρέπεται σε θερμότητα, μέσω θερμικών ηλιακών συστημάτων ή σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω φωτοβολταϊκών.
- Ο άνεμος: Αιολική ενέργεια, η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική με τη χρήση ανεμογεννητριών.
- Οι υδατοπτώσεις: Μετατροπή της κινητικής ενέργειας των υδάτων, σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Η βιομάζα: Θερμική ή χημική ενέργεια με την παραγωγή βιοκαυσίμων στερεής, υγρής ή αέριας μορφής, με τη χρήση υπολειμμάτων δασικών εκμεταλλεύσεων και με την αξιοποίηση βιομηχανικών, αγροτικών (φυτικών και ζωικών) και αστικών αποβλήτων.
- Οι θάλασσες: Ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή ενέργεια από τη διαφορά θερμοκρασίας των νερών στην επιφάνεια και σε μεγάλο βάθος, καθώς και από την κινητική ενέργεια των κυμάτων.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα είναι:

- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον, συνεισφέροντας στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.
- Κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις μπορεί να είναι προσοδοφόρες (πώληση

Εικόνα 42. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πηγή: [60]

ηλεκτρικής ενέργειας).

- Έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος.
- Συμβάλλουν στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της περιοχής εγκατάστασής τους (δημιουργώντας θέσεις εργασίας).
- Αποτελούν μια εναλλακτική λύση στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού μιας χώρας, καθώς μειώνουν την ενεργειακή εξάρτηση σε εισαγωγή ορυκτών καυσίμων. [49]

Αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων κτηρίων και οικισμών

Διάφοροι τρόποι εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών αποτελούν:

- Εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.
- Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των χώρων μέσω παθητικών ηλιακών συστημάτων, ενσωματωμένων στο κτηριακό κέλυφος. (Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων).
- Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση και το κλιματισμό των χώρων, μέσω ενεργητικών ηλιακών συστημάτων.
- Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, για ηλεκτροπαραγωγή μικρής κλίμακας, μέσω φωτοβολταϊκών.
- Αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε κλίμακα κατοικίας ή οικισμού.
- Αξιοποίηση της βιομάζας (καυσόξυλα, ελαιοπυρήνα κλπ) για την παραγωγή θερμότητας σε οικιακή κλίμακα. Καύση σκουπιδιών και παραγωγή βιοαερίου, από αστικά λύματα, για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού σε αστική κλίμακα.
- Αξιοποίηση γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας, που παράγουν σημαντικές ποσότητες θερμού νερού, για τη θέρμανση κατοικιών και γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, για την τροφοδότηση οικισμών.
- Αξιοποίηση μικρών υδατοπτώσεων για κάλυψη τοπικών αναγκών οικισμών σε ηλεκτρισμό και παράλληλη αξιοποίηση για άρδευση. [43]

4.1. Φωτοβολταϊκά συστήματα

Η ηλιακή ενέργεια είναι η πιο κατάλληλη μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτηρίων. Η χρήση φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστοιχιών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι πλέον ώριμη και συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία, ευρέως διαδεδομένη σε όλη την Ευρώπη. Τα φωτοβολταϊκά διακρίνονται σε «διασυνδεδεμένα» συστήματα, που συνδέονται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και σε «αυτόνομα» συστήματα, όπου χρησιμοποιούνται συσσωρευτές (μπαταρίες). Τα αυτόνομα συστήματα, μπορεί να περιλαμβάνουν και άλλες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής, όπως ανεμογεννήτριες ή/και μικρά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (υβριδικά συστήματα). Όσον αφορά το υλικό κατασκευής τους, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, διαχωρίζονται κυρίως σε μονοκρυσταλλικού, πολυκρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου. [44] Τα κυριότερα πλεονεκτήματά τους είναι:

- Κατά τη λειτουργία τους, δεν καταναλώνεται άλλη μορφή πρωτογενούς ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού
- Δεν προκαλείται ρύπανση του περιβάλλοντος
- Δεν αφήνουν κατάλοιπα (με εξαίρεση τις μπαταρίες όταν χρησιμοποιούνται σαν αποθηκευτικό μέσο)
- Μπορούν να εγκατασταθούν σε απομονωμένες περιοχές,
- Ύπαρξη δυνατότητας αυτόνομης λειτουργίας [59]

Αρχές λειτουργίας

Τα Φ/Β στοιχεία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, με τη βοήθεια του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από δύο στρώματα ημιαγωγού υλικού, συνήθως πυριτίου. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην ένωση αυτών των δύο στρωμάτων, παράγεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα. Η απόδοση των Φ/Β στοιχείων εξαρτάται από το

Εικόνα 43. Φωτοβολταϊκό σύστημα σε στέγη κατοικίας. Πηγή: [63]

υλικό και τον τρόπο κατασκευής τους. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι Φ/Β στοιχείων είναι τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου και τα άμορφα πολυκρυσταλλικά στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά διαφέρουν τόσο ως προς τον τρόπο κατασκευής τους, όσο και ως προς τα χαρακτηριστικά τους. [54]

Μονοκρυστάλλικα κύτταρα Si

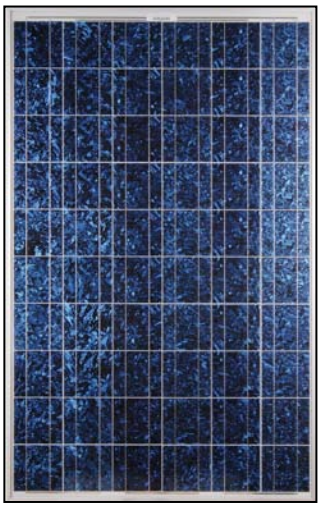
Η ονομασία τους προέρχεται από την μορφή του κρυσταλλικού πλέγματος των ατόμων Si, που πλησιάζει τον τέλειο κρύσταλλο. Κατασκευάζονται ύστερα από ψύξη λιωμένου Si και πριονισμό του σε λεπτές πλάκες – τα κύτταρα. Η ανάγκη χρησιμοποίησης ιδιαίτερα καθαρού πυρριτίου (ακριβή «πρώτη» ύλη), η χρήση εξειδικευμένων μεθόδων τήξης και κοπής για την επίτευξη του μονοκρυσταλλικού πλέγματος, αυξάνουν το κόστος παραγωγής, δίνοντάς τους όμως τον καλύτερο βαθμό απόδοσης από τις τρεις κατηγορίες. Το ποσοστό αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα είναι πιο ευαίσθητα στην υπέρυθρη ακτινοβολία, που το ενεργειακό της περιεχόμενο είναι σχετικά χαμηλό. Τα Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι το καταλληλότερο για Φ/Β εγκαταστάσεις. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική φτάνει, σε εργαστηριακό προϊόν το 24%, ενώ σε βιομηχανική μορφή το 15 έως 20%. Διάφορα χαρακτηριστικά των μονοκρυσταλλικών κυττάρων:

Εικόνα 44. Μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πάνελ. Πηγή: [82]

- Παρουσιάζουν υψηλή αξιοπιστία και σταθερότητα και είναι κατάλληλα για οικιακές εφαρμογές και σε Φ/Β εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Παρουσιάζουν υψηλότερο κόστος κατασκευής, καθώς απαιτείται κρύσταλλος πολύ υψηλής καθαρότητας και μεγαλύτερη ποσότητα υλικού, λόγω του πάχους του στοιχείου. Το πάχος δεν μπορεί να είναι λιγότερο από 200μm, καθώς υπάρχει κίνδυνος θραύσης κατά την κοπή και την επεξεργασία.
- Ο κρύσταλλος έχει χρώμα σκούρο μπλε και ομοιόμορφο σχηματισμό.
- Η εγκατάσταση ενός Φ/Β συστήματος 1kWp απαιτεί 7-8m² ενώ παράγει 160-185 kWh/m². Έτσι προτιμάται σε Φ/Β πάρκα, όπου η απόδοση, η επιφάνεια και η γρήγορη απόσβεση του κεφαλαίου είναι βασικά κριτήρια για τον σχεδιασμό του συστήματος. [59]

Πολυκρυσταλλικά κύτταρα Si

Σε αντίθεση με τα μονοκρυσταλλικά, τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα στο πλέγμα τους περιλαμβάνουν κρυστάλλους ποικίλων προσανατολισμών. Αιτία αυτής της διαφοροποίησης, είναι η μαζική και λιγότερο ελεγχόμενη ψύξη του Si, κάτι που μειώνει αισθητά το κόστος παραγωγής. Όπως και στην προηγούμενη τεχνολογία, μετά την ψύξη, το πολυκρυσταλλικό πλέγμα πριονίζεται στα λεπτά Φ/Β κύτταρα. Η ύπαρξη διαφόρων κρυστάλλων μέσα στο πλέγμα αυξάνει την εσωτερική αντίσταση στα σημεία σύνδεσής τους, με αποτέλεσμα ο συνολικός βαθμός απόδοσης να μην μπορεί να ξεπεράσει το 13 με 15%. Χαρακτηριστικά στοιχεία τους:



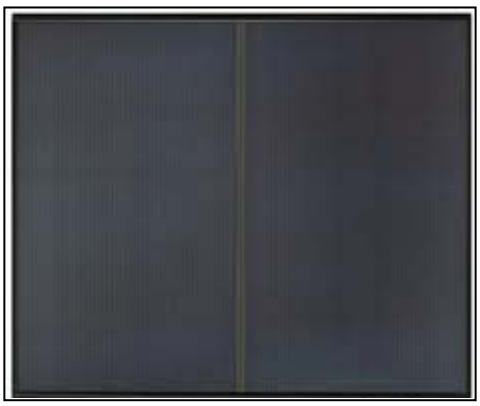
Εικόνα 45. Πολυκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πάνελ. Πηγή: [82]

- Κατασκευάζονται με χύτευση λιωμένου πυριτίου.
- Παρουσιάζουν μεγαλύτερες μηχανικές αντοχές και μπορούν να κοπούν σε πάχος 10 έως 50μm.
- Η εργαστηριακή τους απόδοση είναι 17 με 20% και 10 με 14% σε μορφή πλαισίου.
- Έχουν υψηλότερο κόστος κατασκευής από το άμορφο πυρίτιο.
- Στην επιφάνειά τους διακρίνονται μονοκρυσταλλικές περιοχές, οι οποίες έχουν γαλάζιο χρώμα. Τα όριά τους αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων. Όσο μικρότερο είναι το συνολικό μήκος των οριακών περιοχών μέσα στο δεδομένης διάστασης Φ/Β στοιχείο, τόσο καλύτερη είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητά τους. Γενικά όσο μεγαλύτερες είναι οι διαστάσεις των μονοκρυσταλλικών περιοχών του πολυκρυσταλλικού στοιχείου, τόσο υψηλότερη είναι η απόδοσή του. Για την εγκατάσταση συστήματος 1kWp απαιτούνται 8-10m², ενώ παράγει 130-160 kWh/m².
- Είναι καταλληλότερη λύση σε μεσαίου μεγέθους εφαρμογές. Χαρακτηρίζονται από σχετικά υψηλή χρονική σταθερότητα. Συνήθως το χρώμα του είναι γαλάζιο, διατίθενται όμως και Φ/Β στοιχεία σε διάφορα χρώματα, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. [59]

Άμορφα κύτταρα Si

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η μη κρυσταλλική της δομή. Κατασκευάζονται με την εφαρμογή πυριτίου, σε ειδικό υπόστρωμα γυαλιού. Η μικρή και

οικονομική ποσότητα πρώτων υλών, ο απλός τρόπος κατασκευής, η ευκολία στην εγκατάσταση και συναρμολόγηση καθιστούν τα άμορφα κύτταρα, ικανά για μαζική παραγωγή. Η έλλειψη όμως, του κρυσταλλικού πλέγματος από την δομή τους περιορίζει το βαθμό απόδοσης μόλις στο 5 με 8%. Για τον λόγο αυτό τα άμορφα κύτταρα δεν απαρτίζουν αμιγώς Φ/Β πλαίσια, αλλά προτιμώνται σε τεχνολογίες όπως υβριδικά Φ/Β πλαίσια ή Φ/Β τεχνολογίας Thin Film, τα οποία δημιουργούνται με τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων υμενίων (films). Θεωρητικά έχουν πολύ μικρό κόστος παραγωγής, καθώς η ποσότητα της μάζας του χρησιμοποιούμενου υλικού είναι πολύ μικρή. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής και η υψηλή απορρόφηση. Χαρακτηριστικό τους είναι η ομοιόμορφη εμφάνισή τους. Αντίθετα όμως, παρουσιάζουν σημαντικά μειονεκτήματα, όπως η πολύ χαμηλή απόδοση και η μεγάλη επιφάνεια που καταλαμβάνουν σε σχέση με άλλους τύπους (για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ). Για την εγκατάσταση 1kWp φωτοβολταϊκού συστήματος, χρειάζεται επιφάνεια 10-20m², ενώ παράγει 65-80 kWh/m^2. Για αυτούς τους λόγους δεν επιλέγονται σε μεγάλες εφαρμογές όπου η έκταση και η απόσβεση του αρχικού κόστους είναι σημαντική. Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα είναι η χρήση της τεχνολογίας άμορφου πυριτίου σε μεγάλα κτήρια, γνωστά και ως Κτηριακά Ενσωματωμένα Φ/Β στοιχεία (BIPVs – Building Integrated Photovoltaics), όπου αντικαθιστούν τα τζάμια (μετά από επεξεργασία για την αύξηση της διαφάνειάς τους) συμβάλλοντας έτσι στην τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας. [59]



Εικόνα 46. Φωτοβολταϊκό πλαίσιο άμορφου πυριτίου. Πηγή: [70]

<u>*Συστήματα φωτοβολταϊκών πλαισίων*</u>

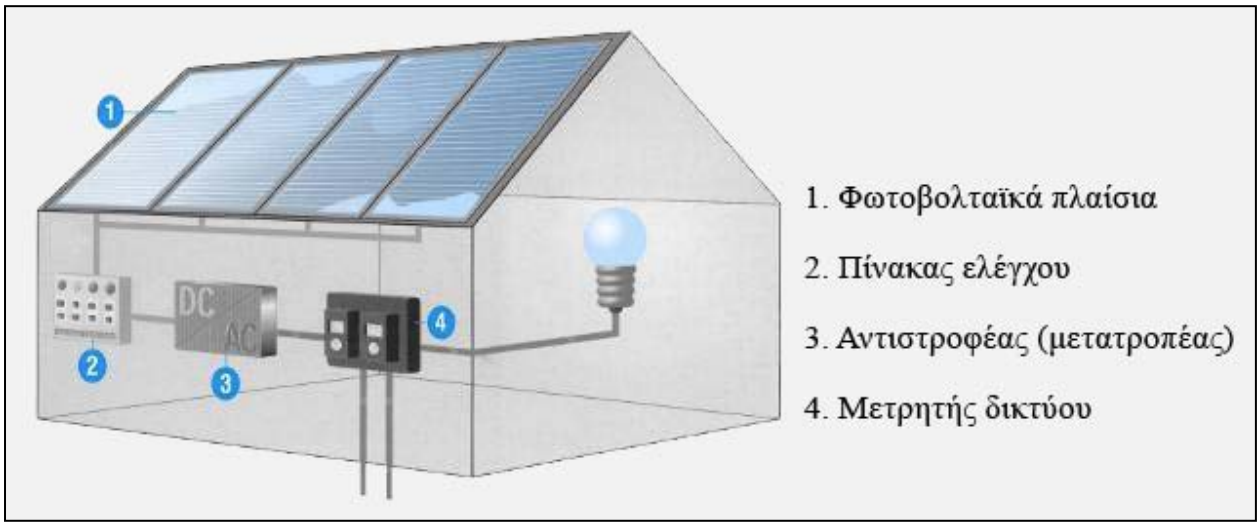
Ομάδες Φ/Β στοιχείων συνδεδεμένες σε σειρά ή παράλληλα διαμορφώνουν ένα Φ/Β πλαίσιο. Το πιο σημαντικό από τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός Φ/Β πλαισίου είναι η ισχύς αιχμής (Wp) που εκφράζει την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ όταν το Φ/Β πλαίσιο εκτεθεί σε ηλιακή ακτινοβολία 1kW/m^2. [54]

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τη Φ/Β συστοιχία, τους συσσωρευτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας (σε περίπτωση αυτόνομων συστημάτων) και το σύστημα μετατροπής ισχύος. Ο πιο διαδεδομένος τύπος συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι τύπου μολύβδου-οξέως, ανοικτού ή κλειστού τύπου, ειδικά σχεδιασμένοι για ηλιακά συστήματα παραγωγής ενέργειας. Για τη μετατροπή της ισχύος, χρησιμοποιούνται

μετατροπείς ισχύος ή αντιστροφείς συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα, μετατροπείς συνεχόμενου σε συνεχόμενο ρεύμα και ρυθμιστές φόρτισης. Οι βασικοί τύποι Φ/Β συστημάτων είναι οι εξής:

- Αυτόνομο σύστημα. Το σύστημα αυτό έχει τη δυνατότητα παροχής συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος με τη χρήση μετατροπέα ισχύος (αντιστροφέα).
    - Σήμερα υπάρχει πληθώρα μικρών φωτοβολταϊκών, αυτόνομων συστημάτων σε κεραίες τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη και άλλα.
    - Παράλληλα υπάρχουν συστοιχίες συσσωρευτών, οι οποίες αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. ενώ σε περίπτωση που έχουμε φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος, θα πρέπει να υπάρχει αντιστροφέας στο σύστημα, ο οποίος θα μετατρέπει την συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση. [59]
- Σύστημα συνδεδεμένο με το δίκτυο. Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια συστοιχία Φ/Β στοιχείων, η οποία μέσω ενός αντιστροφέα είναι συνδεδεμένη με το ηλεκτρικό δίκτυο. Συνήθως, σε εφαρμογές μικρής εγκατεστημένης ισχύος, όπου τα Φ/Β πρέπει να καλύψουν συγκεκριμένο φορτίο, το δίκτυο χρησιμοποιείται ως μέσο για την προσωρινή αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Σε κεντρικά συστήματα μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος, η παραγόμενη από τα Φ/Β στοιχεία ενέργεια παρέχεται απευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο. [54]
    - Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα (διάγραμμα 19), η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εφ' όσον υπάρχει διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία τότε το δίκτυο παρέχει τη συμπληρωματική ενέργεια.
    - Στα συστήματα αυτά, υπάρχουν δύο διαφορετικοί μετρητές, οι οποίοι μετράνε την παραγόμενη και την προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης στη περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης. [59]

- Υβριδικό σύστημα. Το σύστημα αυτό είναι αυτόνομο και αποτελείται από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία που λειτουργεί σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας (π.χ. σε συνδυασμό με γεννήτρια πετρελαίου ή με άλλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, όπως μια ανεμογεννήτρια). [54]



Διάγραμμα 19. Συνδεδεμένο στο δίκτυο, Φ/Β σύστημα σε κτήριο. Πηγή: [78]

- Σύστημα μικρής ισχύος. Το σύστημα αυτό εγκαθίσταται συνήθως σε κτήρια που διαθέτουν ενεργητικά ή παθητικά ηλιακά συστήματα. Χρησιμοποιείται συχνά για τη λειτουργία αντλιών ή ανεμιστήρων συνεχούς ρεύματος, που χρησιμοποιούνται για την κυκλοφορία του αέρα ή του νερού στους ηλιακούς συλλέκτες. Έχει ενσωματωμένο ρυθμιστή ισχύος, ο οποίος διακόπτει τη λειτουργία του Φ/Β συστήματος, όταν η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί και δεν απαιτεί τη χρήση συσσωρευτών για την αποθήκευση της ενέργειας. [54]

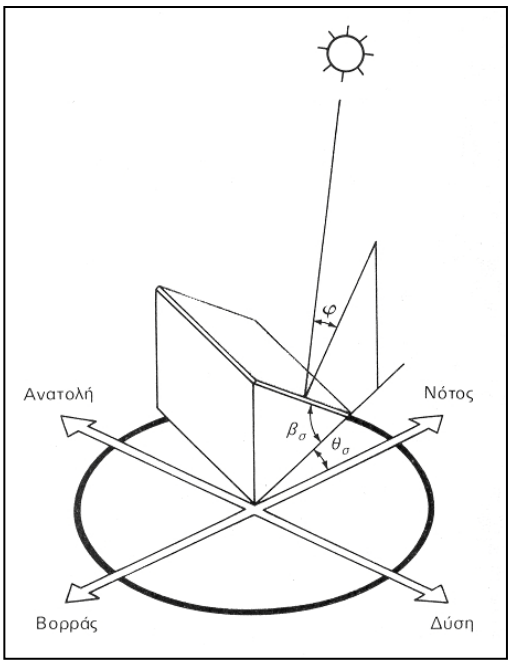
Συστήματα μετατροπής ισχύος

Τα Φ/Β πλαίσια παράγουν συνεχές ρεύμα ενώ τα φορτία καταναλώνουν εναλλασσόμενο ρεύμα. Για την μετατροπή της ισχύος στα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται αντιστροφείς (inverters) συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC/DC). Σκοπός των συστημάτων μετατροπής ισχύος είναι η κατάλληλη ρύθμιση των χαρακτηριστικών του παραγόμενου ρεύματος, ώστε να καταστεί δυνατή η τροφοδοσία των διαφόρων καταναλώσεων. Τα σημαντικότερα κριτήρια για την επιλογή του αντιστροφέα είναι η αξιοπιστία, η ενεργειακή απόδοση, οι αρμονικές παραμορφώσεις και η συμβατότητα με τις τεχνικές απαιτήσεις της ΔΕΗ. [59]

Αρχές σχεδιασμού

Για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων ο βέλτιστος προσανατολισμός είναι ο νότιος. Απόκλιση έως και 45° από τον άξονα βορρά - νότου είναι αποδεκτή, αν και επιφέρει μείωση στην απόδοση του συστήματος. Τα στοιχεία πρέπει να τοποθετούνται υπό κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, με απόκλιση ±15°. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία εγκαθίστανται υπό γωνία, ώστε να βελτιστοποιούν τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και έτσι να μεγιστοποιούν την παραγωγή ενέργειας. Για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, πρέπει να τοποθετούνται υπό κλίση 15° ψηλότερα από το γεωγραφικό πλάτος, λόγω των χαμηλών γωνιών που ακολουθεί η ηλιακή τροχιά, ενώ για τη μεγιστοποίηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού τα φωτοβολταϊκά πρέπει να τοποθετούνται υπό κλίση 15° χαμηλότερα από το γεωγραφικό πλάτος. Επιπλέον, η επικλινής τοποθέτηση παρέχει τη δυνατότητα αυτοκαθαρισμού των φωτοβολταϊκών, από το νερό της βροχής (διάγραμμα 20). Συμπερασματικά:

- Η βέλτιστη κλίση τοποθέτησης των Φ/Β συστημάτων για την Ελλάδα επιλέγεται βάσει της χρονικής περιόδου χρήσης τους.
- Για ετήσια χρήση και βαθμό απόδοσης 11 έως 17%, στην Ελλάδα η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά μονάδα επιφανείας, ανέρχεται στις 140 με 270 kWh/m^{2}έτος αντίστοιχα, ή ανά μονάδα ισχύος ανέρχεται στις 1200 με 1600 kWh/kWέτος αντίστοιχα. [59]



Διάγραμμα 20. Η κλίση και η αζιμούθια γωνία που χαρακτηρίζουν τον προσανατολισμό ενός Φ/Β πλαισίου στην επιφάνεια της γης. Πηγή: [35]

Στην περίπτωση αυτόνομου συστήματος πρέπει να προβλεφθεί χώρος εντός του κτηρίου για την εγκατάσταση των συσσωρευτών, ενώ στην περίπτωση σύνδεσης στο δίκτυο ηλεκτρισμού, να προβλεφθεί το κόστος για τη σύνδεση στο κεντρικό δίκτυο. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται κινούμενα συστήματα, τα οποία μεταβάλλουν τον προσανατολισμό τους ανάλογα με τη θέση του ηλίου. Αυτά τα συστήματα έχουν αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης και μεγαλύτερο κόστος αγοράς. Η χρήση τους συνιστάται σε περιοχές μικρού γεωγραφικού πλάτους, όπου η γωνία του ήλιου μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της ημέρας. [49]

Φωτοβολταϊκά σε προσόψεις κτηρίων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρουσιάζουν δυνατότητα ενσωμάτωσης στις προσόψεις των κτηρίων, είτε αποτελώντας μέρος της τοιχοποιίας, είτε ακόμη και αντικαθιστώντας την. Η ενσωμάτωσή τους αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία, καθώς η πρόσοψη θα πρέπει να διατηρήσει τα βασικά χαρακτηριστικά της, ως προς την προστασία των εσωτερικών χώρων του κτηρίου (π.χ. θερμομόνωση, υγρομόνωση, φυσικό φωτισμό, θέα προς τους εξωτερικούς χώρους), αλλά και ταυτόχρονα να ενσωματώσει τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Οι τρεις τύποι φωτοβολταϊκών, που αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις προσόψεις των κτηρίων, μολονότι η άμορφη σιλικόνη έχει ευρύτερες εφαρμογές, δεδομένου ότι μπορεί να παραχθεί σε διάφορες αποχρώσεις και κατά συνέπεια η ενσωμάτωση της καθίσταται πιο εύκολη, στην αρχιτεκτονική του υπόλοιπου κελύφους.

Εικόνα 47. Στέγαστρο ανοίγματος με ενσωματωμένο φωτοβολταϊκό πανέλο. Πηγή: [86]

Η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στις όψεις των κτηρίων, θα μπορούσε να διαιρεθεί σε πέντε κύριες κατηγορίες (διάγραμμα 21):

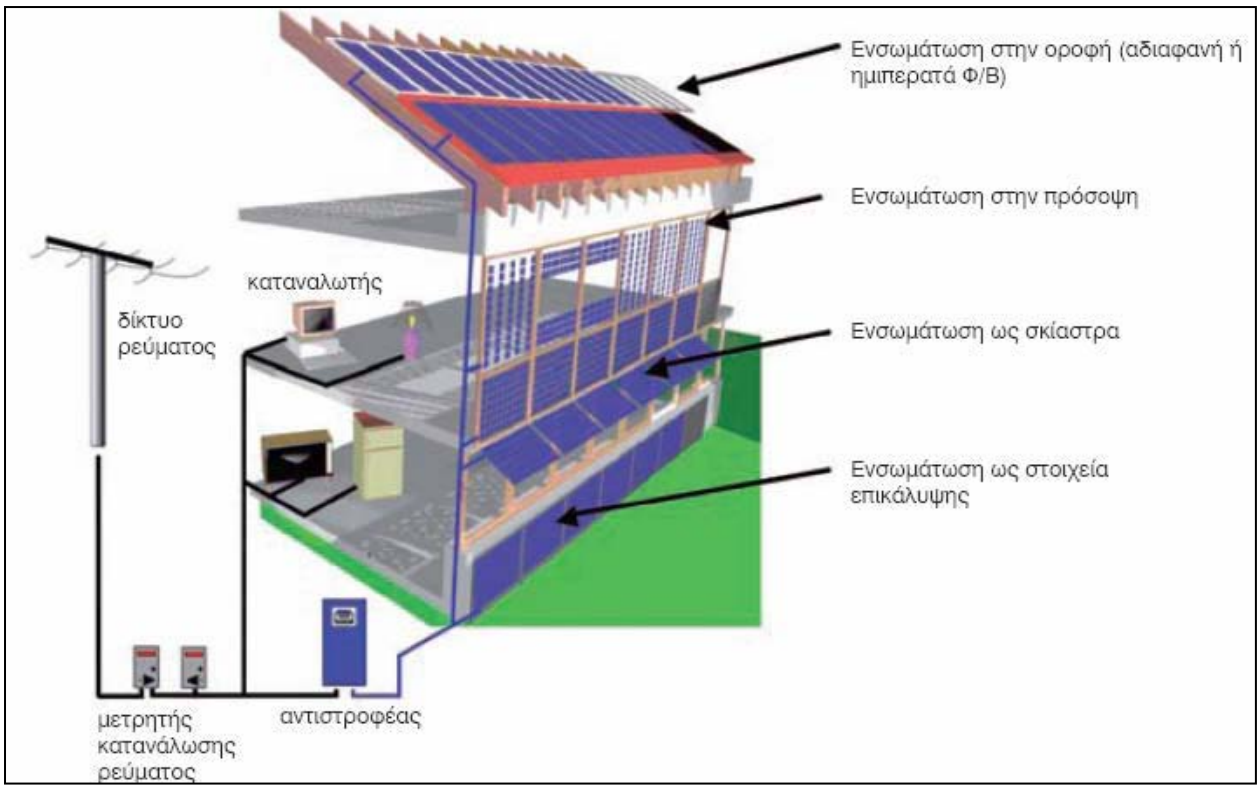
1. Για εξωτερική σκίαση: Ο απλούστερος τρόπος ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ως συστήματα σκίασης. Συνήθως πρόκειται για προβόλους ή πέργκολες, στις οποίες ενσωματώνονται τα φωτοβολταϊκά. Φωτοβολταϊκά μπορούν επίσης να τοποθετηθούν σε κατακόρυφη διάταξη ως παραπετάσματα. Σ' αυτήν την περίπτωση παρατηρείται μείωση της απόδοσής τους κατά 30-45%.

2. Σε προπετάσματα βροχής: Προπετάσματα χρησιμοποιούνται συνήθως σε προσόψεις κτηρίων, που αποτελούν φέροντα δομικά στοιχεία του κτηρίου. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να αντικαταστήσουν τα επιχρίσματα στις εξωτερικές προσόψεις των κτηρίων, ώστε να προστατέψουν τα δομικά στοιχεία από τις καιρικές συνθήκες. Το προπέτασμα ουσιαστικά, είναι μια διπλή τοιχοποιία, της οποίας το εξωτερικό στρώμα εμποδίζει την είσοδο των νερών της βροχής, ενώ το εσωτερικό διατηρείται σχετικά ξηρό και αποτελεί το θερμικό κέλυφος του κτηρίου. Συνήθως τα προπετάσματα βροχής καλούνται και ψυχρό κέλυφος (cold facade) διότι είναι αποσυνδεδεμένα από τη θερμική μάζα του

κτηρίου. Σημαντικό πλεονέκτημα της λύσης αυτής είναι η ευκολία ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων, διότι δεν απαιτείται κάποια ιδιαίτερη αλλαγή στον τρόπο τοποθέτησής τους. Επίσης ο αέρας, ο οποίος κυκλοφορεί ανάμεσα στα προπετάσματα και στην υπόλοιπη τοιχοποιία, ψύχει τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, αυξάνοντας την απόδοσή τους.

3. Σε υαλοπετάσματα εξωτερικής ενσωμάτωσης: Αυτά τα υαλοπετάσματα κατασκευάζονται από λεπτά, κατακόρυφα πλαίσια, τα οποία εκτείνονται από όροφο σε όροφο. Έπειτα, οριζόντια πλαίσια τοποθετούνται μεταξύ των κατακόρυφων. Στο τελικό πλαίσιο στερεώνονται επιφάνειες που αποτελούνται από ανοιγόμενους, μόνιμα κλειστούς, ή θερμομονωμένους υαλοπίνακες. Τα υαλοπετάσματα αυτού του τύπου στερεώνονται στην εξωτερική πλευρά του κελύφους. Αυτά τα συστήματα συνιστώνται σε χαμηλά κτήρια, στα οποία απαιτούνται υψηλής ποιότητας υαλοπετάσματα. Φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να ενσωματωθούν είτε στους υαλοπίνακες, είτε στα αδιαφανή μέρη του κελύφους.

4. Σε προκατασκευασμένα υαλοπετάσματα: Τα προκατασκευασμένα υαλοπετάσματα δημιουργήθηκαν για να δώσουν λύση στα μειονεκτήματα χρήσης των προαναφερθέντων υαλοπετασμάτων, όπως η χρήση σκαλωσιών, οι μεγάλοι χρόνοι εγκατάστασης και τα επιπλέον φορτία. Τα προκατασκευασμένα υαλοπετάσματα περιλαμβάνουν όλα τα στοιχεία, θερμομόνωση, υγρομόνωση, και πετάσματα πλήρωσης. Τα φωτοβολταϊκά ενσωματώνονται στα υαλοπετάσματα στο εργοστάσιο, είτε αποτελώντας τον εξωτερικό υαλοπίνακα σε ένα σύστημα διπλών υαλοπινάκων, είτε ως εξωτερικό στρώμα στα αδιαφανή μέρη του υαλοπετάσματος. Τα προκατασκευασμένα υαλοπετάσματα έχουν το πλεονέκτημα, ότι μπορούν να στερεωθούν στο κέλυφος από το εσωτερικό μέρος του κτηρίου, χωρίς τη χρήση σκαλωσιών, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο εγκατάστασης. Στους υαλοπίνακες μπορεί να προστεθεί επίστρωση χαμηλής εκμπομπής, για τη βελτίωση των θερμικών τους χαρακτηριστικών.



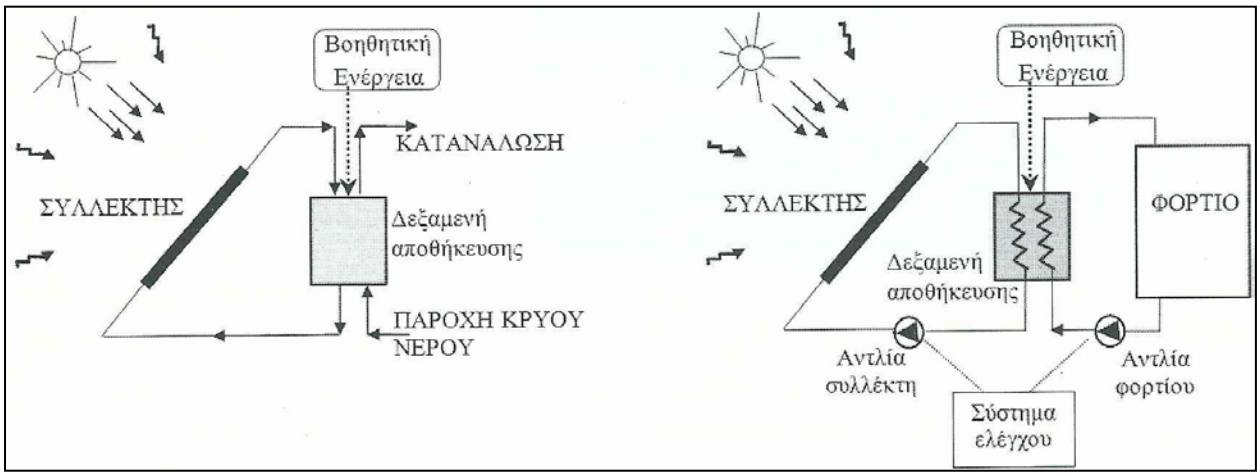
Διάγραμμα 21. Εφαρμογές Φ/Β πλαισίων σε κτήριο. Πηγή: Φ/Β Συστήματα Ενσωματωμένα στα Κτήρια Πρόγραμμα PURE - Πολυτεχνείο Κρήτης

5. Σε διπλή τοιχοποιία (double skin facade): Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να αντικαταστήσουν το εξωτερικό μέρος της τοιχοποιίας, η οποία συνήθως αποτελείται από μονούς υαλοπίνακες. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν, είτε να προκατασκευαστούν στο εργοστάσιο, είτε να στερεωθούν απευθείας στο εξωτερικό του κελύφους, αποτελώντας ουσιαστικά έναν από τους δύο προαναφερθέντες τύπους υαλοπετασμάτων. [49]

Θερμικά ηλιακά συστήματα

Με τα σημερινά δεδομένα, η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, αποτελεί την πιο αποδοτική και οικονομικά συμφέρουσα εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας. [49] Οι ηλιακοί θερμαντήρες ζεστού νερού κάθε τύπου μπορούν να καλύψουν ένα μεγάλο ποσοστό των αναγκών των νοικοκυριών σε ζεστό νερό χρήσης, μειώνοντας ταυτόχρονα τις οικιακές δαπάνες σε ενέργεια. Η ποσότητα του ζεστού νερού που αποδίδει η ηλιακή ενέργεια, εξαρτάται από τον τύπο και το μέγεθος του συστήματος και το κλίμα της περιοχής, όσον αφορά την ηλιοφάνεια (διάγραμμα 22). Ιδιαίτερα αποδοτικά είναι τα κεντρικά ηλιακά συστήματα, τα οποία εφαρμόζονται σε σύνολα κατοικιών. Αυτά τα συστήματα αποτελούνται από ένα κεντρικό σύστημα συλλεκτών και μια κεντρική δεξαμενή, η οποία παρέχει ζεστό νερό στις μεμονωμένες κατοικίες (π.χ. διαμερίσματα), μέσω

δικτύου αγωγών. Με το σύστημα αυτό, η ζήτηση ζεστού νερού είναι ομαλότερα κατανεμημένη κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου και έτσι μειώνονται οι θερμικές απώλειες του αποθηκευμένου νερού για την κάλυψη των απαιτήσεων του συνόλου των κατοικιών. [36]



Διάγραμμα 22. Διατάξεις ηλιακών συστημάτων παραγωγής ζεστού νερού. Πηγή: [42]

<u>Πλεονεκτήματα Φωτοβολταϊκών συστημάτων ως οικιακή πηγή ενέργειας</u>

Συγκεντρωτικά, παρακάτω αναφέρονται τα βασικότερα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών:

- Καθαρή, οικολογική πηγή ενέργειας. Δεν παράγει εκπομπές CO_2,NO_x ή SO_2.
- Κατά την παραγωγή των Φ/Β συλλεκτών, δεν εκλύονται τοξικά αέρια.
- Ο χρόνος ενεργειακής απόσβεσης (ο χρόνος που απαιτείται για να παράγει ένα Φ/Β, όση ενέργεια καταναλώθηκε για την κατασκευή του) είναι 2 με 5 χρόνια, ενώ η διάρκεια ζωής ενός Φ/Β συλλέκτη μπορεί να ξεπεράσει τα 20 χρόνια.
- Η ενέργεια παράγεται επί τόπου, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν μεγάλες απώλειες κατά τη μεταφορά της, σε αντίθεση με απομακρυσμένες μονάδες παροχής παραγόμενης ενέργειας, οι οποίες λειτουργούν μέσω δικτύων παροχής μεγάλων αποστάσεων.
- Είναι αξιόπιστα. Απλά τοποθετούνται στη στέγη, με άμεση παραγωγή ενέργειας.
- Κατά τη λειτουργία δεν προκαλείται θόρυβος.
- Έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης.
- Μπορούν να τροφοδοτούν με ενέργεια περιοχές που είναι απομακρυσμένες από το δίκτυο ηλεκτροδότησης.
- Δυνατότητα μεταφοράς από κτήριο σε κτήριο.

