



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προσομοίωση κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας

ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Τζιβανίδη Χρήστο για την ανάθεση της παρούσας εργασίας, την άμεση βοήθειά του και την καθοδήγησή του για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους δικούς μου ανθρώπους που ήταν δίπλα μου και με στήριξαν σε όλο αυτό το διάστημα, ώστε με τη βοήθεια του Θεού να καταφέρω να ολοκληρώσω το ταξίδι μέχρι την απόκτηση του πτυχίου.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους και συμφοιτητές μου που πορευτήκαμε μαζί κατά την διάρκεια ολόκληρων των σπουδών, βιώνοντας παρόμοιες εμπειρίες και συναισθήματα, αποκτώντας ένα μοναδικό δέσιμο που θα μας συντροφεύει στην πορεία της ζωής μας.

Πίνακας περιεχομένων

1. Περιβάλλον	8
1.1 Εισαγωγή	8
1.2 Φαινόμενο του θερμοκηπίου	8
1.3 Τρύπα του όζοντος	9
1.4 Ρύπανση της ατμόσφαιρας	9
1.5 Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής	10
1.5.1 Λιώσιμο των πάγων	11
1.5.2 Ακραία καιρικά φαινόμενα	12
2. Ενέργεια και κτίρια	13
2.1 Η κατάσταση στην Ελλάδα	13
2.2 Ενεργειακή φτώχεια στην Ελλάδα	15
2.3 Νομοθεσία για την εξοικονόμηση ενέργειας στην Ελλάδα	16
3. Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων	19
3.1 Παθητικό κτίριο	19
3.2 Κτίρια μηδενικής κατανάλωσης	22
3.3 Εναλλακτικοί ορισμοί κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης	23
3.4 Παραδείγματα κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης	24
3.4.1 Παράδειγμα κτιρίου ΜΚΕ: Οικογενειακή κατοικία, Riehen, Ελβετία	24
3.4.2 Παράδειγμα κτιρίου ΜΚΕ: Οικογενειακό κτίριο, Ανκόνα, Ιταλία	25
4. Λογισμικό POLYSUN	27
4.1 Χρήση του λογισμικού	27
4.2 Τρόπος εκτέλεσης υπολογισμών	28
4.2.1 Δυναμική μέθοδος υπολογισμού φορτίου με βάση την τιμή U όλου του κτιρίου	29
4.2.2 Δυναμική μέθοδος υπολογισμού με βάση το καθορισμένο φορτίο	31
4.2.3 Απλοποιημένες μέθοδοι υπολογισμού του απαιτούμενου φορτίου	32
4.3 Εξαγωγή αποτελεσμάτων λογισμικού	35
4.3.1 Αποτελέσματα του έργου σε μορφή επαγγελματικής αναφοράς	35
4.3.2 Ενεργειακή ετικέτα του έργου	36
4.3.3 Παραμετροποίηση των αποτελεσμάτων	37
5. Δημιουργία κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης με το POLYSUN	38
5.1 Τοποθεσία του συστήματος	39
5.2 Εξεταζόμενο Κτίριο	40
5.3 Επιλογή συστημάτων παροχής ενέργειας	43
5.4 Επιλογή μεγεθών κατανάλωσης	45
5.5 Διαστασιολόγηση στοιχείων του κυκλώματος	46

5.5.1	Θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες.....	46
5.5.2	Αντλία θερμότητας.....	49
5.5.3	Δεξαμενή αποθήκευσης νερού.....	51
5.5.4	Στοιχείο θέρμανσης.....	52
5.5.5	Εναλλάκτης θερμότητας.....	53
5.5.6	Αισθητήρες και συστήματα ελέγχου.....	54
5.5.7	Ανάλυση προσομοιώσεων.....	57
5.5.8	Παροχή ψύξης.....	58
5.5.9	Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	58
6.	Αποτελέσματα εκτέλεσης της προσομοίωσης.....	61
6.1	Καιρικά δεδομένα.....	61
6.2	Αποτελέσματα συλλεκτών και ηλιοθερμικής ενέργειας.....	62
6.3	Αποτελέσματα αντλίας θερμότητας.....	64
6.4	Αποτελέσματα Φωτοβολταϊκών.....	64
6.5	Συνολικά αποτελέσματα.....	66
7.	Εναλλακτικά σενάρια.....	68
7.1	Σενάριο 2- Ανίχνευση του ήλιου από τα φ/β.....	68
7.2	Σενάριο 3-Αφαίρεση της αντλίας θερμότητας.....	70
7.3	Σενάριο 4- Μελέτη συστήματος Ηλιακής ψύξης.....	72
7.3.1	Ψύκτης απορρόφησης.....	72
7.3.2	Ψύκτης προσρόφησης.....	73
7.3.3	Προσομοίωση ψύκτη απορρόφησης με το Polysun.....	74
7.3.4	Αποτελέσματα σεναρίου 4.....	78
7.4	Σενάριο 5-Ψύκτης προσρόφησης χωρίς αντλία θερμότητας.....	81
7.4.1	Χαρακτηριστικά της διάταξης του σεναρίου 5.....	81
7.4.2	Αποτελέσματα σεναρίου 5.....	83
7.5	Σύγκριση μεταξύ των σεναρίων.....	84
8.	Παραμετρική ανάλυση σεναρίου 3.....	87
8.1	Μεταβολή χαρακτηριστικών του κτιρίου.....	87
8.2	Παραμετρική ανάλυση θερμικών ηλιακών συλλεκτών.....	89
8.2.1	Μεταβολή της κλίσης των συλλεκτών.....	89
8.2.2	Μεταβολή του αριθμού των συλλεκτών.....	90
8.3	Μελέτη τοποθέτησης συλλεκτών PVT.....	90
8.4	Παραμετρική ανάλυση χρήσης των Φωτοβολταϊκών.....	95
9.	Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	96
9.1	Συμπεράσματα.....	96

9.2 Προτάσεις για μελλοντική επιστημονική έρευνα	96
Βιβλιογραφία	98

Περίληψη

Κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι η προσομοίωση ενός κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας με χρήση του λογισμικού Polysun. Στα πρώτα κεφάλαια γίνεται μία ανάλυση γύρω από τις επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας στο περιβάλλον. Στη συνέχεια αναφέρονται οι ενέργειες που γίνονται και οι κανονισμοί που τίθενται από τα κράτη, προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές ρύπων που προέρχονται από τα κτίρια. Ως συνέχεια αυτών γίνεται μία περιγραφή του τι είναι ένα κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας και γιατί είναι τόσο σημαντική η μελέτη τους.

Το πρακτικό μέρος αυτής της εργασίας αφορά την χρήση του λογισμικού Polysun για την εκτέλεση της προσομοίωσης του εξεταζόμενου συστήματος. Γίνεται έτσι μία αναλυτική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του λογισμικού, της σύστασης του και των δυνατοτήτων που προσφέρει. Παράλληλα περιγράφεται βήμα-βήμα η διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να δημιουργηθεί και να προσομοιωθεί το κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

Το εξεταζόμενο κτίριο είναι ένα πρότυπο παθητικό κτίριο με χαρακτηριστικά που παρέχονται από τους καταλόγους του λογισμικού. Σε αυτό εγκαθίστανται Ηλιακοί συλλέκτες, φωτοβολταϊκά και αντλία θερμότητας που λειτουργούν αποδοτικά προκειμένου να επιτευχθεί μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Περιγράφονται αναλυτικά όλα τα στοιχεία του συστήματος και γίνεται ποιοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εκτέλεση της προσομοίωσης.

Στο επόμενο στάδιο προσομοιώνονται εναλλακτικά συστήματα τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν στο κτίριο και να δώσουν μηδενική κατανάλωση ενέργειας κατά τη λειτουργία του. Στα συστήματα αυτά περιέχονται μηχανές απορρόφησης για παροχή ψύξης, υβριδικοί συλλέκτες PVT και τεχνολογίες ανίχνευσης του ηλίου από τα φωτοβολταϊκά. Τα σενάρια συγκρίνονται μεταξύ τους προκειμένου να εντοπιστεί αυτό που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την επίδρασή τους στο περιβάλλον. Στο επιλεγμένο σενάριο γίνεται περαιτέρω παραμετρική ανάλυση των αποτελεσμάτων που δίνει όταν μεταβάλλονται κάποια χαρακτηριστικά στοιχεία του.

Με τη μελέτη της παρούσας εργασίας γίνεται κατανοητό το τι είναι ένα κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, ποια είναι η χρησιμότητά του και με τι τρόπους μπορεί να υλοποιηθεί αυτό. Παράλληλα προσφέρεται για όποιον τον ενδιαφέρει το λογισμικό Polysun, ώστε να κατανοήσει τη λειτουργία του και να γνωρίζει με τι τρόπο μπορεί να το χρησιμοποιήσει προκειμένου να εκτελέσει τις δικές του προσομοιώσεις.

Abstract

This project focuses on the simulation of a zero energy building with the use of the Polysun software. In the first chapters is presented an analysis about the impact of human activities in the environment. Furthermore, there is a reference to the procedures and rules that are set from states all over the world, so that being reduced the emissions of pollutants originating from the buildings. In the aftermath, the assignment depicts what is a zero energy building (ZEB) and why its study is too much important.

The functional part of this project concerns the use of Polysun software to carry the analysing system of simulation. In this way, there is an extensive description of software operation mode, of its composition and of its applicable provisions. Simultaneously, step-by-step procedure is illustrated about the creation and emulation of a ZEB.

The analysing building is a passive house model and its characteristics are included on the software manual. Solar collectors, PV and heat pumps are installed about a zero energy building accomplishment. System data and results of the simulation execution are described extensively.

On the next level, simulation alternative systems are being set up in the model building providing a zero energy building during its order. Absorption and adsorption chillers, PVT collectors and PV tracker are included at those systems. The comparison of data information proves which one scenario is efficient and preferable concerning its influence on the environment. A further parametric analysis is carried out to the chosen scenario in case of changing some of its variables.

The present project study enables to understand of what is a zero energy building, of what is its utility and how is may be implemented in daily life. Moreover Polysun software provision is addressed to anyone who is interested about understanding its function and how to use it on their own simulation executions.

1. Περιβάλλον

1.1 Εισαγωγή

Η αλληλεξάρτηση μεταξύ ανθρώπου και γήινου περιβάλλοντος, αποτελεί εδώ και πολλά χρόνια αφετηρία συστηματικού προβληματισμού. Ο άνθρωπος από την αρχή της εμφάνισης του στη Γη αλληλεπιδρούσε με αυτή προκειμένου να επιβιώσει και να καλύψει τις ανάγκες του. Ωστόσο, η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη, ο υπερπληθυσμός και η όλο και αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας και πόρων έχουν φέρει τον πλανήτη σε μία οριακή κατάσταση. Τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται μία ενιαία προσπάθεια από όλα τα κράτη προκειμένου να αναπτυχθεί μια παγκόσμια στρατηγική βιώσιμης ανάπτυξης.

Πρωτόκολλο του Κιότο

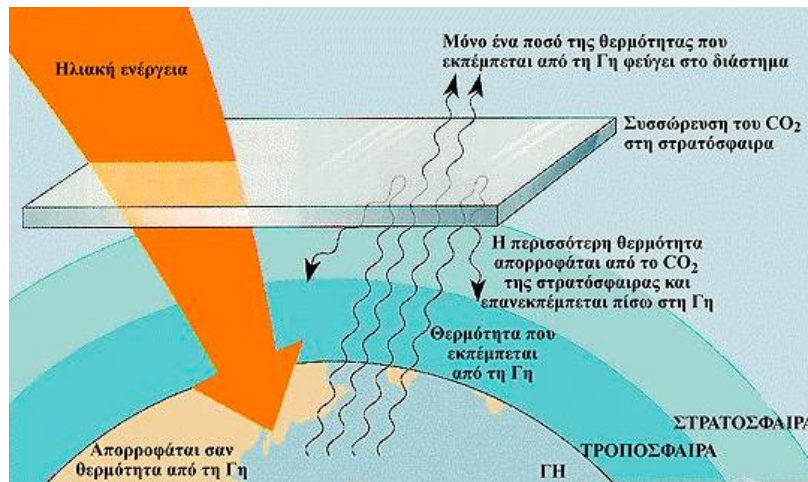
Το Δεκέμβριο του 1997 στο Κιότο της Ιαπωνίας, τα μέλη των Ηνωμένων Εθνών αποδέχθηκαν το πρωτόκολλο του Κιότο. Πρόκειται για μία σύμβαση που ορίζει με νομικό χαρακτήρα τις τιμές για τις εκπομπές αερίων από τις βιομηχανικές χώρες. Προέβλεπε καινοτόμους μηχανισμούς υλοποίησης βάσει της λειτουργίας των δυνάμεων της αγοράς και ως βασικός στόχος ήταν η μείωση της παραγωγής των διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), μεθανίου (CH₄), υποξειδίου του αζώτου (N₂O), υδροφθορανθράκων (HFC), υπερφθορανθράκων (PFC) και εξαφθοριούχου θείου (SF₆) κατά 5,6% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, μέχρι το 2012.