- Μπορούν να παράγουν ρεύμα κατά τη διάρκεια διακοπών ηλεκτροδότησης. [14]

4.2. Ανεμογεννήτριες σε κτήρια

Αν και υπάρχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που διαχωρίζουν τις ανεμογεννήτριες αιολικών πάρκων από τις ανεμογεννήτριες σε κτήρια, όπως το ύψος των πύργων και η γειτνίαση εμποδίων, η λειτουργία τους ακολουθεί τους ίδιους φυσικούς νόμους. Οι εγκαταστημένες ανεμογεννήτριες σε κτήρια παρουσιάζουν μια σειρά από πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται:

- Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμη πηγή, τον άνεμο.
- Το χαμηλό κόστος κατασκευής.
- Οι περιορισμένες ανάγκες συντήρησης με εξαίρεση τον ετήσιο έλεγχο.

Παρουσιάζουν όμως και μειονεκτήματα, τα οποία πολλές φορές δυσχεραίνουν την υλοποίησή τους, όπως:

- Η δημιουργία έντονων αντιδράσεων σχετικά με την αισθητική τους επίδραση στην ευρύτερη περιοχή εγκατάστασής τους.
- Ο παραγόμενος θόρυβος κατά τη λειτουργία τους.
- Η εναλλασσόμενη σκίαση. Οι παρεμβολές στα σήματα τηλεπικοινωνιών και τηλεόρασης. [49]

Αρχές λειτουργίας

Στις μικρού μεγέθους ανεμογεννήτριες (ισχύος μικρότερης των 100kW), μαγνήτες περιστρέφονται εντός σταθερής κατασκευής, δημιουργώντας μόνιμα μαγνητικά πεδία. Στις ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους τα πτερύγια κινούν την ανεμογεννήτρια απευθείας, χωρίς τη χρήση κιβωτίου μετάδοσης της κίνησης, όπως στις μεγάλες ανεμογεννήτριες αιολικών πάρκων, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν χαμηλότερα επίπεδα θορύβου. Οι μικρές ανεμογεννήτριες έχουν συνήθως ουρά που τις περιστρέφει προς τη κατεύθυνση ροής του ανέμου. [49]

Μεταβολή της ροής του ανέμου σε σχέση με το ύψος των κτηρίων

Η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται λόγω της τριβής με την επιφάνεια του εδάφους. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ανέμου. Στις ανεμογεννήτριες σε αιολικά πάρκα το ύψος του πύργου

μεγιστοποιείται για την εκμετάλλευση μεγαλύτερων ταχυτήτων ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες επάνω σε κτήρια εκμεταλλεύονται το ύψος των κτηρίων για τον ίδιο σκοπό. Σε αστικές περιοχές η ταχύτητα του ανέμου είναι σημαντικά μικρότερη από αυτήν των αγροτικών περιοχών, εξαιτίας της πυκνής δόμησης και των αυξημένων τριβών της ροής του αέρα. [49]

Αρχές σχεδιασμού

Η ροή του ανέμου επιβραδύνεται γύρω από τα κτήρια ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου εμφανίζει πολλές τοπικές αναταράξεις καθώς έρχεται σε επαφή με τις επιφάνειες των κτηρίων. Η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών στα κτήρια απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος μεταφοράς κραδασμών στο εσωτερικό του κτηρίου. Μικρές ανεμογεννήτριες (ισχύος μικρότερης των 2 kW) μπορούν να εγκατασταθούν σε υποστήριγμα στον εξωτερικό τοίχο του κτηρίου, ιδιαίτερα σε κατοικίες. Αυτό το σύστημα είναι εξαιρετικά φθηνό, αλλά είναι κατάλληλο μόνο για μικρές ανεμογεννήτριες. Ανεμογεννήτριες με ισχύ μεγαλύτερη από 2 kW χρειάζονται επιπρόσθετη στήριξη και γι' αυτό πρέπει να εγκαθίστανται στις οροφές των κτηρίων. Η ροή του ανέμου δημιουργεί κύματα στις κατάντη περιοχές της ανεμογεννήτριας, τα οποία έχουν χαμηλή ταχύτητα και αυξημένη αναταραχή. Γι' αυτό θα πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάσταση μιας δεύτερης ανεμογεννήτριας σε απόσταση μικρότερη από τέσσερις φορές τη διάμετρο του στροφέα. Ο παραγόμενος θόρυβος κατά τη λειτουργία τους μπορεί να είναι ενοχλητικός για τα γειτονικά κτήρια. Αν θεωρήσουμε θορύβους υποβάθρου, της τάξης των 35dB σε κάποιο αστικό κέντρο στη διάρκεια της νύχτας, τότε μια πηγή θορύβου στα 55dB (τυπικός θόρυβος ανεμογεννήτριας σε οροφή κτηρίου) θα ακούγεται σε ακτίνα 3m από την πηγή. [49]

Εικόνα 48. Ανεμογεννήτρια σε κτήριο. Πηγή: [96]

4.3. Βιομάζα

Ο όρος βιομάζα χρησιμοποιείται για κάθε οργανικό υλικό, το οποίο παράγει ενέργεια κατά την καύση του. Η χρήση βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι ευρέως διαδεδομένη με τη μορφή καύσης του ξύλου στα τζάκια κατοικιών. Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια

αντικατάστασης των ορυκτών καυσίμων με βιομάζα διαφόρων μορφών, σε μια προσπάθεια μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι, η καύση του ξύλου, οι ενεργειακές καλλιέργειες κ.ά., βρίσκουν ευρύτερες εφαρμογές για την παραγωγή θερμότητας. [49]

Η βιομάζα είναι ένας ανανεώσιμος πόρος και αποτελεί μέρος του «κύκλου του άνθρακα» (διάγραμμα 23). Αυτό σημαίνει ότι ο πόρος μπορεί να αποκατασταθεί φυσικά όταν εξαντληθούν τα αρχικά αποθέματά του. Στη φύση, η βιομάζα παράγεται με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Η καύση της βιομάζας έχει θεωρητικά ουδέτερο ενεργειακό ισοζύγιο, καθώς το διοξείδιο του άνθρακα που ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά την καύση της, απορροφάται κατά τη διάρκεια του κύκλου δημιουργίας της πρώτης ύλης. Η χρήση βιομάζας από υπολείμματα έχει αμελητέα επίπτωση στο περιβάλλον, καθώς η επιπλέον καταναλισκόμενη ενέργεια για την επεξεργασία και καύση των υπολειμμάτων συγκριτικά με την καταναλισκόμενη ενέργεια για τη μεταφορά τους στους χώρους ταφής, είναι αμελητέα. [49]

Η βιομάζα, συγκριτικά με άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών, έχει το πλεονέκτημα ότι λειτουργεί παρόμοια με τις συμβατικές μορφές ενέργειας. Για παράδειγμα, στην περίπτωση αντικατάστασης του λέβητα φυσικού αερίου ή πετρελαίου με λέβητα βιομάζας, οι μόνες αλλαγές που απαιτούνται είναι η αλλαγή του καυστήρα και η προσθήκη χώρων αποθήκευσης του καυσίμου. [49]

Αρχές λειτουργίας

Υπάρχουν διάφορα είδη βιομάζας τα οποία διακρίνονται σε τρείς κατηγορίες:

- Στερεά
- Υγρή
- Αέρια

Η στερεά βιομάζα μπορεί να καεί απευθείας σε λέβητες στερεού καυσίμου ή μπορεί να επεξεργαστεί σε πλακίδια (θρύμματα ξύλου), πελέτες (συσσωματώματα) ή πλίνθους (μπρικέτες), τα οποία επίσης μπορούν να καούν σε λέβητες στερεάς βιομάζας, για την παραγωγή ζεστού νερού ή ατμού. Το ζεστό νερό χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, ενώ ο ατμός χρησιμοποιείται σε ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. [49]

Η υγρή βιομάζα παράγεται με τη μέθοδο της πυρόλυσης, κατά την οποία υγρό ή αέριο καύσιμο παράγεται κατά τη γρήγορη καύση μικρών σωματιδίων ξύλου περίπου στους 900°C. Σ' αυτή τη

θερμοκρασία, η βιομάζα διασπάται σε αέριο (το οποίο συχνά χρησιμοποιείται στη διαδικασία της καύσης), υγρό καύσιμο και κάρβουνο. [49]

Διάγραμμα 23. Κύκλος παραγωγής και εκμετάλλευσης βιομάζας. Πηγή: [61]

Η αέρια βιομάζα μπορεί να παραχθεί με διάφορες μεθόδους, όπως είναι η αεριοποίηση στερεάς βιομάζας (αναερόβια χώνευση), η οποία αρχικά αφυγραίνεται και έπειτα θερμαίνεται στους 800 με 900°C, με περιορισμένη ποσότητα οξυγόνου. Αυτή η διαδικασία οξυγονοποιεί μερικώς τη βιομάζα και προκαλεί την ανάδυση του βιοαερίου. Κατόπιν το βιοαέριο καθαρίζεται, φιλτράρεται από την πίσσα και άλλες ακαθαρσίες και χρησιμοποιείται σε λέβητες αερίου ή κάμινους. [49]

Πηγές βιομάζας

Υπάρχουν διάφορες πηγές βιομάζας, κάθε μια με διαφορετικά πλεονεκτήματα και διαφορετικές εφαρμογές:

- Βιομάζα από απορρίμματα, όπως υπολείμματα από βιομηχανική παραγωγή, γενικά βιομηχανικά απορρίμματα, γεωργικά απορρίμματα.

- Ενεργειακές καλλιέργειες.
- Βιομάζα από επεξεργασία του ξύλου.

Αναερόβια χώνευση

Από την κατηγορία των βιοχημικών μεθόδων επεξεργασίας της βιομάζας, σημαντικότερο τμήμα κατέχει η αναερόβια χώνευση, δηλαδή η αποσύνθεση οργανικής ύλης από μικροοργανισμούς, όπως τα βακτήρια, απουσία μοριακού οξυγόνου, για την παραγωγή αέριου καυσίμου, πλούσιου σε βιοαέριο (μεθάνιο). Η αναερόβια χώνευση συνήθως εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα κοντά σε χώρους επεξεργασίας απορριμμάτων. Τα τελευταία χρόνια έχει παρουσιάσει έντονη ανάπτυξη και έχει αποδειχθεί ως μια οικονομικά προσοδοφόρα επένδυση. Κατά την αναερόβια χώνευση απορρίμματα και άλλα υποπροϊόντα εισέρχονται σε αεροστεγώς κλεισμένη δεξαμενή. Σ' αυτό το περιβάλλον, χωρίς την παρουσία οξυγόνου, τα βακτήρια παράγουν βιοαέριο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι δεξαμενές θερμαίνονται για την επιτάχυνση της διαδικασίας. Το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας ή και των δύο. Πιο συχνά χρησιμοποιείται σε μονάδες συμπαραγωγής ενέργειας. Η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση της δεξαμενής χώνευσης και το πλεόνασμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κεντρικό δίκτυο θέρμανσης, για την παροχή ζεστού νερού σε γειτονικά κτήρια. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ιδιωτική χρήση ή να τροφοδοτήσει το κεντρικό δίκτυο. Ο βαθμός απόδοσης των μονάδων συμπαραγωγής μπορεί να φτάσει έως και 80% και είναι υπερδιπλάσιος του βαθμού απόδοσης συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα. [49]

Στερεά βιομάζα

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συστημάτων παραγωγής θερμότητας, με τη χρήση στερεάς βιομάζας. Ορισμένοι από αυτούς περιγράφονται παρακάτω:

- Ανοικτά τζάκια: χρησιμοποιούνται ευρέως στην Ελλάδα. Τα ανοικτά τζάκια έχουν πολύ μικρή συνεισφορά στη θέρμανση ενός χώρου. Μόνο το 20% περίπου της ενέργειας που απελευθερώνεται από την καύση του ξύλου μετατρέπεται σε θερμότητα, ενώ η υπόλοιπη ενέργεια

Εικόνα 49. Μορφή βιομάζας - Ξύλα. Πηγή: [72]

διαφεύγει μέσα από την καμινάδα, μαζί με τα αέρια της καύσης. Τα ανοικτά τζάκια είναι συνήθως κατάλληλα κατά τη μεταβατική περίοδο θέρμανσης, στην αρχή και στο τέλος του χειμώνα. [49]

- Κλειστά τζάκια: το κλειστό τζάκι δημιουργείται όταν το άνοιγμα του συμβατικού τζακιού κλειστεί με υαλοπίνακα. Ο δημιουργούμενος κλειστός χώρος βοηθά στην ελεγχόμενη προσαγωγή νωπού αέρα, αυξάνοντας το βαθμό απόδοσης της καύσης και τις παραγόμενες θερμοκρασίες. Για την εκμετάλλευση των υψηλών θερμοκρασιών, τα κλειστά τζάκια συνδυάζονται με αγωγούς αέρα, οι οποίοι μεταφέρουν την θερμότητα στο χώρο, βασιζόμενοι στο σύστημα του φυσικού ελκυσμού. Η θερμική ισχύς αυτών των συστημάτων κυμαίνεται μεταξύ 5 και 10kW. [49]

- Σόμπες ξύλου: οι σύγχρονες σόμπες ξύλου έχουν βελτιωθεί σημαντικά σε σχέση με εκείνες του παρελθόντος. Λειτουργούν μεταδίδοντας τη θερμότητα μέσω ακτινοβολίας, από τις θερμαινόμενες επιφάνειες. Ορισμένα μοντέλα χρησιμοποιούν το φαινόμενο του ελκυσμού, θερμαίνοντας κρύο αέρα και προσάγοντάς τον στο χώρο από θυρίδες, στο επάνω μέρος της σόμπας. [49]

- Λέβητες πελετών και πλακιδίων: Οι λέβητες πελετών έχουν ονομαστική ισχύ 5 έως 50kW και βαθμό απόδοσης που κυμαίνεται από 75 έως 85%. Αντίθετα, οι λέβητες πλακιδίων, είναι πιο μεγάλοι. Οι λέβητες που λειτουργούν με καύση του ξύλου έχουν περιορισμένη δυνατότητα άμεσης απόκρισης σε απότομες αλλαγές της ενεργειακής ζήτησης (π.χ. αύξηση της ζήτησης ζεστού νερού). Οι λέβητες χρειάζονται περίπου 10 με 15 λεπτά για να ανταποκριθούν στην αλλαγή της ζήτησης. Για το λόγο αυτό, ενώνονται με δοχεία αποθήκευσης ζεστού νερού, τα οποία χρησιμοποιούνται για την πλήρωση της απότομης αλλαγής των φορτίων. Η χρήση δοχείων αποθήκευσης αυξάνει την απόδοση του συστήματος και μειώνει τις εκπομπές της καύσης. Οι λέβητες που χρησιμοποιούνται σε κτήρια κατοικιών είναι της τάξης των 5 με 40kW και συνήθως καλύπτουν ανάγκες θέρμανσης και ζεστού νερού, που κυμαίνονται από 2.000 έως 20.000 kWh. Αυτού του μεγέθους οι λέβητες, καταναλώνουν έως 5,000kg καυσίμου το χρόνο. Οι στερεού

Εικόνα 50. Μορφή βιομάζας - Pellets. Πηγή: [77]

καυσίμου εγκαθίστανται μαζί με λέβητες φυσικού αερίου, οι οποίοι επιλέγονται έτσι ώστε να μπορούν να καλύψουν το μεγαλύτερο μέρος του θερμικού φορτίου. Αυτό γίνεται για να καλυφθούν περιπτώσεις έλλειψης στερεού καυσίμου. Ο λέβητας φυσικού αερίου μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να καλύπτει φορτία αιχμής, σε περίπτωση που το δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού δεν είναι επαρκές. [49]

4.4. Γεωθερμική ενέργεια

Ως γεωθερμική ενέργεια (γεωθερμία) ορίζεται η εκμετάλλευση της ενέργειας από το εσωτερικό της γης, απ' όπου, με τη χρήση αντλιών θερμότητας μεταφέρεται η θερμότητα από και προς το υπέδαφος, για την παραγωγή κρύου νερού για κλιματισμό και ζεστού νερού για θέρμανση και οικιακή χρήση. [49]

Η γεωθερμική ενέργεια, ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών, διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες:

- χαμηλής ενθαλπίας (25-100°C)
- μέσης ενθαλπίας (100-150°C)
- υψηλής ενθαλπίας (> 150°C)

Εικόνα 51. Γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας. Πηγή: [100]

Η γεωθερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η τεχνολογία που απαιτείται για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών αυτής της κατηγορίας έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό και είναι ευρύτατα γνωστή. Συνίσταται

κυρίως στη χρήση εναλλακτών θερμότητας ή σε μερικές περιπτώσεις, στην απευθείας χρήση των γεωθερμικών ρευστών. [36]

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας αξιοποιεί τη μέτρια και σταθερή, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους θερμοκρασία του υπεδάφους, καθώς και την υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα του νερού, σε σχέση με αυτήν του αέρα για τη παραγωγή ενέργειας. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας, επειδή χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό για την παραγωγής ζεστού και ψυχρού νερού, δεν είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, αλλά είναι ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- τη διάταξη αποβολής και πρόσληψης θερμότητας από το υπέδαφος (γεωεναλλάκτες θερμότητας)
- την αντλία θερμότητας
- το σύστημα θέρμανσης, κλιματισμού και ζεστού νερού χρήσης εντός του κτηρίου

Διάγραμμα 24. Τρόποι εκμετάλλευσης γεωθερμίας στον κτηριακό τομέα. Πηγή: [83]

Οι γεωεναλλάκτες θερμότητας διακρίνονται σε οριζόντιας και κατακόρυφης διάταξης (διάγραμμα 24). Οι γεωεναλλάκτες οριζόντιας διάταξης αποτελούνται από σωλήνες, οι οποίοι θάβονται σε βάθος 0,5 - 2,0m, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Οι οριζόντιοι

γεωεναλλάκτες διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες: μονοσωλήνια, πολυσωλήνια και σπιράλ διάταξη. Οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες, ανοικτού και κλειστού βρόχου. Οι κλειστού βρόχου, κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες, χρησιμοποιούν μικρότερα μήκη σωληνώσεων από τους οριζόντιους και καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια. Οι σωληνώσεις τοποθετούνται σε σχήμα U μέσα στη γεώτρηση, σε μονή ή σε διπλή διάταξη. Η διάμετρος των γεωτρήσεων κυμαίνεται από 100 έως 150mm. Το βάθος των γεωτρήσεων κυμαίνεται από 15 έως 180m, με τις πιο κοινές να διανοίγονται σε βάθη μικρότερα των 120m. Ως γενικός κανόνας κάθε γεώτρηση χρειάζεται μια επιφάνεια 7m x 7m για ονομαστική ισχύ 4,5kW, βάθους 100m. Οι ανοικτού βρόχου γεωεναλλάκτες αντλούν νερό από υδρογεωτρήσεις, λίμνες, ποτάμια ή από τη θάλασσα. Όταν το νερό είναι κινούμενο, όπως σε θάλασσες και ποτάμια, αντλείται από ένα σημείο και επιστρέφεται σε ένα δεύτερο σημείο, κατάντη του πρώτου σε σχετική απόσταση, έτσι ώστε να αποφεύγεται η μείξη των δύο ροών. Στην περίπτωση υδρογεώτρησης η θερμότητα που προσλαμβάνεται από τον υδροφόρο ορίζοντα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, θα πρέπει να είναι ίση με τη θερμότητα που αποβάλλεται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ώστε να διατηρείται η θερμική ισορροπία του υπεδάφους. Οι κατακόρυφης διάταξης γεωεναλλάκτες έχουν υψηλότερο κόστος, αλλά απαιτούν μικρότερη επιφάνεια εγκατάστασης συγκριτικά με τους οριζόντιας διάταξης. Επίσης οι κλειστού βρόχου παρουσιάζουν λιγότερες τεχνικές δυσκολίες συγκριτικά με τις υδρογεωτρήσεις του ανοικτού βρόχου. [49]

Εφαρμογές γεωθερμίας στον κτηριακό τομέα

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας στα κτήρια, ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία του διαθέσιμου ρευστού. Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 90ºC οι εφαρμογές είναι:

- η ηλεκτροπαραγωγή,
- ο κλιματισμός με αντλίες θερμότητας,
- η θέρμανση χώρων με σώματα καλοριφέρ,
- η παραγωγή ζεστού νερού σε μπόιλερ και
- η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, για χρήση σε ξενοδοχεία [36]

Για μικρότερες θερμοκρασίες υπάρχουν εφαρμογές όπως η θέρμανση χώρων, με αερόθερμα νερού ή ενδοδαπέδιο σύστημα, η παραγωγή ή προθέρμανση ζεστού νερού, με εναλλάκτη θερμότητας και τα θερμά λουτρά. Για θερμοκρασίες νερού κάτω από 40ºC χρησιμοποιούνται

αντλίες θερμότητας, για θέρμανση και κλιματισμό. Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμο υπόγειο νερό, οι αντλίες θερμότητας μπορούν να συνδυαστούν με γήινους εναλλάκτες θερμότητας. [36]

Γεωθερμική αντλία θερμότητας

Η γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι αντλίες νερού / νερού άμεσης εκτόνωσης και έχουν ακριβώς τις ίδιες αρχές λειτουργίας με τις αντλίες θερμότητας αέρα / νερού. Ο βαθμός απόδοσης των γεωθερμικών αντλιών είναι μεγαλύτερος από αυτόν των κοινών αντλιών θερμότητας αέρα / αέρα κατά 30%, (όπως επίσης και των λεβήτων φυσικού αερίου και των υδρόψυκτων ψυκτών), διότι η θερμοκρασία του εδάφους παρουσιάζει σταθερή διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους συγκριτικά με τη θερμοκρασία του αέρα. Το χειμώνα, η θερμοκρασία του εδάφους είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα, με αποτέλεσμα η μεταφορά θερμότητας από το έδαφος στο γεωεναλλάκτη να έχει μεγαλύτερη απόδοση. Το καλοκαίρι η θερμοκρασία του εδάφους είναι χαμηλότερη από αυτήν του αέρα, οπότε η αποβολή θερμότητας προς το έδαφος παρουσιάζει επίσης μεγαλύτερη απόδοση. Ο χώρος που καταλαμβάνει η αντλία θερμότητας στα μηχανοστάσια είναι πολύ μικρή σε σχέση με τους συμβατικούς ψύκτες και λέβητες. Επίσης το υπέδαφος λειτουργεί ως δεξαμενή απόρριψης θερμότητας, οπότε πύργοι ψύξης δεν είναι απαραίτητοι, εξοικονομώντας επιπλέον χώρο. [49]

Γεωθερμικοί σωλήνες ψύξης

Οι γεωθερμικοί σωλήνες ψύξης αποτελούν εναλλάκτες θερμότητας μεταξύ αέρα και υπεδάφους. Αποτελούνται από έναν αγωγό αέρα. Αέρας διέρχεται μέσα από τον αγωγό με τη βοήθεια ανεμιστήρων, αποβάλλοντας ή προσλαμβάνοντας θερμότητα από το υπέδαφος, ανάλογα από το αν η θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από τη θερμοκρασία του εδάφους. Η διάταξη μπορεί να είναι κλειστού ή ανοιχτού βρόχου. Στη διάταξη κλειστού βρόχου ο εσωτερικός αέρας του κτηρίου ανακυκλώνεται, περνώντας μέσα από τον αγωγό και επαναπροσάγεται στους εσωτερικούς χώρους. Στη διάταξη ανοικτού βρόχου ο αέρας περιβάλλοντος διέρχεται μέσα από τον αγωγό - εναλλάκτη και κατόπιν προσάγεται στο κτήριο. Οι δυο διατάξεις θα μπορούσαν να συνδυαστούν για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος. Το υλικό κατασκευής των αγωγών μπορεί να είναι πλαστικό, γαλβανισμένο μέταλλο ή σκυρόδεμα. Οι γεωθερμικοί σωλήνες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την προθέρμανση ή τον προκλιματισμό του νωπού αέρα πριν από την εισαγωγή του στη κεντρική κλιματιστική μονάδα, βελτιώνοντας την απόδοση του συστήματος κλιματισμού. [49]

Συστήματα γεωθερμίας θέρμανσης / κλιματισμού / ζεστού νερού χρήσης

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας θα πρέπει να συνδυάζεται με συστήματα θέρμανσης που λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως τα ενδοδαπέδια και ενδοτοίχια συστήματα θέρμανσης και αυτό επειδή η μέγιστη θερμοκρασία ζεστού νερού που μπορούν να παραγάγουν σπάνια ξεπερνάει τους 55°C. Στη περίπτωση χρήσης σωμάτων θέρμανσης (π.χ. καλοριφέρ) αυτά θα πρέπει να υπερδιαστασιολογούνται (30-40%) για να επιτύχουν τις ονομαστικές τους αποδόσεις, καθώς θα πρέπει να λειτουργούν σε θερμοκρασίες 40° με 60°C, 20°C χαμηλότερα απ' ότι η συνήθης θερμοκρασία του ζεστού νερού. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής (γεώτρηση, ποταμός ή λίμνη) είναι αρκετά χαμηλή (<10°C), η αντλία θερμότητας μπορεί να παρακάμπτεται και το νερό να χρησιμοποιείται απευθείας για τη δημιουργία ψυχρού νερού, με την παρεμβολή μόνο ενός εναλλάκτη θερμότητας. Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος αυξάνεται σημαντικά, καθώς η μόνη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους κυκλοφορητές του νερού. Η εξοικονόμηση ενέργειας σ' αυτήν τη περίπτωση είναι επίσης πολύ μεγαλύτερη. Αυτό το σύστημα ονομάζεται κλιματισμός με τη χρήση του υπεδάφους (ground cooling). [49]

Πλεονεκτήματα της γεωθερμίας

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί καθαρή μορφή ενέργειας, εφόσον η τελική διάθεση των γεωθερμικών αποβλήτων πραγματοποιείται κατάλληλα. Ήδη έχει αναπτυχθεί και είναι διαθέσιμη η σχετική τεχνολογία για την προστασία του περιβάλλοντος. Το όφελος είναι προφανές αν συνυπολογισθεί, μαζί με την ενεργειακή εξοικονόμηση, η μείωση των εκπομπών CO_2, SO_2, NO_χ και λοιπών ρύπων. Ειδικότερα, σε περιπτώσεις που τα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών ρευστών το επιβάλλουν, επιλέγεται η λύση της επιστροφής των ρευστών μετά τη χρήση τους στον υδροφόρο ορίζοντα, μέσα από μια δεύτερη γεώτρηση (γεώτρηση επανεισαγωγής). Η λύση αυτή παρουσιάζει επιπλέον το πλεονέκτημα της ανανέωσης των γεωθερμικών ρευστών, αυξάνει το χρόνο ζωής και τη δυναμικότητα του γεωθερμικού πεδίου. Τέλος, οι γεωτρήσεις και τα αντλιοστάσια επεμβαίνουν ελάχιστα στην αισθητική του τοπίου δεδομένου ότι αποτελούν κατασκευές μικρού όγκου. [36]

5. Αξιολόγηση Κτηρίων Μηδενικής Ενέργειας

Η απόδοση των κτηρίων μηδενικής ενέργειας μετράται και αξιολογείται με τη χρήση διαφόρων δεικτών, όπως για παράδειγμα η καθαρή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, το καθαρό κόστος ενέργειας και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ένας σχετικός δείκτης, είναι ο υπολογισμός της παραγόμενης Εκτιμώμενης Καθαρής Ενέργειας, η οποία είναι η διαθέσιμη ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου, αφού αφαιρεθεί η ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του κτηρίου κατά την ίδια περίοδο. Άλλοι δείκτες που παρουσιάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία είναι η καθαρή ενεργειακή αναλογία, η οποία χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των μηχανισμών λήψης αποφάσεων, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού του κτηρίου. Ο υπολογισμός και η μεγιστοποίηση της καθαρής ενεργειακής αναλογίας, χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στις φάσεις σχεδιασμού και πριν από την υλοποίηση των ΚΜΕ. Παρ' όλα αυτά, υπάρχει μια σειρά από παραμέτρους που δεν μπορεί να εξακριβωθεί εκ των προτέρων και διαφέρουν κατά τη διάρκεια των πραγματικών συνθηκών, όπως για παράδειγμα απρόβλεπτες ενέργειες του χρήστη, που επηρεάζουν δυσμενώς την ενεργειακή απόδοση, όπως η περιττή λειτουργία του φωτισμού ή των συστημάτων κλιματισμού και θέρμανσης, το άνοιγμα και το κλείσιμο των παραθύρων, ο καθορισμός της βασικής θερμοκρασίας λειτουργίας των συστημάτων πολύ υψηλά ή πολύ χαμηλά, η επίδραση των καιρικών συνθηκών στη θερμική συμπεριφορά του κτηρίου, η πολύπλοκη αλληλεπίδραση των ενεργητικών και παθητικών συστημάτων ελέγχου του κλιματισμού και η επίδρασή τους στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου και η διαθεσιμότητα της ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές, σε σχέση με τις κλιματικές συνθήκες. Για τον υπολογισμό των προαναφερόμενων δεικτών, οι υπολογισμοί της παραγωγής ενέργειας (θετική ενέργεια) συνήθως εκτελούνται αποδεσμευμένοι από τις ενεργειακές απαιτήσεις (αρνητική ενέργεια), για το χειμώνα και το καλοκαίρι, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι παράγοντες αβεβαιότητας που αναφέρονται παραπάνω, με αποτέλεσμα οι δείκτες αυτοί να είναι χρήσιμοι για το σχεδιασμό του κτηρίου, αλλά όχι και για τη λειτουργία του στις πραγματικές συνθήκες. Στον πραγματικό χρόνο λειτουργίας ενός ΚΜΕ, ένας μηχανισμός ζεύξης της παραγόμενης ενέργειας και των ενεργειακών απαιτήσεων μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη, δεδομένου ότι:

- Η εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας, δεν μπορεί να είναι εξαιρετικά μεγάλου μεγέθους για την κάλυψη της απαιτούμενης ενέργειας, για τη λειτουργία του κτηρίου και των εσωτερικών απαιτήσεων ποιότητας και ως εκ τούτου το κόστος της αρχικής επένδυσης μπορεί να μειωθεί.

- Η παραγωγή ενέργειας μπορεί να μεγιστοποιηθεί με κατάλληλες αποφάσεις, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα διάφορα μέσα επίβλεψης και διαχείρισης.
- Η επιπλέον ενέργεια που παράγεται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είτε για την αποθήκευση και την κάλυψη της ζήτησης αιχμής κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, ή μπορεί να παρέχεται στο δίκτυο.

Συνεπώς, οι υφιστάμενοι δείκτες απόδοσης και οι υπολογισμοί που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό τους, αντανακλούν μια «στατική» άποψη του κτηρίου και οι ελλείψεις αυτές δείχνουν ότι απαιτείται μια πιο «δυναμική» άποψη, ιδιαίτερα κατά τη φάση λειτουργίας του κτηρίου. [1]

5.1. Προγράμματα αξιολόγησης

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτηρίου μπορεί να επιτευχθεί με τρεις τρόπους:

1. με τη δημιουργία ευαισθητοποίησης μεταξύ των ανθρώπων,
2. με την παροχή οικονομικών οφελών, όπως εκπτώσεις ή κίνητρα και
3. μέσω της τεχνολογικής εξέλιξης.

Σχεδόν όλα τα συστήματα αξιολόγησης που υπάρχουν σε όλο τον κόσμο, για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων είναι εθελοντικά. Υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, τα οποία είναι γνωστά και από το γενικό όρο Home Energy Rating Systems (HERS). [19]

Οι μέθοδοι αξιολόγησης και διαβάθμισης της κτηριακής ενέργειας, γίνονται όλο και πιο σημαντικά μέσα για την εφαρμογή των οικοδομικών κανονισμών σε πολλές χώρες. Από το 2006 έχει οριστεί, ότι ενεργειακά πιστοποιητικά πρέπει να εκδίδονται για τους υποψήφιους αγοραστές ή ενοικιαστές κτηρίων σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Αυτά τα ενεργειακά πιστοποιητικά κτηρίων ή αξιολογήσεις ενεργειακής κατανάλωσης, πρέπει να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη δυνητική ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου, το οποίο μπορεί να χρησιμεύσει για να επηρεαστεί η αξία ενός ακινήτου. Πρόσθετες σημαντικές πληροφορίες που παρέχονται από τα πιστοποιητικά, αποτελούν ουσιαστικά συστάσεις σχετικά με τα μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, με απώτερο στόχο την προώθηση της εξοικονόμησης ενέργειας στον κτηριακό τομέα. Το σύστημα αυτό, πρέπει επίσης να είναι αποδοτικό από πλευράς κόστους, πράγμα που σημαίνει ότι οι υπολογισμοί πρέπει να γίνονται σε σύντομο χρονικό διάστημα και με χαμηλό κόστος, έτσι ώστε η εφαρμογή των αποτελεσμάτων και των

προτάσεων, να μην αντισταθμίζονται από το κόστος του. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι των πιστοποιήσεων αυτών:

1. Επιχειρησιακή βαθμολογία: Μια μετρήσιμη ενεργειακή βαθμολογία, που βασίζεται σε μετρήσεις των ετήσιων ποσών ενεργειακής κατανάλωσης, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κτηρίου. Αυτός ο τύπος είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για την προώθηση της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και λειτουργίας των κτηρίων, συγκρίνοντας την ετήσια, με την πραγματική κατανάλωση ενέργειας.
2. Αξιολόγηση χαρακτηριστικών: Μια ενεργειακή βαθμολογία που βασίζεται στον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης, με βάση τα χαρακτηριστικά των κτηρίων και την εφαρμογή τυποποιημένων εσωτερικών συνθηκών και πληρότητας. Σκοπός της είναι να παρέχει στους υποψήφιους αγοραστές ή ενοικιαστές, μία ένδειξη της αναμενόμενης ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου. [13]

Υπάρχουν αρκετοί, σύγχρονοι ενεργειακοί κανονισμοί για τα κτήρια, όπως το Ecohomes (BRE, Μεγάλη Βρετανία), το Passivhaus (Γερμανία), το AECB (Ηνωμένο Βασίλειο) και το LEED (ΗΠΑ), οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στην επίτευξη των στόχων ενός ΚΜΕ, μέσω της αξιολόγησης. Τα πρότυπα αυτά παρέχουν διαφορετικά κριτήρια κατάταξης, για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης και/ή της μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο, δεν υπάρχουν συγκεκριμένες στρατηγικές ή κατευθυντήριες γραμμές σχεδιασμού, για την επίτευξη μηδενικής ενέργειας κτηρίων. Για το λόγω αυτό, ειδικές κατευθυντήριες γραμμές και στρατηγικές για το σχεδιασμό κτηρίων μηδενικής ενέργειας είναι εξαιρετικά σημαντικές για τους αρχιτέκτονες και τους μηχανικούς, ώστε να διαδοθούν τα παραπάνω πρότυπα. [6]

Τέλος, τα συστήματα διαβάθμισης και αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων εξελίσσονται με το χρόνο. Αλλάζουν συχνά για να προσαρμοστούν στην αγορά και να ανταποκριθούν στις ανάγκες της εποχής. Τα συστήματα αυτά έχουν εξελιχθεί από την τυπική αξιολόγηση των στεγαστικών αναγκών (BREEM) σε μία ολιστική αξιολόγηση (LEED) των συνολικών επιπτώσεων του κτηρίου στο περιβάλλον. Για να αναπτυχθεί μια ολιστική προσέγγιση για τη βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων των κτηρίων, πρέπει να αντιμετωπιστούν συγκεκριμένα ζητήματα, όπως για παράδειγμα οι εκπομπές CO_2 κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Αν και έχουν αναπτυχθεί διάφορα, παγκοσμίως αποδεκτά ενεργειακά συστήματα αξιολόγησης, υπάρχει ανάγκη για μια πορεία προς τα εμπρός για το σχεδιασμό και την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων του συστήματος δόμησης, κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής ενός κτηρίου. [19]

5.2. Εμπόδια σχεδιασμού και κατασκευής κτηρίων μηδενικής ενέργειας

Υπάρχουν πολλά εμπόδια για την κατασκευή κτηρίων μηδενικής ενέργειας, δημιουργώντας με τη σειρά τους προβλήματα στο σχεδιασμό και την κατασκευή ενεργειακά αποδοτικών κατοικιών. Τα κύρια αυτά εμπόδια, αποτελούν ο σχεδιασμός και η τεχνική, αλλά και πολιτιστικά, νομοθετικά και οικονομικά ζητήματα.

- Τα τεχνικά και σχεδιαστικά εμπόδια είναι ένας από τους κύριους παράγοντες, κατά την εξέταση της δυνατότητας εφαρμογής και κατασκευής κτηρίων μηδενικής ενέργειας. Ένα από τα βασικά ζητήματα στην κατασκευή των κτηρίων αυτών, είναι η ενσωμάτωση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις, όμως είναι ευρέως αντιληπτό ότι οι εν λόγω τεχνολογίες είναι επί του παρόντος αναξιόπιστες και πιστεύεται ότι τοποθετούνται σε βάρος του κόστους, του εξωτερικού χώρου και της αισθητικής. Ένα ακόμη σχεδιαστικό εμπόδιο, αφορά το γεγονός ότι ο μεγαλύτερος κατασκευαστικός όγκος κτηρίων κατοικίας, ακολουθεί μια σειρά από τυποποιημένα πρότυπα, με στόχο τη μείωση του κόστους και των κατασκευαστικών προβλημάτων, με αποτέλεσμα την απροθυμία της υιοθέτησης πολιτικών που απαιτούν σχεδιαστικές αλλαγές. [16]

- Τα τεχνικά και σχεδιαστικά εμπόδια που αναφέρονται παραπάνω, είναι πολύ στενά συνδεδεμένα με πολιτιστικά εμπόδια, που αντιτίθενται στην επιτυχή κατασκευή κτηρίων μηδενικής ενέργειας. Αυτό είναι αποτέλεσμα παραδοσιακών συμπεριφορών, που διατηρούνται στον τομέα της ανέγερσης κατοικιών, οι οποίες περιορίζουν την πρόσληψη καινοτομιών. Η απροθυμία αυξάνεται από την έλλειψη απαιτήσεων βιωσιμότητας από τους πελάτες και από την ευρέως διαδεδομένη αντίληψη, ότι δεν υπάρχει επί του παρόντος υψηλή ζήτηση για τις τεχνικές αυτές στο ευρύ κοινό. [16]

- Η αύξηση του κόστους, για την επίτευξη υψηλών προδιαγραφών σε ένα κτήριο, που συνδέεται με χαμηλή και μηδενική κατανάλωση ενέργειας, είναι ακόμα ένα εμπόδιο που περιορίζει τους κατασκευαστές από την προσπάθεια να ξεπεραστούν οι υφιστάμενες σχεδιαστικές, τεχνικές και πολιτιστικές προκλήσεις. Αρκετές μελέτες έδειξαν ότι οι κατασκευαστές κτηρίων, διστάζουν να εντάξουν τις απαραίτητες καινοτομικές ή μη λύσεις για την επίτευξη υψηλών προτύπων βιωσιμότητας, λόγω του απαγορευτικά, πραγματικού ή μη, αυξημένου κόστους που συνδέεται με την εφαρμογή των εν λόγω προτύπων. Το υψηλό κόστος ορισμένων μέτρων βελτίωσης της ενεργειακής και βιοκλιματικής απόδοσης, αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για τα κτήρια μηδενικής

ενέργειας, σε σύγκριση με τα παραδοσιακά κτήρια. Το επιπλέον κόστος για την επίτευξη διαφορετικών επιπέδων ενεργειακής απόδοσης ποικίλλει ανάλογα με τις μεθόδους κατασκευής, αλλά και κυρίως με τις εφαρμοζόμενες μεθόδους και πρότυπα. [16]

5.3. Ενεργειακή απόδοση κτηρίων στην Ελλάδα

Το 1979 με τον κανονισμό θερμομόνωσης κτηρίων, θεσμοθετήθηκε στην Ελλάδα η θερμομονωτική προστασία των κτηρίων. Ο κανονισμός αυτός ήταν αποτέλεσμα των δύο μεγάλων ενεργειακών κρίσεων του 1973 και του 1978 και έθεσε για πρώτη φορά το ζήτημα του περιορισμού της ενεργειακής κατανάλωσης, με την υποχρεωτική θερμομόνωση όλων των νέων κτηρίων. Ο κανονισμός θερμομόνωσης, αποτελούσε ουσιαστικά μεταφορά του αντίστοιχου γερμανικού στα πλαίσια του Ελληνικού χώρου και έμεινε σε ισχύ στη χώρα μας μέχρι πρόσφατα. Σήμερα, τον κανονισμό αυτό, αντικατέστησε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων (ΚΕΝΑΚ) που ολοκληρώθηκε και τέθηκε σε πλήρη ισχύ την 1η Οκτωβρίου 2010. Ο νέος αυτός κανονισμός αντιμετωπίζει το θέμα της θερμομονωτικής προστασίας, ταυτόχρονα από ενεργειακή και περιβαλλοντική σκοπιά. Επιχειρείται με αυτόν τον τρόπο, η αντιμετώπιση των σύγχρονων περιβαλλοντικών προβλημάτων, με βάση τις παρακάτω κατευθύνσεις:

- περιορισμός της αλόγιστης κατανάλωσης των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων, που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον στις σύγχρονες κατασκευές
- μείωση των παραγόμενων αέριων ρύπων που επιβαρύνουν το περιβάλλον και προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου
- περιορισμός της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, με την επιβολή κανόνων εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας. [52]

Ο ΚΕΝΑΚ σε αντίθεση με τον προηγούμενο κανονισμό, εισάγει τον ολοκληρωμένο ενεργειακό σχεδιασμό στη μελέτη και την κατασκευή κάθε κτηρίου, θέτοντας τις ελάχιστες απαιτήσεις και προδιαγραφές που οφείλει αυτό να τηρεί. Οι απαιτήσεις αυτές αφορούν την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων και συγκεκριμένα πρέπει να περιλαμβάνουν:

Εικόνα 52. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων. Πηγή: [110]

- Τη χρήση του κτηρίου, τις επιθυμητές και

επικρατούσες συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, αερισμό), τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και των αριθμό των χρηστών.

- Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής στην οποία βρίσκεται το κτήριο (θερμοκρασία, σχετική και απόλυτη υγρασία του αέρα, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία).
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους (σχήμα και μορφή κτηρίου, διαφανείς και μη επιφάνειες, σκίαστρα κλπ.) σε σχέση με τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων.
- Τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους (θερμοπερατότητα, θερμική μάζα, απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας, διαπερατότητα κλπ.)
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης θέρμανσης χώρων (τύπο συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κλπ.)
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης κλιματισμού/κλιματισμού χώρων (τύπο συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κλπ.)
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (τύπο συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κλπ.)
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης φωτισμού
- Τα ενσωματωμένα παθητικά ηλιακά συστήματα στο κέλυφος του κτηρίου.

Η συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου εκτιμάται από το άθροισμα των επί μέρους ενεργειακών καταναλώσεων, μετά από την αναγωγή τους σε μεγέθη πρωτογενούς ενέργειας, σύμφωνα με συντελεστές μετατροπής (πρωτογενής προς τελική ενέργεια) που ορίζει ο κανονισμός. Για τους υπολογισμούς αυτούς χρησιμοποιείται (όπως και στα πλαίσια της παρούσας εργασίας) υπολογιστικό πρόγραμμα, το οποίο έχει αναπτυχθεί από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας και το οποίο περιέχει τις τεχνικές οδηγίες, σύμφωνα με τις οποίες ορίζονται οι επιτρεπτές τιμές των διάφορων χαρακτηριστικών του κτηρίου. [52]

6. Παράδειγμα Κτηρίου Μηδενικής Ενέργειας - Κατοικία στη Μυτιλήνη

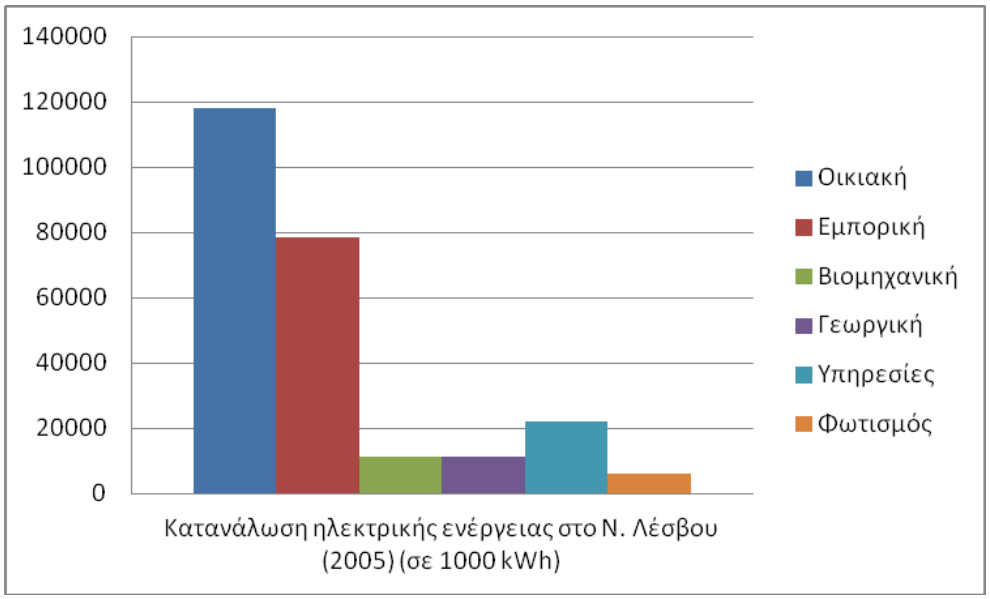
Στα παρακάτω κεφάλαια, θα περιγραφεί η διαδικασία σχεδιασμού ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας. Συγκεκριμένα μίας κατοικίας στην περιοχή της Μυτιλήνη, στη νήσο Λέσβο

Διάγραμμα 25. Χάρτης της Ελλάδος και της περιοχής μελέτης. Πηγή: [107]

(διάγραμμα 25). Παράλληλα θα περιγραφούν τα συστήματα και οι τεχνικές που θα χρησιμοποιηθούν για την αρχικά, μείωση της ζήτησης και κατανάλωσης ενέργειας και τελικά της κάλυψης των απαιτήσεων για θέρμανση, κλιματισμό, ζεστό νερό χρήσης και ηλεκτρισμό, για τη λειτουργία του κτηρίου. Επίσης, θα εκτιμηθεί το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που είναι δυνατό να παραχθεί, από ένα σύστημα φωτοβολατϊκών πλαισίων, ενσωματωμένων στο κτηριακό κέλυφος και συνδεδεμένο στο δίκτυο. Τέλος, θα υπολογισθεί το ενεργειακό ισοζύγιο της κατοικίας κατά τη διάρκεια του έτους, με αποτέλεσμα την επίτευξη ή όχι ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας.

6.1. Περιγραφή περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης και ταυτόχρονα εφαρμογής της θεωρητικής ανάλυσης που προηγήθηκε είναι η νήσος Λέσβος, η οποία ανήκει διοικητικά στο Νομό Λέσβου και στην περιφέρεια Βορείου Αιγαίου. Η Λέσβος είναι το τρίτο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας έπειτα από την Κρήτη και την Εύβοια. Ο μόνιμος πληθυσμός του νησιού ήταν 90,436 - σύμφωνα με την απογράφη του 2001 - ενώ η έκταση της υπολογίζεται ότι είναι 1632 km². [95]



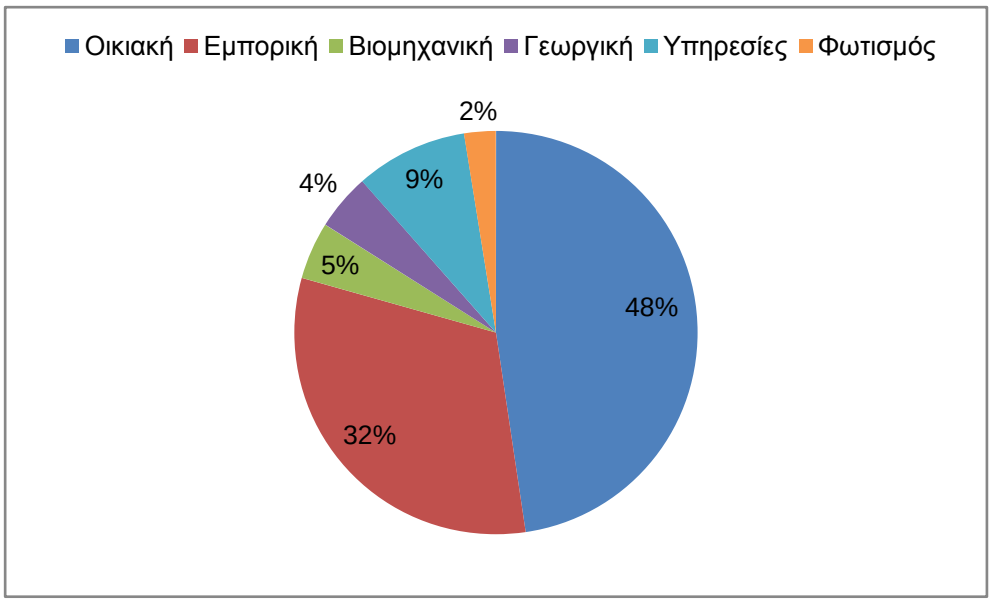
Διάγραμμα 26. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο Ν. Λέσβου, ανά τομέα κατανάλωσης. Πηγή: [76]

Το διάγραμμα 26 παρουσιάζει δεδομένα σχετικά με την ηλεκτρική κατανάλωση στο Νομό Λέσβου για το έτος 2005 και το διάγραμμα 27 τον ποσοστιαίο καταμερισμό τους στις διάφορες χρήσεις. Παρατηρώντας το διάγραμμα 27 διαπιστώνεται ότι ο οικιακός τομέας κατανάλωσε για το 2005 σχεδόν τη μισή περίπου ποσότητα της συνολικής ενέργειας. Γεγονός, που συνεπάγεται ταυτόχρονα την ανάγκη ύπαρξης πολύ μεγάλου φορτίου για την κάλυψη τον ενεργειακών αναγκών του τομέα αυτού, αλλά και την πολύ σημαντική συμβολή του στις εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα. Είναι φανερό ότι το ποσοστό των 48 ποσοστιαίων μονάδων που κατέχει ο οικιακός τομέας στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση, είναι ιδιαίτερα μεγάλο και χαρακτηρίζει σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή κατανάλωση όλων των ελληνικών κατοικιών.

Χρήση	**Κατανάλωση (1000 kWh)**
Οικιακή	118001
Εμπορική	78640
Βιομηχανική	11392

Γεωργική	11168
Υπηρεσίες	22248
Φωτισμός	6288
Σύνολο	247737

Πίνακας 1. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο Ν. Λέσβου, ανά τομέα κατανάλωσης. Πηγή: [76]



Διάγραμμα 27. Ποσοστιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο Ν. Λέσβου, ανά τομέα κατανάλωσης. Πηγή: [76]

Επίσης, μια άλλη πολύ σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση του υφιστάμενου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελεί το σύνολο της ενεργειακής κατανάλωσης στη Λέσβο και ο προσδιορισμός της ενεργειακής πηγής που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή της. Στον πίνακα 2 διακρίνονται τα στοιχεία αυτά και παρατηρείται ο υψηλός βαθμό εξάρτησης από τις ρυπογόνες συμβατικές πηγές ενέργειας, αλλά και η μικρή διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό σύστημα του νησιού.

Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	**Εγκατεστημένη ισχύς [MW]**	**Καταναλισκόμενη ενέργεια [MWh]**	**Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας [%]**
ΑΠΣ Λέσβου (καύσιμο: Μαζούτ / Diesel)	80,469	224.140	90%
Α.Π.Ε. (αιολική ενέργεια)	10,8	24.169	10%
Σύνολο	91,269	248.309	100%

Πίνακας 2. Σχέση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ανά τομέα παραγωγής στη ν. Λέσβου. Πηγή: [74]

Το κτήριο που θα σχεδιαστεί στα πλαίσια της μελέτης, χωροθετείται σε οικόπεδο που βρίσκεται στη δήμο Μυτιλήνης. Ο κύριος στόχος της μελέτης και του σχεδιασμού του εν λόγω κτηρίου, είναι η επίτευξη σχεδόν μηδενικής ή μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, μέσω της χρήσης και εκμετάλλευσης των διάφορων αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού, που αναφέρθηκαν

παραπάνω. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, πρωταρχικό τμήμα του σχεδιασμού είναι ο περιορισμός των ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου, κυρίως για θέρμανση το χειμώνα, κλιματισμό το καλοκαίρι και παροχή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ), αλλά και για τη λειτουργία των διάφορων ηλεκτρικών συσκευών και την παροχή τεχνητού φωτισμού (λαμπτήρες). Παράλληλα, για την επίτευξη μηδενικού ή σχεδόν μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, απαραίτητη είναι η τοποθέτηση και χρήση ανανεώσιμων πηγών, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία αρχικά θα παρέχεται στο κεντρικό δίκτυο της ΔΕΗ και θα προσλαμβάνεται όταν είναι απαραίτητη, τις ώρες δηλαδή λειτουργίας της κατοικίας.

Περιγραφή δήμου Μυτιλήνης

Η Μυτιλήνη είναι πόλη κτισμένη στο νοτιοανατολικό άκρο της νήσου Λέσβου. Είναι η πρωτεύουσα του νησιού, έδρα του νομού Λέσβου και της περιφέρειας Βορείου Αιγαίου, διοικητικό, εμπορικό και πνευματικό κέντρο με πληθυσμό 27.247 κατοίκους (απογραφή 2001). Η έκταση της πόλης είναι σχετικά μεγάλη, αλλά δυσανάλογη ως προς τον πληθυσμό της. Ο σχετικά μικρός πληθυσμός της ως προς την έκτασή της, οφείλεται στο ότι μόνο το νότιο και το νοτιοδυτικό τμήμα της πόλης έχουν δεχτεί το μεγαλύτερο οικοδομικό ποσοστό, τις δεκαετίες του 1980 και του 1990, της πυκνής δόμησης - κατασκευής πολυκατοικιών, άρα και τη συσπείρωση της πλειοψηφίας του πληθυσμού εκεί, δηλαδή στο 35-40% της έκτασης της πόλης. Η υπόλοιπη μεγαλύτερη και πιο αραιοκατοικημένη έκταση της Μυτιλήνης αντιπροσωπεύεται σε μεγάλο βαθμό ακόμη από χαμηλά, παλαιά κυρίως κτήρια, μεταξύ των οποίων πολλά διατηρητέα νεοκλασικά και κάποια δυτικής ευρωπαϊκής αρχιτεκτονικής κτήρια. [95]

Εικόνα 53. Περιοχή και οικόπεδο μελέτης. Πηγή: [68]

6.2. Κλιματικά δεδομένα

Κλίμα της Ελλάδας

Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 340 και 420 του Βορείου ημισφαιρίου και βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο, ενώ το κλίμα της έχει γενικά, τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος είναι δηλαδή ένα τυπικά μεσογειακό κλίμα, με ήπιους και υγρούς χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και γενικά μακρές περιόδους ηλιοφάνειας κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. [95]

Ειδικότερα στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας, παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που αποτελείται από μεγάλες διαφορές υψομέτρου (μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και έντονη εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Έτσι από το ξηρό κλίμα της Αττικής και γενικά της ανατολικής Ελλάδας, μεταπίπτουμε στο υγρό της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας. Τέτοιες κλιματικές διαφορές συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, πράγμα που παρουσιάζεται σε λίγες μόνο χώρες στον κόσμο. [95]

Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές, την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο, που διαρκεί από τα μέσα Οκτωβρίου, μέχρι το τέλος Απριλίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από το Μάιο έως τον Οκτώβριο. Κατά την πρώτη περίοδο οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, κατά τη διάρκεια των οποίων κατά μέσο όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5 έως 10°C στις παραθαλάσσιες περιοχές, από 0 έως 5°C στις ηπειρωτικές περιοχές και με χαμηλότερες τιμές κάτω από το μηδέν στις βόρειες περιοχές. Οι βροχές στη χώρα μας ακόμη και τη χειμερινή περίοδο δε διαρκούν για πολλές ημέρες και ο ουρανός δε μένει συννεφιασμένος για αρκετές συνεχόμενες ημέρες. Οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από ηλιόλουστες ημέρες. [95]

Η χειμερινή εποχή είναι πιο ήπια στα νησιά του Αιγαίου και του Ιουνίου, από ότι στη βόρεια και ανατολική Ελλάδα. Κατά τη θερμή και άνομβρη εποχή, ο καιρός είναι σταθερός, ο ουρανός σχεδόν αίθριος και δε βρέχει εκτός από σπάνια διαλείμματα με ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής διάρκειας. Η θερμότερη περίοδος είναι το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου, οπότε η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 29 έως 35°C. Κατά τη θερινή περίοδο, οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θαλάσσια αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο. Η άνοιξη έχει μικρή διάρκεια, διότι ο μεν χειμώνας είναι όψιμος, το δε καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα.

Το φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό και πολλές φορές παρατείνεται στη νότια Ελλάδα μέχρι και το μέσο του Δεκεμβρίου. [95]

Ακολουθώντας τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη κλιματολογικά δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) και σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (ΚΕΝΑΚ), η Ελλάδα χωρίζεται σε τέσσερις διαφορετικές κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμοημέρες θέρμανσης. Παρατηρούμε λοιπόν ότι το κλίμα της Ελλάδας, βαθμιαία μεταβάλλεται από Βορρά προς Νότο από ηπειρωτικό προς εύκρατο και μετατρέπεται σε θαλάσσιο στο ΝΑ Αιγαίο.

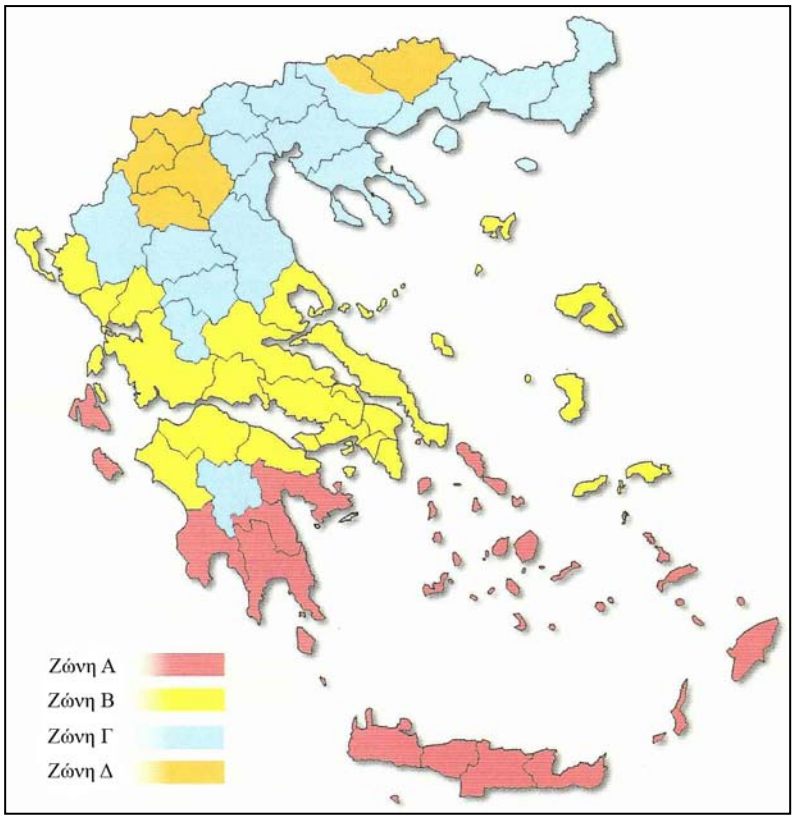
Συμπερασματικά μπορούν να καταγραφούν τα εξής:

- Ύπαρξη σημαντικής ανάγκης για κλιματισμό στα κτήρια του Ελληνικού χώρου, καθώς οι θερινοί μήνες χαρακτηρίζονται από έντονη ηλιοφάνεια και υψηλές θερμοκρασίες αέρα. Αποτέλεσμα αυτού είναι συχνά η ανάγκη για μεγαλύτερα ετήσια φορτία ψύξης παρά θέρμανσης.
- Η μεγάλη ηλιοφάνεια που παρατηρείται στο μεγαλύτερο τμήμα του Ελλαδικού χώρου, μπορεί να αξιοποιηθεί κατά τη διάρκεια του χειμώνα, με τη χρήση κατάλληλων παθητικών μέσων στο κτηριακό κέλυφος, ώστε να αυξηθούν τα ηλιακά κέρδη και κατ' επέκταση να μειωθούν τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης.
- Σημαντική δυνατότητα τοποθέτησης και αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την εκμετάλλευση της ηλιοφάνειας (φωτοβολταϊκά συστήματα) με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Κλίμα της Μυτιλήνης

Για την επίτευξη μιας κατάλληλης και σωστά τεκμηριωμένης μελέτης, στο πλαίσιο της εργασίας αυτής, χρησιμοποιήθηκαν κλιματικά δεδομένα για την περιοχή της Μυτιλήνης. Αν και υπάρχουν αρκετοί μετεωρολογικοί σταθμοί στο νησί, που ανήκουν σε διαφορετικές υπηρεσίες (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Υπουργείο Γεωργίας, ΥΠΕΧΩΔΕ και Πανεπιστήμιο Αιγαίου), ως πλέον αξιόπιστα στοιχεία λήφθηκαν αυτά του Μετεωρολογικού Σταθμού Μυτιλήνης (ΕΜΥ) που βρίσκεται σε απόσταση 7,3km νοτιοανατολικά της πόλης της Μυτιλήνης και σε υψόμετρο 4,8m. Τα δεδομένα αυτά αντλήθηκαν από τον ΚΕΝΑΚ, τα οποία προήλθαν ύστερα από επεξεργασία των κλιματικών τιμών που παρέχει η ΕΜΥ για την περίοδο 1955-1997, με χρήση κατάλληλων εμπειρικών και θεωρητικών μαθηματικών μοντέλων. Τα κλιματικά αυτά δεδομένα, χρησιμοποιούνται για όλες τις κτηριακές, ενεργειακές μελέτες και επιθεωρήσεις, στο πλαίσιο του

Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης, αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητά τους.



Διάγραμμα 28. Χάρτης διαχωρισμού κλιματικών ζωνών στην Ελλάδα.
Πηγή: [48]

Η Μυτιλήνη βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 39°04' και σε γεωγραφικό μήκος 26°36', ενώ το οικόπεδο μελέτης βρίσκεται 46m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Με βάση το χάρτη των τεσσάρων κλιματικών περιοχών που διαιρείται η Ελλάδα, παρατηρούμε πως η Λέσβος και κατ' επέκταση η Μυτιλήνη βρίσκεται στη ζώνη Β (διάγραμμα 28), έχοντας παρόμοια κλιματικά χαρακτηριστικά με αυτά των νησιών του κεντρικού Αιγαίου, της Αττικής και της Στερεάς Ελλάδας.

Τα γενικά χαρακτηριστικά του κλίματος του νησιού, καθορίζονται από φυσικογεωγραφικούς παράγοντες του μεσοκλίματος και μακροκλίματος. Οι κυριότεροι παράγοντες του μεσοκλίματος είναι η έκταση, το σχήμα, ο προσανατολισμός και τα χαρακτηριστικά των ορεινών όγκων του νησιού καθώς και η επίδραση της θαλάσσιας περιοχής του Βορείου Αιγαίου. Στη διαμόρφωση του κλιματικού χαρακτήρα της περιοχής μελέτης, χαρακτηριστικά επιδρά και η θάλασσα, με την επικράτηση βορείων ανέμων (μελτέμια), κατά τη θερμή εποχή, οπότε μειώνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Ο κλιματικός τύπος της Μυτιλήνης και γενικότερα της Ν. Λέσβου (Μεσογειακός) απαντάται και ως ξηρού θέρους, υποτροπικό κλίμα. Κυριαρχεί στις δυτικές ακτές των ηπείρων, στα χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, σε περιορισμένες σχετικά περιοχές. Συγκεκριμένα, στην κεντρική Καλιφόρνια, στην κεντρική Χιλή, στη νότια Αφρική, στη νοτιοδυτική και σε τμήμα της νοτιοανατολικής Αυστραλίας, αλλά κυρίως στη λεκάνη της Μεσογείου, απ' όπου πήρε και το όνομά του.

Τα μεσογειακά κλίματα, όπως αυτό της Μυτιλήνης, χαρακτηρίζονται από ζεστά ξηρά καλοκαίρια και ήπιους και σχετικά υγρούς χειμώνες. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία το καλοκαίρι δεν ξεπερνά συνήθως τους 27°C, παρ' ότι σημειώνονται και μέγιστες που ξεπερνούν τους 38°C. Η επίδραση της θάλασσας είναι φανερή στις παράκτιες περιοχές, όπου τα καλοκαίρια είναι δροσερότερα από αυτά των εσωτερικών περιοχών. Για την περιγραφή του κλίματος της Μυτιλήνης, χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω παράγοντες:

- Μέση μηνιαία θερμοκρασία
- Μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία
- Μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία
- Μέση μηνιαία σχετική υγρασία
- Μέση μηνιαία βροχόπτωση
- Μέση ταχύτητα ανέμου
- Μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο
- Μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο

Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος αποτελεί τη θερμοκρασία την οποία έχει ο ατμοσφαιρικός αέρας πάνω από μία περιοχή. Ο ατμοσφαιρικός αέρας θερμαίνεται αφ' ενός μεν από τις ηλιακές ακτίνες που τον διαπερνούν και αφ΄ ετέρου από την επιφάνεια του εδάφους που θερμαίνεται επίσης από την ηλιακή ακτινοβολία, πολύ όμως ισχυρότερα από τον αέρα. Γι' αυτό και τα κατώτερα στρώματα της ατμοσφαίρας είναι θερμότερα των υπερκείμενων. Το είδος της επιφάνειας του εδάφους σε κάθε περιοχή, επιδρά στη θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε αυτή, με χαμηλότερες τιμές και ηπιότερες μεταβολές σε περιοχές με βλάστηση και αντίθετα ύπαρξη έντονων ακραίων τιμών, με μεγάλες διακυμάνσεις σε αστικά κέντρα. Επίσης, η θερμοκρασία

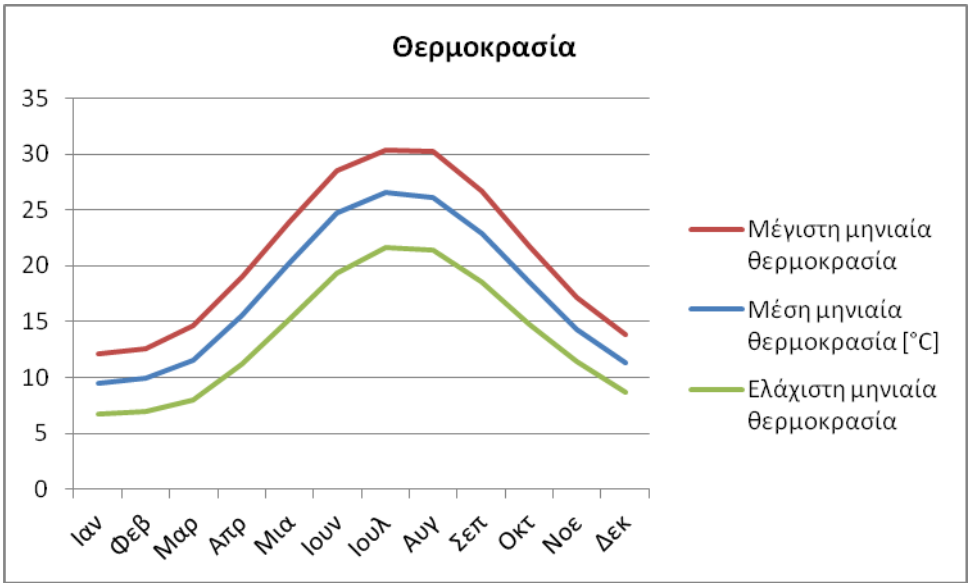
αέρα μιας περιοχής, επηρεάζεται και διαμορφώνεται από την τοπογραφική διαμόρφωσή της. Η βλάστηση της περιοχής, η κλίση και ο τύπος εδάφους, η ύπαρξη νερού, η έκθεση ή η προστασία στον άνεμο και γενικότερα οι φυσικοί παράγοντες που επικρατούν στην περιοχή, διαμορφώνουν και τις τιμές τις θερμοκρασίας, επιτρέποντας τη μεγαλύτερη ή μικρότερη συλλογή και αποθήκευση της ηλιακής ακτινοβολίας και κατ' επέκταση την αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας.

Μηνιαίες θερμοκρασίες

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι κλιματικές τιμές, οι οποίες συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν για την εξαγωγή των κλιματικών δεδομένων της περιοχής της Μυτιλήνης, αφορούν την περίοδο 1955 έως 1997. Στο διάγραμμα, παρουσιάζεται η ετήσια μεταβολή θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια ενός έτους. Συγκεκριμένα, οι θερμοκρασιακές τιμές χαρακτηρίζονται από τρεις διαφορετικές παραμέτρους, τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες, τις μέσες μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες και τις μέσες ελάχιστες μηνιαίες θερμοκρασίες. Σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 15927-5:2005, η μέση μηνιαία θερμοκρασία για μια περίοδο υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών κάθε έτους. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία είναι ο μέσος όρος των ημερήσιων μέγιστων θερμοκρασιών ολόκληρης της περιόδου, ενώ η μέση ελάχιστη θερμοκρασία είναι, αντίστοιχα, ο μέσος όρος των ημερήσιων ελάχιστων θερμοκρασιών ολόκληρης της περιόδου.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση μηνιαία θερμοκρασία [°C]	9,5	9,9	11,6	15,6	20,2	24,7	26,6	26,1	22,9	18,5	14,3	11,3
Μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία [°C]	6,7	7	8	11,2	15,2	19,3	21,6	21,4	18,5	14,8	11,4	8,7
Μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία [°C]	12,1	12,6	14,6	19	23,9	28,5	30,4	30,2	26,7	21,7	17,2	13,8
Μέση απολύτως μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία [°C]	17,4	18,1	21,2	25,4	30,3	34,7	35,8	35,3	32,3	27,4	22,4	18,8
Μέση απολύτως ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία [°C]	0,3	0,7	1,8	6,2	10,6	15,1	18,5	18,2	14,4	10	5,3	2,6
Μέγιστη ακρότατη θερμοκρασία αέρος [°C]	20,2	22	26,4	31	33,6	37	38,4	40,9	37,2	30,8	28	22,5
Ελάχιστη ακρότατη θερμοκρασία αέρος [°C]	-4,4	-3,4	-1	3,6	8	12,9	16,2	16,3	11,2	5,6	-0,6	-2,8

Πίνακας 3. Τιμές των βασικών θερμοκρασιακών δεδομένων. Πηγή: [75]



Διάγραμμα 29. Σχέση μέγιστης, μηνιαίας και ελάχιστης θερμοκρασίας στην περιοχή της Μυτιλήνης. Πηγή: [75]

Ως απολύτως μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία, ορίζεται η υψηλότερη τιμή θερμοκρασίας που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της περιόδου, ενώ η απολύτως ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία είναι η χαμηλότερη τιμή θερμοκρασίας για την ίδια περίοδο. Ως μέση μηνιαία απολύτως μέγιστη θερμοκρασία ορίζεται ο μέσος όρος των μηνιαίων μέγιστων θερμοκρασιών κάθε έτους, για ένα συγκεκριμένο μήνα και ως μέση μηνιαία απολύτως ελάχιστη θερμοκρασία ορίζεται ο μέσος όρος των μηνιαίων ελάχιστων θερμοκρασιών, κάθε έτους για ένα συγκεκριμένο μήνα.

Όπως διακρίνεται από το παραπάνω διάγραμμα 29 και τον πίνακα 3, στην περιοχή της Μυτιλήνης, η μέση μηνιαία θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος, κυμαίνεται μεταξύ 6,7°C το μήνα Ιανουάριο και 30,4°C το μήνα Ιούλιο. Το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος στην περιοχή της Μυτιλήνης είναι 17.1^{o}C και αποτελεί ένδειξη θαλάσσιου κλίματος. Οι ακραίες θερμοκρασιακές τιμές εμφανίζονται τον Ιανουάριο και τον Ιούλιο. Από το 1956 που άρχισαν οι συστηματικές μετρήσεις της Ε.Μ.Υ., η απόλυτα ελάχιστη θερμοκρασία που μετρήθηκε ήταν -4.4^{o}C και η απόλυτα μέγιστη 40.4^{o}C. Συμπερασματικά:

- Ψυχρότερος μήνας του έτους είναι ο Ιανουάριος με τη χαμηλότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία (9,5°C) και ακολουθεί ο Φεβρουάριος με μέση μηνιαία θερμοκρασία 9,9C°.
- Θερμότεροι μήνες του έτους είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος με τις υψηλότερες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (26,6°C και 26,1°C αντίστοιχα)

- Κατά τη χειμερινή περίοδο, η θερμοκρασία γενικά φτάνει σε αρνητικές θερμοκρασίες, χωρίς όμως η μέση ελάχιστη θερμοκρασία να αποκτά αρνητικές τιμές, γεγονός που δείχνει τους σχετικά ήπιους χειμώνες, χωρίς χιόνι και πάγο.
- Κατά τη θερινή περίοδο παρουσιάζονται αρκετά υψηλές θερμοκρασίες από το μήνα Μάιο έως και το Σεπτέμβριο, γεγονός που δείχνει την ανάγκη υψηλών φορτίων ψύξης για κλιματισμό κατά την περίοδο αυτή.

Κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμων

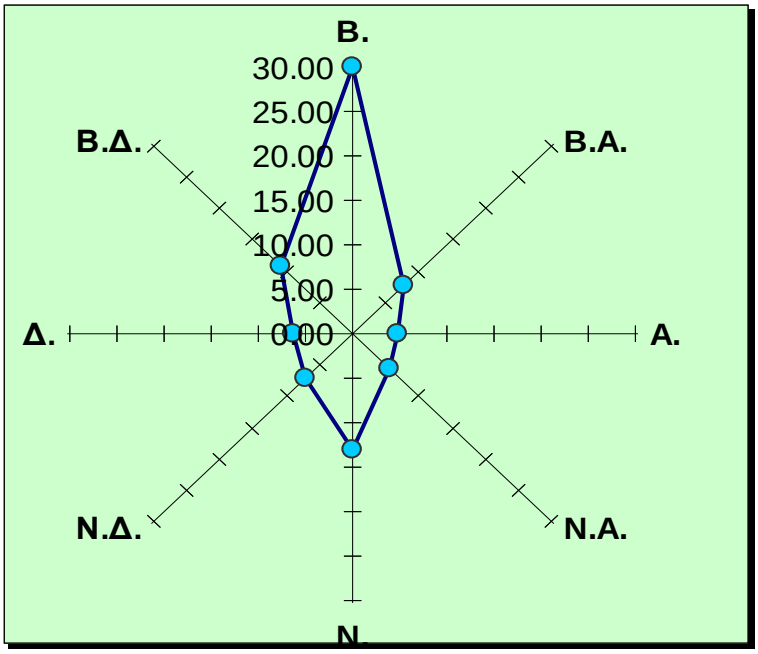
Οι άνεμοι που πνέουν σε μια περιοχή επιδρούν σημαντικά στο σχεδιασμό κατοικιών, καθώς επηρεάζουν την εσωτερική, θερμική άνεση, αυξάνοντας την ανταλλαγή θερμότητας στο κέλυφος του κτηρίου και τη διείσδυση αέρα σε αυτό και επιδρόντας στη βροχόπτωση της ευρύτερης περιοχής. Τόσο η διεύθυνση, όσο και η έντασή τους είναι στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το βιοκλιματικό σχεδιασμό ενός κτηρίου, καθώς είναι απαραίτητη η προστασία του από δυσμενείς συνθήκες απώλειας θερμότητας κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αλλά και η εκμετάλλευση των ευνοϊκών ανέμων, για κλιματισμό και αερισμό, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Στους πίνακες 4 και 5 και στα διαγράμματα 30 και 31, δίνονται τα ανεμολογικά στοιχεία από τον Μετεωρολογικό Σταθμό της Ε.Μ.Υ στη Μυτιλήνη. Από τους πίνακες αυτούς προκύπτει ότι τη χειμερινή περίοδο επικρατούν οι νότιοι άνεμοι, αντίθετα με το υπόλοιπο χρονικό διάστημα (άνοιξη έως και φθινόπωρο) που επικρατούν οι βόρειοι. Ειδικότερα, το καλοκαίρι πνέουν ισχυροί βόρειοι και βορειοδυτικοί άνεμοι. Το χειμώνα οι ίδιοι άνεμοι γίνονται ισχυρότεροι, αλλά εμφανίζονται λιγότερο συχνά από τους ισχυρούς νότιους ανέμους. Αποτέλεσμα της ύπαρξης ισχυρών ανέμων είναι το μικρό σχετικά ποσοστό ημερών με νέφωση (πίνακας 5).