Συμφωνία του Παρισιού

Στις 22 Απριλίου 2016 υπογράφηκε από τα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης η γνωστή ως <<συμφωνία του Παρισιού>> που αποτελεί την πρώτη οικουμενική, νομικά δεσμευτική παγκόσμια συμφωνία για το κλίμα. Ως στόχος σε αυτή την συμφωνία τίθεται η διατήρηση της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη αρκετά κάτω από τους 2 °C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα. Κάθε χώρα έτσι τίθεται υπόλογη για την αρνητική της επίδραση προς το περιβάλλον στα πλαίσια της ανάπτυξης της. [2]

1.2 Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Ο πλανήτης, καθώς θερμαίνεται από τον Ήλιο, εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία. Φαινόμενο του θερμοκηπίου ονομάζεται η απορρόφηση αυτής της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Κανονικά τμήμα αυτής της ακτινοβολίας θα έφευγε στο διάστημα. Τώρα, όμως, απορροφάται από διάφορα αέρια τα οποία παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η χρήση καυσίμων όπως του πετρελαίου και της βενζίνης για παραγωγή ενέργειας, έχουν προκαλέσει την έκλυση τεράστιων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Τα λεγόμενα αέρια του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), τα οξειδία του αζώτου (NO_x) και οι τετραχλωράνθρακες (CFC). Αποτέλεσμα είναι να έχει αυξηθεί ο μέσος όρος της θερμοκρασίας στην Ευρώπη κατά 1 °C.



Εικόνα 1.1: Περιγραφή φαινομένου του θερμοκηπίου [36]

1.3 Τρύπα του όζοντος

Τρύπα του όζοντος ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο το στρώμα του όζοντος που βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γης (στρατόσφαιρα) μειώνεται σε πάχος. Παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1985. Λόγω του ότι το όζον προστατεύει από την ηλιακή ακτινοβολία, απορροφώντας σημαντικό τμήμα της υπεριώδους ακτινοβολίας, η δημιουργία της τρύπας του όζοντος έχει αρνητικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία. Παράλληλα αυξάνει την θερμοκρασία στον πλανήτη και συμβάλει αρνητικά στο λιώσιμο των πάγων. Για το φαινόμενο αυτό έχουν ενοχοποιηθεί οι χλωροφθοράνθρακες που χρησιμοποιούνταν ευρέως ως προωθητικά αέρια και σε ψυκτικές συσκευές όπως τα κλιματιστικά. Για αυτό η παγκόσμια περιβαλλοντική κοινότητα υπαγόρευσε την καθολική κατάργηση παραγωγής και χρήσης τους βάσει του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ (1987) και των μεταγενέστερων τροποποιήσεων-συνθηκών του.

1.4 Ρύπανση της ατμόσφαιρας

Ως ρύπανση της ατμόσφαιρας ορίζεται η συγκέντρωση σε αυτήν αερίων και σωματιδίων που είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Προκαλείται κυρίως από τρεις ανθρώπινες δραστηριότητες, τη βιομηχανία, τις μεταφορές και τα νοικοκυριά. Το Δεκέμβριο του 1952 συνέβη στο Λονδίνο το μεγαλύτερο περιστατικό ατμοσφαιρικής ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια αιθάλης, αφού τόσο τα σπίτια όσο και οι βιομηχανίες έκαιγαν γαιάνθρακα. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες συντήρησαν ένα «νέφος» καπνιάς τέσσερις ημέρες πάνω από την πόλη με αποτέλεσμα τον πρόωρο θάνατο πάνω από 4.000 ανθρώπων όπως υπολογίστηκε.

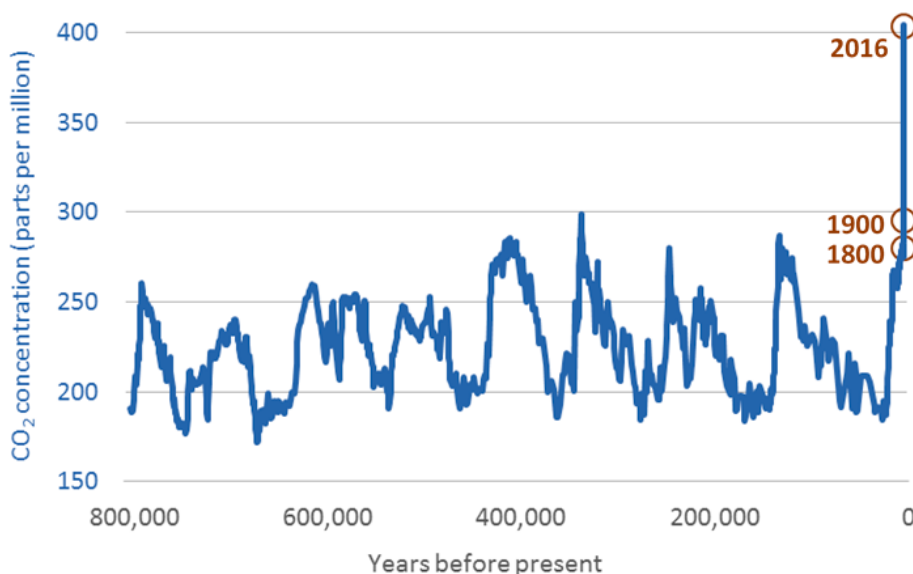
Οι εκπομπές διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου που προέρχονται από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία και τις μεταφορές προκαλούν την όξινη βροχή. Τα εκπεμπόμενα αέρια διαλύονται στην υγρασία της ατμόσφαιρας ή στο νερό της βροχής, σχηματίζοντας τα αντίστοιχα οξέα(θειικό και νιτρικό οξύ), με αποτέλεσμα να αυξάνουν την οξύτητά της. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αυτών των οξέων μπορούν να καταστρέψουν τα χερσαία και τα υδάτινα οικοσυστήματα αλλά και να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στα υλικά, όπως στα μαρμάρινα μνημεία. Τα υδάτινα οικοσυστήματα είναι ευαίσθητα στις μεταβολές της οξύτητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η λίμνη Μπάρκενβατ στη Νορβηγία, όπου ζούσαν μεγάλοι πληθυσμοί από πέστροφες και πέρκες. Η αύξηση της

οξύτητας είχε ως αποτέλεσμα την πλήρη εξαφάνιση των πληθυσμών αυτών στα τέλη της δεκαετίας του '70

1.5 Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής

Η κλιματική αλλαγή πλέον, δεν είναι μία υπόθεση, άλλα μία πραγματικότητα που βιώνεται με αρκετές αρνητικές συνέπειες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Η επιστημονική έρευνα έχει δώσει στοιχεία που αποδεικνύουν ποσοτικά την αλλαγή στο κλίμα της Γης.

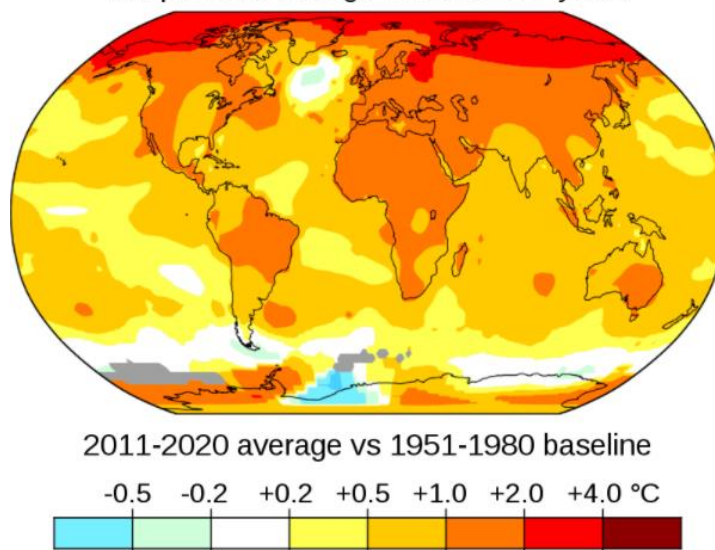
Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από το 1800 και μετά αυξάνεται με μεγάλους ρυθμούς, και έχει φτάσει σε επίπεδα που ο πλανήτης ποτέ δεν είχε ξεπεράσει εδώ και χιλιάδες χρόνια



Εικόνα 1.2: Αποτύπωση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα[37]

Η συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα η μέση θερμοκρασία του πλανήτη να αυξάνεται. Τα δεδομένα που παρέχει η NASA πιστοποιούν αυτές τις αλλαγές. Η εικόνα 1.3 αποτυπώνει το πόσο έχει αυξηθεί η μέση θερμοκρασία για κάθε ζώνη της Γης, τα τελευταία 50 χρόνια.

Temperature change in the last 50 years

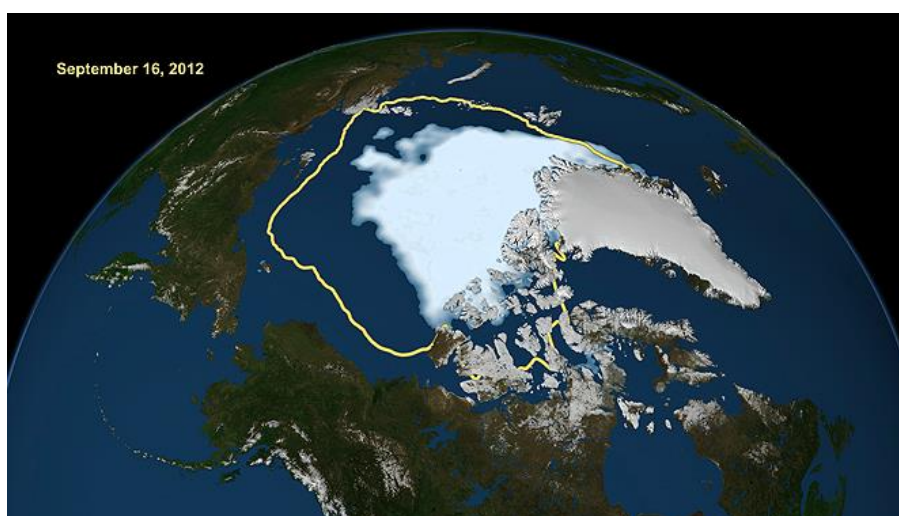


Εικόνα 1.3: Αύξηση μέσης θερμοκρασίας της Γης τα τελευταία 50 χρόνια[5]

Η αύξηση της θερμοκρασίας της Γης είναι μόνο η αρχή. Δημιουργείται μία αλυσίδα με αλληπάλληλες αλλαγές που προκαλούν αρνητικές συνέπειες τόσο στους ανθρώπους όσο και στην χλωρίδα και πανίδα του πλανήτη.

1.5.1 Λιώσιμο των πάγων

Οι πάγοι της ανταρκτικής και της αρκτικής επηρεάζονται άμεσα από τις κλιματικές αλλαγές. Πέρα από το οικοσύστημα των περιοχών που καταστρέφεται, όλος ο υπόλοιπος πλανήτης βιώνει τις επιδράσεις αυτής της συρρίκνωσης. Οι παγετώνες που λιώνουν μετατρέπονται σε νερό με αποτέλεσμα την αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Είναι γεγονός ότι τον τελευταίο αιώνα το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας αυξήθηκε κατά 17 εκατοστά, ενώ την τελευταία δεκαετία αυξάνεται με διπλάσιους ρυθμούς. Χώρες που βρίσκονται σε πολύ χαμηλή στάθμη, όπως είναι η Ολλανδία, κινδυνεύουν να βρεθούν κάτω από το νερό αν συνεχίσει αυτή η αύξηση. Οι δορυφορικές εικόνες αποτυπώνουν αυτή την συρρίκνωση.



Εικόνα 1.4: Έκταση της Αρκτικής κατά την ελάχιστη τιμή της το 2012[38]

Στην εικόνα 1.4 αποτυπώνεται η έκταση της Αρκτικής τη στιγμή της ελάχιστης της έκτασης της κατά το 2012 και συγκρίνεται με τη μέση ελάχιστη έκταση των παγετώνων τα τελευταία 30 χρόνια(κίτρινο χρώμα).