Η μέση ταχύτητα ανέμου είναι 2.3 – 3.2 Beaufort (πίνακας 5). Οι κύριοι άνεμοι όσον αφορά τη συχνότητα είναι Βόρειοι (29.7%) και ακολουθούν οι Βορειοδυτικοί (10.5%), Νότιοι (12.9%), Βορειοανατολικοί (7.5%) και οι Νοτιοδυτικοί (7.1%). Η περίοδος νηνεμίας είναι 15.6% (πίνακας 4).

	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ									
BEAFURTS	**Β.**	**Β.Α.**	**Α.**	**Ν.Α.**	**Ν.**	**Ν.Δ.**	**Δ.**	**Β.Δ.**	**ΝΗΝ**	**ΑΘΡΟΙΣΜΑ**
0									15.524	15.524
1	1.113	0.435	0.382	0.314	0.434	0.524	0.802	0.665	0.025	4.694
2	6.462	1.278	1.468	1.642	2.309	2.343	3.529	3.402	0.01	22.443
3	7.454	0.93	1.299	1.949	3.546	1.419	1.091	3.528	0	21.216
4	8.816	1.557	1.183	1.218	3.485	1.72	0.652	2.375	0	21.006
5	3.393	1.333	0.375	0.324	1.659	0.651	0.147	0.43	0	8.312
6	1.855	1.326	0.095	0.14	1.108	0.328	0.069	0.064	0	4.985
7	0.488	0.518	0.013	0.025	0.266	0.072	0.007	0.005	0	1.394
8	0.117	0.143	0.004	0.009	0.085	0.016	0.006	0	0	0.38
9	0.01	0.021	0	0	0.005	0	0	0	0	0.036
10	0.001	0.002	0	0	0	0.002	0	0	0	0.005
>11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ	29.71	7.54	4.82	5.62	12.90	7.08	6.30	10.47	15.56	100

Πίνακας 4. Συχνότητα και κατεύθυνση ανέμων στην περιοχή μελέτης. Πηγή: [75]

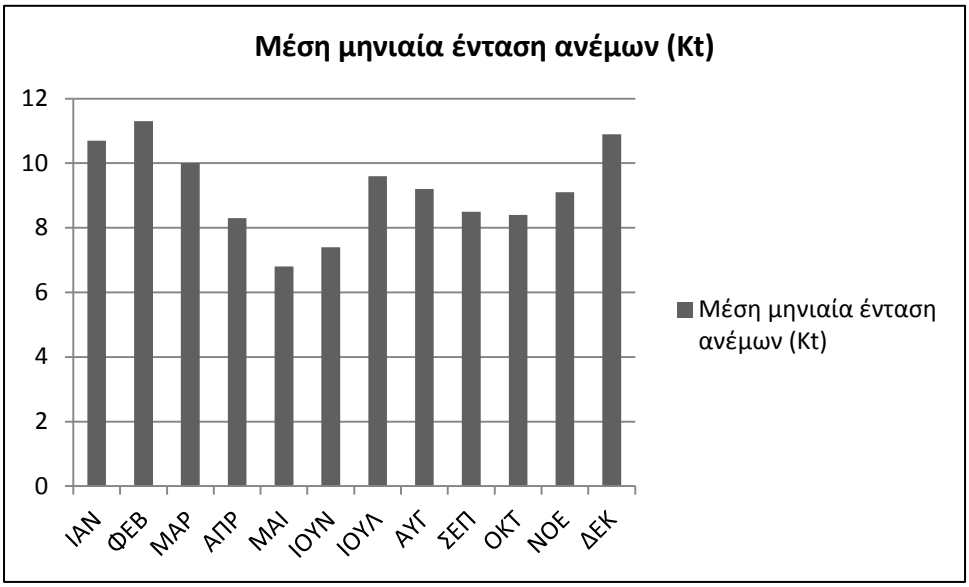


Διάγραμμα 30. Συχνότητα και κατεύθυνση ανέμων στην περιοχή μελέτης. Πηγή: [75]

Μήνας	**Μέση μηνιαία ένταση ανέμων (Kt)**	**Μέση μηνιαία ένταση ανέμων (Beaufort)**	**Μέση μηνιαία διεύθυνση ανέμων**
Ιανουάριος	10.7	3.1	N
Φεβρουάριος	11.3	3.2	N
Μάρτιος	10	3.0	B
Απρίλιος	8.3	2.6	B
Μάιος	6.8	2.3	B

Ιούνιος	7.4	2.3	Β
Ιούλιος	9.6	2.9	Β
Αύγουστος	9.2	2.7	Β
Σεπτέμβριος	8.5	2.7	Β
Οκτώβριος	8.4	2.5	Β
Νοέμβριος	9.1	2.5	Ν
Δεκέμβριος	10.9	3.1	Ν

Πίνακας 5. Μέση μηνιαία ένταση και διεύθυνση ανέμων στην περιοχή μελέτης. Πηγή: [75]



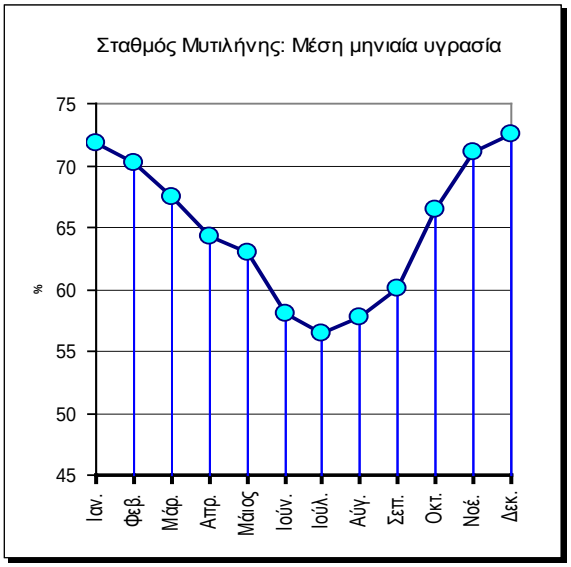
Διάγραμμα 31. Μέση μηνιαία ένταση ανέμων. Πηγή: [75]

Βροχόπτωση

Το ύψος βροχόπτωσης κυμαίνεται από 2,2mm τον Ιούλιο έως 142,8mm τον Δεκέμβριο και συνολικά φτάνει τα 648,2 mm/έτος, τιμή φυσιολογική για τα Ελληνικά δεδομένα (πίνακας 6). Η ετήσια πορεία βροχής είναι απλή, με μέγιστο ύψος το Δεκέμβριο και ελάχιστο τον Ιούλιο. Το σχετικά αυξημένο μέσο ετήσιο ύψος των βροχοπτώσεων, ευνοεί την ανάπτυξη βλάστησης πυκνότερης σε σχέση με άλλα νησιά.

Ανάλογα με τις βροχοπτώσεις κυμαίνεται και η διατήρηση της ροής των περισσότερων χειμάρρων. Η διατήρηση της ροής δε διαρκεί περισσότερο από 1-2 μήνες στις χρονικές περιόδους με μεγάλα ετήσια ύψη βροχών. Τα κατακρημνίσματα στην περιοχή φθάνουν σχεδόν σε μηδενικό επίπεδο το καλοκαίρι και αυξάνονται πάλι από το Σεπτέμβριο προς τον Οκτώβριο. Παγετοί ή/και χιονοπτώσεις δεν παρατηρούνται συχνά στην περιοχή, παρά μόνο σε ακραίες καταστάσεις, κατά τους χειμερινούς μήνες.

Μήνας	Μέση Μηνιαία Υγρασία (%)
Ιανουάριος	71.8
Φεβρουάριος	70.2
Μάρτιος	67.5
Απρίλιος	64.3
Μάιος	62.9
Ιούνιος	58
Ιούλιος	56.4
Αύγουστος	57.8
Σεπτέμβριος	60.1
Οκτώβριος	66.5
Νοέμβριος	71.1
Δεκέμβριος	72.5



Πίνακας 6. Μέση μηνιαία υγρασία στην περιοχή της Μυτιλήνης. Πηγή: [75]

Η ατμοσφαιρική υγρασία κυμαίνεται από 56,4% κατά το μήνα Ιούλιο έως 72,5% κατά το μήνα Δεκέμβριο. Από τις μέσες μηνιαίες τιμές της σχετικής υγρασίας προκύπτει ότι η πορεία μεταβολής της είναι απλή και κανονική, με μέγιστη τιμή το Δεκέμβριο και ελάχιστη τιμή τον Ιούλιο.

Ηλιακή ακτινοβολία

Το μέγεθος της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με αυτό της ηλιοφάνειας, είναι χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, ιδιαίτερης σημασίας για τη βιοκλιματική συμπεριφορά των κτηρίων και την εκμετάλλευση των κλιματικών συνθηκών για εξοικονόμηση ενέργειας. Ειδικότερα, η έντασή της κατά τη διάρκεια ενός έτους αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την αποτίμηση της λειτουργίας των ανοιγμάτων ενός κτηρίου, για τη βέλτιστη αξιοποίηση παθητικών συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού και γενικά για τη μέγιστη εκμετάλλευση των ηλιακών θερμικών κερδών. Επίσης, η διαφοροποίηση της κλίσης των ακτίνων του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους, με μεγάλες κλίσεις κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και μικρές κατά τους χειμερινούς, είναι ένα σημαντικό δεδομένο, το οποίο θα πρέπει να αξιοποιείται κατάλληλα, ώστε να αποφεύγονται υπερθερμάνσεις το καλοκαίρι και να επιτυγχάνονται ηλιακά ενεργειακά κέρδη το χειμώνα, με τη χρήση κατάλληλων μέσων σκιασμού (τεχνητού ή φυσικού).

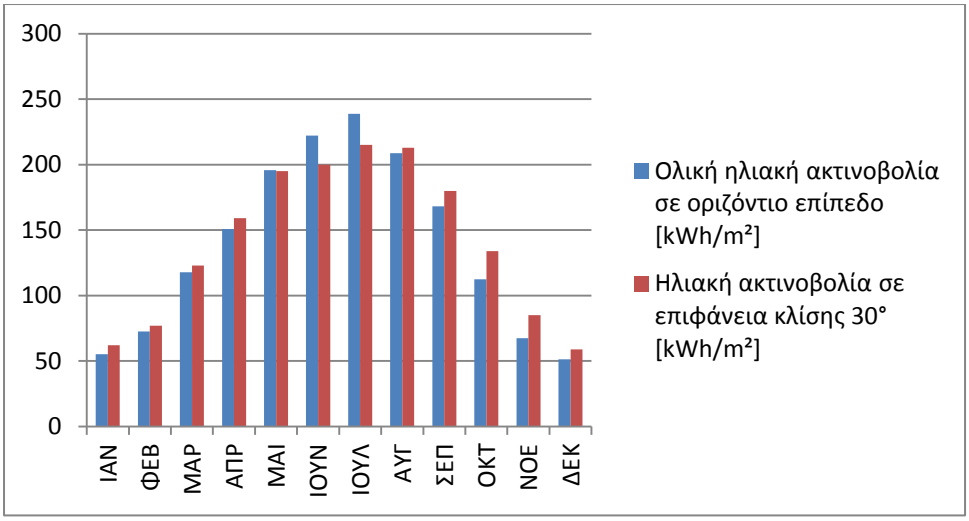
Επιπροσθέτως, για τη σωστή και κατάλληλη εκμετάλλευση της τεχνολογίας των Φ/Β συστημάτων, των οποίων η ύπαρξη είναι απαραίτητη για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με στόχο την επίτευξη ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας, χρειάζεται ακριβής γνώση της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και των επιμέρους κλιματολογικών στοιχείων της περιοχής όπου θα λάβει χώρα η εγκατάσταση.

Για την περιοχή μελέτης, τα κλιματολογικά στοιχεία που αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία της Ν. Λέσβου, αντλήθηκαν από το διαδίκτυο και πιο συγκεκριμένα από την ιστοσελίδα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.). Αυτά τα δεδομένα προέκυψαν μέσα από μετρήσεις που έγιναν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.) κατά τη χρονική περίοδο 1955-1996 και πρόκειται για τους μέσους όρους όλων αυτών των ετών.

Στο διάγραμμα 32 και στον πίνακα 7, παρατηρούμε τις τιμές των συνολικών ωρών ηλιοφάνειας ανά μήνα, της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και σε επίπεδο με κλίση 30°. Συμπερασματικά, μπορούμε να διακρίνουμε, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών η ηλιοφάνεια είναι η μεγαλύτερη του έτους, ξεπερνώντας τις 340h, ενώ τον Ιανουάριο φτάνει στο ελάχιστο των 92,9h. Επίσης παρατηρούμε πως σε οριζόντιο επίπεδο, υπάρχει ετήσιο φορτίο 1661kWh/m², με μέγιστες τιμές τους μήνες Ιούλιο και Ιούνιο, περίοδο κατά την οποία ο ήλιος παρουσιάζει σημαντική χρονική περίοδο με μεγάλη κλίση στον ουρανό. Αντίθετα σε επίπεδο με κλίση 30°, παρουσιάζεται συνολικό ετήσιο φορτίο 1702kWh/m², έχοντας υψηλότερες τιμές καθ' όλη την υπόλοιπη περίοδο του έτους.

	ΙΑΝ	***ΦΕΒ***	***ΜΑΡ***	***ΑΠΡ***	***ΜΑΙ***	***ΙΟΥΝ***	***ΙΟΥΛ***	***ΑΥΓ***	***ΣΕΠ***	***ΟΚΤ***	***ΝΟΕ***	***ΔΕΚ***
Ώρες ηλιοφάνειας [h]	92,9	112,8	172,7	220,5	285,2	346	372,7	344,7	292,4	221,2	137,4	101,6
Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο [kWh/m²]	55,2	72,7	117,7	150,8	195,7	222,1	238,8	208,7	168,2	112,4	67,4	51,3
Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 30° [kWh/m²]	62	77	123	159	195	200	215	213	180	134	85	59

Πίνακας 7. Μηνιαίες ώρες ηλιοφάνειας και τιμές ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο. Πηγή: [103]



Διάγραμμα 32. Σύγκριση ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο στην περιοχή της Μυτιλήνης. Πηγή: [103]

6.3. Περιγραφή οικοπέδου και επιλογή θέσης του κτηρίου

Το οικόπεδο της μελέτης, στο οποίο χωροθετείται η κατοικία, έχει συνολικό εμβαδό 1065m² και βρίσκεται στο νότιο όριο της πόλης της Μυτιλήνης, εκτός του βασικού, κεντρικού πολεοδομικού ιστού της, αλλά σε μία περιοχή που μελλοντικά θα υπάρξει επέκτασή του. Η περιοχή χαρακτηρίζεται ως ημιπεδινή, ενώ το οικόπεδο μελέτης βρίσκεται στους πρόποδες λόφου, χωρίς αυτό όμως να επηρεάζει σημαντικά την εσωτερική του μορφολογία, αλλά και τον ηλιασμό του. Το οικόπεδο είναι σχεδόν επίπεδο, με πολύ μικρή κλίση. Στο βόρειο και στο δυτικό τμήμα του συνορεύει με επαρχιακή οδό, η οποία συνδέει την περιοχή με το κέντρο της πόλης, ενώ στο νότιο και ανατολικό τμήμα του με παρακείμενες ιδιοκτησίες, στις οποίες δεν υπάρχουν κτίσματα. Περιμετρικά το οικόπεδο είναι ελεύθερο, αφού η θέση του στο όριο της πόλης έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη ελάχιστον κτισμάτων. Πρόκειται για περιοχή πολύ αραιής δόμησης, με την ύπαρξη έντονης βλάστησης, κυρίως ελαιοδέντρων. Τα περιμετρικά κτήρια είναι σε μεγάλη απόσταση από το οικόπεδο και για το λόγο αυτό δεν επηρεάζουν τον ηλιασμό και τον αερισμό του και κατ' επέκταση του κτηρίου μελέτης, δημιουργώντας ιδανικές συνθήκες μικροκλίματος, αλλά και ηλιακής εκμετάλλευσης για παθητικά ηλιακά συστήματα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (φωτοβολταϊκά).

Το αρχικό στάδιο για το σχεδιασμό ενός κτηρίου, αποτελεί η χωροθέτησή του μέσα στο οικόπεδο. Η επιλογή της θέσης του κτηρίου, καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την επίδραση των κλιματικών στοιχείων της περιοχής στο κτηριακό κέλυφος και στο εσωτερικό κλίμα του κτηρίου. Στο οικόπεδο της μελέτης, το κτήριο τοποθετείται στο μέσο και προς το αριστερό (ανατολικό) όριο του οικοπέδου, μακριά από τον οδικό άξονα, για την αποφυγή θορύβου, αλλά και σκιασμού από την ανέγερση μελλοντικών κτηρίων, στα όμορα οικόπεδα. Παράλληλα, όσον αφορά τον

ηλιασμό, η αρχική επιλογή της θέσης του κτηρίου στο οικόπεδο, πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο το χειμώνα, η οποία εξαιτίας της χαμηλής τροχιάς του, είναι δυνατόν να εμποδίζεται. Για το λόγο αυτό επιλέγεται το κεντρικό σημείο του οικοπέδου, έτσι ώστε η ακτινοβολία να φτάνει απρόσκοπτα στο κτήριο. Εξάλλου όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δεν υπάρχουν σημαντικά εμπόδια από τα γύρω κτήρια και από τον ίδιο το λόφο, γεγονός που αποτρέπει τη δημιουργία ανεπιθύμητων σκιάσεων.

Προσανατολισμός κτηρίου

Όπως αναφέρθηκε στην ανάλυση του βιοκλιματικού σχεδιασμού σε προηγούμενο κεφάλαιο, ένα από τα βασικότερα στοιχεία του, αποτελεί ο προσανατολισμός του κτηρίου, των ανοιγμάτων και των επιμέρους χώρων του. Για το λόγω αυτό, το κτήριο μελέτης τοποθετείται στο οικόπεδο με βάση τον άξονα Ανατολής-Δύσης, ώστε η κύρια όψη του να έχει νότιο προσανατολισμό. Επιτυγχάνεται έτσι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, στους χώρους εκείνους του κτηρίου που απαιτούν περισσότερη θέρμανση, μειώνοντας παράλληλα και τα επίπεδα ενεργειακής ζήτησης. Αντίθετα, την περίοδο του καλοκαιριού, η έντονη ακτινοβολία, αντιμετωπίζεται με τη χρήση κατάλληλων σκιάστρων στα ανοίγματα, τα οποία εμποδίζουν την είσοδο των ηλιακών ακτίνων στο εσωτερικό του κτηρίου, αλλά και με περιμετρική βλάστηση, η οποία τοποθετείται κυρίως στην ανατολική και δυτική πλευρά του κτηρίου. Στην κύρια όψη του κτηρίου (νότια), χωροθετήθηκαν οι κοινόχρηστοι χώροι της κατοικίας (κουζίνα, καθιστικό), ενώ οι υπόλοιποι χώροι τοποθετήθηκαν γύρω από αυτούς, ανάλογα κάθε φορά με τις ανάγκες τους και τη χρήση τους.

Εικόνα 54. Κάτοψη δώματος του κτηρίου μελέτης.

6.4. Αρχιτεκτονική περιγραφή κτηρίου

Το κτήριο που πρόκειται να σχεδιαστεί και μελετηθεί, θα αποτελέσει μόνιμη κατοικία για μία τετραμελή οικογένεια. Παράλληλα, θα είναι δυνατή η φιλοξενία ενός ή δύο ατόμων στην κατοικία, κατά την περίοδο του καλοκαιριού, με την ύπαρξη ενός ξενώνα, προσαρτημένου στο

κτηριακό κέλυφος, στον οποίο περιλαμβάνεται λουτρό. Η μονοκατοικία καταλαμβάνει συνολικά 153,57m², έχοντας μέγιστο ύψος 3,20m και συνολικό όγκο 491,20m³.

Εικόνα 55. Νοτιοανατολική απεικόνιση του κτηρίου μελέτης.

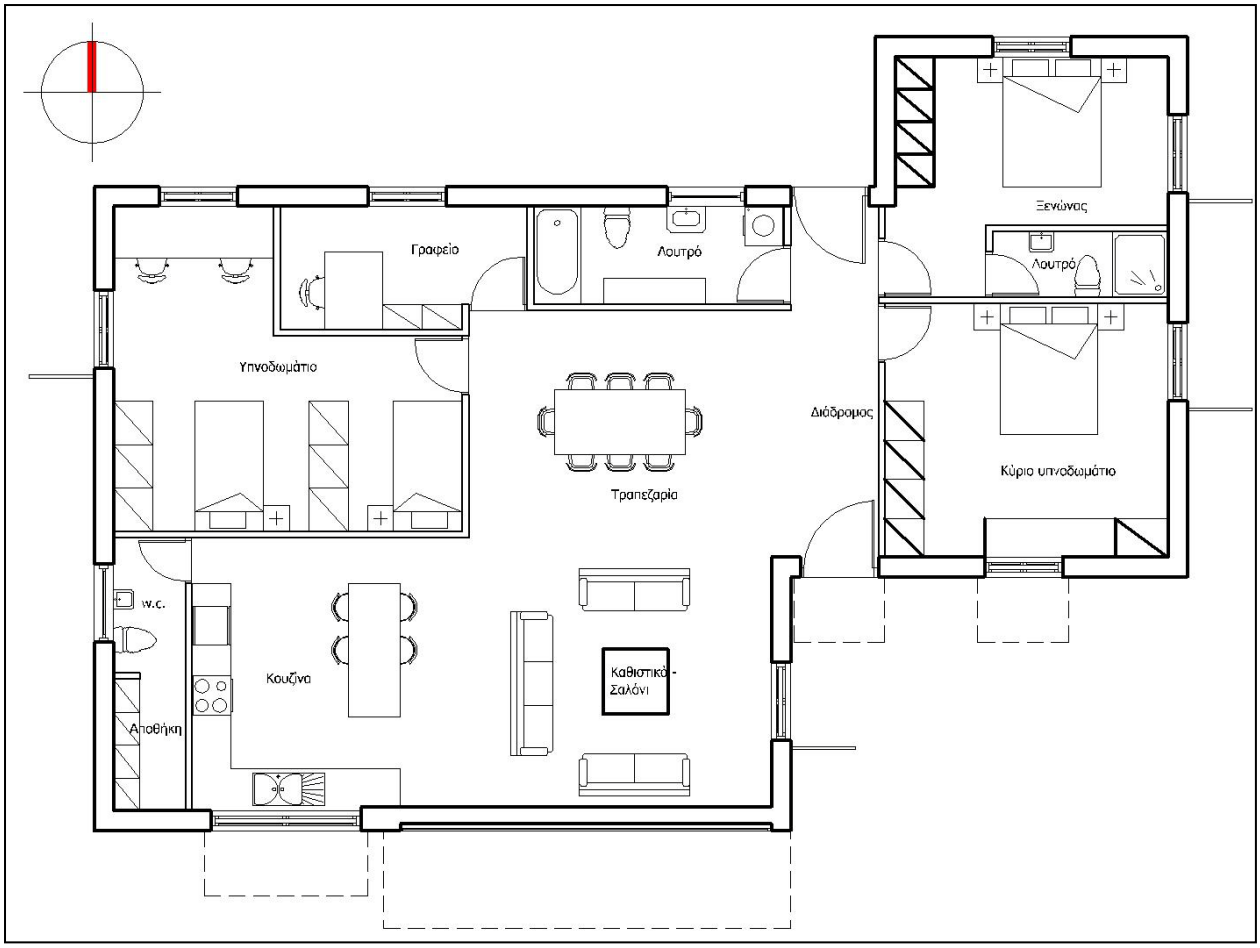
Η σύνθεση της κατοικίας είναι απλή και τυπική για μία μονοκατοικία, με κύριο στόχο την επίτευξη κατάλληλου εσωκλίματος και συνθηκών άνεσης, με παράλληλο στόχο τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Τα δωμάτια αποτελούνται από χώρους συγκέντρωσης (κοινόχρηστους), προσωπικούς χώρους (υπνοδωμάτια, γραφείο) και λειτουργικούς χώρους (αποθήκη, λουτρό, W.C.), τυπικά όπως μπορεί να παρατηρηθεί σε μία μονοκατοικία.

Εικόνα 56. Βορειοδυτική απεικόνιση του κτηρίου μελέτης.

Ανάλυση κάτοψης

Όπως φαίνεται και στο σχήμα της κάτοψης (διάγραμμα 33), η κύρια όψη της κατοικίας αναπτύσσεται με καθαρά νότιο προσανατολισμό και με βάση τον άξονα Ανατολής-Δύσης. Με τον τρόπο αυτό, μεγιστοποιείται το εμβαδόν της νότιας όψης και κατά συνέπεια τα ηλιακά θερμικά κέρδη. Το νότια προσανατολισμένο τμήμα περιλαμβάνει στο μεγαλύτερο μέρος του κοινόχρηστους χώρους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου, όπως η κουζίνα και το σαλόνι – καθιστικό, αλλά και άλλους χώρους όπως την είσοδο της κατοικίας και το κύριο υπνοδωμάτιο, το οποίο έχει επίσης και ανατολικό προσανατολισμό.

Στο κτήριο της μελέτης έχει σχεδιαστεί ένας ενιαίος χώρος, ο οποίος περιλαμβάνει τους κοινόχρηστους χώρους της κατοικίας (κουζίνα, καθιστικό, τραπεζαρία), ο οποίος θα εκμεταλλεύεται το νότιο προσανατολισμό, για αυξημένα ηλιακά κέρδη και παράλληλα θα είναι προστατευμένο από τις υπόλοιπες πλευρές του, εξαιτίας των περιμετρικών, εσωτερικών χώρων. Συγκεκριμένα, στο δυτικό τμήμα της κατοικίας τοποθετούνται οι βοηθητικοί χώροι της κατοικίας (αποθήκη και W.C.) για τη θερμική προστασία των κύριων χώρων της. Στο πίσω μέρος της κάτοψης και στη βόρεια όψη του, τοποθετούνται το δεύτερο υπνοδωμάτιο, το γραφείο και το κύριο λουτρό της κατοικίας, προστατεύοντας με τη σειρά τους, κυρίως οι δύο τελευταίοι χώροι, το κοινόχρηστο τμήμα, δηλαδή την κουζίνα και το καθιστικό. Στο κέντρο της κατοικίας, τοποθετούνται ο χώρος της τραπεζαρίας ως μία μεταβατική ζώνη, αλλά και ο διάδρομος εισόδου στην κατοικία, ο οποίος αποτελεί και μέσο φυσικού αερισμού, δημιουργώντας συνθήκες διαμπερούς κάτοψης στον άξονα Βορράς-Νότος. Τέλος στο βορειοανατολικό τμήμα, τοποθετείται ο ξενώνας με το λουτρό του, σαν προστατευτικό μέσο της υπόλοιπης κατοικίας από



Διάγραμμα 33. Κάτοψη του κτηρίου μελέτης.

τις εξωτερικές συνθήκες του χειμώνα, αφού δεν απαιτεί συνεχείς συνθήκες εσωτερικής άνεσης κατά την περίοδο αυτή, εξαιτίας της περιοδικής χρήσης του. Στον παρακάτω πίνακα, διακρίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των διάφορων χώρων. Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων, μια κατοικία θεωρείται ότι λειτουργεί 18 ώρες/ημέρα, στοιχείο το οποίο λήφθηκε υπόψη για τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων.

Χώρος	**Εμβαδόν χώρου [m²]**	**Προσανατολισμός χώρου**
Κουζίνα	12,99	Νότιος, Δυτικός
Καθιστικό	26,01	Νότιος, Ανατολικός
Τραπεζαρία	17,31	Νότιος
Λουτρό	6,14	Βόρειος
Γραφείο	7,21	Βόρειος
Δωμάτιο 1	21,61	Νότιος, Ανατολικός
Δωμάτιο 2	17,58	Βόρειος, Δυτικός
Ξενώνας [2μήνες/έτος]	13,08	Βόρειος, Ανατολικός

W.C. ξενώνα	3,04	Ανατολικός
W.C. - Αποθήκη	4,01	Νότιος, Δυτικός
Διάδρομος	7,56	Νότιος, Βόρειος

Πίνακας 8. Εμβαδόν και προσανατολισμός των εσωτερικών χώρων του κτηρίου μελέτης.

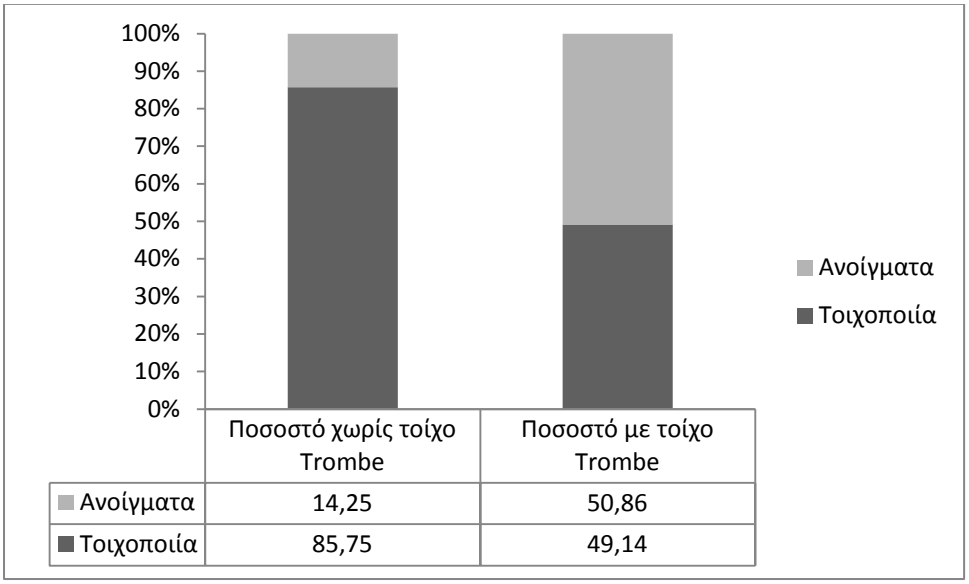
Ανάλυση όψεων

Όπως αναφέρθηκε στα κεφάλαια της βιβλιογραφικής και θεωρητικής ανάλυσης των βιοκλιματικών κτηρίων, σημαντικό τμήμα του σχεδιασμού τους, αποτελούν ο προσανατολισμός των όψεων, αλλά και η αναλογία των ανοιγμάτων σε σχέση με την τοιχοποιία. Τα στοιχεία αυτά επηρεάζουν σημαντικά τα ηλιακά θερμικά κέρδη που έχει η κατοικία κατά την περίοδο του χειμώνα, αλλά και τους τρόπους αποφυγής τους κατά τη θερινή περίοδο. Επίσης, σημαντικό στοιχείο, για την προστασία των όψεων και γενικότερα του κελύφους του κτηρίου, εκτός από τα σταθερά σκίαστρα τα οποία θα περιγραφούν παρακάτω, έγινε χρήση φύτευσης. Η σκίαση από φύτευση αποτελεί πολύ αποτελεσματική λύση στον ανατολικό και στο δυτικό προσανατολισμό, η οποία επιτυγχάνεται με φυλλοβόλα δέντρα, ύψους περίπου τριών μέτρων. Τα δέντρα αυτά, έχουν φύλλωμα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, παρέχουν έτσι πρόσθετη σκίαση στις πλευρές του κτηρίου. Αντίθετα, το χειμώνα που ρίχνουν το φύλλωμά τους επιτρέπουν τη δίοδο της ηλιακής ακτινοβολίας και κατ' επέκταση τον ηλιασμό των ανοιγμάτων.

Νότια όψη

Η νότια όψη, όπως φαίνεται και στην κάτοψη, περιλαμβάνει τους κοινόχρηστους χώρους της κατοικίας, κουζίνα, σαλόνι, τραπεζαρία, το κύριο υπνοδωμάτιο, την κύρια είσοδο της κατοικίας αλλά και ένα μικρό τμήμα των βοηθητικών χώρων (αποθήκη, W.C.). Οι όψεις των χώρων αυτών, καθώς βρίσκονται στο νότο, διακρίνονται από μεγάλο ποσοστό ανοιγμάτων, ώστε να γίνεται κατά το μέγιστο δυνατό εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια του χειμώνα. Το γεγονός αυτό, αυξάνει τα θερμικά κέρδη της κατοικίας, μειώνοντας ουσιαστικά στους χώρους αυτούς, αλλά και κατ' επέκταση σε όλη την κατοικία, τις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση. Συγκεκριμένα, στη νότια όψη υπάρχουν δύο παράθυρα, το ένα στο χώρο της κουζίνας και το άλλο στο χώρο του κύριου υπνοδωματίου, η κύρια είσοδος της κατοικίας, αλλά και το άνοιγμα του παθητικού ηλιακού συστήματος, το οποίο θα αναλυθεί παρακάτω. Στη συνέχεια, διακρίνεται η νότια όψη της κατοικίας, αλλά και η αναλογία των ανοιγμάτων της σε σχέση με το ποσοστό τοιχοποιίας.

Εικόνα 57. Νότια όψη του κτηρίου μελέτης.



	Ποσοστό χωρίς τοίχο Trombe	Ποσοστό με τοίχο Trombe
Ανοίγματα	14,25	50,86
Τοιχοποιία	85,75	49,14

Διάγραμμα 34. Αναλογία ανοιγμάτων και τοιχοποιίας της νότιας όψης του κτηρίου μελέτης.

Όπως διακρίνεται από το διάγραμμα 34, η νότια όψη της κατοικίας, καθώς και οι χώροι με τους οποίους σχετίζεται, κατέχουν υψηλό ποσοστό ανοιγμάτων. Η αξιοποίηση του νότιου προσανατολισμού γίνεται με τη χρήση δύο τύπων ηλιακού κέρδους, του άμεσου και του έμμεσου. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τον άμεσο ηλιασμό, υπάρχουν νότια ανοίγματα, συνολικού εμβαδού 7,22m², τα οποία βοηθούν στην «άμεση» πρόσληψη της ηλιακής ακτινοβολίας και την εκμετάλλευσή της. Η άμεση ακτινοβολία που προέρχεται από τα νότια ανοίγματα, αυξάνει τα θερμικά κέρδη στους χώρους που προσέρχεται (κουζίνα, κύριο υπνοδωμάτιο), αυξάνοντας την εσωτερική θερμοκρασία και μειώνοντας τις ενεργειακές ανάγκες.

Παράλληλα με τον τύπο του άμεσου ηλιακού κέρδους, στη νότια όψη γίνεται χρήση και ενός παθητικού μέσου, του τοίχου Trombe. Συγκεκριμένα, στον νότιο τοίχο του χώρου του καθιστικού, τοποθετείται τοίχος Trombe, συνολικού εμβαδού 19,68m², ο οποίος αντικαθιστά στο τμήμα αυτό κάποιο πιθανό άνοιγμα, άμεσου ηλιακού κέρδους. Όπως έχει αναφερθεί και σε

προηγούμενο κεφάλαιο, ο τοίχος Trombe, αποτελείται εσωτερικά, από ένα νότια προσανατολισμένο τοίχο θερμικής μάζας, ο οποίος διαθέτει οπές αερισμού στο άνω και κάτω τμήμα του, καθώς και στη συγκεκριμένη περίπτωση, στο τμήμα της οροφής που καταλαμβάνει. Ο τοίχος θερμικής μάζας, είναι κατασκευασμένος από σκυρόδεμα για την αύξηση της θερμοχωριτηκότητάς του, πάχους 25cm. Στο εξωτερικό τμήμα του, τοποθετείται διπλό υαλοστάσιο, σε απόσταση 10cm από τον τοίχο θερμικής μάζας, ώστε η ηλιακή ακτινοβολία, διαπερνώντας το, να απορροφάται από τον τοίχο και να θερμαίνει την εξωτερική πλευρά του, χωρίς να υπάρχουν απώλειες. Η θερμότητα αυτή, μεταφέρεται προοδευτικά στο εσωτερικό του τοίχου και στη συνέχεια στο εσωτερικό της κατοικίας, αυξάνοντας τη θερμοκρασία, τις ώρες που είναι απαραίτητο.

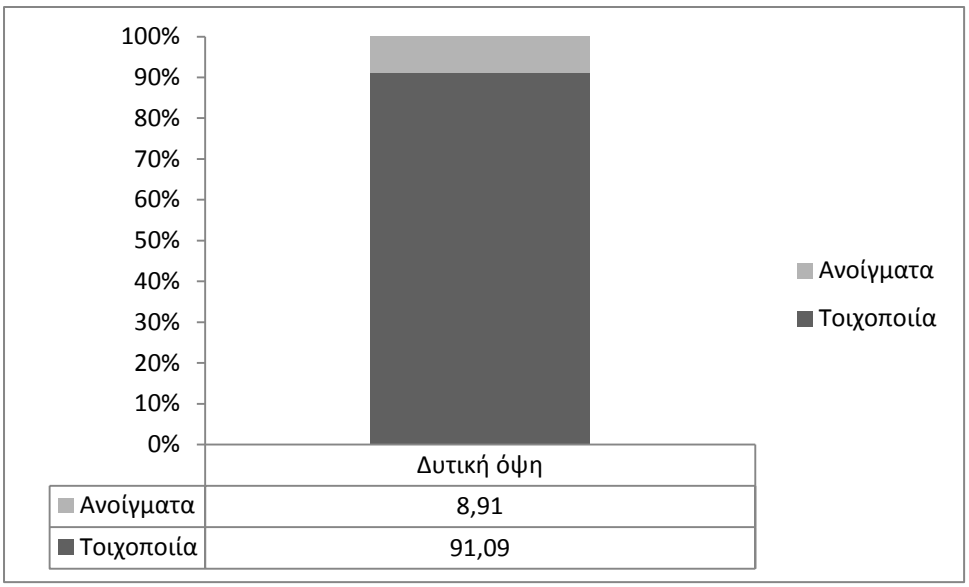
Από τις οπές αερισμού που βρίσκονται στο πάνω μέρος του τοίχου, ο θερμός αέρας μεταξύ υαλοστασίου και τοίχου, εισέρχεται στον κατοικήσιμο χώρο, ενώ παράλληλα ο ψυχρός αέρας, εξαιτίας της διαφοράς πίεσης που δημιουργείται, εισέρχεται από τις θυρίδες στο κάτω μέρος του τοίχου, στο κενό μεταξύ γυαλιού και τοίχου, όπου και αναθερμαίνεται. Με αυτό τον τρόπο αποδίδεται πρόσθετη θερμότητα στο χώρο κατά τις περιόδους ηλιοφάνειας και η θέρμανση του χώρου αρχίζει παράλληλα με τη λειτουργία του τοίχου, χωρίς να υπάρχει χρονική καθυστέρηση. Η φυσική κυκλοφορία του αέρα αρχίζει μόλις θερμαίνεται ο τοίχος από την ηλιακή ακτινοβολία και συνεχίζεται 2 με 3 ώρες μετά το σκιασμό του. Κλείνοντας τις θυρίδες αερισμού, ο τοίχος λειτουργεί σαν τοίχος θερμικής αποθήκευσης, αποδίδοντας με ακτινοβολία τη θερμότητα που έχει συγκεντρωθεί στη μάζα του κατά τη διάρκεια της μέρας.