1.5.2 Ακραία καιρικά φαινόμενα

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα αναμένεται να είναι συχνότερα και εντονότερα λόγω της κλιματικής αλλαγής . Οι φυσικές καταστροφές εξαιτίας του καιρού έχουν ήδη αυξηθεί σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Για κάθε περιοχή οι επιπτώσεις είναι διαφορετικές.

- Οι χώρες της νότιας και κεντρικής Ευρώπης πλήττονται όλο και πιο συχνά από κύματα καύσωνα, δασικές πυρκαγιές και ξηρασίες.
- Η λειψυδρία στις περιοχές της Μεσογείου αυξάνεται συνεχώς με αποτέλεσμα να μεγαλώνουν οι κίνδυνοι ξηρασίας και ανεξέλεγκτων πυρκαγιών.
- Η Βόρεια Ευρώπη δέχεται μεγαλύτερες ποσότητες βροχοπτώσεων και οι πλημμύρες θα γίνουν σύνηθες φαινόμενο τον χειμώνα.
- Οι αστικές περιοχές, όπου ζουν σήμερα 4 στους 5 Ευρωπαίους, εκτίθενται σε καύσωνες, πλημμύρες ή στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. [6]



Εικόνα 1.5: Ακραία καιρικά φαινόμενα[39]

2. Ενέργεια και κτίρια

Η ανάγκη για δράσεις έναντι της κλιματικής αλλαγής έχει οδηγήσει τους μηχανικούς να στραφούν σε διαφορετικές κατευθύνσεις σχεδιασμού των κτιρίων. Το ωραίο design και η άνεση των χώρων χρειάζεται να συμβαδίζει με την παγκόσμια προσπάθεια που γίνεται για την μείωση των εκπομπών ρύπων. Οι απαιτήσεις των ανθρώπων για ευχάριστο περιβάλλον με κατάλληλη θερμοκρασία και υγρασία πρέπει να ικανοποιούνται με τρόπο που να ευνοεί την αειφόρο ανάπτυξη.

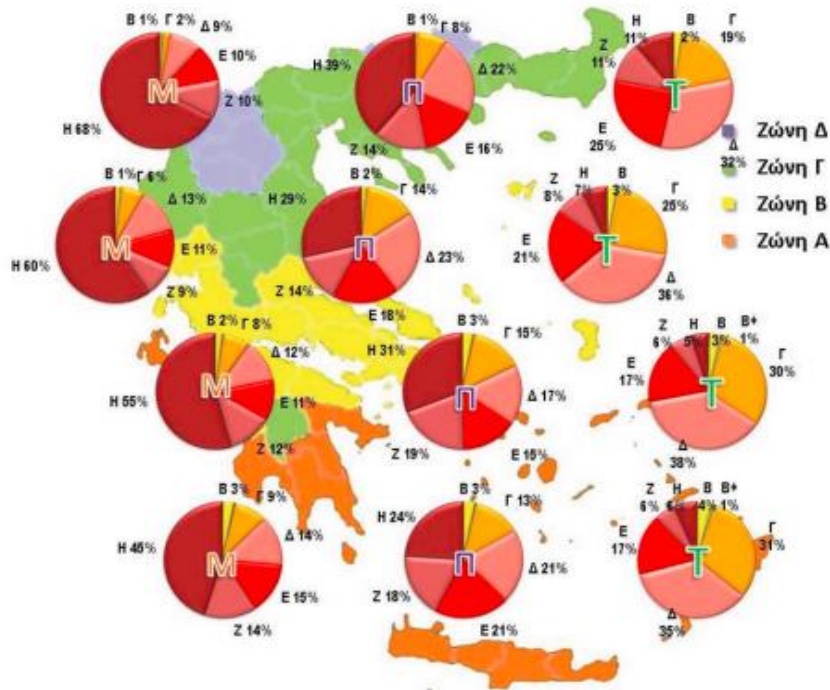
2.1 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Ο τομέας των κτηρίων λαμβάνει ένα σημαντικό μερίδιο στην συνολική κατανάλωση ενέργειας. Στον Ελλαδικό χώρο, σύμφωνα με στοιχεία της διεθνούς οργάνωσης ενέργειας (IEA) τα οικιστικά κτίρια καταναλώνουν το 24,4% της συνολικής ετήσιας ενέργειας. Από αυτή την ενέργεια το 6,9% προέρχεται από Ηλιακή, Αιολική ενέργεια και το 18,6% από καύση αποβλήτων και βιοκαυσίμων.



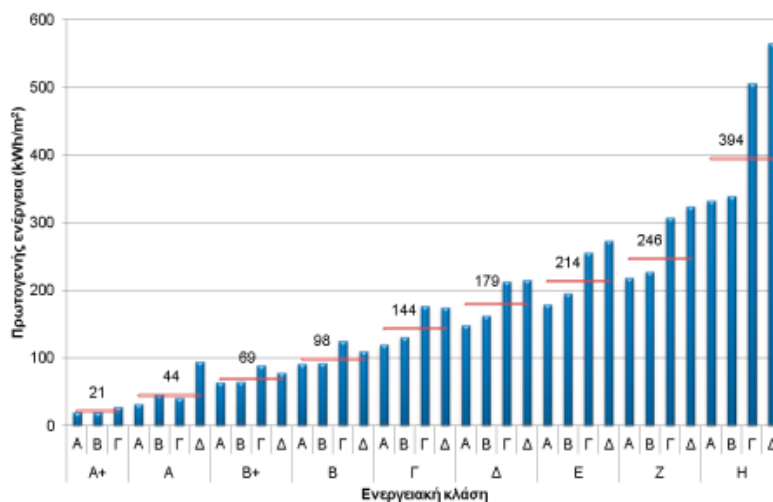
Διάγραμμα 2.1: Μερίδια καυσίμων στα Ελληνικά κτίρια [40]

Συγκριτικά με τις υπόλοιπες χώρες της Ευρώπης η Ελλάδα θεωρείται από τις πιο σπάταλες στον τομέα των κτιρίων. Στον Ελλαδικό χώρο υπολογίζεται ότι υπάρχουν 4 εκ. κτίρια το 77% των οποίων είναι κατοικίες. Η πλειοψηφία αυτών είναι κτισμένα πριν από το 1980 με αποτέλεσμα να διαθέτουν ελλιπή η καθόλου μόνωση και απαρχαιωμένο Η/Μ εξοπλισμό. Η έκδοση των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) που ξεκίνησε το 2011 δίνει την εικόνα για τα κτίρια στις διάφορες κλιματικές ζώνες της Ελλάδας. Μέχρι το 2014 η εικόνα αυτή αποτυπώνεται στον ακόλουθο χάρτη.



Εικόνα 2.1: Ενεργειακή κατάταξη για τις μονοκατοικίες (Μ), τις πολυκατοικίες (Π) και τα κτίρια του τριτογενή τομέα (Τ) ανά κλιματική ζώνη από τα διαθέσιμα ΠΕΑ (2014) [7]

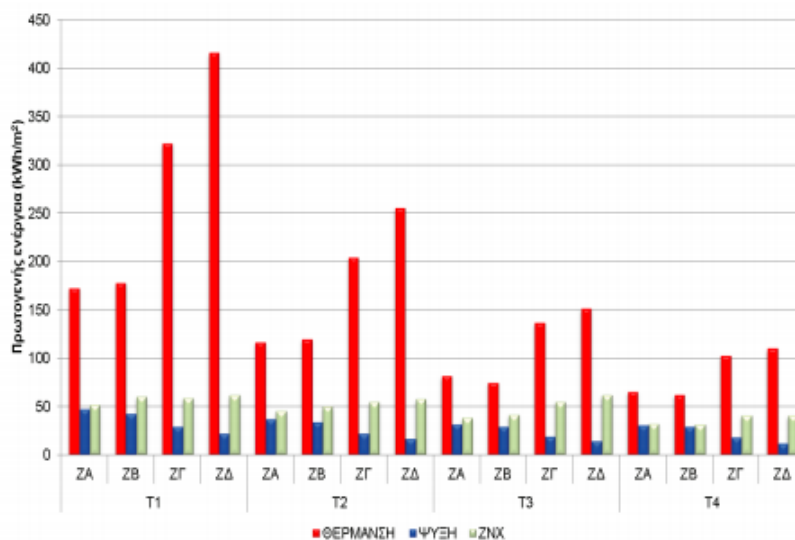
Τα ελληνικά κτίρια καταναλώνουν περίπου το 72% της τελικά διαθέσιμης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και συμβάλλουν κατά περίπου 45% στις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Προκειμένου να γίνει κατανοητή η συμβολή της κατασκευής του κτιρίου στην κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας παρατίθεται ο ακόλουθος πίνακας που δείχνει την μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κάθε ενεργειακής κλάσης κτιρίων, στις διαφορετικές κλιματικές ζώνες.



Διάγραμμα 2.2: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά ενεργειακή κλάση κτιρίου[7]

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι ένα σπίτι ενεργειακής κλάσης-Η καταναλώνει κατά μέσο όρο πρωτογενή ενέργεια, όση θα καταλάωναν 9 κτίρια ενεργειακής

κλάσης-A. Η μέση κατανάλωση ενέργειας για κάθε νοικοκυριό υπολογίζεται ίση με **13994 kWh** το έτος. Για να γίνει καλύτερη σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών κτιρίων δίνεται η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κάθε χρήση, αναγόμενη στην επιφάνεια του κάθε κτιρίου. Τα κτίρια ομαδοποιούνται ανάλογα με την χρονολογία κατασκευής τους σε 4 χρονικές περιόδους κατασκευής: T1 για κτίρια πριν το 1980, T2 για την περίοδο 1981-2000, T3 για το 2001-2010 και T4 για τα κτίρια που κατασκευάστηκαν μετά το 2010.



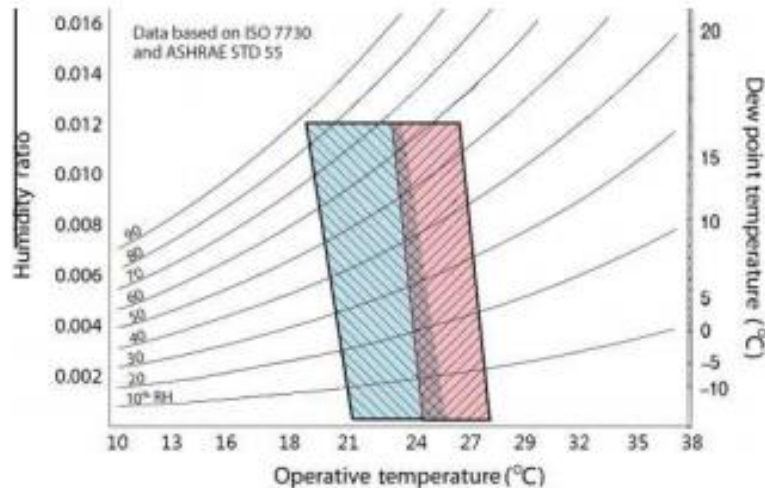
Διάγραμμα 2.3: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για ψύξη, θέρμανση και ΖΝΧ ανά περίοδο κατασκευής των κτιρίων[7]

Λαμβάνοντας τα μέσα αποτελέσματα αξίζει να αναφερθεί πως τα Ελληνικά κτίρια έχουν μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας $174,4 \text{ kWh/m}^2$ για θέρμανση, $33,3 \text{ kWh/m}^2$ για ψύξη και $53,6 \text{ kWh/m}^2$ για ζεστό νερό χρήσης (ΖΝΧ).

2.2 Ενεργειακή φτώχεια στην Ελλάδα

Ως ενεργειακή φτώχεια ορίζεται η περιορισμένη ή καμία πρόσβαση σε βασικές ενεργειακές υπηρεσίες (θέρμανση, ψύξη, φωτισμός), με αποτέλεσμα δυσμενείς συνέπειες τόσο στην υγεία και την ευημερία των ανθρώπων που ζουν σε αυτές τις συνθήκες, όσο και στο περιβάλλον. Προκαλείται από συνδυασμό τριών κυρίως παραγόντων, την οικονομική δυσχέρεια, την αυξημένη τιμή πετρελαίου και ηλεκτρικού ρεύματος και του κακού ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων. Σύμφωνα με μελέτη του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Απόδοσης Κτιρίων υπολογίζεται στην Ευρώπη ότι περισσότεροι από 50 εκατομμύρια άνθρωποι ζουν σε τέτοιες συνθήκες

Στην Ελλάδα η οικονομική κρίση οδήγησε τους οικονομικά ασθενέστερους να κατοικήσουν σε σπίτια οικονομικότερα, τα οποία όμως έχουν κακό ενεργειακό σχεδιασμό με ελλιπή ή καθόλου μόνωση. Η συνεχής μείωση των μισθών σε συνδυασμό με την αύξηση στις τιμές των καυσίμων οδηγεί τους κατοίκους στο να μην μπορούν να καλύψουν τα μεγάλα ποσά ενέργειας που απαιτούν οι κατοικίες τους. Έτσι, πολλοί άνθρωποι επιβιώνουν σε ακατάλληλες συνθήκες από πλευράς θερμοκρασίας και επιπέδων υγρασίας.



Διάγραμμα 2.4: Αποδεκτά όρια θερμικής άνεσης κατά ASHRAE[42]

Η ανθρώπινη υγεία πλήττεται από τη διαβίωση σε τέτοιες συνθήκες. Καρδιαγγειακά και αναπνευστικά προβλήματα προσβάλλουν ευκολότερα ανθρώπους που κατοικούν σε σπίτια με ελλιπή θέρμανση. Στο άρθρο «Ενεργειακή φτώχεια και κλιματική αλλαγή: προκλήσεις για την Ελλάδα» γίνεται προσπάθεια υπολογισμού των επιδράσεων της ενεργειακής φτώχειας στη δημόσια υγεία. Τα στατιστικά στοιχεία έδωσαν ότι την περίοδο 2003-2012, στον παράγοντα ενεργειακή φτώχεια αποδίδονται 3.000-6.525 θάνατοι ανά έτος.

Το αν ένα νοικοκυριό υπόκειται σε συνθήκες ενεργειακής φτώχειας, καθορίζεται από ποσοτικούς δείκτες. Το 1991 διατυπώθηκε, στο Ηνωμένο Βασίλειο, από τη Μπρέντα Μπόρντμαν ο κανόνας του 10%. Σύμφωνα με αυτόν, τα νοικοκυριά θεωρούνται ενεργειακά φτωχά εάν ξοδεύουν περισσότερο από το 10% του εισοδήματός τους για τη θέρμανση του σπιτιού τους. Με βάση όλα τα παραπάνω, είναι σημαντικό να γίνει προσπάθεια να μειωθεί όσο γίνεται ο αριθμός των ανθρώπων που ζουν σε τέτοιες συνθήκες. Η Ελλάδα έχει θέσει στο Εθνικό της Σχέδιο στόχο για τη μείωση της ενεργειακής φτώχειας κατά 50% έως το 2025 και κατά 75% έως το 2030.[9]

2.3 Νομοθεσία για την εξοικονόμηση ενέργειας στην Ελλάδα

Η Ελλάδα ξεκίνησε τις προσπάθειες θέσπισης νομικού πλαισίου για εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, από το 1979 με τον κανονισμό θερμομόνωσης κτιρίων (ΚΘΚ). Στόχος του ήταν η μείωση των απωλειών θερμότητας από το κτιριακό κέλυφος, έτσι ώστε οι απαιτήσεις θέρμανσης του κτιρίου να ελαχιστοποιούνται. Αναφερόταν μόνο στα νέα κτίρια που θα κατασκευάζονταν. Μετέπειτα θεσπίστηκε ο Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ), με σκοπό τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με τον καθορισμό μέτρων και όρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Όριζε μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, και προήγαγε την χρήση των ΑΠΕ.

Αργότερα, η ανάγκη εναρμόνισης της Ελλάδας με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, την οδήγησε να θεσπίσει τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (**KENAK**) το 2010. Είναι η πρώτη ολοκληρωμένη προσπάθεια από ελληνικής πλευράς για να καθοριστούν όλες οι παράμετροι που επιδρούν στην ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου. Με τον KENAK ορίζονται

οι τρόποι προσδιορισμού της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, καθώς επίσης καθορίζονται τα αποδεκτά όρια για τα χαρακτηριστικά των κτιρίων, ανάλογα με την ζώνη που ανήκουν. Τα όρια αυτά αφορούν τον **μέγιστο συντελεστή θερμοπερατότητας** των δομικών στοιχείων και το μέγιστο μέσο **συντελεστή θερμοπερατότητας του κτιρίου**.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/m ² .K]			
		ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές)	k _D	0,50	0,40	0,38	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	k _W	0,60	0,50	0,44	0,33
Δάπεδα χώρων διαμονής σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (pilotis)	k _{DL}	0,50	0,40	0,40	0,30
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους	k _G	1,50	1,00	0,38	0,35
Διαχωριστικοί τοίχοι σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους	k _{WE}	1,50	1,00	0,70	0,50
Ανοίγματα (παράθυρα, πόρτες μπαλκονιών κα)	k _F	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτιρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες	k _{GF}	1,80	1,80	1,80	1,80

Πίνακας 2.1 Μέγιστος επιτρεπόμενος Συντελεστής Θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων, για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα [12]

A/V (m ⁻¹)	Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής (U _m) σε [W/m ² .K]			
	Ζώνη A	Ζώνη B	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
≤ 0,2	1,26	1,14	1,05	0,96
0,3	1,20	1,09	1,00	0,92
0,4	1,15	1,03	0,95	0,87
0,5	1,09	0,98	0,90	0,83
0,6	1,03	0,93	0,86	0,78
0,7	0,98	0,88	0,81	0,73
0,8	0,92	0,83	0,76	0,69
0,9	0,86	0,78	0,71	0,64
≥ 1,0	0,81	0,73	0,66	0,60

Πίνακας 2.2: Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος Συντελεστής Θερμοπερατότητας U_m κατά κλιματική ζώνη [12]

Η αναπροσαρμογή του νομικού πλαισίου στις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής ένωσης και του κανονισμού 244/2012/ΕΕ , έγινε στις 19 Φεβρουαρίου 2013 με το νόμο 4122/2013. Δίνει

βασικές κατευθύνσεις σε ότι αφορά στην έκδοση των πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ). Παράλληλα υποχρεώνει από το 2021 όλα τα νέα κτίρια να είναι κτίρια “σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας” και να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες τους από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), ενώ για τα δημόσια κτίρια η απαίτηση αυτή ξεκινάει από το 2019. Ειδικά, όσον αφορά την κατανάλωση για ΖΝΧ στα νέα κτίρια ή κτιριακές μονάδες, τίθεται υποχρεωτική η κάλυψη μέρους των αναγκών σε ΖΝΧ από ηλιοθερμικά συστήματα. Το ελάχιστο ποσοστό της ετήσιας Ηλιακής κάλυψης καθορίζεται σε 60%. Η απαίτηση για τα νέα κτίρια ωστόσο πήρε παράταση λόγω των επιπτώσεων της πανδημίας του Covid-19 και θα εφαρμοστεί από το 2022

Πέρα από υποχρεώσεις, η νομοθεσία παρέχει και κίνητρα για τη δημιουργία κτιρίων ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης. Ο νόμος 4067/2012 ορίζει αύξηση του συντελεστή δόμησης κατά 5% σε κτίρια ενεργειακής κατηγορίας A+ και αύξηση του συντελεστή δόμησης 10% όταν η πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση είναι κάτω από 10 kWh/m² το έτος.

Το 2017 δημοσιεύονται νέες Τεχνικές Οδηγίες Τεχνικού Επιμελητήριου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ). Από τη νομοθεσία καθορίζονται τα όρια για τις ενεργειακές κλάσεις που εισάγονται στο ΠΕΑ.

Βάσει της τελικής ανηγμένης σε πρωτογενή ενέργεια κατανάλωσης του κτιρίου, καθορίζεται και η κατηγορία της ενεργειακής απόδοσής του και εκδίδεται το ΠΕΑ. Οι κατηγορίες ενεργειακής ταξινόμησης των κτηρίων δίνονται στον πίνακα [13]. Ο δείκτης R_R είναι ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς. Ο λόγος T είναι το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτηρίου (EP) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (R_R) και αποτελεί το κριτήριο για την κατάταξη του στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης. Η ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς αντιστοιχεί στο άνω όριο της κατηγορίας ενεργειακής απόδοσης B

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

Πίνακας 2.3:Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτηρίων [13]

3. Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων

Ο όρος 'ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων' αναφέρεται στην προσπάθεια κατασκευής κτιρίων τα οποία θα απαιτούν την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, για την κάλυψη των αναγκών τους. Η ανάλυση που προηγήθηκε καταδεικνύει το πόσο σημαντικό είναι για τους ανθρώπους και το περιβάλλον η καλή ενεργειακή απόδοση των κατοικιών. Οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης υποχρεώνουν κάθε μέλος της να ορίσει με δικό της τρόπο την έννοια του Κτιρίου Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (**ΚΣΜΚΕ**). Στην Ελλάδα για να οριστεί ένα κτίριο ως **ΚΣΜΚΕ** θα πρέπει να ανήκει τουλάχιστον στην κατηγορία Α του ΠΕΑ αν είναι καινούριο, ενώ για τα υφιστάμενα το όριο είναι η κατηγορία Β+.

Πέρα από την ενεργειακή κατασκευή των κτιρίων, η νομοθεσία προβλέπει την χρήση των ΑΠΕ για την λειτουργία τους. Η λειτουργία των κτιρίων με χρήση αυτών των πηγών ενέργειας είναι απαραίτητη για να συμβαδίζει ένα κτίριο με τη λογική της αειφόρου ανάπτυξης. Όλη αυτή η προσπάθεια γίνεται προκειμένου να περιοριστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Προκύπτουν δύο κατευθύνσεις οι οποίες με εφαρμογή κατάλληλων παθητικών και ενεργητικών τεχνολογιών μπορούν να μειώσουν την εκπομπή ρύπων που σχετίζονται με τα κτίρια στην Ελλάδα. Με τον όρο παθητική τεχνολογία αναφέρεται ο σχεδιασμός κτιρίων τα οποία θα απαιτούν την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Ενεργητικές τεχνολογίες είναι οι τεχνολογίες που επιτρέπουν την χρήση ΑΠΕ για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων με εφαρμογή κατάλληλων συστημάτων.

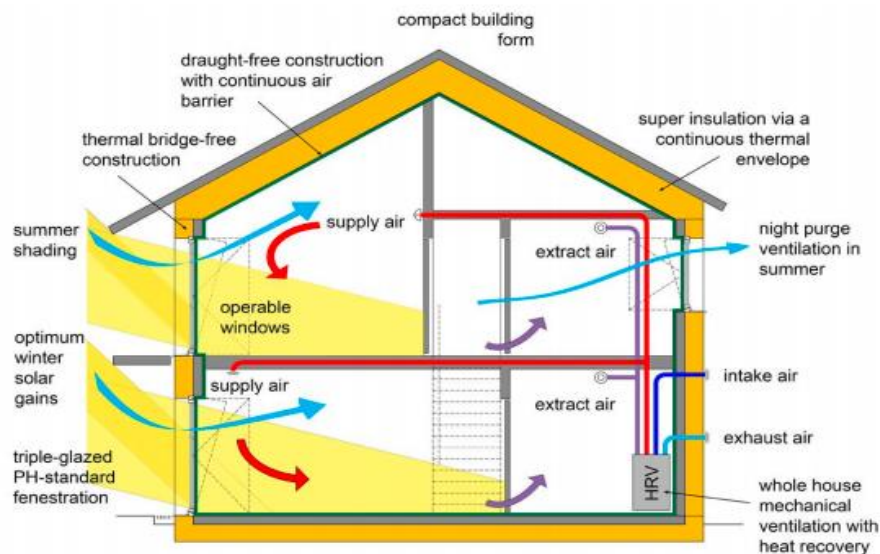
Ο αποδοτικός συνδυασμός των παραπάνω τεχνολογιών μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία κτιρίων τα οποία κατά την λειτουργία τους λαμβάνουν όλη την απαιτούμενη ενέργεια τους από τα εγκατεστημένα ενεργητικά συστήματα, αποκτώντας έτσι ενεργειακή ουδετερότητα.

3.1 Παθητικό κτίριο

Για να δημιουργηθεί ένα σύστημα το οποίο θα είναι μηδενικής κατανάλωσης, η έρευνα εστιάζει στο να είναι κατασκευασμένο με τρόπο που θα απαιτεί το λιγότερο ποσό θερμότητας για να καλύψει τις ανάγκες του, ενώ παράλληλα θα προσφέρει θερμική άνεση σε αυτούς που το χρησιμοποιούν.