Για την αποφυγή υπερθέρμανσης το καλοκαίρι, από την εισαγωγή ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των ανοιγμάτων άμεσου ηλιακού κέρδους, αλλά και από την υπερθέρμανση του τοίχου Trombe, σχεδιάστηκε η κατασκευή οριζόντιων προστεγασμάτων μήκους 1,0m πάνω από τα ανοίγματα και μήκους 1,50m πάνω από τον τοίχο Trombe. Με τον τρόπο αυτό εμποδίζετε η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των κτηρίων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, στην οποία η ηλιακή τροχιά έχει μεγάλη γωνία σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Παράλληλα με την ύπαρξη οριζόντιων σκιάστρων, ο τοίχος Trombe, διαθέτει θυρίδες αερισμού στο τμήμα της οροφής που καταλαμβάνει. Τους θερινούς μήνες, οι θυρίδες στο κάτω τμήμα του τοίχου, παραμένουν κλειστές, ενώ ανοίγουν οι θυρίδες που βρίσκονται στο πάνω τμήμα του. Με αυτό τον τρόπο, γίνεται απαγωγή του θερμού εσωτερικού αέρα, προς το εξωτερικό περιβάλλον. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο τοίχος Trombe λειτουργεί ως ένα μέσο φυσικού αερισμού. Ο τρόπος αυτός λειτουργίας διακρίνεται στο σχήμα παρακάτω.

Δυτική όψη

Η δυτική όψη, περιλαμβάνει μόνο δύο χώρους, το δεύτερο υπνοδωμάτιο και τους βοηθητικούς χώρους της αποθήκης και του W.C. Για λειτουργικούς λοιπόν λόγους, έχει μικρό ποσοστό ανοιγμάτων σε σχέση με την τοιχοποιία. Το κύριο άνοιγμα της όψης, ανήκει στο υπνοδωμάτιο και αφορά μία πόρτα, η οποία ταυτόχρονα με τη λειτουργική της αξία, αποτελεί και μέσο εισόδου ηλιακής ακτινοβολίας, για την αύξηση των ηλιακών κερδών, αλλά και τη βελτίωση του φυσικού φωτισμού. Στο βοηθητικό χώρο της αποθήκης – W.C., υπάρχει το δεύτερο, αρκετά μικρότερο άνοιγμα της όψης, το οποίο αφορά κυρίως λειτουργικούς σκοπούς, αερισμού και φωτισμού του εσωτερικού και όχι ηλιακά θερμικά κέρδη. Παρακάτω διακρίνεται σχηματικά η όψη, αλλά και η σχέση ανοιγμάτων και τοιχοποιίας.

Εικόνα 58. Δυτική όψη του κτηρίου μελέτης.



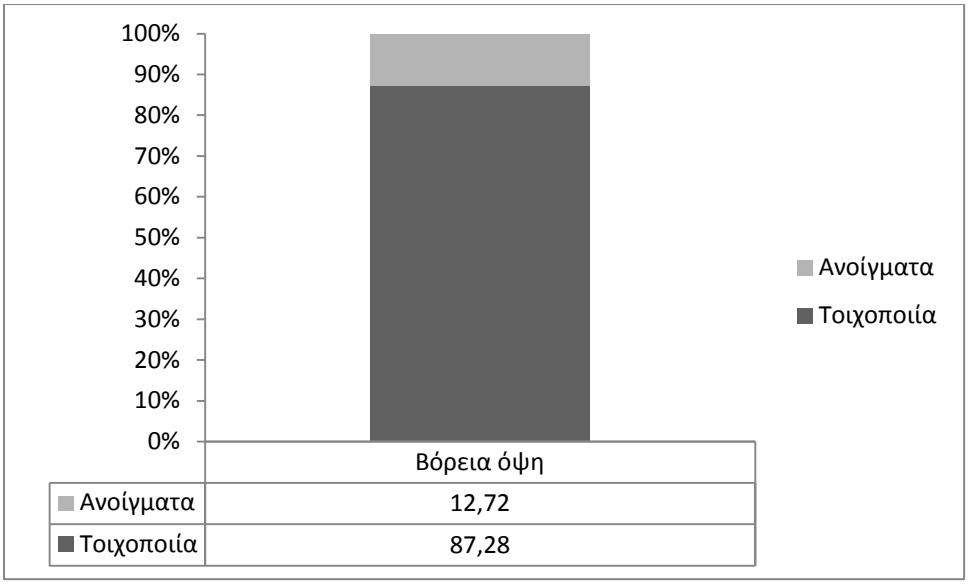
Διάγραμμα 35. Αναλογία ανοιγμάτων και τοιχοποιίας της δυτικής όψης του κτηρίου μελέτης.

Για την αποφυγή υψηλών θερμικών κερδών το καλοκαίρι, από τη δυτική πλευρά του κτιρίου, που συμπίπτει με την πιο θερμή ώρα της μέρας (δύση του ήλιου), γίνεται περιορισμός του ποσοστού ανοιγμάτων (διάγραμμα 35). Στη δυτική όψη, παρατηρείται επίσης, για την αποφυγή της πρόσληψης μεγάλων ηλιακών φορτίων κατά την περίοδο του καλοκαιριού, η τοποθέτηση εξωτερικού, σταθερού σκίαστρου, στο κύριο άνοιγμα. Το σκίαστρο αυτό, σε αντίθεση με τα σκίαστρα της νότιας όψης, είναι κάθετο ως προς το άνοιγμα, με πλάτος 1,0m, ώστε να εμποδίζετε ο ήλιος κατά της διάρκεια της δύσης, όταν δηλαδή η τροχιά του βρίσκεται χαμηλά σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο.

Βόρεια όψη

Όπως διακρίνεται στην κάτοψη, στη βόρεια όψη, τοποθετούνται αρκετοί χώροι της κατοικίας. Συγκεκριμένα βόρειο προσανατολισμό έχουν ένα τμήμα του δεύτερου υπνοδωματίου, ο χώρος του γραφείου, το κύριο λουτρό, ένα τμήμα του διαδρόμου, αλλά και ο ξενώνας. Παρακάτω φαίνεται σχηματικά η όψη, καθώς και το ποσοστό ανοιγμάτων και τοιχοποιίας (διάγραμμα 36).

Εικόνα 59. Βόρεια όψη του κτηρίου μελέτης.



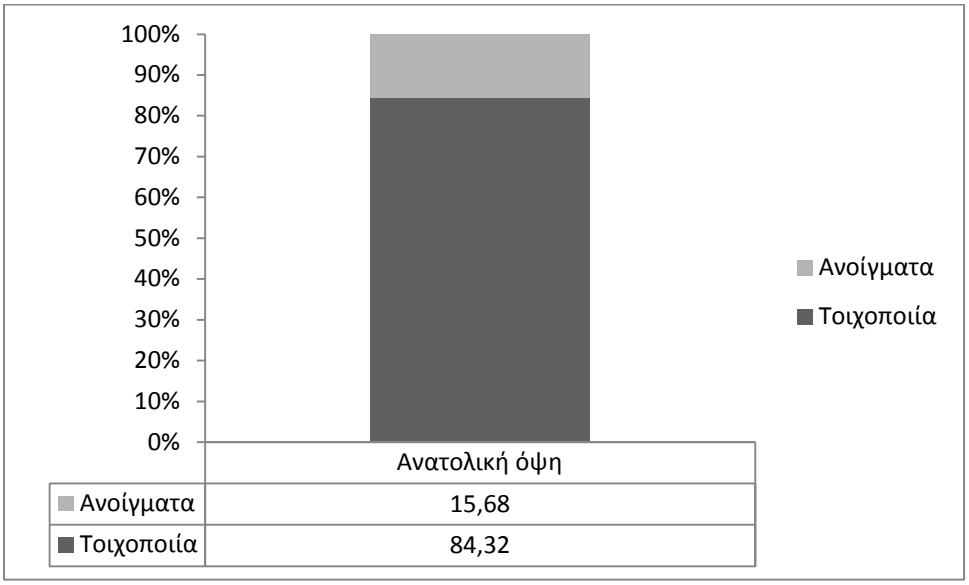
Διάγραμμα 36. Αναλογία ανοιγμάτων και τοιχοποιίας της βόρειας όψης του κτηρίου μελέτης.

Παρατηρείται λοιπόν η ύπαρξη τριών παραθύρων και δύο πορτών. Γενικά, οι βόρειες όψεις των κτηρίων, αποτελούν τα ψυχρότερα τμήματά τους, εξαιτίας του πολύ μικρού ηλιασμού τους κατά τη διάρκεια της μέρας, αλλά και των ψυχρών βόρειων ανέμων. Έτσι, η βόρεια όψη της κατοικίας, αποτελείται από σχετικά μικρό ποσοστό ανοιγμάτων, ώστε να περιορίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο η απώλεια θερμότητας από το κτηριακό κέλυφος και από το εσωτερικό προς το εξωτερικό περιβάλλον (διάγραμμα 36). Η σύνθεση του κτηρίου λοιπόν με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά, είχε ως στόχο την τοποθέτηση στη βόρεια πλευρά χώρων με μικρές απαιτήσεις σε φωτισμό (λουτρό, γραφείο, διάδρομος, ξενώνας) και θέρμανση, οι οποίοι παράλληλα δημιουργούν μία προστατευτική ζώνη μεταξύ των κοινόχρηστων χώρων της κατοικίας και της ψυχρής βορεινής πλευράς. Τέλος, η χρήση εξωτερικών, σταθερών σκιάστρων στη συγκεκριμένη όψη δεν κρίθηκε απαραίτητη, τοποθετούνται όμως και σε αυτή, όπως και στην ανατολική και δυτική, φυλλοβόλα δέντρα ύψους περίπου τριών μέτρων, για τη δημιουργία προστασίας από τους βόρειους, ψυχρούς ανέμους, που πνέουν το χειμώνα.

Ανατολική όψη

Στην ανατολική όψη, περιλαμβάνονται δύο κυρίως χώροι της κατοικίας, το βασικό υπνοδωμάτιο και ο χώρος του ξενώνα, ο οποίος περιλαμβάνει και ένα λουτρό. Όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση της βόρειας όψης, ο χώρος του ξενώνα, εξαιτίας της περιορισμένης λειτουργίας του κατά τη διάρκεια του έτους, έχει τοποθετηθεί με βορειοανατολικό προσανατολισμό, ώστε να δημιουργεί και ένα προστατευτικό μέσο προς τους άλλους χώρους.

Εικόνα 60. Ανατολική όψη κτηρίου μελέτης.



Διάγραμμα 37. Αναλογία ανοιγμάτων και τοιχοποιίας της ανατολικής όψης του κτηρίου μελέτης.

Ο χώρος του ξενώνα έχει ένα βασικό άνοιγμα στη δυτική του πλευρά, ένα παράθυρο. Αντίθετα ο χώρος του κύριου υπνοδωματίου, ο οποίος έχει μεγαλύτερες ανάγκες σε φυσικό φωτισμό και ηλιακά θερμικά κέρδη, παράλληλα με το νότιο άνοιγμα, διαθέτει και μία ανατολικά προσανατολισμένη πόρτα εισόδου. Το ποσοστό ανοιγμάτων σε σχέση με την τοιχοποιία, φτάνει το 15,68% (διάγραμμα 37). Όπως φαίνεται και από τις προηγούμενες όψεις, για λειτουργικούς σκοπούς (προσβασιμότητα στον εκάστοτε εξωτερικό χώρο) κάθε υπνοδωμάτιο, καθώς και ο ξενώνας διαθέτουν μία εξωτερική πόρτα, η οποία οδηγεί σε διαμορφωμένο χώρο (βεράντα). Τέλος, ακολουθείται και στην ανατολική όψη, όπως και στη δυτική, η χρήση κάθετων, σταθερών, εξωτερικών σκιάστρων, πλάτους 1,0m για τον κατάλληλο σκιασμό των χώρων τους θερινούς μήνες.

6.5. Οικοδομική ανάλυση

Στα παρακάτω κεφάλαια, θα γίνει περιγραφεί των οικοδομικών χαρακτηριστικών της κατοικίας και των βασικών λειτουργικών στοιχείων της, τα οποία επηρεάζουν και ουσιαστικά καθορίζουν την ενεργειακή της κατανάλωση.

Η φέρουσα κατασκευή της κατοικίας είναι ενιαία και αποτελείται στο σύνολό της από φέροντα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, οριζόντια και κατακόρυφα και τοίχους πληρώσεως από οπτόπλινθους. Όλα τα στοιχεία της κατασκευής που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, θα θερμομονωθούν στην εξωτερική τους επιφάνεια, έτσι ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος εμφάνισης θερμογεφυρών στο κέλυφος του κτηρίου.

Φέρουσα τοιχοποιία

Το σκυρόδεμα είναι δομικό υλικό που παρασκευάζεται με μίξη σε κατάλληλες αναλογίες τσιμέντου, αδρανών (χαλικιών), άμμου και νερού, ενώ τακτικά χρησιμοποιούνται και πρόσμικτα υλικά που βελτιώνουν τις ιδιότητές του (εργασιμότητα, ταχύτητα σκλήρυνσης κλπ.). Οι αναλογίες αυτές καθορίζονται από την εκάστοτε μελέτη σύνθεσης. [96] Οι διαφορετικές ιδιότητες των πρώτων υλών που αναμιγνύονται στην παραγωγή του σκυροδέματος (μάζα, όγκος, φυσικοχημικά χαρακτηριστικά) ανάγουν την παραγωγή σκυροδέματος σε μία εξαιρετικά πολύπλοκη και σύνθετη διαδικασία. Θεωρείται το οικονομικότερο και ασφαλέστερο οικοδομικό υλικό, με εξαιρετική σχέση κόστους - παρεχόμενων ιδιοτήτων και για το λόγο αυτό αποτελεί σήμερα αναντικατάστατο δομικό υλικό. Είναι εξαιρετικά εύπλαστο, αφού μπορεί, όταν είναι νωπό, να λάβει οποιαδήποτε μορφή, και χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερες ιδιότητες, που προσφέρουν ανθεκτικότητα και προστασία από διάφορα επιθετικά περιβάλλοντα έκθεσης. [84] Συγκεκριμένα ο φέρων οργανισμός του κτηρίου αποτελείται από:

Κατακόρυφα φέροντα στοιχεία:

- υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος, με διατομή 0,30 x 0,30m
- τοιχία από οπλισμένο σκυρόδεμα, διατομής 0,80 x 0,30m

Οριζόντια φέροντα στοιχεία:

- πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος, πάχους 0,20m
- υποστυλώματα και τοιχία με δοκάρια κρέμασης 0,40m

- πλάκες ελαφρώς οπλισμένου σκυροδέματος, πάχους 0,10m, οι οποίες διαμορφώνουν τους προβόλους που αποτελούν τα οριζόντια προστεγάσματα των ανοιγμάτων

Τοιχοποιία πληρώσεως

Το τούβλο (οπτόπλινθος) αποτελεί το πλέον κλασικό υλικό τοιχοποιίας. Στο παρελθόν η χρήση του περιοριζόταν στην κατασκευή τοιχοποιίας, αλλά σήμερα αποτελεί εκτός από δομικό και διακοσμητικό στοιχείο διάφορων σύγχρονων κατασκευών. Τα τούβλα κατασκευάζονται από άργιλο, σε καθορισμένες διαστάσεις και με συγκεκριμένο σχήμα. Η πρώτη ύλη από την οποία προέρχονται είναι η κοσκινισμένη άργιλος, η άμμος και το νερό και ψήνονται στους 800-1000°C. Το χρώμα τους είναι συνήθως βαθύ κόκκινο, αλλά γενικότερα εξαρτάται από τη χημική σύσταση της αργίλου (πηλού) και την περιεκτικότητά της σε οξείδια. Στην πιο κοινή του μορφή παράγεται με τρύπες που διατρέχουν το μήκος του, σε δύο διαστάσεις: 6-οπα (μονά) και 12-οπα (διπλά) τούβλα. Όλα έχουν μήκος 19cm ενώ η διατομή τους είναι 8,5x11cm και 8,5x6cm για τα διπλά και τα μονά αντίστοιχα. Τα διπλά τούβλα ζυγίζουν περίπου 1 κιλό. Συγκεκριμένα διακρίνονται οι παρακάτω τύποι:

- συμπαγείς οπτόπλινθοι βαρέως τύπου,
- συμπαγείς οπτόπλινθοι ελαφρού τύπου,
- οπτόπλινθοι με λεπτές σχισμοειδείς ραβδώσεις κατά κατεύθυνση του μήκους τους,
- οπτόπλινθοι με μεγαλύτερες και βαθύτερες ραβδώσεις κατά την κατεύθυνση του μήκους τους. [108]

Πλεονεκτήματα χρήσης τούβλου έναντι άλλων υλικών

- Σταθερή συμπεριφορά σε εξωτερικές περιβαλλοντικές επιδράσεις
- Δυνατότητα κατασκευής στις επιθυμητές μορφές και διαστάσεις
- Υψηλή θερμοχωρητικότητα
- Υψηλή ηχομόνωση
- Αντίσταση σε ενδεχόμενη πυρκαγιά ή πλημμύρα
- Παρουσιάζει υψηλά επίπεδα ευλυγισίας κατά την κατασκευή, καθώς είναι υλικό αρκετά πιο ελαφρύ από το μπετόν
- Θετική ανταπόκριση σε σεισμικές δονήσεις

- Χαμηλό κόστος

Κατηγορίες τοιχοποιίας από οπτόπλινθους

Ανάλογα με τον τρόπο σύμπλεξης των τούβλων, οι τοιχοποιίες διακρίνονται σε:

- Δρομική τοιχοποιία, με πλάτος 9cm.
- Ορθοδρομική τοιχοποιία, με πλάτος 6cm.
- Μπατική τοιχοποιία, με πλάτος 19cm. Αποτελείται από διπλή σειρά πλίνθων τοποθετημένων κατά μήκος, χωρίς διάκενο μεταξύ τους και συνδεόμενων με εγκάρσιες πλίνθους. Ανάλογα ορίζεται και η υπερμπατική τοιχοποιία με πλάτος μιάμισης πλίνθου.

Εικόνα 31. Κατασκευή μπατικής τοιχοποιίας. Πηγή: [101]

- Ψαθωτή τοιχοποιία, με πλάτος 19cm, οποία αποτελείται από δύο ορθοδρομικές πλινθοδομές με διάκενο μεταξύ τους, συνδεόμενων με εγκάρσιες πλίνθους.
- Διπλή τοιχοποιία, που αποτελείται από δύο πλινθοδομές με ή χωρίς διάκενο μεταξύ τους. Στην περίπτωση που υπάρχει διάκενο, μπορεί να πληρούται με μονωτικό και φράγμα υδρατμών.
- Μικτή τοιχοποιία, που αποτελείται από δύο ή περισσότερα είδη τοίχων και υλικών, των οποίων η δόμηση γίνεται συνήθως ταυτόχρονα. Υπάρχουν 3 είδη μικτής τοιχοποιίας, κατά το μήκος, κατά το πλάτος και κατά το ύψος των τοίχων. [108]

Στο υπό μελέτη κτήριο, θα γίνει χρήση οπτόπλινθων, σε μπατική τοιχοποιία, η οποία θα περιλαμβάνει θερμομόνωση στην εξωτερική της πλευρά.

Δάπεδα

Ο τύπος της επίστρωσης των δαπέδων της κατοικίας διαφοροποιείται από χώρο σε χώρο, ανάλογα με τη χρήση του καθενός από αυτούς. Τα δάπεδα εδράζονται σε πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος από την οποία απομονώνονται από το έδαφος, μέσω θερμομονωτικής στρώσης. Στην κατοικία θα τοποθετηθούν δύο είδη δαπέδων. Τα δάπεδα των υπνοδωματίων θα

κατασκευαστούν από ξύλο και συγκεκριμένα δρύινο συγκολλημένο δάπεδο (τύπου laminated). Στους υπόλοιπους χώρους θα τοποθετηθούν κεραμικά πλακίδια.

Εσωτερικά ξύλινα δάπεδα

Τα ξύλινα δάπεδα αποτελούνται από υλικά μικρού σχετικά πάχους. Μπορεί να είναι ξύλινα ή συνθετικά. Χρησιμοποιούνται ευρέως, κυρίως λόγω της αισθητικής τους αξίας, αλλά και της αίσθησης ζεστασιάς που παρέχουν στους εσωτερικούς χώρους. Το ξύλο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των ξύλινων δαπέδων, ποικίλλει ανάλογα με τη χρήση του χώρου, το επιθυμητό χρώμα και το κόστος. Στα πλαίσια της εργασίας, θα χρησιμοποιηθούν δάπεδα Laminate, τα οποία αποτελούν ένα βιομηχανικό προϊόν, που κατέχει παρόμοιες αισθητικές ιδιότητες με το φυσικό ξύλο, υψηλή αντοχή και μικρότερο κόστος από τα δάπεδα φυσικού ξύλου. Τα δάπεδα laminate είναι κατάλληλα για έντονη και εντατική χρήση, όπως δηλαδή σε μια κατοικία. [80] Συγκεκριμένα, τα βασικά χαρακτηριστικά πλεονεκτήματά τους είναι:

Εικόνα 32. Τοποθέτηση δαπέδου τύπου laminate. Πηγή: [85]

- Πολύ μεγάλη αντοχή στην έντονη χρήση
- Είναι αντιολισθηρά, αντιστατικά, αντιαλλεργικά, φιλικά προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο
- Έχουν εύκολη τοποθέτηση και χαμηλή τιμή (περίπου 30% φθηνότερα του φυσικού ξύλου).
- Δυνατή η αποξήλωση και επανατοποθέτησή τους
- Σε περίπτωση φθοράς υπάρχει δυνατότητα τοπικής αντικατάστασης
- Συμβατά με συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης [103]

Εσωτερικά δάπεδα με κεραμικά πλακίδια

Τα κεραμικά πλακίδια, χρησιμοποιούνται ευρέως, κυρίως εξαιτίας της εύκολης τοποθέτησής τους και για λόγους οικονομίας, αφού η τιμή πώλησής τους είναι πολύ χαμηλή σε σχέση με αυτή του μαρμάρου. Είναι ανθεκτικά σε όλες τις καιρικές συνθήκες και χρησιμοποιούνται γενικά στην

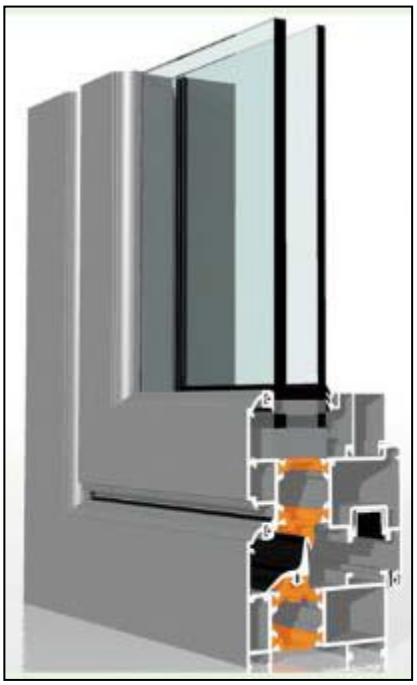
πλακόστρωση δαπέδων εσωτερικών χώρων, στην πλακόστρωση πεζοδρομίων, στην επένδυση μπάνιων, κουζινών αλλά και τοίχων ως διακοσμητικά. Ανάλογα με τη χρήση που προορίζονται έχουν διαφορετικό πάχος και αντοχή. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται σήμερα για την παρασκευή τους, είναι ο πηλός που ψήνεται σε υψηλές θερμοκρασίες και η υγρή άργιλος, ενώ ο χρωματισμός τους και η παραγωγή τους γίνεται με μηχανικό τρόπο. [95]

Κουφώματα

Τα εξωτερικά κουφώματα της κατοικίας είναι κουφώματα αλουμινίου με θερμοδιακοπή, με δίδυμους υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής, ενώ τα εσωτερικά κουφώματα, καθώς και οι κεντρικές θύρες εισόδου αποτελούνται από ξύλο. Τα διαφανή στοιχεία του κελύφους, είτε παράθυρα είτε πόρτες είναι ανοιγόμενα και προστατεύονται με εξωτερικά πατζούρια. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά των ανοιγμάτων.

Κουφώματα αλουμινίου με θερμοδιακοπή

Η θερμοδιακοπή, είναι η παρεμβολή μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού προφίλ αλουμινίου με τον τοίχο, ενός υλικού, το οποίο είναι κακός αγωγός της θερμότητας. Το υλικό αυτό πρακτικά διακόπτει τη μετάδοση της εξωτερικής θερμοκρασίας στο εσωτερικό των κουφωμάτων και στη συνέχεια στον εσωτερικό χώρο, λόγω του ότι αποτελεί κακό αγωγό της θερμότητας. Τα θερμοδιακοπτόμενα κουφώματα αλουμινίου, μειώνουν την απώλεια θερμότητας σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό απ' ότι τα απλά κουφώματα αλουμινίου. Τα οφέλη των κουφωμάτων με συστήματα θερμοδιακοπής, είναι πολύ σημαντικά, τόσο σε πρακτικό, όσο και θεωρητικό επίπεδο:



Εικόνα 33. Κούφωμα με θερμοδιακοπή. [106]

- Συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση των θερμομονωτικών ιδιοτήτων του κουφώματος.
- Βοηθά στην καλύτερη απόδοση ηχομονωτικών και μηχανικών ιδιοτήτων του προφίλ.
- Αποτρέπουν την υγροποίηση των υδρατμών, που δημιουργεί πράσινους τοίχους, μούχλα κτλ..

- Μειώνει τη μεταφορά θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό και αντίστροφα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα θερμοδιακοπτόμενα συστήματα κουφωμάτων αποτελούν μία πολύ καλή επιλογή για την εξοικονόμηση ενέργειας σε μια κατοικία, όπως και στο υπό μελέτη κτήριο. [81]

Διαφανή στοιχεία

Οι ενεργειακοί υαλοπίνακες ή υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (low-emissivity (Low-e)), έχοντας ειδική επίστρωση στην μια πλευρά της εξωτερικής συνήθως επιφάνειάς τους, λειτουργούν σαν καθρέπτες στο υπέρυθρο και υπεριώδες τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η χαμηλής εκπομπής (low-e) επίστρωση είναι σχεδιασμένη ώστε να αυξάνει την ανάκλαση της προσπίπτουσας και απορροφούμενης από το γυαλί θερμότητας, προς την πλευρά της πηγής της θερμότητας. Αυτό σημαίνει ότι, αντίθετα με τους κοινούς λευκούς ή έγχρωμους απορροφητικούς υαλοπίνακες, οι επιστρωμένοι low-e υαλοπίνακες απορροφούν, άρα και επανεκπέμπουν προς την ψυχρότερη πλευρά, πολύ μικρότερα ποσοστά ενέργειας, συμβάλλοντας στην διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου τον χειμώνα και την απώθηση της ζέστης προς τα έξω το καλοκαίρι, βελτιώνοντας την θερμική άνεση. Η ικανότητα εκπομπής επιδρά μόνο στη μεγάλου μήκους υπέρυθρη ακτινοβολία, ενώ δεν έχει ουσιαστικά επίπτωση στον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας. [94] Η χρήση των υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής, γίνεται κυρίως σε κατοικίες και γραφεία, όπου η δαπάνη κλιματισμού και θέρμανσης παίζει σημαντικό ρόλο και η χρήση αυτού του τύπου υαλοπίνακα μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση στο κόστος κλιματισμού και θέρμανσης. [99]

Εικόνα 34. Υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (low-e). [106]

Θερμομόνωση κελύφους

Ο όρος θερμομόνωση περιλαμβάνει όλα τα κατασκευαστικά μέτρα που λαμβάνονται ώστε να μμειωθεί η ταχύτητα μετάδοσης της θερμότητας, μέσα από διαχωριστικά πετάσματα, τα οποία χωρίζουν χώρους με διαφορετικές θερμοκρασίες. Η χρησιμότητα της θερμομόνωσης συνίσταται

στην αντιμετώπιση θεμάτων υγιεινής και ποιότητας των κατασκευών. Η ικανοποιητική θερμομόνωση εξασφαλίζει άνετη, ευχάριστη και υγιεινή διαβίωση στους ενοίκους, μειώνει το κόστος για την κατασκευή της εγκατάστασης θέρμανσης, καθώς και τη δαπάνη λειτουργίας της, αφού ελαττώνονται οι απαιτήσεις για κατανάλωση ενέργειας. Με τη σωστή θερμομόνωση αποφεύγονται διάφορες βλάβες, όπως για παράδειγμα στους σωλήνες νερού από τον παγετό, αλλά και οι δυσάρεστες συνέπειες από τη συμπύκνωση υδρατμών στους εξωτερικούς τοίχους του κτηρίου, που προκαλεί σημαντικά προβλήματα υγρασίας. Επίσης, επιτυγχάνεται μείωση των παραγόμενων καυσαερίων (από τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας) και κατ' επέκταση περιορίζεται η ρύπανση του περιβάλλοντος. [90]

Η εξωτερική τοιχοποιία, είτε αφορά σε στοιχεία του φέροντος οργανισμού, είτε σε στοιχεία πληρώσεως του εξωτερικού κελύφους, πρέπει να είναι θερμομονωμένη και να αποφεύγεται κατά το δυνατόν η δημιουργία θερμογεφυρών. Παράλληλα πρέπει να είναι επαρκώς προστατευμένη έναντι της υγρασίας. [52]

Εξωτερική θερμομονωτική προστασία

Στη θερμομονωτική προστασία του κελύφους από την εξωτερική πλευρά του, η θερμομονωτική στρώση βρίσκεται στην εξωτερική όψη του δομικού στοιχείου και επικαλύπτεται για λόγους προστασίας από τα καιρικά φαινόμενα, με μία επιπλέον στρώση που μπορεί να είναι επίχρισμα, τσιμεντοσανίδα, ελαφρό πέτασμα, μεταλλικό φύλλο, μαρμαρίνη ή άλλου τύπου φυσική ή τεχνητή πλάκα. [52]

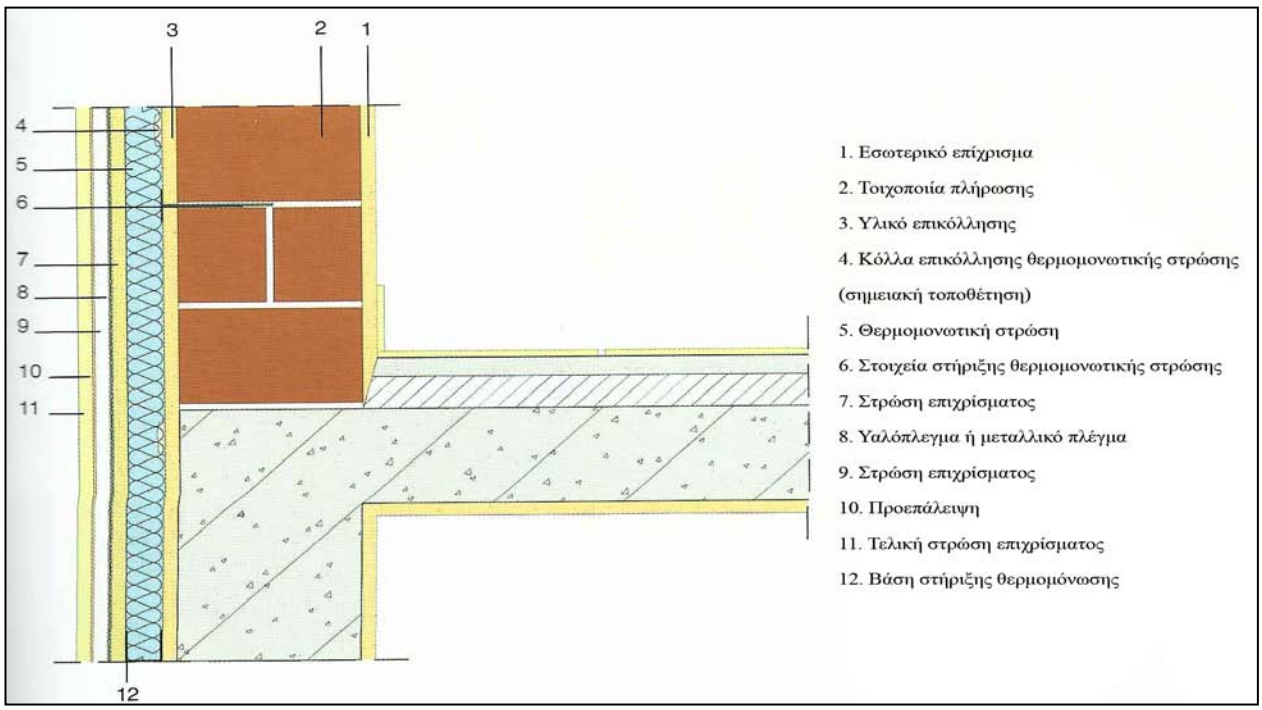
Βασικά χαρακτηριστικά και λειτουργία

Βασικό χαρακτηριστικό της κατασκευής αποτελεί το γεγονός ότι η θερμομονωτική στρώση προστατεύει το σύνολο του δομικού στοιχείου, από τις καταπονήσεις που αυτό δέχεται από την επίδραση των κλιματικών συνθηκών, όπως θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, επίδραση της βροχής, επίδραση

Εικόνα 35. Τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης. Πηγή: [106]

του ανέμου κλπ. Η θερμομονωτική στρώση επικαλύπτει όλους τους διαφορετικούς τύπους των κατακόρυφων δομικών στοιχείων του κτίσματος (στοιχεία του φέροντος οργανισμού και στοιχεία πλήρωσης), δημιουργώντας μια ενιαία θερμοπροστατευτική επιφάνεια. [52]

Παράλληλα όμως με την προσφερόμενη θερμική προστασία, αξιοποιείται με αυτό τον τρόπο πλήρως και η θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων. Αξιοποιείται δηλαδή η ικανότητά τους να συσσωρεύουν στη μάζα τους, ποσότητα θερμότητας που απορροφούν από τον εσωτερικό χώρο, όταν αυτός θερμαίνεται και να την επαναποδίδουν, όταν διακόπτεται η λειτουργία των θερμαντικών σωμάτων που λειτουργούν σε αυτόν. Επιτυγχάνεται κατά αυτόν τον τρόπο, μια ήπια μετάβαση από τις υψηλές στις χαμηλές θερμοκρασίες και αντιστρόφως. Το μέγεθος της θερμοσυσσωρευμένης ποσότητας εξαρτάται από τη θερμομονωτική προστασία που προσφέρει το θερμομονωτικό υλικό (δηλαδή από την τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του υλικού) και από τη μάζα του δομικού στοιχείου. Σε μια τέτοια κατασκευή, περιορίζονται στο ελάχιστο οι θερμογέφυρες, καθώς η θερμομονωτική στρώση είναι συνεχής και δε διακόπτεται στις θέσεις του φέροντος οργανισμού και της τοιχοποιίας πλήρωσης. Επιπλέον, περιορίζεται στο ελάχιστο και σχεδόν μηδενίζεται για τα ελληνικά κλιματικά δεδομένα, η πιθανότητα δημιουργίας συμπύκνωσης στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων, λόγω διάχυσης των υδρατμών από το εσωτερικό προς τον εξωτερικό χώρο, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, καθώς η θερμοκρασία του δομικού στοιχείου διατηρείται σε υψηλά επίπεδα και δεν παρακολουθεί την πτώση της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα. [52] Στο διάγραμμα 38 φαίνονται τα τμήματα της εξωτερικής θερμομόνωσης.