Σύμφωνα με το Γερμανικό ινστιτούτο παθητικού κτιρίου «Το παθητικό κτίριο είναι ένα κτίριο στο οποίο η εσωτερική θερμική άνεση (ISO 7730) εξασφαλίζεται αποκλειστικά από προθέρμανση ή πρόψυξη της ποσότητας του νωπού αέρα, η οποία απαιτείται (DIN 1946) για την σωστή εσωτερική ατμόσφαιρα, χωρίς τη χρήση επιπλέον ανακυκλοφορίας του αέρα.»

Γενικά το παθητικό κτίριο είναι το βέλτιστο πρότυπο κτιρίου που μπορεί να κατασκευαστεί με βάση τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Δεν αναφέρεται σε έναν συγκεκριμένο τρόπο κατασκευής, αλλά η έρευνα εστιάζει στην αποδοτικότερη στρατηγική κατασκευής ανάλογα με το κλίμα. Ένα κτίριο που παρουσιάζει χαρακτηριστικά παθητικού κτιρίου σε ένα συγκεκριμένο κλίμα, δεν σημαίνει ότι θα είναι το ίδιο αποδοτικό σε ένα άλλο. Έτσι, είναι πρόκληση για τους μηχανικούς κάθε φορά ανάλογα με τον τόπο κατασκευής, να σχεδιάζουν ένα βέλτιστο κτίριο.



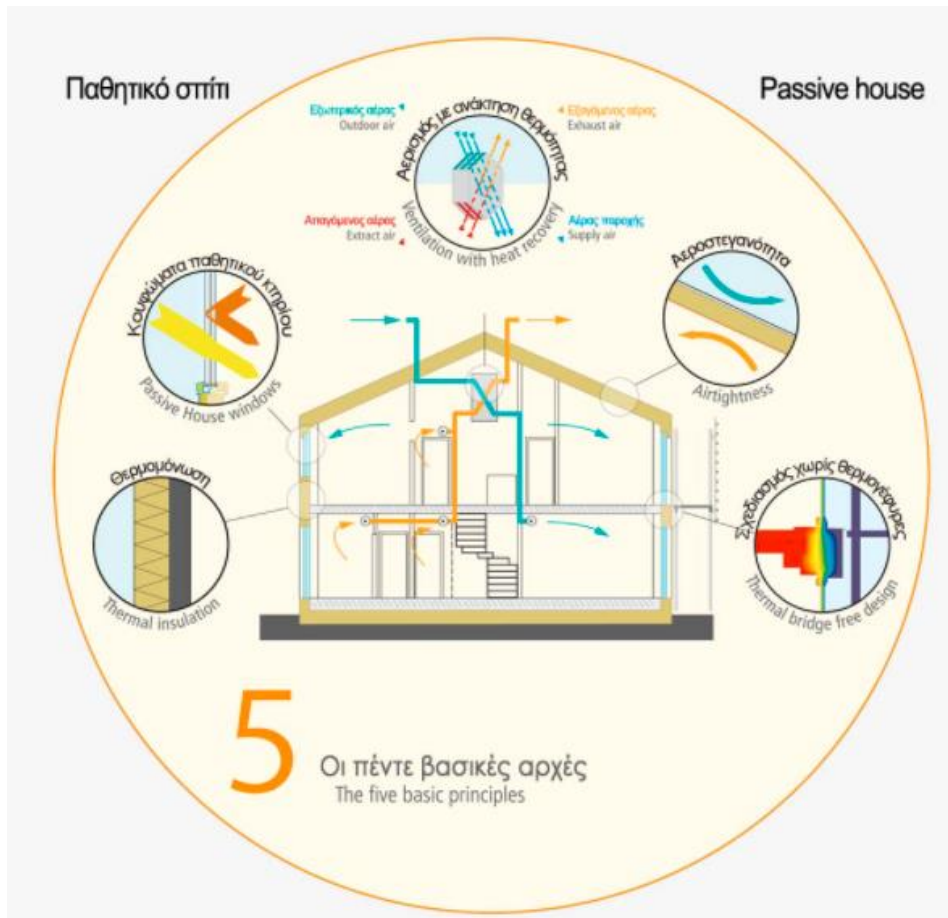
Εικόνα 3.1: Παθητικό κτίριο[17]

Τα παθητικά κτίρια παρουσιάζουν όλα κάποια κοινά χαρακτηριστικά στον τρόπο που συμπεριφέρονται. Οι 5 αρχές του παθητικού κτιρίου είναι:

- **Μόνωση:** Τα δομικά στοιχεία του εξωτερικού περιβλήματος του κτιρίου πρέπει να έχουν πολύ καλή μόνωση. Η επαρκής μόνωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα, διατηρεί τη ζέση μέσα στο κτίριο, ενώ το καλοκαίρι την εμποδίζει να εισέλθει μέσα σε αυτό. Η μόνωση του κτιρίου πρέπει να διαθέτει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\leq 0,1 \text{ W/mK}$, με στόχο η τιμή U του κελύφους να κυμαίνεται μεταξύ 0,10 και 0,25 $\text{W/m}^2\text{K}$.
- **Αεροστεγανότητα του κτιρίου:** Χρειάζεται να είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγονται οι διαρροές αέρα στο κτιριακό κέλυφος και να εμποδίζεται η εμφάνιση ρευμάτων αέρα και φθορών από την υγρασία.
- **Απουσία θερμογεφυρών:** Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του κτιριακού κελύφους στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των θερμογεφυρών, εξασφαλίζοντας ένα υψηλό επίπεδο ποιότητας και άνεσης εσωτερικού χώρου, ενισχύοντας την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.
- **Ενεργειακά κουφώματα και υαλοπίνακες:** Τα κουφώματα πρέπει να είναι καλά μονωμένα και να είναι εφοδιασμένα με υαλοπίνακες χαμηλής αντανάκλασης. Το προφίλ των υαλοπινάκων πρέπει να παρουσιάζει μέγιστη τιμή θερμικής διαπερατότητας $U=0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ και συνολική ηλιακή διαπερατότητα g-αξία (ποσοστό ηλιακής ενέργειας που διατίθεται στο δωμάτιο) γύρω στο 0,5.
- **Αερισμός με Ανάκτηση Θερμότητας:** Τα συστήματα αερισμού των Παθητικών κτιρίων χρειάζεται να παρέχουν καθαρό αέρα με μέγιστη ενεργειακή απόδοση μέσω της ανάκτησης θερμότητας και του ελέγχου της υγρασίας

Τα παθητικά κτίρια έπειτα από ελέγχους της συμπεριφοράς τους, μπορούν να λάβουν πιστοποίηση όταν πληρούν τα απαιτούμενα κριτήρια. Τα κυριότερα κριτήρια είναι τα παραπάνω που αναφέρθηκαν. Επιπρόσθετα μελετάται η ενεργειακή τους συμπεριφορά και τα ποσά ενέργειας που απαιτούν. Συγκεκριμένα τίθεται ως μέγιστο όριο η κατανάλωση

ενέργειας θέρμανσης/ψύξης χώρου να μην υπερβαίνει τις **15 kWh/m²** για κάθε μία περίπτωση, στη διάρκεια του έτους.

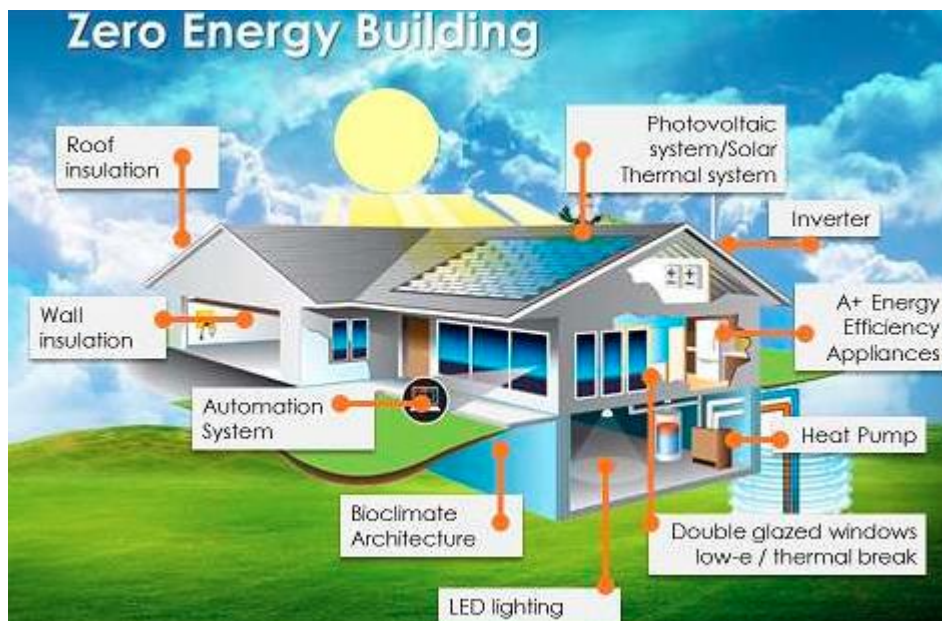


Εικόνα 3.2: Οι 5 βασικές αρχές του παθητικού κτιρίου[18]

3.2 Κτίρια μηδενικής κατανάλωσης

Δεν υπάρχει ένας ξεκάθαρος ενιαίος ορισμός για το τι είναι ένα κτίριο μηδενικής κατανάλωσης. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω των διαφορών ανάμεσα στα διάφορα κράτη, αλλά και λόγω των πολλών διαφορετικών κριτηρίων που μπορούν να εισαχθούν για τέτοια κτίρια. Η φιλοσοφία ωστόσο πίσω από αυτούς του ορισμούς είναι παρόμοια.

Γενικά, ως **κτίριο μηδενικής κατανάλωσης** χαρακτηρίζεται αυτό που στη διάρκεια μίας χρονικής περιόδου παράγει όσο ποσό ενέργειας θα καταναλώσει στο διάστημα αυτό. Η χρονική αυτή περίοδος συνήθως αναφέρεται σε διάστημα ενός έτους. Η παραγόμενη ενέργεια προέρχεται από συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Εικόνα 3.3: Κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας[41]

Τα κτίρια αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το αν είναι συνδεδεμένα με το εξωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο.

- **Σύνδεση του κτιρίου με το εξωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο (on-grid)**

Στην περίπτωση αυτή το σύστημα του κτιρίου επικοινωνεί με το δίκτυο της ευρύτερης περιοχής είτε αντλώντας είτε παρέχοντας ενέργεια σε αυτό. Έτσι, τις ημέρες με ευνοϊκές καιρικές συνθήκες το κτίριο χρησιμοποιεί όση ενέργεια χρειάζεται για να καλύψει της ενεργειακές του ανάγκες και την υπόλοιπη τη δίνει στο δίκτυο. Αντίθετα, όταν υπάρχει περιορισμός στην απόδοση των ΑΠΕ αντλείται ενέργεια από το δίκτυο για την λειτουργία όλων των συσκευών που καταναλώνουν Ηλεκτρική ενέργεια.

- **Κτίριο αποκομμένο από το εξωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο (off-grid)**

Πρόκειται για κτίρια τα οποία λειτουργούν αυτόνομα χωρίς καμία εξάρτηση από το ηλεκτρικό δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται μία διαφορετική προσέγγιση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τις ώρες με χαμηλή απόδοση των ΑΠΕ. Συνήθως εγκαθίστανται μπαταρίες που μπορούν να αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια και να την αποδίδουν όταν χρειαστεί στο σύστημα του κτιρίου.

Για να γίνει κατανοητή η έννοια του κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης, ειδικά στην πρώτη περίπτωση, περιγράφεται το πώς το κτίριο μπορεί να αντισταθμίσει τις εκπομπές του στο περιβάλλον. Στη διάρκεια ενός έτους, αρκετές φορές απαιτείται η χρήση ενέργειας από το δίκτυο καθώς οι διαθέσιμοι πόροι ανανεώσιμης ενέργειας είναι περιορισμένοι (λόγω άπνοιας, χαμηλής Ηλιακής ακτινοβολίας, κλπ). Σε περιόδους ωστόσο που οι πηγές παράγουν περίσσεια ενέργειας, αυτή μπορεί είτε να αποθηκεύεται είτε να αποδίδεται στο δίκτυο. Έτσι όλες οι εκπομπές που προκαλούνται από την χρήση ρεύματος από το δίκτυο αντισταθμίζονται από την καθαρή πράσινη ενέργεια που επιστρέφει το κτίριο. Στην δεύτερη περίπτωση από τη στιγμή που το κτίριο είναι αυτόνομο, εάν δεν καίει κάποιο καύσιμο σε λέβητα, είναι εύκολο να κατανοηθεί το γιατί θεωρείται κτίριο μηδενικής κατανάλωσης.

Αυτό που χρειάζεται προσοχή στον ορισμό τέτοιων κτιρίων είναι ο προσδιορισμός του κύκλου ζωής των υλικών, προκειμένου να είναι πρακτική η συμβολή τους στο περιβάλλον και όχι απλά θεωρητική. Για την δημιουργία των κτιρίων και την εγκατάσταση των ΑΠΕ απαιτούνται ποσά ενέργειας που καταναλώνονται από τα διάφορα εργοστάσια παραγωγής. Ο σχεδιασμός χρειάζεται να είναι προσεκτικός και αποδοτικός χωρίς την εγκατάσταση υπερβολικών συστημάτων. Ειδικά στην **off-grid** περίπτωση εγκυμονεί αυτός ο κίνδυνος καθώς η περίσσεια ενέργειας που παράγεται δεν αξιοποιείται με κάποιον τρόπο.

3.3 Εναλλακτικοί ορισμοί κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης

Υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί και διαφορετικά είδη κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης, ανάλογα με το κριτήριο που εξετάζεται.

- **Μηδενικής τελικής ενέργειας (Net Zero Energy Buildings):** Κτίρια τα οποία παράγουν επί τόπου τόση ενέργεια όση καταναλώνουν ετησίως.
- **Μηδενικής ενέργειας από την πηγή (Net Zero Source Energy Buildings):** Η ενέργεια από την πηγή αναφέρεται στην πρωτογενή ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία και την παράδοση της απαιτούμενης ενέργειας στο χώρο του κτιρίου. Για να υπολογιστεί η συνολική πρωτογενής ενέργεια ενός κτιρίου χρησιμοποιούμε βασικούς συντελεστές ενέργειας. Το τελικό ισοζύγιο καταδεικνύει την ενεργειακή ουδετερότητα του κτιρίου
- **Καθαρής ενέργειας με μηδενικές εκπομπές (Net zero energy emissions):** Κτίρια 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
- **Κτίριο μηδενικού κόστους ενέργειας(Net Zero Energy Cost):** Σε αυτά τα κτίρια, το ποσό των χρημάτων που πληρώνει η εταιρία παραγωγής ενέργειας στον ιδιοκτήτη για την εξερχόμενη από το κτίριο ενέργεια ισούται με το ποσό που πληρώνει ο ιδιοκτήτης στην εταιρία για την εξυπηρέτηση και για την ενέργεια που αγοράζει όλο το έτος.
- **Θετικής ενέργειας (Plus energy building):** Κτίρια τα οποία επικοινωνούν με το δίκτυο, καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες, και παρέχουν επιπλέον παραγόμενη ενέργεια σε αυτό.

Γίνεται κατανοητό ότι τα αποτελέσματα που θα δώσουν πρακτικά τα κτίρια κατά τη λειτουργία τους, έχουν άμεση εξάρτηση από της καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Για παράδειγμα ένα κτίριο που έχει σχεδιαστεί ως μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας με εγκατεστημένα ηλιακά συστήματα, μπορεί να γίνει θετικής ενέργειας μία χρονιά με μεγάλη

Ηλιοφάνεια. Αντίστοιχα όταν η Ηλιακή ενέργεια είναι περιορισμένη μπορεί να λειτουργήσει ως ΚΣΜΚΕ.

3.4 Παραδείγματα κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης

Η δημιουργία κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης αποτελεί μία πρόκληση για τους μηχανικούς τα τελευταία χρόνια. Ήδη έχουν κατασκευαστεί κάποια ενώ ακόμα περισσότερα σχεδιάζονται.

3.4.1 Παράδειγμα κτιρίου ΜΚΕ: Οικογενειακή κατοικία, Riehen, Ελβετία

Στην πόλη Riehen της Ελβετίας, τα αρχιτεκτονικά γραφεία Setz Architektur και Ruperswil κατασκεύασαν το 2009 μία κατοικία μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.



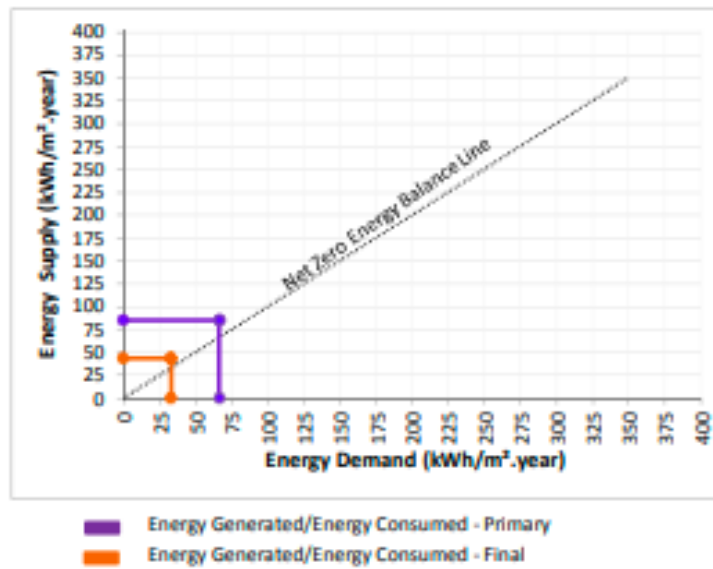
Εικόνα 3.4: Κτίριο ΜΚΕ στην Ελβετία[34]

Πρόκειται για ένα κτίριο δύο κατοικιών, συνολικής επιφάνειας 315 m^2 . Ο σχεδιασμός του έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει μέγιστη ενεργειακή απόδοση. Το κέλυφος του κτιρίου είναι κατασκευασμένο από ξύλο και διαθέτει μάλλινη μόνωση πάχους 38 cm . Παρουσιάζει μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας U ίσο με $0,12 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ για όλες τις επιφάνειες του.

Οι υαλοπίνακες είναι τριπλού τζαμιού με το μεγαλύτερο ποσοστό τους να βρίσκεται στη νότια πλευρά (περίπου 30%). Η g -αξία των παραθύρων είναι 0,52 ενώ ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας ποικίλει ανάλογα με τον προσανατολισμό (Ελάχιστος $0,81 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ στη νότια επιφάνεια, Μέγιστος $0,91 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ στη βόρεια επιφάνεια).

Στο σύστημα αυτό εγκαταστάθηκε γεωθερμική αντλία θερμότητας για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης του κτιρίου και ενός μέρους των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης, θερμικά ηλιακά 8 m^2 για την κάλυψη των κύριων αναγκών ζεστού νερού χρήσης, και φωτοβολταϊκό σύστημα (14 kWp) για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια.

Σε 2 χρόνια λειτουργίας του το κτίριο έδωσε 30% περισσότερη ενέργεια από όση κατανάλωσε, δηλαδή είχε θετική απόδοση ενέργειας.



Διάγραμμα 3.1: Ισοζύγιο ενεργειακής παραγωγής-κατανάλωσης κτιρίου ΜΚΕ στην Ελβετία[16]

3.4.2 Παράδειγμα κτιρίου ΜΚΕ: Οικογενειακό κτίριο, Ανκόνα, Ιταλία

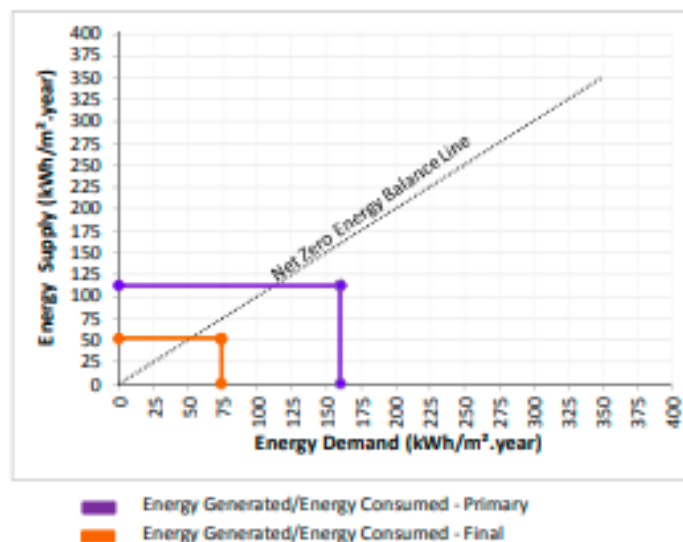


Εικόνα 3.5: Κτίριο ΜΚΕ στην Ιταλία[16]

Είναι ένα κτίριο 477 m^2 που διαθέτει τόσο εσωτερική όσο και εξωτερική μόνωση γύψου. Οι τοίχοι του παρουσιάζουν συντελεστή θερμοπερατότητας U ίσο με $0,15 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, η οροφή $0,25$ ενώ το έδαφος $0,41 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Ο σχεδιασμός του κτιρίου έχει γίνει με τέτοιον τρόπο ώστε η βόρεια πλευρά του να είναι σε επαφή με το έδαφος ανταλλάσσοντας θερμότητα με αυτό. Η νότια επιφάνεια διαθέτει μεγάλους υαλοπίνακες η τιμή U των οποίων είναι $0,86 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ με g -αξία $0,61$. Παράλληλα στην οροφή είναι εγκατεστημένα Φ/Β με τέτοιον τρόπο ώστε το καλοκαίρι να παρέχουν σκίαση στην οροφή του κτιρίου, κρατώντας έτσι χαμηλότερη τη θερμοκρασία του.

Προκειμένου να καλυφθεί το απαραίτητο θερμικό φορτίο και η ζήτηση σε ΖΝΧ, χρησιμοποιείται αντλία θερμότητας και Ηλιακοί συλλέκτες. Η θερμότητα στον χώρο παρέχεται μέσω ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Με τον ίδιο τρόπο παρέχεται και η ψύξη στο σύστημα, ενώ είναι εγκατεστημένος αφυγραντήρας που λειτουργεί όταν τα επίπεδα υγρασίας υπερβαίνουν το κανονικό.

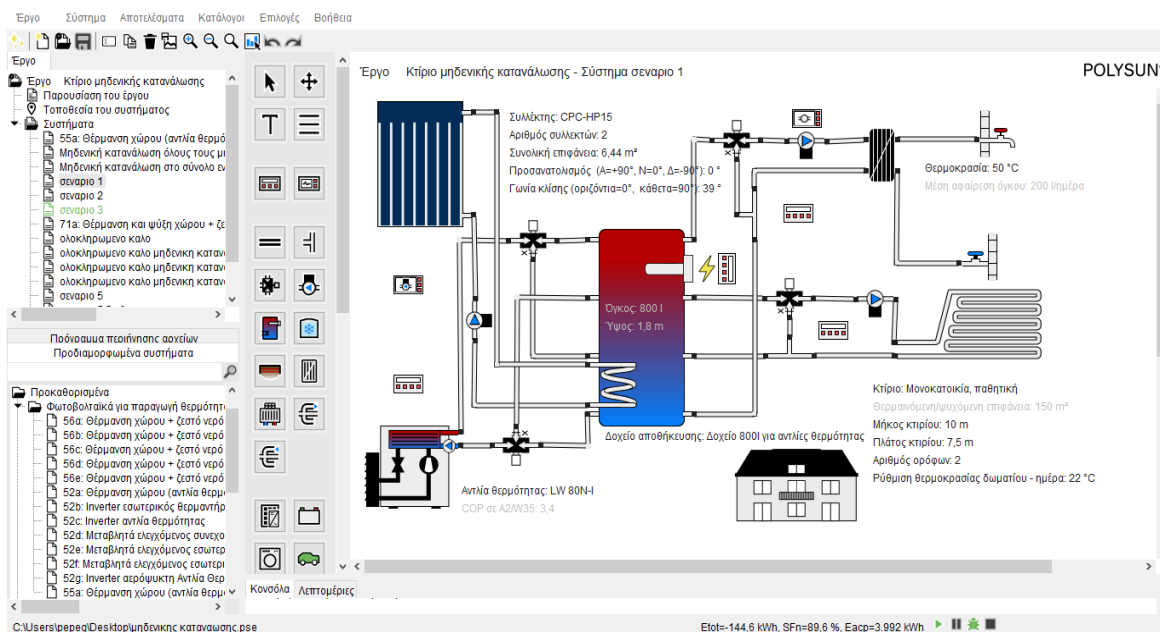
Κατά την λειτουργία του το κτίριο δεν επιτυγχάνει να παράγει ακριβώς όσο ποσό θερμότητας καταναλώνει, παρουσιάζοντας έτσι συμπεριφορά κτιρίου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.