Διάγραμμα 38. Λεπτομέρεια εξωτερικής θερμομόνωσης. Πηγή: [52]

Συγκεντρωτικά, τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι:

- Αποφυγή δημιουργίας θερμογεφυρών στα δοκάρια, στις κολώνες, στα σενάζ και στα δάπεδα, στα σημεία δηλαδή όπου ο τοίχος πλήρωσης (οπτοπλινθοδομή) συναντά τα στοιχεία αυτά.
- Προστασία των τοίχων από υγρασία, καθώς χρησιμοποιούνται στεγανά επιχρίσματα, τα οποία εκτός από την συντηρητική προστασία που προσφέρουν στο κτήριο, μειώνουν και τις ανάγκες θέρμανσης ή κλιματισμού του (θερμοσοβάς).
- Δε δημιουργούν επιφάνειες με θερμοχωρητικότητα στην εξωτερική πλευρά των τοίχων, που θα συσσώρευαν θερμότητα και θα την επανακτινοβολούσαν στο περιβάλλον, εντείνοντας το φαινόμενο των θερμικών νησίδων στην πόλη. Αντιθέτως εκμεταλλεύονται τη θερμοχωρητικότητα των τοίχων μόνο για το εσωτερικό του κτηρίου, συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας.
- Μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση και κλιματισμό και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου
- Αυξάνουν το εμβαδόν των λειτουργικών χώρων, αφού απαιτούν μονή τοιχοποιία και όχι διπλή όπως μια συμβατική κατασκευή.
- Αυξάνει το χρόνο ζωής του κτηρίου, καθώς το προστατεύει από διάβρωση και παγοπληξίες. Το σύστημα αυτό σπάνια παρουσιάζει ρηγματώσεις.
- Η ποιότητα κατασκευής του συστήματος χαρακτηρίζεται ως πολύ υψηλή, καθώς χρησιμοποιούνται ειδικά πρόσθετα τεμάχια για την προστασία των γωνιών, νεροσταλάκτες και υαλόπλεγμα για τον οπλισμό σ' όλη την επιφάνεια εφαρμογής του επιχρίσματος [62]
- Παρατηρείται απόσβεση της επένδυσης 3-7 χρόνια. [79]

Θερμομονωτικό υλικό

Για τη θερμομονωτική προστασία του κτηρίου, στο σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης, στο δώμα, αλλά και στο δάπεδο, θα χρησιμοποιηθούν πλάκες πολυουρεθάνης. Η πολυουρεθάνη ανήκει στην κατηγορία των σκληρών αφρώδων μονωτικών υλικών, κλειστής κυψελωτής δομής. Παράγεται από την ανάμειξη διισοκυανικού και πολυόλης και υπάγεται στην κατηγορία των πλαστικών θερμομονωτικών υλικών. Κατά την επεξεργασία της, δημιουργούνται κλειστές

κυψέλες, εντός των οποίων παγιδεύεται αέριο που χρησιμοποιείται ως διογκωτικό μέσο. Στο εμπόριο διατίθεται σε διάφορες μορφές:

- σε σκληρές πλάκες
- σε αφρό σε φιάλες για ατομική χρήση ή σε κυλινδρικά κιβώτια για γενικό ψεκασμό
- σε μορφοποιημένα κογχύλια
- σε μορφή πετασμάτων τύπου σάντουιτς, με εκατέρωθεν επικαλύψεις μεταλλικών φύλλων
- σε πλάκες με επικάλυψη λεπτού φύλλου αλουμινίου, επίπεδης ή τραπεζοειδούς μορφής [52]

Ιδιότητες θερμομονωτικού υλικού

Η πολυουρεθάνη έχει κίτρινο χρώμα, σε αποχρώσεις από το λευκό έως το πορτοκαλί. Στην τελική της μορφή η μάζα της καταλαμβάνει περίπου το 3% του όγκου της και το υπόλοιπο αποτελεί ο εγκλωβισμένος αέρας στους κλειστούς πόρους. Η πυκνότητά της κυμαίνεται μεταξύ 30 και 80 kg/m³. Δε σαπίζει και δε σχηματίζει μούχλα και μικροοργανισμούς. Αντίθετα, προσβάλλεται από ορισμένα έντομα και από τρωκτικά. Ειδικά, προσβάλλεται από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία, αν μείνει εκτεθειμένη σε αυτή για μεγάλο χρονικό διάστημα. [52]

Η πολυουρεθάνη παρουσιάζει αυξημένες αντοχές στις μηχανικές καταπονήσεις. Επίσης παρουσιάζει πολύ καλές τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Ενδεικτικά οι τιμές του κυμαίνονται από 0,023 έως 0,030 W/(mK), που είναι από τις χαμηλότερες για τα διάφορα θερμομονωτικά υλικά. Επίσης δεν επηρεάζεται από τη βροχή, το χιόνι ή τον παγετό. Είναι αδιάβροχο υλικό, λόγω της κλειστής δομής των κυψελίδων και η θεωρητικά απορροφούμενη υγρασία είναι μηδαμινή. [52]

Εικόνα 36. Πλάκες πολυουρεθάνης. Πηγή: [78]

Χρήσεις πολυουρεθάνης

Τόσο ο εκτοξευόμενος αφρός πολυουρεθάνης, όσο και οι σκληρές πλάκες, που θα χρησιμοποιηθούν στην υπό μελέτη κατοικία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη θερμομονωτική προστασία:

- εξωτερικών τοιχοποιιών
- δοκών, τοιχίων και υποστυλωμάτων, με τοποθέτηση είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά
- δαπέδων σε ευπρόσβλητες από την υγρασία κατασκευές
- δωμάτων συμβατικού ή ανεστραμμένου τύπου
- ψευδοροφών
- δεξαμενών αποθήκευσης ρευστών [52]

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά της είναι:

- Ιδιαίτερα χαμηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- Μικρή υδροαπορρόφηση και ικανοποιητικός συντελεστής διάχυσης υδρατμών
- Σταθερότητα διαστάσεων
- Αντοχή στη γήρανση και τη σήψη
- Αυξημένη αντοχή σε μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις
- Καλές χημικές αντοχές
- Ευκολία στην μεταφορά και την τοποθέτηση
- Αυτοσβενόμενο υλικό [57]

Θερμομόνωση δώματος

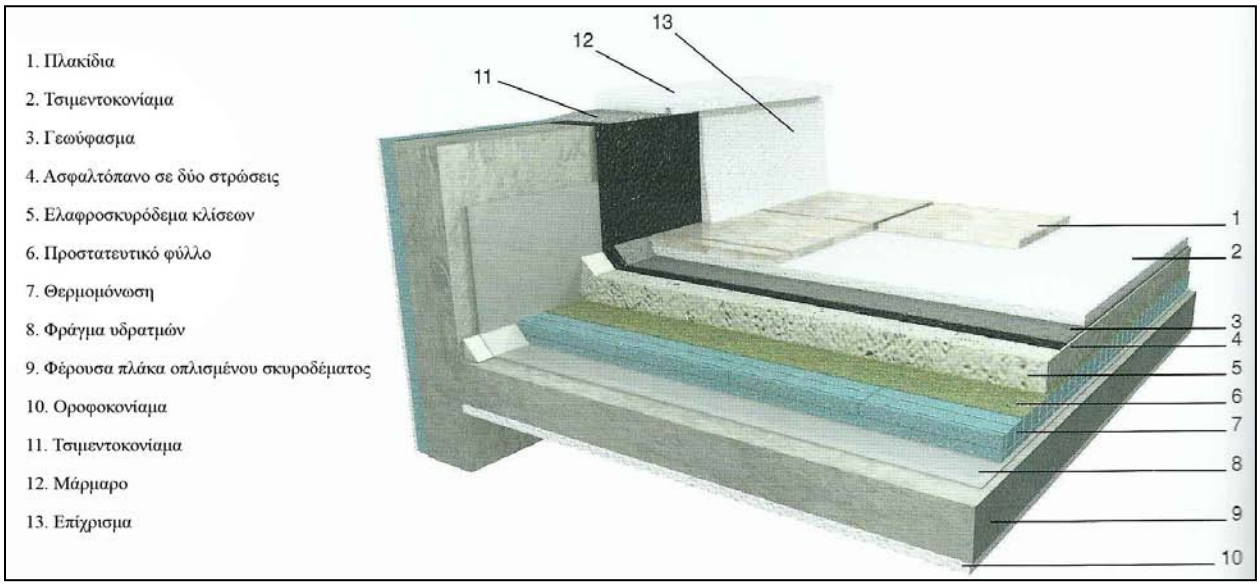
Στα σημερινά κτήρια, όπως και στην παρούσα εργασία, ο φέρων οργανισμός των δωμάτων είναι κατασκευασμένος ως επί το πλείστον από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η πλάκα του οπλισμένου σκυροδέματος αποτελεί την υποδομή, επάνω στην οποία αναπτύσσονται οι υπόλοιπες στρώσεις του δώματος. [52]

Συμβατικό δώμα

Αποτελεί τον πλέον συνήθη τύπο δώματος στην Ελλάδα. Πρόκειται για μονοκέλυφη κατασκευή, βασικό χαρακτηριστικό στοιχείο της οποίας αποτελεί το γεγονός ότι η στεγανοποιητική στρώση,

βρίσκεται σε υπερκείμενη θέση της θερμομονωτικής, προσφέροντας προστασία έναντι των νερών της βροχής, στο σύνολο των στρώσεων του δομικού στοιχείου. Η σειρά των κατασκευαστικών στρώσεων σε ένα συμβατικό δώμα αναφέρεται παρακάτω (διάγραμμα 39):

- οροφοκονίαμα (εσωτερικό)
- φέρουσα πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος
- φράγμα υδρατμών
- θερμομονωτική στρώση
- προστατευτικό φύλλο πολυαιθυλενίου
- στρώση κλίσεων
- στεγανοποιητική στρώση
- προστατευτικό φύλλο της στεγανοποιητικής στρώσης
- στρώση τελικής επικάλυψης (εξωτερικό) [52]



Διάγραμμα 39. Σειρά στρώσεων σε ένα βατό δώμα συμβατικού τύπου. Πηγή: [52]

Θερμομονωτική στρώση δώματος

Για τη θερμομονωτική προστασία του συμβατικού δώματος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα θερμομονωτικά υλικά, αρκεί το υλικό που θα επιλεγεί να μπορεί να παραλάβει το βάρος των υπερκείμενων στρώσεων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, θα χρησιμοποιηθεί το ίδιο θερμομονωτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε και στα κάθετα φέροντα στοιχεία, δηλαδή πλάκες

πολυουρεθάνης, αφού το υλικό αυτό ικανοποιεί τις ανάγκες ενός βατού δώματος, στο οποίο θα τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά πλαίσια. [52]

Τελική επικάλυψη δώματος

Όταν το συμβατικό δώμα είναι διαμορφωμένο ως βατό, μπορεί να επικαλυφθεί με κεραμικά πλακίδια, όπως θα γίνει και στα πλαίσια της εργασίας, που θα επικολληθούν με ισχυρό τσιμεντοκονίαμα. [52]

Εξωτερική επικάλυψη κάθετων στοιχείων - Επίχρισμα

Στην υπό μελέτη κατοικία, για τη βελτίωση των θερμικών χαρακτηριστικών των κάθετων, δομικών στοιχείων, θα χρησιμοποιηθεί θερμοσοβάς, για την επικάλυψή τους. Ο θερμοσοβάς είναι σοβάς με βάση τον περλίτη, το τσιμέντο και τον ασβέστη και είναι ενισχυμένος με πολυμερικές ρητίνες και συνθετικές ίνες. Τα διάφορα χημικά πρόσμεικτα και ο περλίτης συνδυάζονται και βοηθούν στην αύξηση της θερμομονωτικής ικανότητας του σοβά και βελτιώνουν την ηχομόνωση. [93]

6.6. Συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού και ζεστού νερού χρήσης

Βασικός στόχος των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού σε μία κατοικία αποτελεί η επίτευξη συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό του κτηρίου. Παρ' όλα αυτά, η αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού τους, εντοπίζεται την τελευταία δεκαετία κυρίως, στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσής τους και στην ικανότητά τους να μειώσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμά τους. [53]

Επιλογή συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού

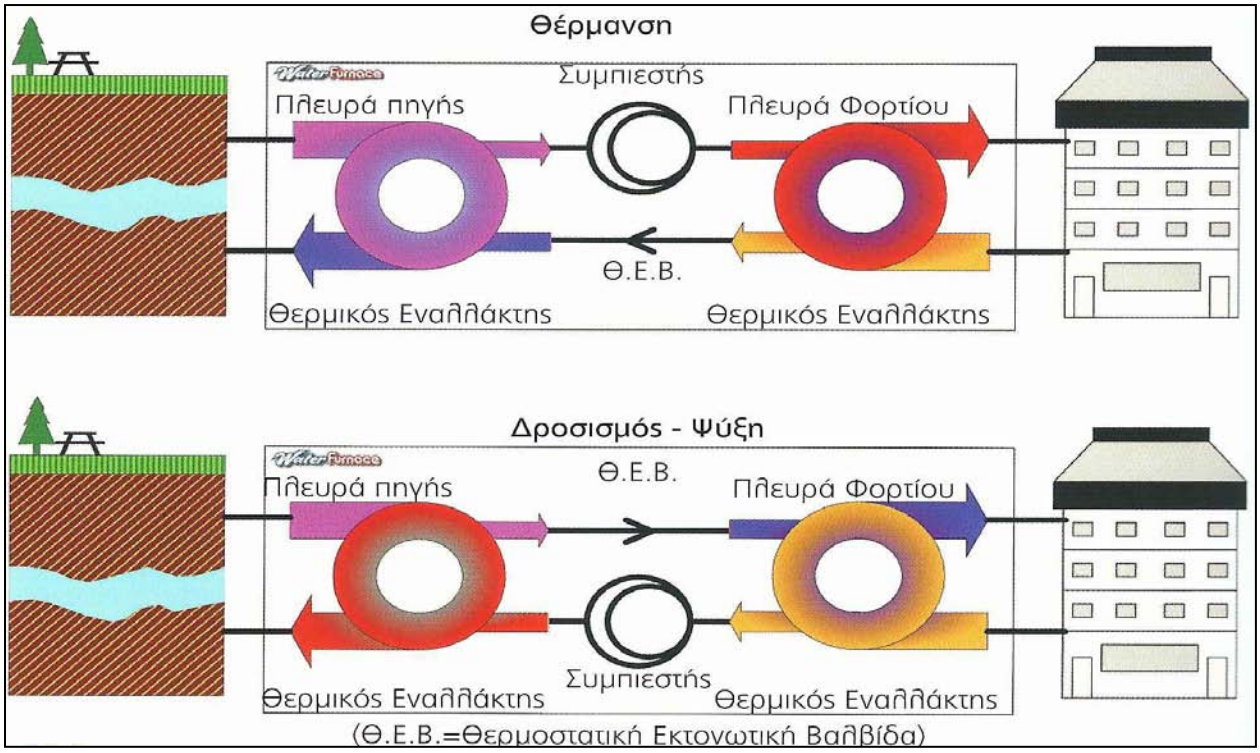
Η επιλογή του συστήματος θέρμανσης είναι ίσως μία από τις πιο σημαντικές αποφάσεις κατά το σχεδιασμό ενός κτηρίου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η χρήση του κτηρίου αφορά μία μονοκατοικία, γεγονός που οδηγεί στην επιλογή ενός συστήματος, το οποίο θα λειτουργεί ταυτόχρονα σε όλο το χώρο του κτηρίου. Με άλλα λόγια, όταν υπάρχει ανάγκη θέρμανσης για την επίτευξη των κατάλληλων εσωτερικών θερμοκρασιών, θα θερμαίνεται ολόκληρος ο όγκος του κτηρίου. Με αυτό τον τρόπο γίνεται καλύτερη διαχείριση και εκμετάλλευση της εσωτερικής θερμοχωρητικότητας του κτηρίου, αλλά και μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, αφού η διακοπτόμενη λειτουργία ενός συστήματος, καταναλώνει μεγαλύτερα ποσά ενέργειας. Για τη

θέρμανση της κατοικίας στα πλαίσια της εργασίας, θα χρησιμοποιηθεί σύστημα γεωθερμίας, το οποίο περιγράφεται παρακάτω. [53]

Γεωθερμική αντλία θερμότητας

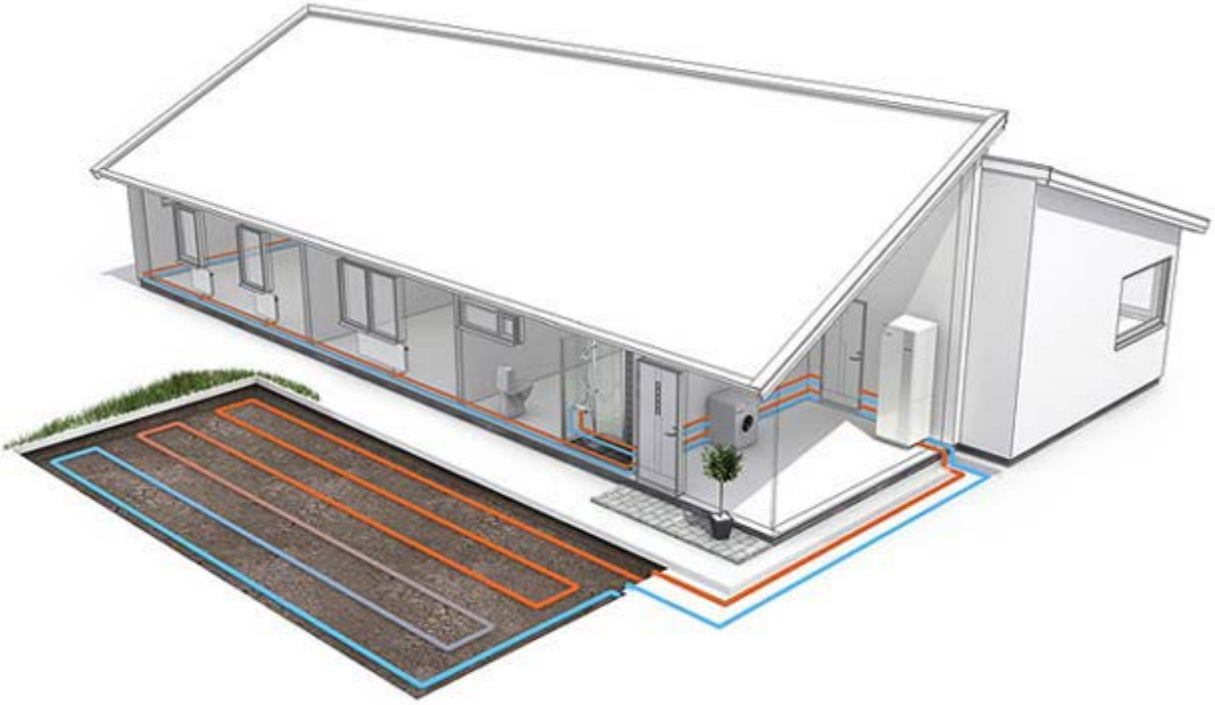
Γενικότερα, η αντλία θερμότητας είναι μία συσκευή, η οποία έχει την ικανότητα να αντλεί θερμότητα από μία πηγή χαμηλής θερμοκρασίας και να τη μεταφέρει σε έναν αποδέκτη υψηλότερης θερμοκρασίας. Συνήθως οι αντλίες θερμότητας, είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να αντιστρέψουν τη λειτουργία τους, επιτρέποντας παράλληλα και τη θέρμανση και το κλιματισμό ενός χώρου. Οι αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν το έδαφος ή τα υπόγεια ύδατα ως θερμική πηγή, εκτελώντας την παρακάτω διεργασία. Η ενέργεια μεταφέρεται από το ψυχρό μέσον, στο ψυκτικό που βρίσκεται μέσα στον εναλλάκτη θερμότητας, με αποτέλεσμα το ψυκτικό υγρό να εξαερώνεται. Στη συνέχεια μεταφέρεται στο κύκλωμα από τον συμπιεστή, ώστε να ανέβει η πίεση και η θερμοκρασία του ψυκτικού. Στο συμπιεστή (θερμικό εναλλάκτη) το ψυκτικό μέσο, ψύχεται και συμπυκνώνεται. Έπειτα η ενέργεια μεταφέρεται από το ψυκτικό, στο σύστημα θέρμανσης του κτηρίου ή στο σύστημα ζεστού νερού. Για τη λειτουργία τους, απαιτείται η ύπαρξη των παρακάτω συσκευών, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω (διάγραμμα 40):

- Εξατμιστής: Αποτελεί έναν εναλλάκτη θερμότητας που βρίσκεται στο χώρο που θέλουμε να ψύξουμε ή στο μέσο από το οποίο θέλουμε να αντλήσουμε θερμότητα. Μέσα στον εξατμιστή βρίσκεται ψυκτικό ρευστό σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία, το οποίο απορροφά θερμοκρασία και εξατμίζεται.
- Συμπιεστής: Είναι συσκευή που αναρροφά τους ατμούς του ψυκτικού ρευστού από την έξοδο του εξατμιστή και αυξάνει την πίεση και τη θερμοκρασία τους. Ο συμπιεστής καταναλώνει μηχανικό έργο, που συνήθως προέρχεται από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Συμπυκνωτής: Είναι εναλλάκτης θερμότητας που βρίσκεται στο χώρο που θέλουμε να θερμάνουμε ή στο μέσο στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα. Μέσα στο συμπυκνωτή, οι θερμοί ατμοί του ψυκτικού ρευστού αρχικά ψύχονται μέχρι μια ορισμένη θερμοκρασία και κατόπιν συμπυκνώνονται αποβάλλοντας θερμότητα.
- Εκτονωτική βαλβίδα: Συσκευή που μειώνει την υψηλή πίεση που επικρατεί στο συμπυκνωτή μέχρι τη χαμηλή πίεση που επικρατεί στον εξατμιστή. [53]



Διάγραμμα 40. Λειτουργία γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Πηγή: [14]

Για τη θέρμανση της κατοικίας θα χρησιμοποιηθεί μία γεωθερμική αντλία θερμότητας (διάγραμμα 41). Συγκεκριμένα, θα είναι μία αντλία θερμότητας εδάφους-νερού, η οποία χρησιμοποιεί την αποθηκευμένη ενέργεια στο έδαφος για θέρμανση τη χειμερινή περίοδο και κλιματισμό τη θερινή. Για να επιτευχθεί αυτό, κατασκευάζεται στο έδαφος ένα κλειστό δίκτυο πλαστικών σωληνώσεων (γεωεναλλάκτης) μέσα στο οποίο κυκλοφορεί νερό. Με τη βοήθεια του γεωεναλλάκτη, ο εξατμιστής/συμπυκνωτής του πρωτεύοντος κυκλώματος της αντλίας θερμότητας, απορροφά ή απορρίπτει θερμότητα στο έδαφος. Το πρωτεύον κύκλωμα τροφοδοτείται με νερό, που περνά από το έδαφος, ενώ το δευτερεύον σύστημα συνδέεται με τοπικές μονάδες ανεμιστήρα (fan-coil units). [53]



Διάγραμμα 41. Γεωθερμική αντλία θερμότητας οριζόντιου εναλλάκτη. Πηγή: [91]

Βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας

Η απόδοση ενός συστήματος γεωθερμίας, χαρακτηρίζεται από δύο κυρίως δείκτες, που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την απόδοση μιας αντλίας θερμότητας. Συγκεκριμένα, οι δείκτες αυτοί είναι ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης COP (coefficient of performance) για τη θέρμανση και ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης EER (energy efficiency ratio) για το κλιματισμό. Οι δείκτες αυτοί, αφορούν το λόγο της ωφέλιμης ισχύος (W) προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύ (W). Οι τιμές τους συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 3 και 5 για αντλίες θερμότητας με πηγή το νερό ή το έδαφος. Στην περίπτωση της κατοικίας που εξετάζεται, θα χρησιμοποιηθούν γεωθερμικές αντλίες θερμότητας με βαθμούς απόδοσης COP=5 και EER=5, σύμφωνα με χαρακτηριστικά αντλιών θερμότητας που κυκλοφορούν στο εμπόριο. [53] [87]

Δίκτυο διανομής

Τα δίκτυα διανομής αποτελούν υποσύστημα των κεντρικών συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού. Αποτελούνται από κοίλα στοιχεία αγωγών, μέσα στα οποία ρέουν οι φορείς μετάδοσης της θερμότητας (στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο φορέας αυτός είναι νερό). Στα πλαίσια της εργασίας, θα χρησιμοποιηθεί ένα δισωλήνιο σύστημα διανομής. Στο σύστημα αυτό κάθε τερματική μονάδα τροφοδοτείται με νερό από το σωλήνα προσαγωγής θερμού ή ψυχρού μέσου και απορρίπτει νερό στο σωλήνα επιστροφής. [53]

Τερματικές μονάδες

Οι τερματικές μονάδες είναι τα στοιχεία εκείνα των εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού, τα οποία αποδίδουν την εκπεμπόμενη θερμική ή ψυκτική ενέργεια στους χώρους ενός κτηρίου. Στόχος τους είναι η επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών θερμοκρασιακής άνεσης, μέσω της κάλυψης των θερμικών ή ψυκτικών φορτίων. [53]

Για τη θέρμανση της κατοικίας μελέτης, θα χρησιμοποιηθεί ένα ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης. Συγκεκριμένα, το σύστημα αυτό θερμαίνει το χώρο μέσω της ακτινοβολίας, χρησιμοποιώντας ως θερμαντικό σώμα το δάπεδο του θερμαινόμενου χώρου. Η θέρμανση του δαπέδου επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση σε αυτό σωλήνων χαλκού, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί θερμό νερό χαμηλής θερμοκρασίας, έως 60°C. Το δίκτυο σωληνώσεων διατάσσεται σε σπειροειδή κυκλώματα. Για το κλιματισμό της κατοικίας θα χρησιμοποιηθεί το ενδοδαπέδιο σύστημα της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Συγκεκριμένα με το σύστημα αυτό, θα παρέχεται κλιματισμός στους κύριους χώρους της κατοικίας (κουζίνα, καθιστικό, τραπεζαρία). Παράλληλα με το σύστημα αυτό θα χρησιμοποιηθούν αερόψυκτες αντλίες θερμότητας στα υπνοδωμάτια και στο χώρο του γραφείου, με βαθμό απόδοσης EER=4. [53]

Αποτίμηση χρήσης γεωθερμίας για θέρμανση και κλιματισμό

Μία ηλεκτρική γεωθερμική αντλία θερμότητας, όπως αυτή που θα χρησιμοποιηθεί και στο κτήριο της μελέτης, καταναλώνει ετησίως ηλεκτρική ενέργεια κόστους ίσου περίπου με το 50-60% του κόστους πετρελαίου ενός συμβατικού λέβητα. Αντίθετα το κόστος εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος είναι περίπου τετραπλάσιο ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης. Γενικά θα μπορούσε να παρατηρηθεί, ότι η απόσβεση του αρχικού κόστους εγκατάστασης γίνεται περίπου σε διάστημα 4 με 5 ετών. [53]

Σύστημα ζεστού νερού χρήσης

Η κατοικία της μελέτης, θα καλύπτει τις ανάγκες της σε ζεστό νερό χρήσης, με παράλληλη εκμετάλλευση ενός ηλεκτρικού θερμοσίφωνα και ενός ηλιακού συλλέκτη (διάγραμμα 42). Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων, οι απαιτήσεις σε ζεστό νερό μιας κατοικίας, υπολογίζονται με βάση των αριθμό των υπνοδωματίων και των κλινών και είναι 27,38 m^3/υπν./έτος (ανά κλίνη). Εξαιτίας της περιοδικής χρήσης του ξενώνα, ο οποίος θεωρείται ότι λειτουργεί για τρεις μήνες το χρόνο, η κατανάλωση ΖΝΧ του χώρου αυτού είναι μειωμένη σε σχέση με το υπόλοιπο κτήριο. Εξαιτίας αυτού, η συνολική κατανάλωση ΖΝΧ είναι 123,21

m³/έτος. Ένα ποσοστό του ποσού αυτού θα καλύπτεται από τον ηλιακό συλλέκτη και το υπόλοιπο από τον ηλεκτρικό θερμοσίφωνα. Αρχικός στόχος είναι να καλύπτεται ποσοστό μεγαλύτερο του 60% από τον ηλιακό συλλέκτη. Συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιηθεί επίπεδος ηλιακός συλλέκτης, με μέσο ετήσιο συντελεστή ηλιακής αξιοποίησης 0,354, νότιο προσανατολισμό, εμβαδό 5m² και κλίση 45°. Η κλίση 45° χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, μεγιστοποιώντας με αυτό τον τρόπο τη συμβολή του ηλιακού συλλέκτη στο ποσοστό του ζεστού νερού χρήσης. Επίσης, ο συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας, δίνεται από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων. [53]

Διάγραμμα 42. Οικιακή εγκατάσταση ζεστού νερού χρήσης. Πηγή: [59]

6.7. Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό και ζεστό νερό χρήσης

Λογισμικό ενεργειακής αποτίμησης

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής και με σκοπό την ενεργειακή αποτίμηση της κατοικίας που μελετάται, έγινε χρήση του λογισμικού που έχει αναπτυχθεί για τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων. Συγκεκριμένα, το λογισμικό ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ αναπτύχθηκε από την Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας, του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) στο πλαίσιο του προγράμματος συνεργασίας με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ). Το λογισμικό αυτό εφαρμόζει τους απαραίτητους αλγόριθμους για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων στην Ελλάδα, βασιζόμενο στην μεθοδολογία Ευρωπαϊκών προτύπων (ΕΛΟΤ EN ISO

13790, κ.α.) καθώς και στα σχετικά εθνικά πρότυπα και στις αντίστοιχες τεχνικές οδηγίες του ΤΕΕ. Στο λογισμικό εισάγονται δεδομένα σχετικά με τα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους (θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών στοιχείων, σκιάσεις κ.α.), καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των απαραίτητων ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης / ενεργειακής κατάταξης του κτηρίου. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των υπολογισμών, εκτυπώνονται σε αντίστοιχες αναφορές του λογισμικού. Σύμφωνα με το άρθρο 5 του ΚΕΝΑΚ, για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατάταξης των κτηρίων εφαρμόζεται η μέθοδος ημισταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος, του Ευρωπαϊκού Προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 13790 και των υπολοίπων σχετικών προτύπων. [109] Συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης που προέρχεται από τα συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού και ζεστού νερού χρήσης, εισήχθησαν στο πρόγραμμα ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ, τα δεδομένα που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους και παρακάτω παρουσιάζονται σε πίνακες και διαγράμματα τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των στοιχείων αυτών από το λογισμικό.

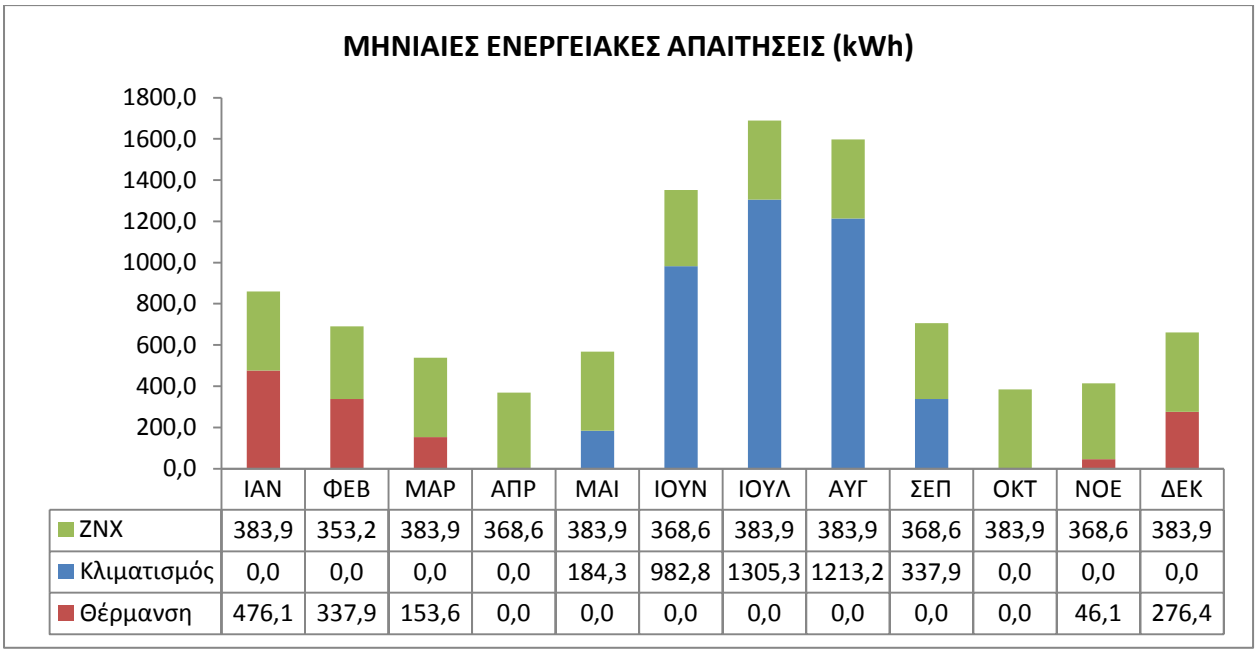
Αποτελέσματα και ενεργειακή αποτίμηση

Η αρχιτεκτονική και οικοδομική ανάλυση που προηγήθηκε και η ακόλουθη αποτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς της κατοικίας, έχει ως στόχο τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου. Η αποτίμηση αυτή έγινε με βάση την ένταξη βιοκλιματικών, παθητικών μέσων στον κτηριακό όγκο, την ισχυρή θερμομονωτική προστασία του κελύφους, καθώς και την υψηλή απόδοση των συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού και παροχής ζεστού νερού χρήσης. Τα στοιχεία αυτά, έχουν αφ' ενός πρωταρχικό στόχο, τη μείωση την ενεργειακής ζήτησης, για τις ανάγκες λειτουργίας του κτηρίου, κατά τη διάρκεια ενός τυπικού έτους. Αφ' ετέρου, ιδιαίτερα η επιλογή συστημάτων με υψηλούς δείκτες απόδοσης, αποσκοπεί στην όσο το δυνατόν μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων.

Ενεργειακές απαιτήσεις

Παρακάτω, παρουσιάζονται σε διαγράμματα και πίνακες, τα ποσά ενέργειας, θέρμανσης και κλιματισμού για χειμώνα και καλοκαίρι αντίστοιχα, καθώς και για παροχή ζεστού νερού χρήσης, που απαιτούνται, έτσι ώστε να θεωρείται ότι στο εσωτερικό των κατοικιών διαμορφώνεται άνετο εσώκλιμα. Στο διάγραμμα 43 απεικονίζονται τα απαιτούμενα ποσά ενέργειας, προκειμένου όλοι οι χώροι των κατοικιών να διατηρούν κατά τη χειμερινή περίοδο εσωτερική θερμοκρασία αέρα

τουλάχιστον ίση με 20°C. Αντιστοίχως με όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο που περιγράφεται το σύστημα κλιματισμού της κατοικίας, στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται και οι ενεργειακές απαιτήσεις για κλιματισμό κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου. Συγκεκριμένα, απεικονίζονται τα απαιτούμενα ποσά ενέργειας, προκειμένου όλοι οι χώροι των κατοικιών να διατηρούν κατά τη θερινή περίοδο, εσωτερική θερμοκρασία αέρα τουλάχιστον ίση με 26°C. Οι θερμοκρασιακές αυτές τιμές, καθορίζονται από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων και είναι κοινές για όλα τα κτήρια που έχουν λειτουργία κατοικίας. Επίσης στα διαγράμματα αυτά, παρουσιάζονται και οι ενεργειακές απαιτήσεις για ζεστό νερό χρήσης της κατοικίας.



	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΖΝΧ	383,9	353,2	383,9	368,6	383,9	368,6	383,9	383,9	368,6	383,9	368,6	383,9
Κλιματισμός	0,0	0,0	0,0	0,0	184,3	982,8	1305,3	1213,2	337,9	0,0	0,0	0,0
Θέρμανση	476,1	337,9	153,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,1	276,4

Διάγραμμα 43. Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις κτηρίου μελέτης για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης.

Από το παραπάνω διάγραμμα 43, παρατηρούμε ότι:

- Οι συνολικές ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση της κατοικίας, φτάνουν τις 1274,60 kWh/έτος. Η μέγιστη τιμή των απαιτήσεων αυτών (476,10 kWh παρουσιάζεται τον Ιανουάριο), γεγονός αναμενόμενο, καθώς ο μήνας αυτός είναι ο πιο ψυχρός. Αντίθετα, οι μικρότερες απαιτήσεις για θέρμανση εμφανίζονται το Νοέμβριο (46,10 kWh), γεγονός που δείχνει την ήπια αλλαγή μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα, με σχετικά υψηλές θερμοκρασίες για την εποχή.

- Οι συνολικές ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για κλιματισμό της κατοικίας, ανέρχονται σε 4038,90 kWh/έτος. Οι μέγιστες τιμές, όπως είναι αναμενόμενο, παρουσιάζονται τους μήνες του καλοκαιριού, δηλαδή Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο (982,80, 1305,30 και

337,90 kWh αντίστοιχα), ενώ αντίθετα απαιτούνται πολύ μικρότερα ποσά ενέργειας για κλιματισμό τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο.

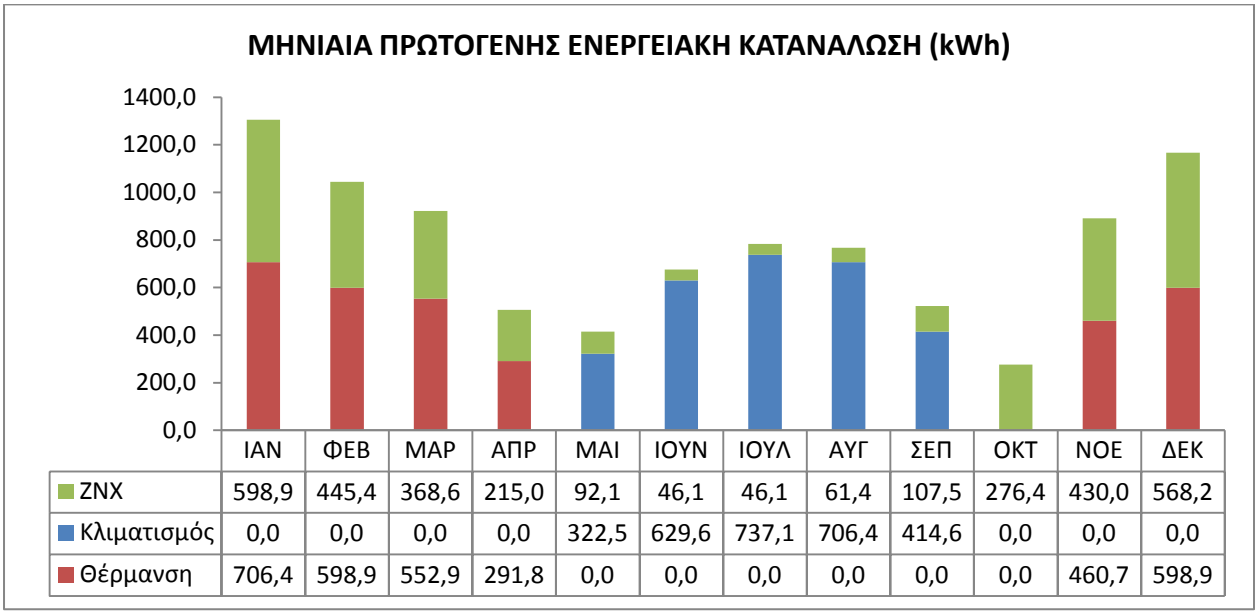
- Η μεγάλη διαφορά στη συνολική απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και για κλιματισμό, οφείλεται στις ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες που παρατηρούνται γενικά στην Ελλάδα. Επίσης, ο χαμηλός βαθμός θερμικής αγωγιμότητας του κελύφους, που οφείλεται στην υψηλή θερμομόνωση, βοηθά ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του χειμώνα για τη διατήρηση στο εσωτερικό του κτηριακού όγκου, των ηλιακών θερμικών κερδών.
- Τους μήνες Απρίλιο και Οκτώβριο, παρουσιάζονται ελάχιστες απαιτήσεις για θέρμανση και κλιματισμό, γεγονός που καταδεικνύει τη δυνατότητα αντιμετώπισης των κλιματικών συνθηκών, κυρίως με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτηριακού κελύφους.
- Οι συνολικές ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για παροχή ζεστού νερού χρήσης είναι της τάξης των 4561,0 kWh/έτος και είναι σταθερές κατά τη διάρκεια του έτους, με τη μόνη διακύμανσή τους, να σχετίζεται με τις διαφορετικές μέρες που έχει ο κάθε μήνας. Παρατηρούμε, ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις για ΖΝΧ, είναι ιδιαίτερα σημαντικές και είναι συγκρίσιμες με εκείνες του κλιματισμού, ενώ είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές για θέρμανση.

Πρωτογενής και τελική ενεργειακή κατανάλωση

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα ποσά ενέργειας, η οποία απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση, κλιματισμό και παροχή ζεστού νερού χρήσης. Η ενεργειακή κατανάλωση, χωρίζεται σε δύο διαφορετικές κατηγορίες, στην πρωτογενή κατανάλωση και στην τελική κατανάλωση. Η πρωτογενής κατανάλωση, αναφέρεται στην κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται στην πηγή, δηλαδή σε πρωτογενές καύσιμο, όπως για παράδειγμα σε ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ, για την παροχή της απαραίτητης ενέργειας στο κτήριο. Αντίστοιχα, η τελική κατανάλωση, αναφέρεται στην ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια στην κατοικία για τις διάφορες χρήσεις. Η τελική ενέργεια, προέρχεται από την πρωτογενή και υπολογίζεται με βάση ένα συντελεστή μετατροπής, διαφορετικό για κάθε είδος καυσίμου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση και για τα δεδομένα της υπό μελέτη κατοικίας, η οποία χρησιμοποιεί μόνο ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της, ο συντελεστής αυτός είναι 2,90, στοιχείο το οποίο ορίζεται για την Ελλάδα, από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων. [48] Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, το λογισμικό υπολογίζει την πρωτογενή ενέργεια με βάση τον τύπο:

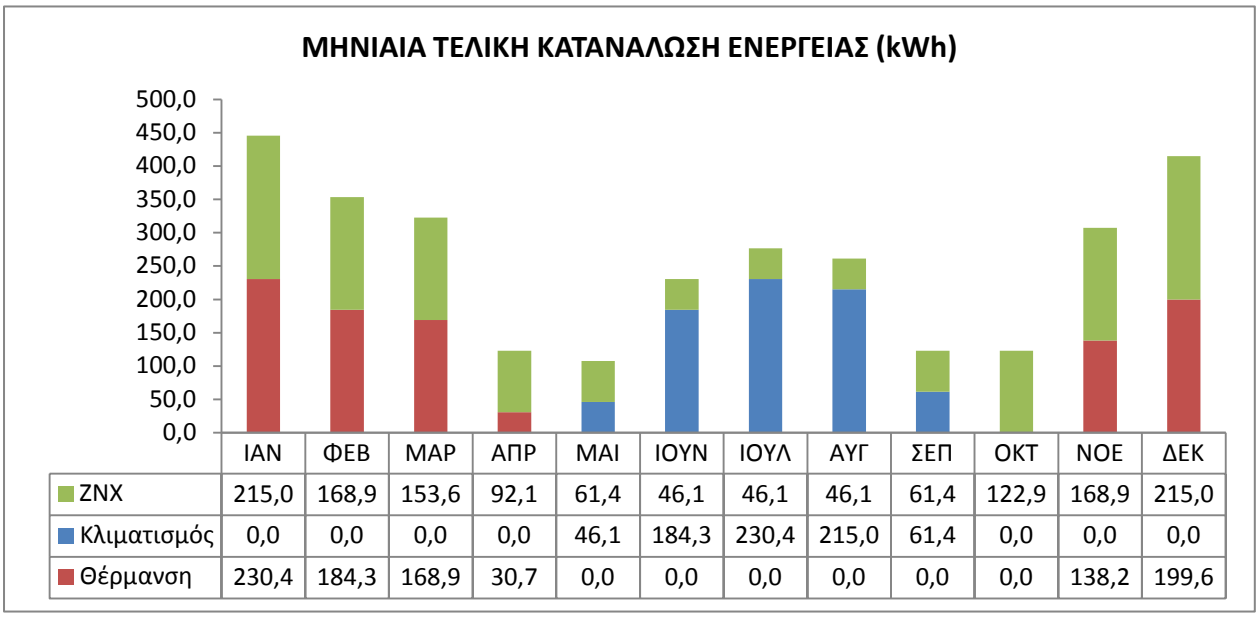
- πρωτογενής ενέργεια = (ενεργειακή κατανάλωση)/(απόδοση συστήματος) x συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα διαγράμματα της πρωτογενούς και της τελικής κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό και παροχή ζεστού νερού χρήσης, για την υπό μελέτη κατοικία.



	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΖΝΧ	598,9	445,4	368,6	215,0	92,1	46,1	46,1	61,4	107,5	276,4	430,0	568,2
Κλιματισμός	0,0	0,0	0,0	0,0	322,5	629,6	737,1	706,4	414,6	0,0	0,0	0,0
Θέρμανση	706,4	598,9	552,9	291,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	460,7	598,9

Διάγραμμα 44. Μηνιαία πρωτογενής κατανάλωση κτηρίου μελέτης για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης.



	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΖΝΧ	215,0	168,9	153,6	92,1	61,4	46,1	46,1	46,1	61,4	122,9	168,9	215,0
Κλιματισμός	0,0	0,0	0,0	0,0	46,1	184,3	230,4	215,0	61,4	0,0	0,0	0,0
Θέρμανση	230,4	184,3	168,9	30,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	138,2	199,6

Διάγραμμα 45. Μηνιαία τελική κατανάλωση κτηρίου μελέτης για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι:

- Η συνολική ετήσια πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση είναι 3209,60 kWh/έτος, ενώ η συνολική ετήσια τελική κατανάλωση είναι 967,50 kWh/έτος.

- Η συνολική ετήσια πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό είναι 2810,30 kWh/έτος, ενώ η συνολική ετήσια τελική κατανάλωση είναι 737,10 kWh/έτος.
- Η συνολική πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας για ζεστό νερό χρήσης είναι 3255,70 kWh/έτος, ενώ η συνολική ετήσια τελική κατανάλωση είναι 1428,20 kWh/έτος.

Σύμφωνα λοιπόν με τα στοιχεία αυτά (διαγράμματα 44 και 45), μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

- Αρχικά, επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Δεκέμβριο απαιτούνται τα μεγαλύτερα φορτία θέρμανσης, για την ικανοποίηση των κατάλληλων εσωτερικών συνθηκών. Επίσης, βλέπουμε ότι στην περιοχή μελέτης, το μήνα Μάρτιο απαιτούνται μεγαλύτερα φορτία από το μήνα Νοέμβριο, γεγονός που καταδεικνύει το πολύ ήπιο φθινόπωρο, αλλά και την απότομη εναλλαγή μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού, χωρίς τη διαμεσολάβηση της άνοιξης. Η εναλλαγή αυτή παρουσιάζεται τους μήνες Απρίλιο και Μάιο.
- Τα κύρια ψυκτικά φορτία, σύμφωνα και με τις ενεργειακές απαιτήσεις που παρουσιαστήκαν παραπάνω, εμφανίζονται τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο, ενώ αντίθετα απαιτούνται πολύ μικρά ψυκτικά φορτία τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο.
- Το μήνα Οκτώβριο, δεν απαιτούνται θερμικά ή ψυκτικά φορτία, στοιχείο που δείχνει ότι το κτηριακό κέλυφος μπορεί να ικανοποιήσει από μόνο του, πλήρως τις κατάλληλες εσωτερικές συνθήκες του κτηρίου.
- Παρατηρούμε, ότι η συνολική ετήσια τελική κατανάλωση για κλιματισμό, είναι πολύ μικρότερη από τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις της κατοικίας. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην υψηλή θερμομονωτική ικανότητα του κτηριακού κελύφους (τοίχοι και ανοίγματα), αλλά και στον υψηλό βαθμό απόδοσης των συστημάτων κλιματισμού που χρησιμοποιήθηκαν (γεωθερμική αντλία θερμότητας στους κύριους χώρους και αερόψυκτες αντλίες θερμότητας στα υπνοδωμάτια και στο γραφείο). Ένα ακόμη στοιχείο στο οποίο οφείλεται εν μέρει αυτή η μεγάλη διαφορά είναι ο χρόνος λειτουργίας των συστημάτων κλιματισμού. Αντίθετα από τα συστήματα θέρμανσης, τα οποία θεωρούνται ότι λειτουργούν ταυτόχρονα για το σύνολο του κτηρίου, θερμαίνουν δηλαδή κατά τη λειτουργία τους όλο τον κτηριακό όγκο, τα συστήματα κλιματισμού, λαμβάνονται υπόψη ότι λειτουργούν για το ήμισυ του κτηρίου. Δηλαδή, θεωρούνται από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων και από το λογισμικό, ότι δε λειτουργούν ταυτόχρονα σε όλους τους χώρους.

- Οι ενεργειακές απαιτήσεις για ζεστό νερό χρήσης, έχουν μια έντονη διακύμανση, που ξεκινά από 598,90 kWh πρωτογενούς και 215,0 kWh τελικής ενέργειας, το μήνα Ιανουάριο, φτάνουν στο ελάχιστο των 46,10 kWh πρωτογενούς και τελικής ενέργειας, τους μήνες του καλοκαιριού και καταλήγουν στο ποσό των 568,2 kWh πρωτογενούς και 215,0 kWh τελικής ενέργειας. Συνολικά η τελική ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ΖΝΧ είναι 1397,50 kWh/έτος. Από τα στοιχεία αυτά, παρατηρούμε ότι τους θερινούς μήνες, απαιτείται ένα ελάχιστο ποσό ενέργειας, αφού το μεγαλύτερο τμήμα ΖΝΧ καλύπτεται από τον ηλιακό συλλέκτη.

Παραγωγή ηλιακού συλλέκτη για ΖΝΧ

Βασικό στοιχείο εξοικονόμησης ενέργειας στις σύγχρονες κατοικίες, αποτελεί η χρήση ηλιακών συλλεκτών για την παροχή ζεστού νερού χρήσης κατά τη διάρκεια του έτους, αλλά κυρίως την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών αναγκών κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, που η παραγωγή λόγω ηλιοφάνειας είναι μέγιστη. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται οι τιμές παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, ανά μονάδα επιφάνειας της κατοικίας και ετησίως.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΝΧ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝΟΛΟ
Ηλιακή ενέργεια για ΖΝΧ (kWh/m²)	1,0	1,1	1,5	1,8	2,1	2,1	2,2	2,2	2,0	1,7	1,3	1,0	20,0
Ηλιακή ενέργεια για ΖΝΧ (kWh)	153,6	168,9	230,4	276,4	322,5	322,5	337,9	337,9	307,1	261,1	199,6	153,6	3071,4

Πίνακας 9. Μηνιαία παραγωγή ενέργειας του κτηρίου μελέτης για ζεστό νερό χρήσης.

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 9, παρατηρούμε ότι:

- Η συνολική ετήσια παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, από τον ηλιακό συλλέκτη ανέρχεται στις 3071,40 kWh/έτος
- Η μέγιστη παραγωγή παρουσιάζεται, όπως ήταν αναμενόμενο τους θερινούς μήνες, από το Μάιο έως και το Σεπτέμβριο, με μέγιστη τιμή τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο τις 337,90 kWh.
- Συγκρίνοντας τη συνολική παραγωγή από τον ηλιακό συλλέκτη (3071,40 kWh/έτος) και εκείνη από τον ηλεκτρικό θερμοσίφωνα (1397,50 kWh/έτος), βλέπουμε ότι η συνεισφορά του συλλέκτη στις ενεργειακές ανάγκες τις κατοικίες είναι ιδιαίτερα σημαντική και καλύπτει το 69% περίπου, του συνολικά απαιτούμενου ΖΝΧ, συντελώντας σημαντικά στην ενεργειακή εξοικονόμηση.

6.8. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από συσκευές και λαμπτήρες

Ένα από τα βασικότερα τμήματα της ενεργειακής κατανάλωσης μιας κατοικίας, αλλά και γενικότερα όλων των σύγχρονων κτηρίων αποτελούν οι ηλεκτρικές συσκευές και οι λαμπτήρες τεχνητού φωτισμού. Όσον αφορά της ηλεκτρικές συσκευές, το κυριότερο σημείο που αφορά την ενεργειακή τους κατανάλωση είναι η σήμανσή τους και η κατάταξή τους σε ενεργειακές κλάσεις. Η ενεργειακή σήμανση καθιερώθηκε στην Ευρωπαϊκή Ένωση με την έκδοση της οδηγίας 92/75/22.09.92 και σε Εθνικό επίπεδο με την έκδοση του Προεδρικού Διατάγματος 180/1994, το οποίο έθεσε το γενικό νομοθετικό πλαίσιο για την εφαρμογή της ενεργειακής σήμανσης στις οικιακές συσκευές. Στη συνέχεια, εκδόθηκε μια σειρά Κοινών Υπουργικών Αποφάσεων για την εφαρμογή της ενεργειακής σήμανσης σε διάφορες κατηγορίες οικιακών συσκευών, όπως:

- Ψυγεία, καταψύκτες και συνδυασμοί τους
- Πλυντήρια ρούχων
- Στεγνωτήρια ρούχων
- Συνδυασμένα πλυντήρια-στεγνωτήρια ρούχων
- Πλυντήρια πιάτων
- Ηλεκτρικοί λαμπτήρες
- Ηλεκτρικοί φούρνοι
- Κλιματιστικές συσκευές

Στόχος της ενεργειακής σήμανσης αποτέλεσε η παροχή της δυνατότητας στους καταναλωτές, να λαμβάνουν υπόψη και την παράμετρο της ενεργειακής κατανάλωσης στην τελική επιλογή της ηλεκτρικής συσκευής, παρέχοντάς τους πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας της συγκεκριμένης ηλεκτρικής συσκευής. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής και της ενεργειακής αποτίμησης της κατοικίας που σχεδιάζεται, θεωρείται ότι χρησιμοποιούνται και λειτουργούν ένα σύνολο ηλεκτρικών συσκευών, απαραίτητων για τη σωστή λειτουργία μιας σύγχρονης κατοικίας. Στόχος είναι ο όσο το δυνατόν μεγαλύτερος περιορισμός της ενεργειακής κατανάλωσης, από τον τομέα αυτό και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μόνο συσκευές, οι οποίες έχουν μικρή κατανάλωση, έχουν δηλαδή ενεργειακή κατάταξη Α. Στον παρακάτω πίνακα 10 διακρίνονται οι συσκευές, η ισχύς τους, καθώς και η ετήσια κατανάλωσή τους. Παρατηρούμε ότι η συνολική εκτιμώμενη κατανάλωσή τους, ανέρχεται στις 4923,12 kWh/έτος, ένα πολύ σημαντικό ποσό, το

οποίο έχει περιοριστεί όσο το δυνατόν περισσότερο, με τη χρήση αποδοτικών και χαμηλής κατανάλωσης συσκευών. [69]

Χώρος	**Συσκευή**	**Λειτουργία [ώρες]**	**Ισχύς [W]**	**Ημερήσια κατανάλωση [kWh]**	**Ετήσια κατανάλωση [kWh/έτος]**
Κουζίνα	Μεγάλο μάτι	1	2000	2	730,00
	Μεσαίο μάτι	1	1500	1,5	547,50
	Μεσαίο μάτι	1 φαγητό για 4 άτομα	1500	1,5	547,50
	Φούρνος απλός	Ψητό 1,8 κιλά	2700	2,7	985,50
	Φούρνος μικρικυμάτων	0,05	800	0,06	21,90
	Φούρνος μικροκυμάτων	0,05	360	0,03	10,95
	Ψυγείο με κατάψυξη 131 λίτρων	24	90	0,5	182,50
	Πλυντήριο πιάτων μεγάλο	55°C / γεμάτο (οικονομικό πρόγραμμα	3200	0,8	292,00
	Καφετιέρα	0,1	900	0,09	32,85
	Τοστιέρα	0,1	700	0,07	25,55
Καθιστικό	Τηλεόραση	4	45	0,18	65,70
	Βίντεο	2	35	0,07	25,55
	Στερεοφωνικό	2	30	0,06	21,90
	Αποκωδικοποιητής συνδρομιτικής τηλεόρασης	3	15	0,045	16,43
Λουτρό	Πληντύριο ρούχων	40°C /5κ. Ρούχα	2800	0,5	182,50
Γραφείο	Η/Υ	3	250	0,75	273,75
	Οθόνη Η/Υ	3	150	0,45	164,25
	Εκτυπωτής	0,2	15	0,003	1,10
Δωμάτιο 1	Η/Υ	4	250	1	365,00
	Οθόνη Η/Υ	4	150	0,6	219,00
Διάφορα	Ηλεκτρικό σίδερο	0,2	1000	0,2	73,00
	Ηλεκτρική σκούπα	0,2	1000	0,2	73,00
	Στεγνωτήρας μαλλιών	0,1	1800	0,18	65,70
Συνολικό				13,49	**4923,12**

Πίνακας 10. Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κτηρίου μελέτης από ηλεκτρικές συσκευές. Πηγή: [74]

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από λαμπτήρες

Ένα σημαντικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο προστίθεται στο ενεργειακό ισοζύγιο της κατοικίας, αφορά και τη λειτουργία των λαμπτήρων τεχνητού φωτισμού. Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης, σε μία κατοικία, η στάθμη φωτισμού πρέπει να είναι 200 Lux, στοιχείο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή της απαραίτητης ισχύος των λαμπτήρων σε κάθε χώρο της κατοικίας. Η στάθμη φωτισμού εξαρτάται από την ισχύ των λαμπτήρων, την αποδιδόμενη φωτεινότητα και από το εμβαδό του χώρου και υπολογίζεται σε οριζόντιο επίπεδο στο ύψος 0,80m. Στόχος ήταν, η δυνατότητα ύπαρξης τεχνητού φωτισμού που να παρέχει μία στάθμη φωτισμού της τάξης των 200 Lux περίπου, σε όλους τους κύριους χώρους της κατοικίας. Συνολικά, όπως διακρίνεται στον πίνακα, η μέση στάθμη φωτισμού στην κατοικία είναι 208,5 Lux.

Επίσης, θα χρησιμοποιηθούν σύγχρονοι λαμπτήρες οικονομίας. Οι λαμπτήρες οικονομίας, για το ίδιο επίπεδο φωτεινότητας με τους κοινούς λαμπτήρες πυρακτώσεως, έχουν κατά μέσο όρο δέκα φορές μεγαλύτερο χρόνο ζωής και το ένα πέμπτο της ηλεκτρικής τους κατανάλωσης. Το κόστος αγοράς τους, είναι αφενός μεγαλύτερο, αλλά το συνολικό οικονομικό όφελος κατά τη χρήση τους είναι σημαντικό, ως αποτέλεσμα της χαμηλής κατανάλωσης ρεύματος και της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής τους. Στον παρακάτω πίνακα 11, διακρίνονται οι χώροι της κατοικίας, η συνολική ισχύς των λαμπτήρων που έχουν χρησιμοποιηθεί, καθώς και η συνολική ετήσια κατανάλωσή τους, ανάλογα με την ημερήσια λειτουργία τους. Παρατηρούμε ότι η συνολική κατανάλωση των λαμπτήρων ανέρχεται στις 843,20 kWh/έτος. [74]

Χώρος	**Εμβαδόν χώρου [m²]**	**Ισχύς [W]**	**Ισοδύναμο ισχύος [W]**	**Ποσότητα**	**W/m²**	**Στάθμη φωτισμού [Lux]**	**Ημερήσια λειτουργία [ώρες]**	**Ετήσια κατανάλωση [kWh]**
Κουζίνα	12,99	32	145	1	20	150,0	8	93,4
		5	30	4		83,3	4	29,2
Καθιστικό	26,01	32	145	2	16	177,1	8	186,9
		5	30	4		49,0	4	29,2
Τραπεζαρία	17,31	23	120	2	14	200,0	1	16,8
Λουτρό	6,14	20	100	1	26	147,5	8	58,4
		5	30	2		98,4	4	14,6

Γραφείο	7,21	21	110	1	21	218,1	3	23,0
		8	44	1		69,4	3	8,8
Δωμάτιο 1	21,61	23	120	2	15	160,2	8	134,3
		8	44	2		46,3	4	23,4
Δωμάτιο 2	17,58	32	120	2	19	159,4	4	93,4
		8	44	2		57,1	4	23,4
Ξενώνας	13,08	21	110	1	15	120,8	1	7,7
		8	44	2		77,0	1	5,8
W.C. ξενώνα	3,04	12	30	2	20	150,0	2	17,5
W.C. - Αποθήκη	4,01	5	30	2	15	150,0	2	7,3
Διάδρομος	7,56	12	56	2	15	180,2	8	70,1
Σύνολο	136,54			35		208,5		**843,2**

Πίνακας 11. Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κτηρίου μελέτης από λαμπτήρες τεχνητού φωτισμού. Πηγή: [74]

6.9. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, απαραίτητο και τελικό βήμα για το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας, είναι η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ώστε το συνολικό ισοζύγιο ενέργειας να είναι μηδενικό. Με τον τρόπο αυτό εκτός από μείωση των παραγόμενων αέριων ρύπων, επιτυγχάνεται και ενεργειακή αυτονομία στο επίπεδο του κτηρίου. Όλα αυτά συνεπάγονται, αφενός τη γενικά επιδιωκόμενη «απεξάρτηση» από τις συμβατικές πηγές ενέργειας και την ειδικότερη, μείωση του κόστους που απαιτείται για τη λειτουργία ενός κτηρίου. Στην υπό μελέτη κατοικία, για το σκοπό της παραγωγής ενέργειας και την επίτευξη ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας, θα γίνει χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων, συνδεδεμένων στο δίκτυο, τα οποία θα βρίσκονται μέσα στο αποτύπωμα του κτηρίου (δώμα).

Βασικά στοιχεία για την επιλογή της χρήσης φωτοβολταϊκών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η ευκολία χρήσης και τοποθέτησής τους, αλλά και η ενεργειακή τους ανεξαρτησία (δεν απαιτούν ενέργεια για τη λειτουργία τους) και η περιβαλλοντική τους

συμβατότητα, αφού δεν επηρεάζουν το φυσικό περιβάλλον με παραγωγή ρύπων και αλλοίωση της ατμόσφαιρας. Γενικά, τα Φ/Β συστήματα που σχεδιάζονται σωστά και εγκαθίστανται κατάλληλα, απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, χωρίς σημαντική μείωση της αποδοτικότητάς τους.

Η γενική λειτουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων και του τρόπου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών που χρησιμοποιήθηκαν στο υπό μελέτη κτήριο, καθώς και ο τρόπος υπολογισμού και εκτίμησης της συνολικής ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

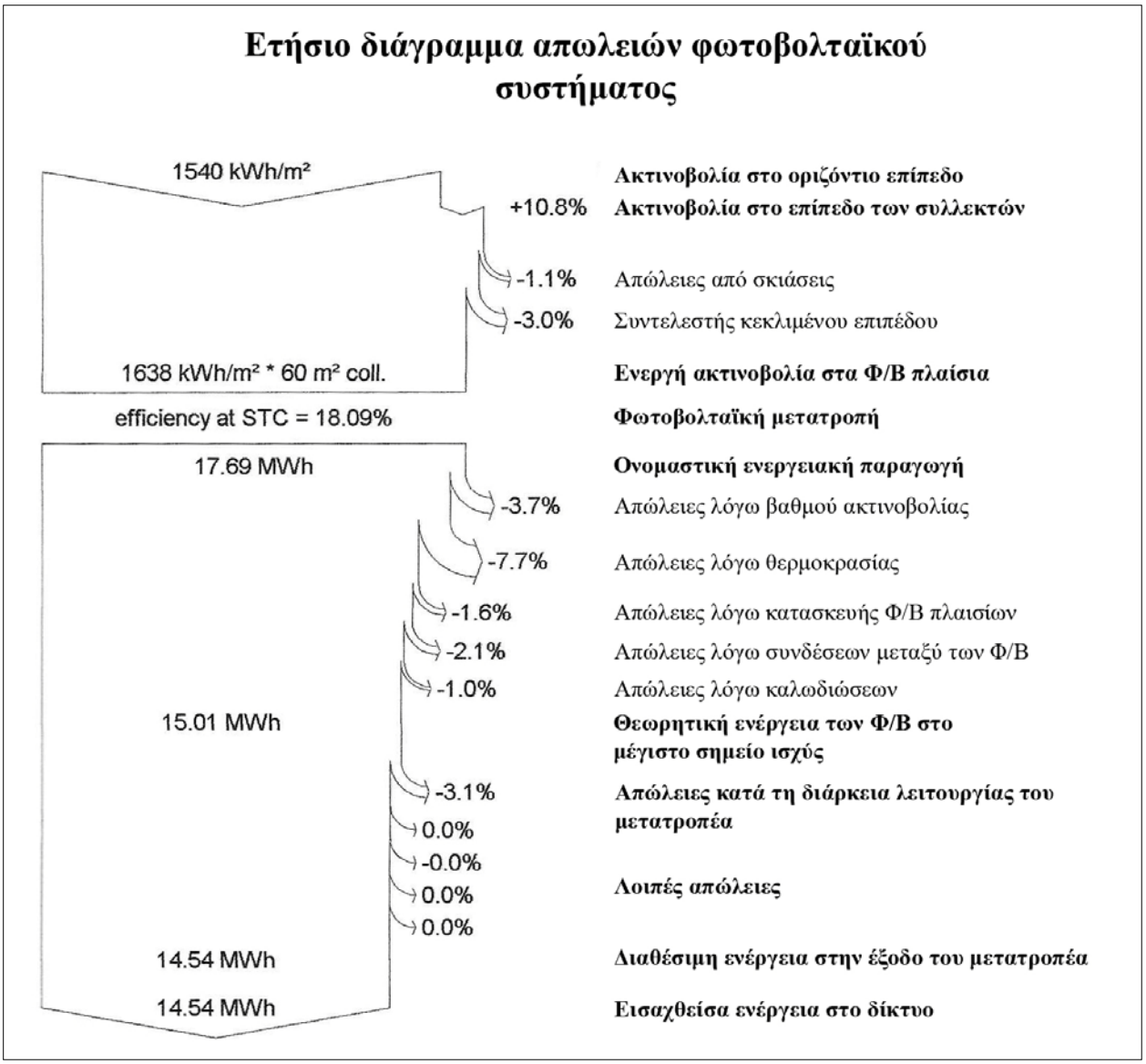
Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Στην υπό μελέτη κατοικία, τοποθετήθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ στο δώμα, συνδεδεμένα στο κεντρικό δίκτυο. Ο προσανατολισμός τους είναι νότιος για τη μεγιστοποίηση της πρόσληψης ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ η κλίση τους επιλέχθηκε να είναι 30°. Συνήθως επιλέγεται μια κλίση που να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Στην Ελλάδα, η βέλτιστη κλίση είναι περίπου στις 30° [69], η οποία και επιλέχθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία έχουν μεγαλύτερη απόδοση από τους άλλους τύπους, με συγκεκριμένη θεωρητική απόδοση 18,1%. Συνολικά τοποθετήθηκαν 48 πλαίσια, με ισχύ 225Wp το καθένα, τα οποία καταλαμβάνουν συνολική επιφάνεια σε οριζόντιο επίπεδο 59,70m². Η συνολική ισχύς τους είναι 10,80 kWp. [89] Για τη μετατροπή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το συνεχές (DC) ρεύμα, του φωτοβολταϊκού συστήματος, σε εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα, σε κατάλληλη δηλαδή μορφή για την παροχή του στο κεντρικό δίκτυο, χρησιμοποιήθηκε μετατροπέας ισχύος 11,0 kW AC και με βαθμό απόδοσης 97,7%. [88]

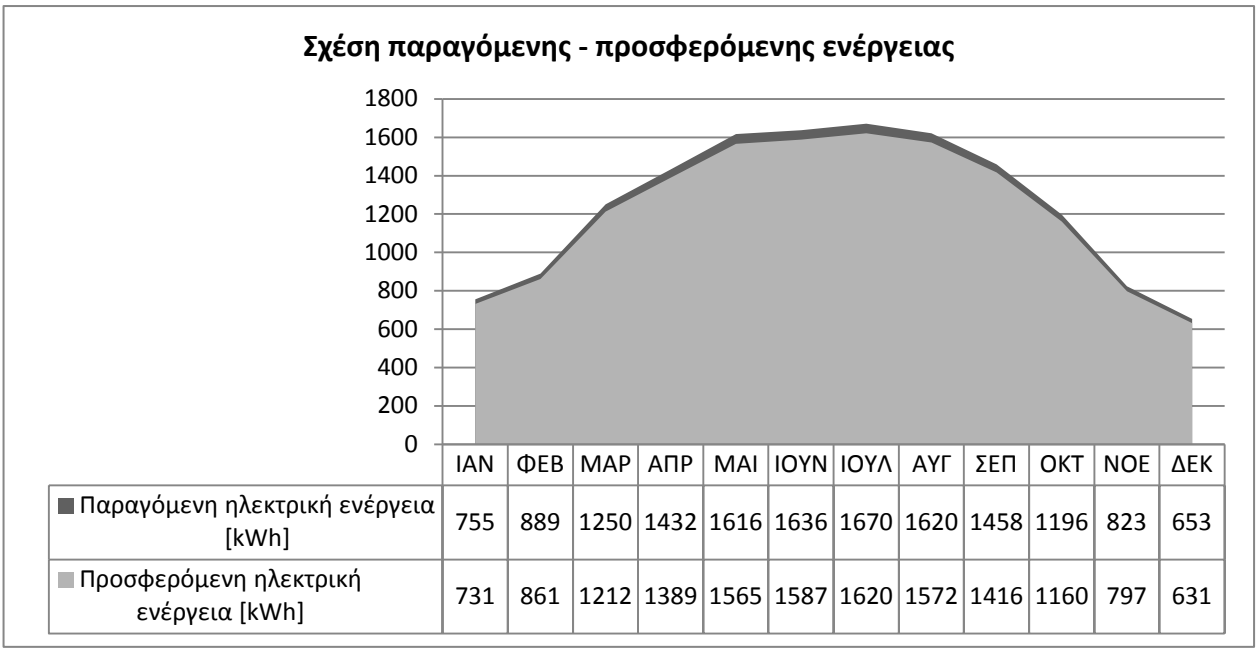
Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελέσματα

Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη συγκεκριμένη διάταξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων, χρησιμοποιήθηκε ειδικό λογισμικό και συγκεκριμένα το PVsyst. [104] Το λογισμικό αυτό είναι κατάλληλο για το σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων, την ανάλυση των χαρακτηριστικών τους, αλλά και τον υπολογισμό και την εκτίμηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση τα χαρακτηριστικά των πλαισίων που θα χρησιμοποιηθούν και την περιοχή στην οποία θα τοποθετηθούν. Στο λογισμικό, εκτός από τα χαρακτηριστικά δεδομένα των φωτοβολταϊκών πλαισίων που χρησιμοποιήθηκαν [89],

εισήχθησαν κλιματολογικά δεδομένα, απαραίτητα για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας και της τελικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από πίνακες και πηγές της NASA. [105] Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και η συνολικά εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

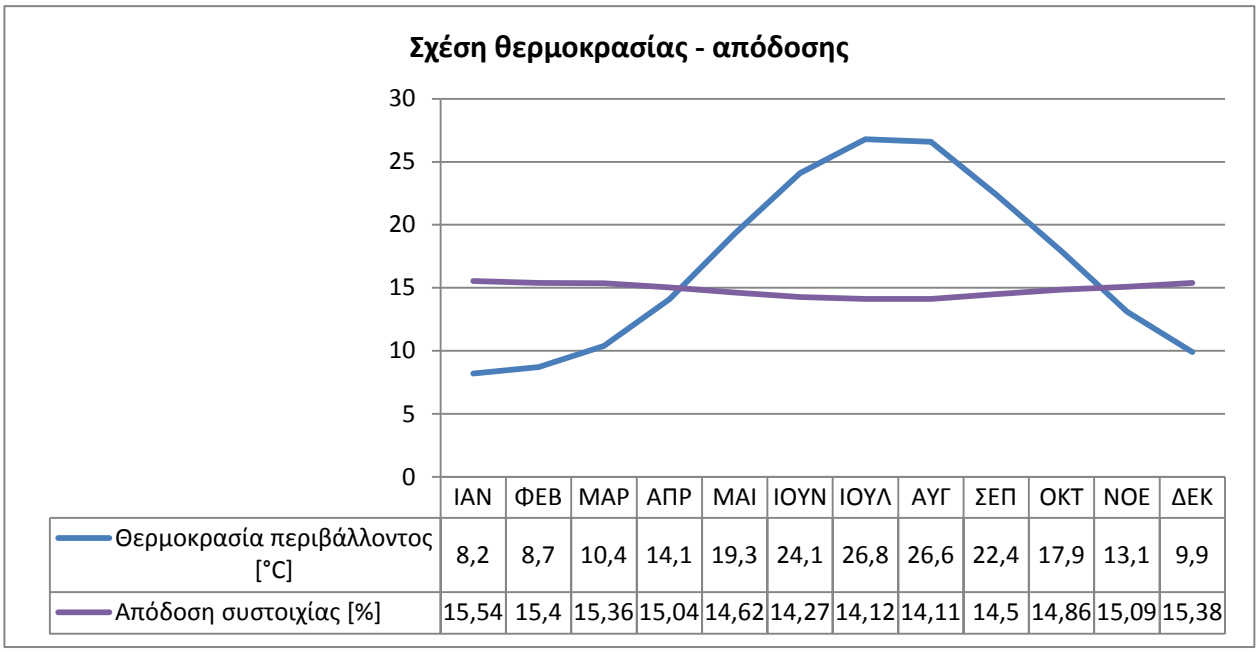


Διάγραμμα 46. Ετήσιο διάγραμμα ενεργειακών ροών φωτοβολταϊκού συστήματος.



	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια [kWh]	755	889	1250	1432	1616	1636	1670	1620	1458	1196	823	653
Προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια [kWh]	731	861	1212	1389	1565	1587	1620	1572	1416	1160	797	631

Διάγραμμα 47. Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και παροχή στο δίκτυο.



	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Θερμοκρασία περιβάλλοντος [°C]	8,2	8,7	10,4	14,1	19,3	24,1	26,8	26,6	22,4	17,9	13,1	9,9
Απόδοση συστοιχίας [%]	15,54	15,4	15,36	15,04	14,62	14,27	14,12	14,11	14,5	14,86	15,09	15,38

Διάγραμμα 48. Σχέση θερμοκρασίας και απόδοσης φωτοβολταϊκού συστήματος.

Από τα παραπάνω διαγράμματα 47 και 48 συμπεραίνουμε ότι:

- Στο διάγραμμα 46, παρουσιάζονται οι ενεργειακές ροές που μπορούν να παρατηρηθούν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος. Διακρίνουμε, πως η αρχική ενέργεια που φτάνει στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών πλαισίων ανέρχεται στις 1706,32 kWh/m² (αύξηση κατά 10,8% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (1540 kWh/m²) στο οριζόντιο επίπεδο, λόγω της υπάρχουσας κλίσης 30°), ενώ η αρχική, ονομαστική παραγωγή ενέργειας από τα Φ/Β είναι της τάξης των 17,69 MWh. Η παραγωγή αυτή δεν είναι η τελική, αφού υπάρχουν σημαντικές απώλειες κατά τη διάρκεια λειτουργίας, εξαιτίας της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (-3,7%), της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας στα Φ/Β πλαίσια (-7,7%), του τρόπου κατασκευής (-1,6%) και των συνδέσεων και καλωδιώσεων μεταξύ των πλαισίων (-3,1%). Η τελική προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο, εξαρτάται από το βαθμό απόδοσης του μετατροπέα, ο οποίος σύμφωνα με τους υπολογισμούς φτάνει στο 96,9%. Παρατηρούνται δηλαδή απώλειες της τάξης των 3,1%, κατά τη μετατροπή από συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα, με αποτέλεσμα η εισαχθείσα στο δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια να ανέρχεται στις 14,54 MWh. Στο διάγραμμα 48, διακρίνεται η μηνιαία σχέση μεταξύ παραγόμενης και εισαχθείσας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Παρατηρούμε ότι η διαφορά λόγω των απωλειών που παρουσιάζονται κατά τη λειτουργία του Φ/Β συστήματος, αυξάνεται κατά τους θερινούς μήνες, όπου η παραγωγή είναι μεγαλύτερη.
- Στο διάγραμμα 49, διακρίνεται η συνολική απόδοση του συστήματος για κάθε μήνα του έτους, καθώς και η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Παρατηρούμε, ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, τόσο μειώνεται η απόδοση του συστήματος. Παρ' ότι η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τους θερινούς μήνες είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των χειμερινών μηνών, η απόδοση σημειώνει πτώση τους μήνες αυτούς. Αυτό συμβαίνει, γιατί ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων εξαρτάται από τη θερμοκρασία, όπως διακρίνεται και στο διάγραμμα 49. Η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται πτώση της παραγόμενης ισχύος τους κατά 7,7%. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διάφορα ψυκτικά μέσα, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος, που παράλληλα με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, να παρέχει θέρμανση στο εσωτερικό της κατοικίας, αποτελώντας ουσιαστικά ένα σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

6.10. Ενεργειακό ισοζύγιο κατοικίας

Στα προηγούμενα κεφάλαια, αναλύθηκαν τα βασικά κατασκευαστικά στοιχεία της υπό μελέτη κατοικίας, αλλά και τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κατάλληλη παροχή θέρμανσης και κλιματισμού. Στη συνέχεια, εκτιμήθηκαν οι ενεργειακές απαιτήσεις και καταναλώσεις των συστημάτων αυτών, καθώς και όλων των στοιχείων εκείνων (ΖΝΧ, ηλεκτρικές συσκευές, τεχνητός φωτισμός), που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του κτηρίου. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που προέκυψαν από τους υπολογισμούς αυτούς, θα γίνει παρακάτω μία εκτίμηση για το συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο της κατοικίας, δηλαδή των ροών ηλεκτρικής ενέργειας, από και προς το κτήριο.