Διάγραμμα 3.2: Ισοζύγιο ενεργειακής παραγωγής-κατανάλωσης κτιρίου ΜΚΕ στην Ιταλία[16]

4. Λογισμικό POLYSUN

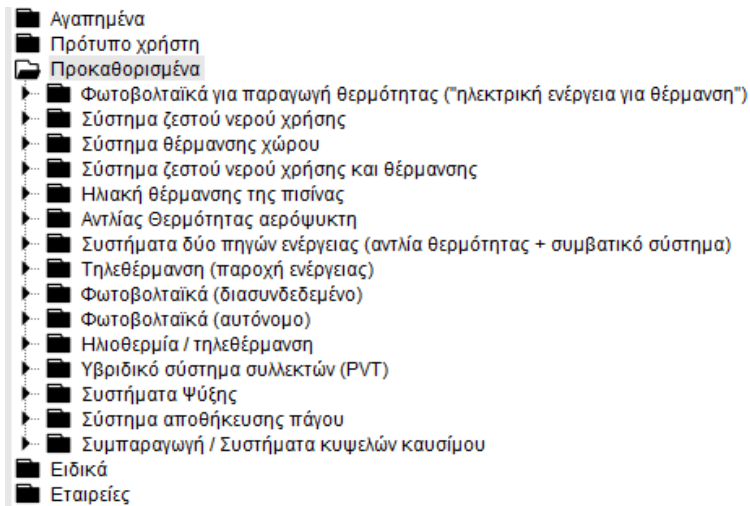
Το λογισμικό POLYSUN αποτελεί ένα πρόγραμμα που επιτρέπει την ψηφιακή προσομοίωση ενεργειακών συστημάτων. Αναπτύχθηκε το 1992 από το Ινστιτούτο Ηλιακής τεχνολογίας (SPF) στο Πανεπιστήμιο Εφαρμοσμένων Επιστημών στο Rapperswil της Ελβετίας. Το 2006 ιδρύθηκε η εταιρία Vela Solaris, η οποία από τότε διαχειρίζεται το λογισμικό και είναι υπεύθυνη για την βελτίωση του και την συνεχή αναμόρφωσή του με τις νέες τεχνολογίες που εμφανίζονται.



Εικόνα 4.1: Επιφάνεια εργασίας του λογισμικού Polysun

4.1 Χρήση του λογισμικού

Το Polysun χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παραγωγής και της κατανάλωσης ενέργειας Ηλιοθερμικών ή φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το πρόγραμμα επίσης προσφέρει δυνατότητες για βελτιστοποίηση της απόδοσης και της διαστασιολόγησης του συστήματος. Επιπλέον, περιλαμβάνει βιβλιοθήκη με πολύ μεγάλη βάση δεδομένων, προσφέροντας καταλόγους εξαρτημάτων. Τα περισσότερα από τα στοιχεία των καταλόγων είναι συστήματα εταιριών που υπάρχουν στο εμπόριο. Πέρα από αυτά στους καταλόγους περιέχονται και συστήματα που έχουν δημιουργηθεί από το λογισμικό, με ενδεικτικά χαρακτηριστικά ως στοιχεία αναφοράς. Περιλαμβάνονται **θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες, φωτοβολταϊκές μονάδες, στοιχεία PVT, Αντλίες θερμότητας, ψύκτες απορρόφησης** και πολλά ακόμα στοιχεία. Υπάρχουν έτοιμα προδιαμορφωμένα συστήματα πάνω στα οποία ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει τις προσομοιώσεις. Πολλές από τις εφαρμογές που μπορούν να βρεθούν στα προδιαμορφωμένα συστήματα φαίνονται στην εικόνα 4.2



Εικόνα 4.2: Κατάλογος προδιαμορφωμένων συστημάτων λογισμικού Polysun

Δίνεται η δυνατότητα μεταβολής των προδιαμορφωμένων συστημάτων ή δημιουργίας άλλων εξ ολοκλήρου νέων. Επιπρόσθετα οι χρήστες μπορούν να μεταβάλλουν τα στοιχεία των καταλόγων ή να προσθέσουν άλλα που δεν περιλαμβάνονται σε αυτούς.

4.2 Τρόπος εκτέλεσης υπολογισμών

Οι υπολογισμοί του Polysun βασίζονται σε δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης που χρησιμοποιεί παγκόσμια στατιστικά δεδομένα καιρού. Το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί γραφικά αποτελέσματα, σύγκριση διάφορων συστημάτων και αξιολόγηση αυτών. Παράλληλα στον χρήστη δίνεται η δυνατότητα να ελέγχει με εύκολο τρόπο τη λειτουργία του συστήματος του, και να την μεταβάλει επεμβαίνοντας στις ρυθμίσεις των συστημάτων ελέγχου.

Από το λογισμικό παρέχεται εγχειρίδιο που περιλαμβάνει οδηγίες για την δημιουργία των συστημάτων, ενώ περιέχει πληροφορίες για τον τρόπο που υπολογίζονται όλα τα μεγέθη. Όλοι οι υπολογισμοί βασίζονται σε επιστημονικά δεδομένα και εξισώσεις. Σε κάποιες περιπτώσεις δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα να επιλέξει το μοντέλο με βάση το οποίο θα γίνουν οι υπολογισμοί.



Εικόνα 4.2: Εξώφυλλο εγχειριδίου Λογισμικό Polysun[43]

Αξίζει να αναφερθεί ότι η χρήση του λογισμικού είναι κατάλληλη για τον υπολογισμό της απόδοσης του συστήματος παροχής ενέργειας και όχι για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών του κτιρίου. Δεν παρέχεται η δυνατότητα να υπολογιστούν οι διάφοροι συντελεστές θερμικής διαπερατότητας ανάλογα με τα υλικά κατασκευής, μόνωσης, κ.λ.π. Περιέχονται στους καταλόγους έτοιμα προδιαμορφωμένα συστήματα με καθορισμένες τιμές U , απαίτησης φορτίων, ενεργειακών απωλειών. Στην περίπτωση που κάποιος θέλει να μελετήσει ένα δικό του κτίριο τότε χρειάζεται με χρήση άλλου λογισμικού να υπολογίσει τον συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U όλης της κατασκευής ή τα φορτία που απαιτούνται για θέρμανση/ψύξη χώρων. Οι τιμές αυτές εισάγονται στην προσομοίωση και έτσι το λογισμικό ανάλογα με το κλίμα και τα εγκατεστημένα συστήματα, υπολογίζει τα ακριβή ποσά ενέργειας που παράγονται και καταναλώνονται, αν τα στοιχεία είναι επαρκή και αν οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου καλύπτονται.

4.2.1 Δυναμική μέθοδος υπολογισμού φορτίου με βάση την τιμή U όλου του κτιρίου

Όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι εκτέλεσης της προσομοίωσης από το λογισμικό. Στην μέθοδο αυτή, ο χρήστης επιλέγει από τον κατάλογο κτιρίων του λογισμικού τον τύπο κτιρίου που θέλει να μελετήσει. Υπάρχουν διάφορα πρότυπα κτιρίων για τα οποία έχει υπολογιστεί ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας U , για όλα τα υλικά του κτιρίου (συμπεριλαμβάνονται και τα παράθυρα).

Αριθμός καταλόγου	Όνομασία	Τιμή κ κτιρίου [W/K/m²]	Καθ
1	★ Μονοκατοικία, σύνθετες κτίριο	0,5	80
2	★ Μονοκατοικία, χαμηλής ενεργειακής κατανάλω...	0,35	55
3	★ Μονοκατοικία, παθητική	0,13	30
4	Πολυκατοικία, σύνθετες κτίριο	0,5	100
5	Πολυκατοικία, χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης	0,35	50
6	Πολυκατοικία, παθητική	0,13	25
7	Κτίριο γραφείων, σύνθετες κτίριο	0,5	100
8	Κτίριο γραφείων, χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης	0,35	50
9	Κτίριο γραφείων, παθητική	0,13	25
10	Σχολή, σύνθετες κτίριο	0,5	100
11	Σχολή, χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης	0,35	50
12	Σχολή, παθητική	0,13	25
13	Παθητικό σπίτι κλασσικό (Γερμανία)	0,12	10
14	Γερμανικό κτίριο με πρότυπα 2002	0,3	40
15	Γερμανικό κτίριο με πρότυπα 1995	0,5	60
16	Μονοκατοικία με πρότυπα Minergie (Ελβετία)	0,12	10
17	Μονοκατοικία ανακαινισμένη με πρότυπα Minergie ...	0,25	30
18	Πολυκατοικία με πρότυπα Minergie (Ελβετία)	0,16	20
19	Πολυκατοικία ανακαινισμένη με πρότυπα Minergie ...	0,25	40
20	Πρότυπο Effinergie (Γαλλία)	0,15	10
21	Πρότυπο Effinergie, ανακαινισμένο κτίριο (Γαλλία)	0,25	30
22	Γαλλικό κτίριο πρότυπο RT2005	0,5	60
23	Πρότυπο Plus Energy (Αυστρία)	0,11	10
24	Πρότυπο Sunny Eco (Ιαπωνία)	0,3	30
25	Πρότυπο Hybrid Z (Ιαπωνία)	0,45	30

Εικόνα 4.3: Κατάλογος κτιρίων λογισμικού Polysun

Υπολογισμός φορτίων

Για το επιλεγμένο κτίριο ο χρήστης εισάγει τις γεωμετρικές του διαστάσεις, τον προσανατολισμό του και τις επιθυμητές συνθήκες θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου. Ανάλογα με τις τιμές αυτές και με τις συνθήκες του κλίματος, τα **απαιτούμενα φορτία του κτιρίου** υπολογίζονται με τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$H_G - H_L = MC_p \frac{\Delta T}{\Delta t}, \text{ όπου:}$$

$$H_G = \text{Θερμικά κέρδη}$$

$$H_L = \text{Θερμικές απώλειες}$$

$$MC_p = \text{Θερμοχωρητικότητα}$$

$\frac{\Delta T}{\Delta t}$ = Θερμοκρασιακή μεταβολή στο κτίριο, ανά χρονικό βήμα. Το χρονικό βήμα λαμβάνεται ως 1 ώρα.

Θερμικά κέρδη

Για τον υπολογισμό των **θερμικών κερδών** H_G λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παράγοντες που επιδρούν, όπως ο εξοπλισμός, η ανθρώπινη δραστηριότητα και τα παράθυρα.

$$H_G = G \times SHGC \times WWR + H_G \text{ από ανθρώπους} + H_G \text{ φωτισμού} + H_G \text{ εξοπλισμού} + G_{sys} \quad [\text{W}]$$

,όπου:

G = Συνολική προσπίπτουσα Ηλιακή ακτινοβολία στον τοίχο [W]

$SHGC$ = Συντελεστής θερμικών κερδών από τον Ήλιο, που εξαρτάται από τον τύπο των παραθύρων

WWR = Λόγος επιφάνειας παραθύρου προς επιφάνεια τοίχου

G_{sys} = Κέρδος/Αφαίρεση θερμότητας από τα συστήματα ψύξης/θέρμανσης [W]

Θερμικές απώλειες

Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των απωλειών λόγω μεταφοράς, αερισμού και διήθησης

$$H_L = H_{L \text{ μεταφοράς}} + H_{L \text{ αερισμού}} + H_{L \text{ διήθησης}} \text{ [W]}$$

Ο κάθε ένας όρος υπολογίζεται ξεχωριστά ως:

$$H_{L \text{ μεταφοράς}} = UA(T_{in} - T_{out}) \text{ [W]}, \text{ όπου:}$$

U = Ο μέσος συντελεστής θερμικής διαπερατότητας της κατασκευής

A = Η συνολική επιφάνεια του κτιρίου

T_{in} = Εσωτερική θερμοκρασία

T_{out} = Εξωτερική θερμοκρασία

$$H_{L \text{ αερισμού}} = (V\rho Cp)_{\text{αέρα}} \times (T_{in} - T_{out}) \text{ [W]}, \text{ όπου:}$$