Όπως παρατηρήθηκε, κύρια τμήματα της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτηρίου κατοικίας και ειδικότερα του υπό μελέτη κτηρίου, αποτελούν η κατανάλωση για παροχή ζεστού νερού χρήσης και για τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών. Ειδικότερα, η ενεργειακή κατανάλωση για τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών, ανέρχεται στις 4923,12 kWh/έτος και αποτελεί το 55% της συνολικής κατανάλωσης. Για τον περιορισμό των ενεργειακών απαιτήσεων από τις ηλεκτρικές συσκευές, γίνεται χρήση συσκευών ενεργειακής κλάσης Α, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

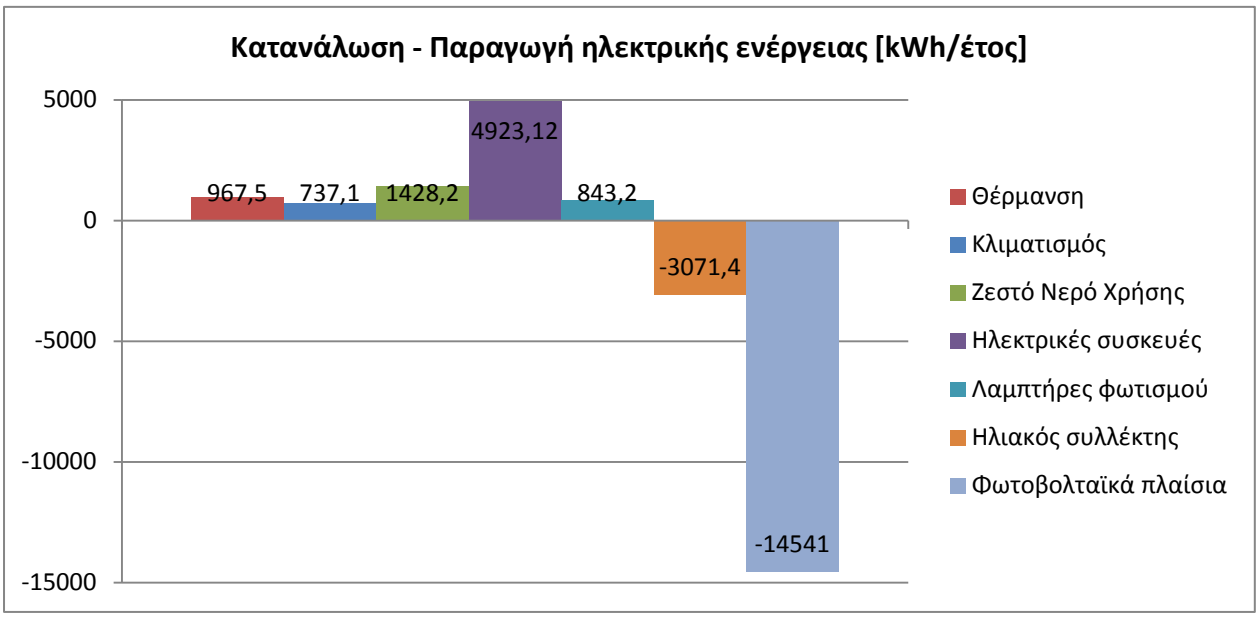
Όσον αφορά τις ενεργειακές απαιτήσεις για ζεστό νερό χρήσης, παρατηρούμε ότι ανέρχονται ετησίως στις 1428,20 kWh (16%). Το ποσοστό αυτό, μειώθηκε σημαντικά, εξαιτίας της τοποθέτησης και χρήσης ηλιακού συλλέκτη, ο οποίος ιδιαίτερα τους μήνες με υψηλή ηλιοφάνεια, καλύπτει σχεδόν εξ' ολοκλήρου την ανάγκη σε παροχή ΖΝΧ. Γενικότερα, όπως μπορούμε να δούμε και από το διάγραμμα 50, η εξοικονόμηση ενέργειας από τον ηλιακό συλλέκτη, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό τμήμα της συνολικής εξοικονόμησης που μπορεί να επιτευχθεί σε μία κατοικία.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα 49 και 50, διακρίνουμε ότι η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση ανέρχεται στις 967,50 kWh/έτος και για κλιματισμό στις 737,10 kWh/έτος (11% και 8% αντίστοιχα). Παρατηρούμε, ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις στους τομείς αυτούς, έχει περιοριστεί σημαντικά για δύο κυρίως λόγους:

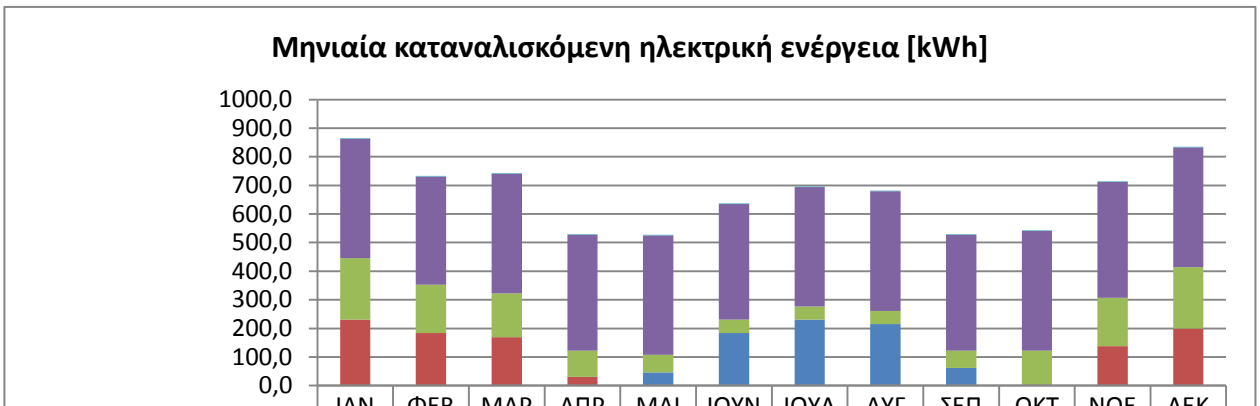
- Υψηλή θερμομονωτική ικανότητα του κτηριακού κελύφους, η οποία προσφέρει προστασία, αποτρέποντας το χειμώνα τη μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό προς το εξωτερικό περιβάλλον και το καλοκαίρι αντίστροφα. Επίσης, η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας με παθητικά μέσα (νότια ανοίγματα, τοίχος Trombe), αλλά και η εκμετάλλευση φύτευσης για σκίαση και κλιματισμό το καλοκαίρι, επηρεάζουν θετικά, την ενεργειακή κατανάλωση, οδηγώντας σε εξοικονόμηση ενέργειας

- Υψηλή απόδοση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού. Η χρήση αποδοτικών συστημάτων (γεωθερμική αντλία θερμότητας με COP=5 και αερόψυκτων αντλιών θερμότητας με EER=4), οδηγεί με τη σειρά της στη μέγιστη εκμετάλλευση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η υψηλή αποδοτικότητα των συστημάτων αυτών, έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας για τη διατήρηση κατάλληλων συνθηκών στο εσωτερικό της κατοικίας, αντίστοιχα κατά τη διάρκεια του χειμώνα (20°C) και του καλοκαιριού (26°C).

Τέλος, όσον αφορά τις ενεργειακές καταναλώσεις, το 8% αποτελεί η κατανάλωση από τους λαμπτήρες, για την παροχή τεχνητού φωτισμού. Η ετήσια κατανάλωσή τους φτάνει τις 843,20 kWh/έτος. Για τη μείωση του ποσού αυτού, χρησιμοποιήθηκαν λαμπτήρες οικονομίας (φθορισμού), οι οποίοι καταναλώνουν συνολικά πέντε φορές λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από τους κοινούς λαμπτήρες πυρακτώσεως. [74]



Διάγραμμα 49. Κατανάλωση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο κτήριο μελέτης ανά κατηγορία.



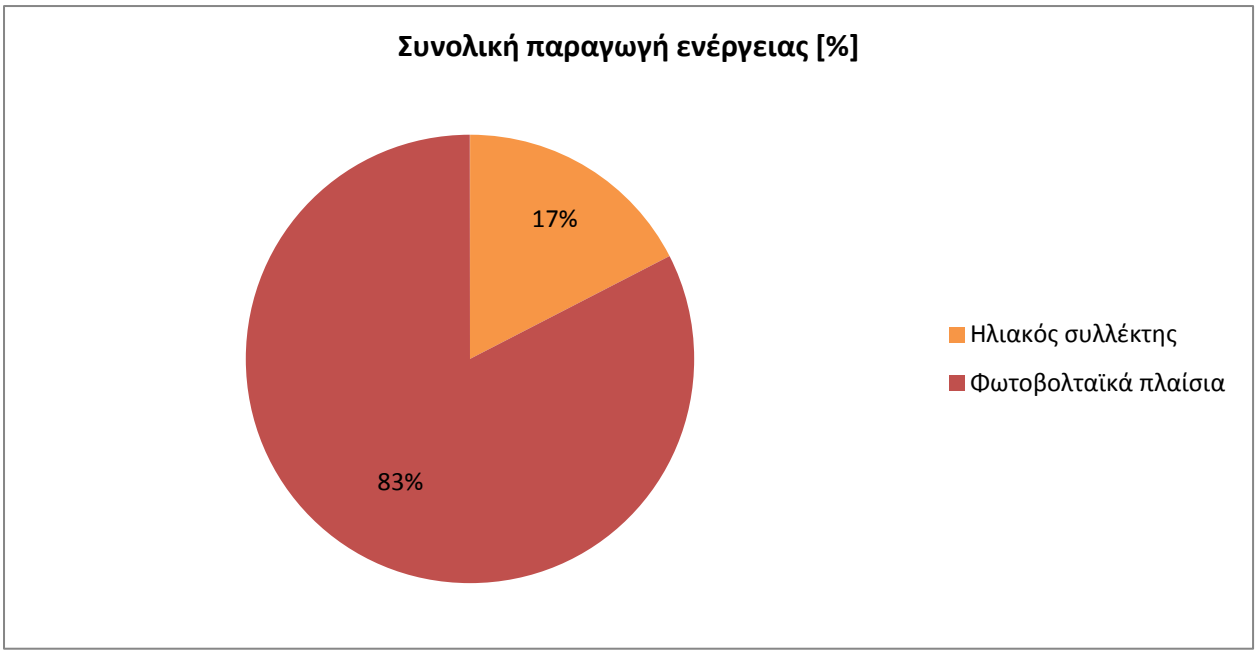
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Τεχνητός φωτισμός	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Ηλεκτρικές συσκευές	418,1	377,7	418,1	404,6	418,1	404,6	418,1	418,1	404,6	418,1	404,6	418,1
ΖΝΧ	215,0	168,9	153,6	92,1	61,4	46,1	46,1	46,1	61,4	122,9	168,9	215,0
Κλιματισμός	0,0	0,0	0,0	0,0	46,1	184,3	230,4	215,0	61,4	0,0	0,0	0,0
Θέρμανση	230,4	184,3	168,9	30,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	138,2	199,6

Διάγραμμα 50. Μηνιαία καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά κατηγορία στο κτήριο μελέτης.

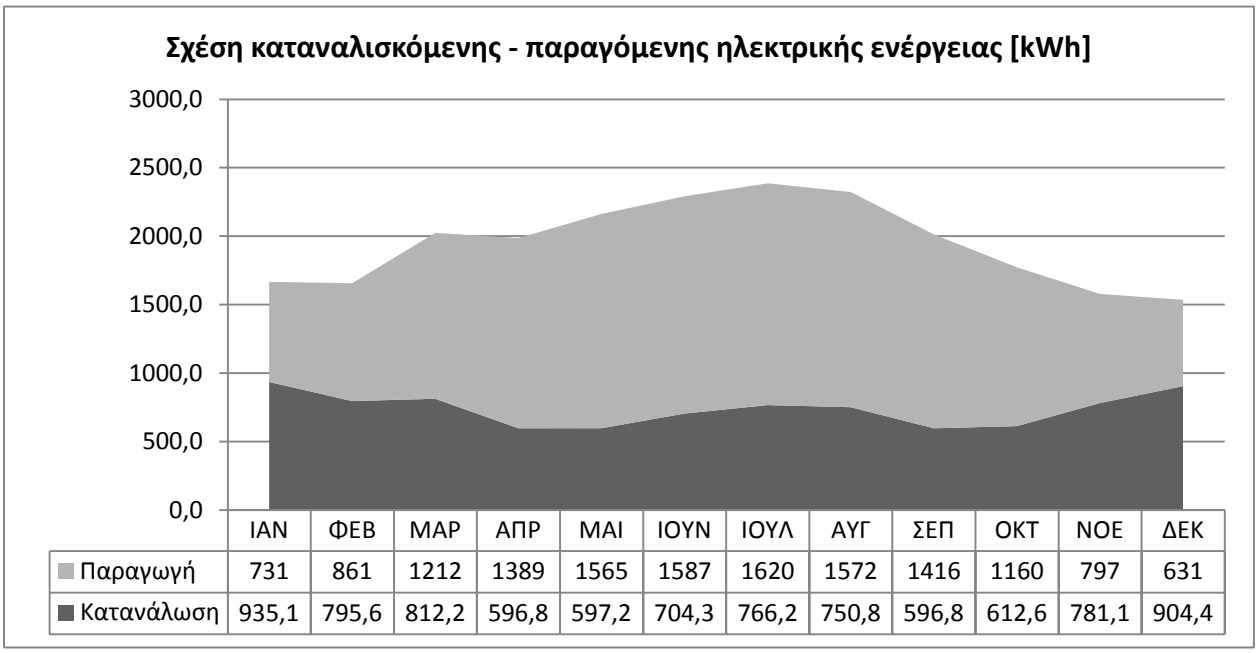
Διάγραμμα 51. Ποσοστιαία σχέση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία στο κτήριο μελέτης.

Στο διάγραμμα 50 βλέπουμε τις μηνιαίες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηριστικό γεγονός αποτελεί η πολύ υψηλή μηνιαία κατανάλωση των ηλεκτρικών συσκευών. Επίσης, διακρίνουμε ότι τους μήνες μεταξύ των εποχών του καλοκαιριού και του χειμώνα (δηλαδή άνοιξη και φθινόπωρο), εμφανίζονται οι ελάχιστες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς μειώνεται στο ελάχιστο η ανάγκη για θέρμανση και κλιματισμό. Το μεγάλο ποσοστό που απαιτεί η λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών, φαίνεται και στο διάγραμμα 51. Το γεγονός αυτό, μπορεί να ερμηνευθεί από την επιλογή πολύ αποδοτικών μέσων για θέρμανση και κλιματισμό της κατοικίας, αλλά και η πολύ καλή θερμομόνωση του κελύφους, ώστε να περιορίζονται οι ενεργειακές ανάγκες.

Στο διάγραμμα 49 και στο παρακάτω διάγραμμα 52, διακρίνεται η παραγόμενη ενέργεια, από τον ηλιακό συλλέκτη καθώς και από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, η παραγωγή του ηλιακού συλλέκτη, καλύπτει περίπου το 69% των συνολικών απαιτήσεων ζεστού νερού χρήσης της κατοικίας. Συνολικά η παραγωγή αυτή ανέρχεται στις 3071,40 kWh/έτος, ένα σημαντικό ποσό, που συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Η εξοικονόμηση είναι απαραίτητο στοιχείο ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας, αφού χωρίς αυτή η κατανάλωση θα έφτανε σε πολύ υψηλά επίπεδα, επηρεάζοντας αρνητικά το ενεργειακό ισοζύγιο της κατοικίας. Όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα, αυτή ανέρχεται ετησίως στις 14541,0 kWh και αποτελεί συνολικά το 83% τις συνολικής, παραγόμενης ενέργειας, ενώ αντίστοιχα το ποσοστό της ενέργειας που παρέχεται από τον ηλιακό συλλέκτη αποτελεί το 17%.



Διάγραμμα 52. Ποσοστιαία σχέση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο κτήριο μελέτης.



	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Παραγωγή	731	861	1212	1389	1565	1587	1620	1572	1416	1160	797	631
Κατανάλωση	935,1	795,6	812,2	596,8	597,2	704,3	766,2	750,8	596,8	612,6	781,1	904,4

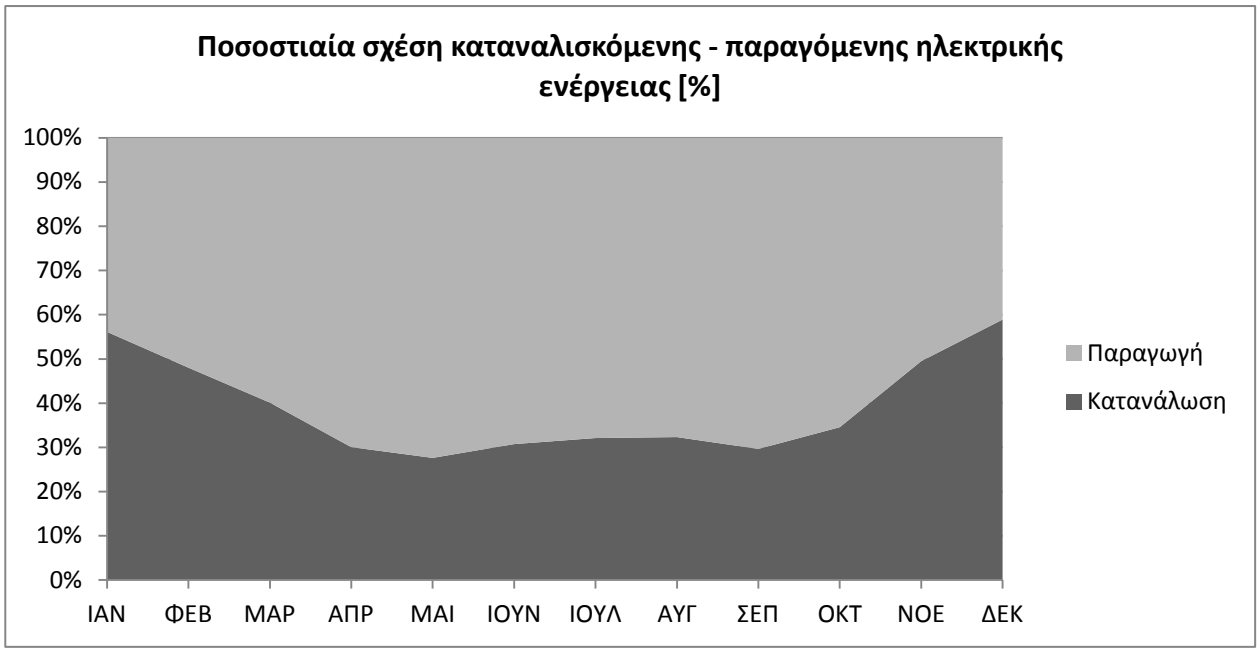
Διάγραμμα 53. Μηνιαία καταναλισκόμενη και παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο κτήριο μελέτης.

Στον παρακάτω πίνακα 12, διακρίνονται αθροιστικά οι συνολικές ροές ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο, δηλαδή η συνολική, ετήσια, καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς και η συνολική, ετήσια, παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Όπως αναφέρθηκε, ένα τμήμα της τελευταίας χρησιμοποιείται άμεσα (ενέργεια που παράγεται από τον ηλιακό συλλέκτη για την παροχή ζεστού νερού), ενώ το υπόλοιπο τμήμα της (ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα) παρέχεται στο κεντρικό δίκτυο, από το οποίο μπορεί να επανακτηθεί όταν είναι απαραίτητη, για την κάλυψη δηλαδή των ενεργειακών αναγκών της κατοικίας σε

θέρμανση, κλιματισμό, ζεστό νερό, ηλεκτρικές συσκευές και τεχνητό φωτισμό (λαμπτήρες). Για το συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο, λήφθηκε υπόψη η τελική κατανάλωση ενέργειας και όχι η πρωτογενής. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια, κατά τη λειτουργία της κατοικίας για την ικανοποίηση των αναγκών της, είναι μικρότερη από τη συνολικά παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β. Θεωρείται με άλλα λόγια, ότι η ενέργεια που παράγεται από το σύστημα, καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις της κατοικίας, χωρίς να είναι απαραίτητη η κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται άμεσα από πρωτογενή καύσιμα. Στα διαγράμματα 53 και 54 διακρίνεται η σχέση μεταξύ παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας στο υπό μελέτη κτίριο. Παρατηρούμε ότι τους μήνες του καλοκαιριού και ειδικά από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο, η παραγωγή είναι αρκετά μεγαλύτερη από την κατανάλωση, γεγονός που οφείλεται στην μεγάλη παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος αλλά και τον περιορισμό κατανάλωσης για ΖΝΧ, από τη λειτουργία του ηλιακού θερμοσίφωνα. Αντίθετα, τους μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο, που η παραγωγή των ανωτέρω συστημάτων μειώνεται σημαντικά, η καταναλισκόμενη ενέργεια ξεπερνά την παραγόμενη.

Κατανάλωση - Παραγωγή [kWh/έτος]			
	Ετήσιο σύνολο		Ισοζύγιο
Θέρμανση	967,5	8899,12	-5641,88
Κλιματισμός	737,1		
Ζεστό Νερό Χρήσης	1428,2		
Ηλεκτρικές συσκευές	4923,12		
Λαμπτήρες φωτισμού	843,2		
Φωτοβολταϊκά πλαίσια	-14541,0	-14541,0	

Πίνακας 12. Συνολικό ισοζύγιο καταναλισκόμενης και παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία στο κτήριο μελέτης.



Διάγραμμα 54. Μηνιαία σχέση καταναλισκόμενης και παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο κτήριο μελέτης.

7. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα παραπάνω, διακρίνουμε λοιπόν, ότι από το ενεργειακό ισοζύγιο της κατοικίας, υπάρχει ένα πλεόνασμα της τάξης των 5641,88 kWh/έτος, ενέργεια η οποία ουσιαστικά παρέχεται στο δίκτυο. Μπορούμε να συμπεράνουμε λοιπόν, πως οι αρχικοί στόχοι για την επίτευξη ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας, επιτεύχθηκαν. Συγκεκριμένα:

- Πρωταρχικό στόχο αποτέλεσε ο περιορισμός των ενεργειακών αναγκών της κατοικίας, με την εκμετάλλευση παθητικών κυρίως μέσων, όπως είναι η υψηλή θερμομόνωση και τα παθητικά ηλιακά συστήματα. Παράλληλα με τα παθητικά αυτά μέσα, για την εξοικονόμηση ενέργειας και τον περαιτέρω περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης, χρησιμοποιήθηκαν αποδοτικά συστήματα, τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία της κατοικίας, συστήματα δηλαδή για την παροχή θέρμανσης, κλιματισμού και ζεστού νερού χρήσης. Επίσης, όπως παρατηρήθηκε, εξαιτίας των υψηλών ποσών απαιτούμενης ενέργειας από τις ηλεκτρικές συσκευές και από τους λαμπτήρες φωτισμού, χρησιμοποιήθηκαν ενεργειακά αποδοτικές συσκευές, που περιορίζουν σε σημαντικό βαθμό την ενεργειακή κατανάλωση.
- Τέλος, για την επίτευξη κτηρίου μηδενικής ενέργειας, απαραίτητη ήταν η τοποθέτηση ενός συστήματος ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, το οποίο θα παρείχε στο κτήριο την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια. Στα πλαίσια του υπό μελέτη κτηρίου και λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες της περιοχής χωροθέτησής του, αλλά και γενικότερα της ευκολότερης τοποθέτησης και λειτουργίας, επιλέχθηκε ένα σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων, στο δώμα της κατοικίας. Το σύστημα αυτό, όπως διακρίνεται, είναι ικανό να παρέχει στο κτήριο την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών του.

8. Επίλογος

Παρ' ότι παρουσιάζονται σημαντικές προκλήσεις, υπάρχουν πολλά που μπορούν να επιτευχθούν με τις σημερινές και τις μελλοντικές τεχνολογίες, τόσο για τη μείωση της ζήτησης, όσο και για την παροχή ενέργειας. Υπάρχουν προφανή χαρακτηριστικά για το σχεδιασμό ενός κτηρίου, που μπορούν και πρέπει να βελτιστοποιηθούν, ώστε να μειωθεί η ζήτηση και η κατανάλωση ενέργειας. Αυτά περιλαμβάνουν τη θέση και τον προσανατολισμό των κτηρίων σε ένα χώρο, τα επίπεδα θερμικής μόνωσης, τον τύπο των υαλοπινάκων, τη χρήση μέσων σκίασης, το νυχτερινό αερισμό το καλοκαίρι, την τοποθέτηση των χώρων ανάλογα με τον προσανατολισμό των όψεων, τη χρήση εκτεθειμένων θερμικών μαζών (αυξημένη θερμοχωρητικότητα), τη χρήση χαμηλής ισχύος συσκευών για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και της παραγόμενης θερμότητας και τη χρήση μηχανισμών ελέγχου για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης, που προέρχεται από τις οικιακές συσκευές. Όλες αυτές οι τεχνικές είναι γνωστές. Έχουν ήδη εφαρμοστεί σε ορισμένα κτήρια, συχνά με μέτριο ή και καθόλου επιπρόσθετο κόστος. Για τα παλαιότερα υπάρχοντα κτήρια, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν νέοι τρόποι και τεχνικές μόνωσης, για την αναβάθμιση των ενεργειακών τους επιδόσεων. Μία ακόμη ενδιαφέρουσα επιλογή αποτελούν τα υλικά αλλαγής φάσης, τα οποία θα μπορούσαν να ενσωματωθούν μέσα στους τοίχους και στα δομικά στοιχεία, έτσι ώστε να μετριάσουν τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και να ενεργήσουν ως ενισχυμένη θερμική μάζα. Χαμηλής ενέργειας κλιματισμό, που χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και τεχνικές όπως ο νυχτερινός αερισμός ή ο φυσικός κλιματισμός, πρέπει επίσης να ενσωματωθούν στα νέα κτήρια. Μερικά από τα προβλήματα που εμπλέκονται στην μείωση της ζήτησης, καθώς και στην ανάγκη ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, μπορούν να αντιμετωπιστούν καλύτερα, μέσω έξυπνων συστημάτων ελέγχου. Παρ' όλα αυτά. αν και έχουν χρησιμοποιηθεί παρόμοια, εξελιγμένα συστήματα ελέγχου σε εμπορικά κτήρια, δεν έχουν αξιοποιηθεί πλήρως και είναι γενικά, ακόμη μη αποδοτικά. Αυτό θα πρέπει να αλλάξει και η ίδια τεχνολογία θα πρέπει να χρησιμοποιείται ευρύτερα στον οικιακό τομέα. [18]

Όπως αναφέρθηκε, το ενδιαφέρον που δίδεται στην έννοια των κτηρίων με μηδενική κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά τα τελευταία χρόνια. Πολλές χώρες έχουν ήδη θεσπίσει τα ΚΜΕ ως μελλοντικό στόχο ενεργειακής κατανάλωσης και αποδοτικότητας των κτηρίων τους. Μεταξύ των διαφορετικών στρατηγικών, για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον κτηριακό τομέα, τα ΚΜΕ έχουν μία πολλά υποσχόμενη δυνατότητα να μειώσουν σημαντικά τη χρήση ενέργειας, καθώς και να αυξήσουν σημαντικά το συνολικό μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ωστόσο, υπάρχει ανάγκη για τη δημιουργία ενός κοινού, διεθνούς ορισμού,

καθώς και ενός ισχυρού μεθοδολογικού πλαισίου υπολογισμού. Το πλαίσιο αυτό θα πρέπει να επιτρέπει την ανάπτυξη ενός συνόλου, με ποικίλες λύσεις και να μην εστιάζεται μόνο στη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς η στρατηγική αυτή αφορά κυρίως μικρά και νέα κτήρια. [32]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία - Άρθρα

1. **A roadmap towards intelligent net zero - and positive - energy buildings.** D. Kolokotsa, D. Rovas, E. Kosmatopoulos, K. Kalaitzakis. 2010
2. **An estimate of residential energy savings from IECC change proposals recommended for approval at the ICC's Fall.** Initial Action Hearins, U.S. Department of Energy. 2009
3. **Building A Greener Future: Towards Zero Carbon Development.** Communities and Local Government. 2006
4. **Building a low carbon society.** Maria da Graça Carvalho, Matteo Bonifacio, Pierre Dechamps. 2010
5. **Case study of green energy system design for a multi-function building in campus.** S. Deng, Y.J. Dai, R.Z. Wang, X.Q. Zhai. 2011 8
6. **Case study of zero energy house design in UK.** Liping Wang, Julie Gwilliam, Phil Jones. 2009
7. **Comprehensive energy and economic analyses on a zero energy house versus a conventional house.** L. Zhu, R. Hurt, D. Correa, R. Boehm. 2009
8. **Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs.** Drury B. Crawley, Jon W. Hand, Michaël Kummert, Brent T. Griffith. 2005
9. **Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation.** Jarek Kurnitski, Arto Saari, Targo Kalamees, Mika Vuolle, Jouko Niemela, Teet Tark. 2011
10. **Costs of reducing carbon emissions: US building sector scenarios.** Jonathan G Koomey, Nathan C Martin, Marilyn Brown, Lynn K Price, Mark D Levine. 1998
11. **Definition of Passive Houses.** Passive House Institute. 2011
12. **Detailed energy saving performance analyses on thermal mass walls demonstrated in a zero energy house.** L. Zhu, R. Hurt, D. Correia, R. Boehm. 2008

13. **Development of a methodology for life cycle building energy ratings.** Patxi Hernandez, PaulKenny. 2011

14. **Εcoδομείν.** Manuel Fuentes, Stephanie Thomas, Sue Roaf. Εκδόσεις Ψύχαλλου, Ελλάδα. 2009

15. **Energy Manual- Sustainable architecture.** Hegger M., Fuchs M., Stark T., Zeumer M.. Εκδόσεις Detail, Switzerland. 2008

16. **Feasibility of zero carbon homes in England by 2016: A house builder's perspective.** Mohamed Osmani, Alistair O'Reilly. 2009

17. **From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB).** Patxi Hernandez, Paul Kenny. 2009

18. **Future proof construction - Future building and systems design for energy and fuel flexibility.** Adrian Pitts. 2009

19. **Improving environmental performance of building through increased energy efficiency: A review.** Vaidehi A. Dakwale, Rahul V. Ralegaonkar, Sachin Mandavgane. 2011

20. **Life cycle cost and energy analysis of a Net Zero Energy House with solar combisystem.** Mitchell Leckner, Radu Zmeureanu. 2010

21. **Managing carbon emissions in China through building energy efficiency.** Jun Li, Michel Colombier. 2009

22. **Nearly zero energy buildings: achieving the EU 202 target.** European Council for an Energy Efficient Economy. 2011

23. **Potential for Energy and CO2 Emission Savings through the application of the Passive House Standard in Ireland.** 10th international passive house conference. 2006

24. **Re(De)fining Net Zero Energy: Renewable Emergy Balance in environmental building design.** Ravi S. Srinivasan, William W. Braham, Daniel E. Campbell, Charlie D. Curcija. 2011

25. **Simplified method of sizing and life cycle cost assessment of building integrated photovoltaic system.** Arvind Chel, G.N. Tiwari, Avinash Chandra. 2009

26. **Simulation of zero net energy homes.** Département de génie mécanique. 2006

27. **The Secrets of a Passive House.** The New York Times. Grondahl M., Gates G. 2010

28. **Toward a European Eco - label brand for residential buildings: Holistic or by-components approaches?.** Vincenzo Franzitta, Maria La Gennusa, Giorgia Peri, Gianfranco Rizzo, Gianluca Scaccianoce. 2010

29. **Your guide to Frequently Asked Questions on the Recast of the Energy Performance of Buildings Directive.** European Council for an Energy Efficient Economy. 2010

30. **Zero carbon buildings refurbishment - A Hierarchical pathway.** Yangang Xing, Neil Hewitt, Philip Griffiths. 2011

31. **Zero energy balance and zero on-site CO2 emission housing development in the Mediterranean climate.** A. Ferrante, M.T. Cascella. 2011

32. **Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies.** A.J. Marszal, P. Heiselberg, J.S. Bourrell, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, A. Napolitano. 2010

33. **Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition.** P. Torcellini, S. Pless, and M. Deru, D. Crawley. 2006

34. **Zero net house: Preliminary assessment of suitability for Alberta.** Ghassan A. Zabaneh. 2011

35. **Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας – Διδακτικές σημειώσεις.** Κορωναίος Χρ., Ελλάδα. 2006

36. **Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε οικιστικά σύνολα.** ΚΑΠΕ, Ελλάδα. 2002

37. **Βιοκλιματική αρχιτεκτονική και ενεργειακός σχεδιασμός.** Κωνσταντινίδου Χ., Ελλάδα. 2009

38. **Βιοκλιματική αρχιτεκτονική.** Green Way Structure. Βαΐτσης Τρ. 2009

39. **Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική.** Ν. Χρυσομαλλίδου. Εκδόσεις ΣΕΛΚΑ-4Μ, Ελλάδα. 2002

40. **Βιοκλιματικός σχεδιασμός στην Ελλάδα: Ενεργειακή απόδοση και κατευθύνσεις εφαρμογής.** ΚΑΠΕ, Ελλάδα. 2002

41. **Γενικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού.** Αξαρλή Κ.. Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Ελλάδα. 2009

42. **Εκπαιδευτικό υλικό του ΤΕΕ για τους Ενεργειακούς επιθεωρητές.** ΙΕΚΕΜ ΤΕΕ, Ελλάδα. 2012

43. **Ενεργειακός βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων και οικισμών.** Γ. Κοντορούπης. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ελλάδα. 2003

44. **Ενσωμάτωση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εξοικονόμηση ενέργειας στον οικιακό τομέα.** ΚΑΠΕ, Ελλάδα. 2006

45. **Η συμβολή των ανοιγμάτων στην ενεργειακή συμπεριφορά των κτηρίων.** Δημήτριος Χαντές. Αλουμίνιο και σύγχρονες εφαρμογές. 2008

46. **Θερμικά Ηλιακά Συστήματα.** ΚΑΠΕ, Ελλάδα. 2003

47. **Θερμομόνωση και υγρομόνωση.** Σεμινάριο ΙΕΚΕΜ ΤΕΕ. 2011

48. **Κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτηρίων.** ΥΠΕΚΑ, Ελλάδα. 2010

49. **Οδηγός ενεργειακού σχεδιασμού.** Εκδόσεις Κτήριο, Ελλάδα. 2011

50. **Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας μέσω θερμομόνωσης.** ΚΑΠΕ, Ελλάδα. 1999

51. **Οδηγός εφαρμογής προγράμματος «Εξοικονόμηση κατ' οίκων».** ΥΠΕΚΑ, Ελλάδα. 2011

52. **Οδηγός Θερμομόνωσης και στεγανοποίησης.** Εκδόσεις Κτήριο, Ελλάδα. 2011

53. **Οδηγός Σχεδιασμού εγκαταστάσεων.** Εκδόσεις Κτήριο, Ελλάδα. 2012

54. **Οικολογική αρχιτεκτονική.** Κ. & Θ. Τσίπηρας. Εκδόσεις Κέδρος, Ελλάδα. 2005

55. **Οικολογική σκέψη & αρχιτεκτονική.** Α. Τομπάζης. Εκδόσεις Μέλισσα, Ελλάδα. 2010

56. **Πράσινη κατανάλωση.** Οδηγός από την Greenpeace. 2005

57. **Τεχνικά υλικά – Τόμος 2.** Κορωναίος Α., Πουλάκος Γ.. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ελλάδα. 2005

58. **Τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας σε κτήρια.** ΚΑΠΕ, Ελλάδα. 2008

59. **Φωτοβολταϊκά στα κτήρια.** Σεμινάριο ΙΕΚΕΜ ΤΕΕ. 2011

Περιοδικός τύπος - Διαδίκτυο

60. **ArcadiaPortal.** www.arcadiaportal.gr

61. **Biodisk.** www.biodisk.net

62. **Building.gr.** www.spitia.gr

63. **E-build.gr.** e-build.gr/2011/08/11/φωτοβολταϊκά-σε-στέγες-κορεσμένα-τα-δ/

64. **ΕcoΔόμηση Αρχιτεκτονική και περιβάλλον.** www.ecodomisi.gr. 2012

65. **Energy Performance of Buildings community.** www.buildup.eu/communities/epbdcommunity. 2012

66. **Energy Saving Potential.** www.europeanpassivehouses.org. 2012

67. **Forest Products Laboratory. U.S. Department of Agricalture.** www.fpl.fs.fed.us/research/centers/ahrc/research_demonstration_house.shtml

68. **Google Earth.** www.google.com/earth

69. **Ηλιακά συστήματα θέρμανσης χώρου και ζεστού νερού.** Περιοδικό 4green. Μάρτιος 2012

70. **Phys.org.** http://phys.org/

71. **Thedecobook.** www.thedecobook.com

72. **Treehugger.** http://www.treehugger.com/renewable-energy/900-megawatts-of-biomass-power-to-be-built-by-ukatms-drax-group.html

73. **Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Παιδαγωγικό τμήμα δημοτικής εκπαίδευσης.** users.auth.gr/labrinos/www.eled.auth.gr/geography/lesson3.htm

74. **ΔΕΗ Α.Ε..** www.dei.gr

75. **Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία.** www.hnms.gr

76. **Ελληνική Στατιστική Αρχή.** www.statistics.gr

77. **Επιχείρηση Pellet Σερρών.** www.pelletserron.gr

78. **Εταιρεία Alto.** www.alto.gr

79. **Εταιρεία Alto.** www.alto.gr

80. **Εταιρεία Caparol.** www.caparol.gr

81. **Εταιρεία Contract way.** www.contractway.com

82. **Εταιρεία E-alouminio.** http://www.e-alouminio.gr

83. **Εταιρεία Engaia Α.Ε. Συστήματα Ανανεώσιμης Ενέργειας.** www.engaia.gr

84. **Εταιρεία Idealtherm.** www.idealtherm.gr

85. **Εταιρεία Interbeton – Δομικά υλικά.** www.interbeton.gr.

86. **Εταιρεία Parquet World.** www.parquet-world.gr

87. **Εταιρεία Schuco.** www.schueco.com/web/gr

88. **Εταιρεία Sigma.** www.sigma-geo.gr

89. **Εταιρεία SMA.** www.sma-hellas.com

90. **Εταιρεία Sunpower.** us.sunpowercorp.com

91. **Εταιρεία Ανδρουλάκης.** www.androulakis-e.gr/

92. **Εταιρεία Θερμογαία.** www.thermogea.gr

93. **Εταιρεία Νάτσης.** www.natsis.gr/

94. **Εταιρεία Παραλημνίτικο.** www.paralimnitiko.com/docs/thermosovas.pdf

95. **Εταιρεία Πατρινός Χρ.** www.patrinos.gr

96. **Ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια Wikipedia org.** el.wikipedia.org

97. **Ηλεκτρονικό μουσείο πολιτικού μηχανικού – Δημοκρίτειο πανεπιστήμιο Θράκης.** diocles.civil.duth.gr. 2012

98. **Ηλεκτρονικό περιοδικό για την αρχιτεκτονική.** www.greekarchitects.gr/gr/αρχιτεκτονικες-ματιες/βιοκλιματική-αρχιτεκτονική. 2011

99. **Ιστολόγιο «Πράσινα κτήρια για έναν Πράσινο κόσμο».** ecomargarita.blogspot.gr/2009/04/blog-post_10.html. 2009

100. **Ιστολόγιο «Τα πάντα για τα κουφώματα».** koufomata-expert.blogspot.com

101. **Ιστολόγιο Sunblog.** www.sunblog.org

102. **Ιστολόγιο Οικοδόμος.** e-oikodomos.blogspot.gr

103. **Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.** www.cres.gr/energy-saving

104. **Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.** www.cres.gr/kape

105. **Λογισμικό PVsyst.** http://www.pvsyst.com

106. **Μετεωρολογικά δεδομένα της NASA.** eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse

107. **Πράσινο σπίτι και κτήριο.** www.4green.gr

108. **Πύλη παιδαγωγικού υλικού περιβαλλοντικής εκπαίδευσης.** http://www.env-edu.gr

109. **Τεχνική ορολογία.** www.texnikos.gr/glossary/index_t/touvlo.shtml

110. **Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.** www.tee.gr

111. **Υπουργείο περιβάλλοντος ενέργειας και κλιματικής αλλαγής.** www.ypeka.gr