ρ = Πυκνότητα του αέρα

Cp =Ειδική θερμοχωρητικότητα αέρα

$$V_{\text{αέρα}} = \text{Παροχή όγκου αέρα} = \frac{V \times \text{Εναλλαγές αέρα}}{3600} \left[\frac{m^3}{sec} \right]$$

Οι εναλλαγές αέρα δίνονται σε αλλαγές ανά μία ώρα, και η τιμή τους παρέχεται στον κατάλογο για κάθε πρότυπο κτιρίου

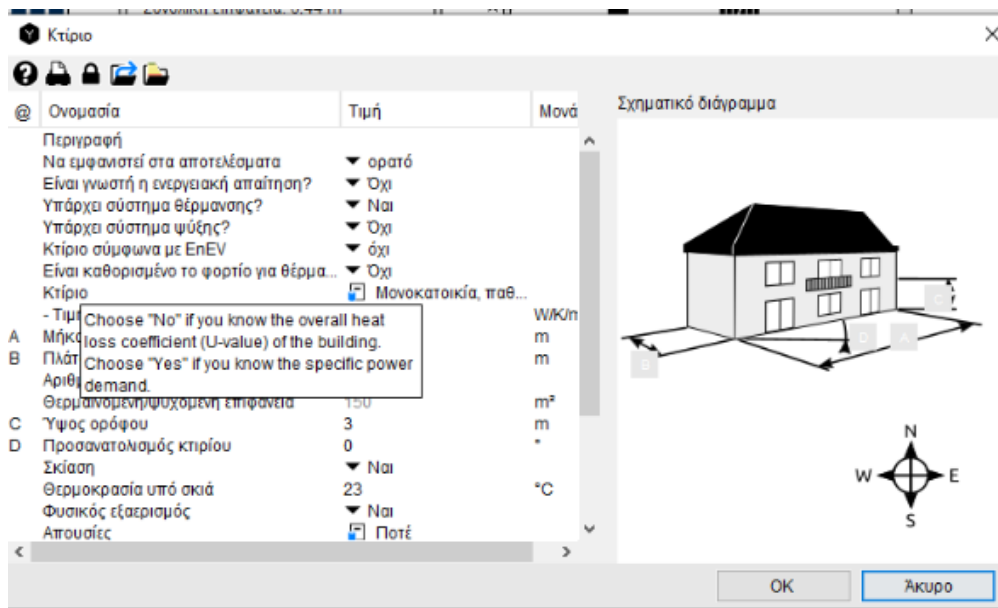
$$H_{L \text{ διήθησης}} = (V\rho Cp)_{\text{διήθησης}} \times (T_{in} - T_{out}) \text{ [W]}$$

$$V_{\text{διήθησης}} = \frac{V \times \text{Εναλλαγές λόγω διήθησης}}{3600} \left[\frac{m^3}{sec} \right]$$

Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις, σε κάθε χρονικό βήμα υπολογίζεται το φορτίο που πρέπει να καλυφθεί.

4.2.2 Δυναμική μέθοδος υπολογισμού με βάση το καθορισμένο φορτίο.

Το λογισμικό παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να παρεμβαίνουν στον τρόπο που γίνονται οι υπολογισμοί και να επιλέγουν αυτόν που θεωρούν καλύτερο, μέσα από διάφορες επιλογές που δίνονται κατά τη δημιουργία του συστήματος.



Εικόνα 4.4: Χαρακτηριστικά κτιρίου Polysun

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται ότι ο χρήστης μπορεί να επιλέξει με βάση ποιο μέγεθος του κτιρίου θα γίνουν οι υπολογισμοί. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα εάν δεν είναι γνωστή η τιμή U, αλλά μόνο τα καθορισμένα φορτία που απαιτούνται οι υπολογισμοί να γίνουν με βάση αυτά. Ωστόσο στην περίπτωση αυτή το εγχειρίδιο του λογισμικού δεν παρέχει ακριβείς πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο γίνονται οι υπολογισμοί.

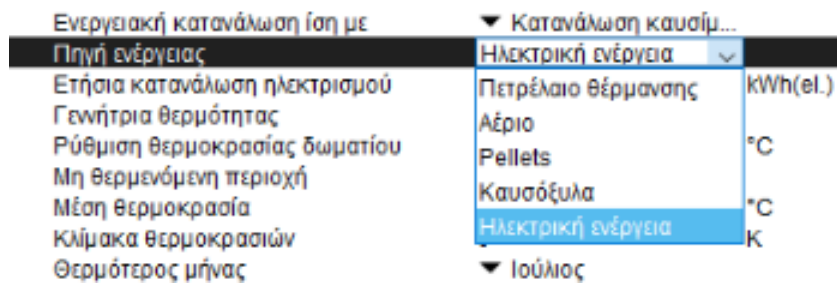
4.2.3 Απλοποιημένες μέθοδοι υπολογισμού του απαιτούμενου φορτίου

Οι απλοποιημένες μέθοδοι υπολογισμού χρησιμοποιούνται όταν ο χρήστης γνωρίζει ακριβώς την ενεργειακή απαίτηση του κτιρίου, είτε από μετρήσεις, είτε από υπολογισμούς με βάση άλλα λογισμικά. Στην περίπτωση αυτή δεν ενδιαφέρουν οι διαστάσεις του κτιρίου, ο προσανατολισμός του και γενικά η συμπεριφορά του. Τον χρήστη στην περίπτωση αυτή, τον ενδιαφέρει η δημιουργία και η βέλτιστη διαστασιολόγηση του συστήματος παροχής ενέργειας για να καλύπτεται η ήδη γνωστή ενεργειακή απαίτηση.

Το απαιτούμενο φορτίο που χρειάζεται να καλυφθεί μπορεί να οριστεί με 4 διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με την παράμετρο που θέλει να μελετήσει αυτός που εκτελεί την προσομοίωση και με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα που έχει. Σημειώνεται ότι στις απλοποιημένες μεθόδους δεν μπορούν να συνδυαστούν συστήματα ψύξης και θέρμανσης.

1) Το ετήσιο συνολικά απαιτούμενο φορτίο που πρέπει να καλυφθεί είναι ίσο με την συνολική ενέργεια θέρμανσης του κτιρίου (χωρίς την απαίτηση ενέργειας για ΖΝΧ). Οι συνολικές απώλειες του κτιρίου είναι οι απώλειες μέσω κελύφους, λόγω αερισμού και λόγω διείσδυσης. Η τιμή των απωλειών είναι πάντα μεγαλύτερη από την απαίτηση για ενέργεια θέρμανσης και ποικίλει ανάλογα με τον τύπο κτιρίου και το κλίμα. Τις τιμές αυτές τις εισάγει ο χρήστης με βάση τα δεδομένα που διαθέτει

2) Η απαίτηση ενέργειας να είναι ίση με την κατανάλωση καυσίμου για παροχή θερμότητας, πολλαπλασιασμένη με τους συντελεστές απόδοσης των γεννητριών. Ενδεικτικές τιμές απόδοσης που προτείνει το λογισμικό είναι 0,8 για νέες τεχνολογίες και 0,65 για παλαιότερες. Ως καταναλισκόμενα καύσιμα μπορούν να θεωρηθούν το πετρέλαιο θέρμανσης, το αέριο, τα pellets, τα καυσόξυλα και το ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 4.5: Διαθέσιμες πηγές ενέργειας της γεννήτριας θερμότητας

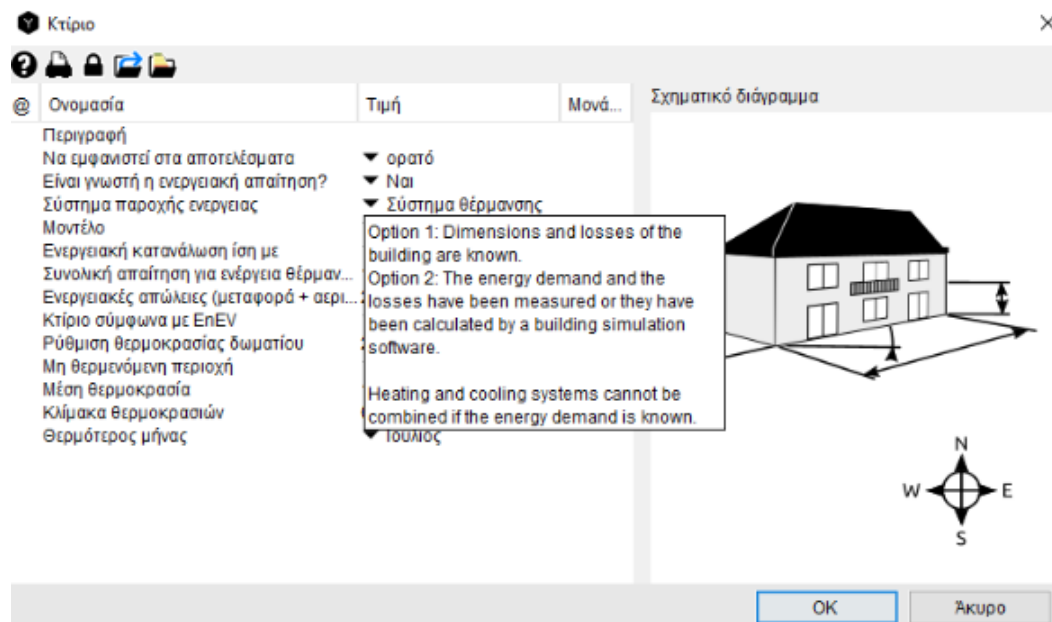
3) Υπολογισμός με βάση τη μέγιστη απαίτηση ισχύος. Το μέγεθος αυτό μπορεί να υπολογιστεί με 2 διαφορετικούς τρόπους:

A) Να δίνεται το μέγιστο φορτίο και οι ώρες που η γεννήτρια θερμότητας λειτουργεί στο φορτίο αυτό.

B) Να δίνεται η μέγιστη απαίτηση ισχύος για την χαμηλότερη εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι μπορεί να υπολογιστεί η τιμή U του κτιρίου και έπειτα να υπολογιστούν οι απώλειες και το απαιτούμενο φορτίο

4) Υπολογισμός με βάση το μηνιαίο απαιτούμενο φορτίο. Η περίπτωση αυτή είναι ίδια με την περίπτωση 1), ωστόσο εδώ οι τιμές εισάγονται για κάθε μήνα ξεχωριστά αντί για το σύνολο του έτους.

Προκειμένου να οριστεί το μοντέλο με βάση το οποίο θα γίνουν οι υπολογισμοί το λογισμικό παρέχει ακριβείς οδηγίες προς τον χρήστη προκειμένου να είναι εύκολο να επιλέξει τη μέθοδο που θέλει.



Εικόνα 4.6: Χαρακτηριστικά κτιρίου με απλοποιημένη μέθοδο

Τα απλοποιημένα μοντέλα με βάση τα οποία μπορούν να γίνουν οι υπολογισμοί είναι τα ακόλουθα:

- **Ψευδοδυναμικό μοντέλο**

Οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου είναι προκαθορισμένες πριν την έναρξη εκτέλεσης τις προσομοίωσης. Ωστόσο κατά τη διάρκεια εκτέλεσης αυτής λαμβάνονται υπόψη δυναμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, όπως τα κέρδη θερμότητας λόγω Ηλιακής ακτινοβολίας.

- **Μέθοδος Βαθμό-ωρών**

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στον υπολογισμό της διαφοράς θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, από μία θερμοκρασία αναφοράς.

Με γνωστή την ετήσια ενεργειακή απαίτηση του κτιρίου μπορεί να υπολογιστεί το μέσο γινόμενο διαπερατότητας επιφάνειας του κτιρίου (UA) και να θεωρηθεί ως ένας σταθερός αριθμός. Το φορτίο που πρέπει να καλυφθεί δίνεται από την σχέση:

$$L = (UA) \times DD$$

Όπου DD είναι οι βαθμό-ημέρες θέρμανσης ή οι βαθμό-ώρες όταν είναι διαθέσιμα καιρικά δεδομένα ανά ώρα. Η τιμή βαθμό-ωρών DD δίνεται από το άθροισμα:

$$DD = \sum (T_b - T_{st})^+$$

Όπου T_b είναι η θερμοκρασία αναφοράς. Συνήθως η θερμοκρασία αυτή λαμβάνει μία τιμή κοντά στους 18 °C, και μειώνεται όσο καλύτερη θεωρείται η κατασκευή του κτιρίου. Η τιμή T_{st} αναφέρεται στην εξωτερική θερμοκρασία κάθε βήματος, ενώ το σύμβολο '+' υποδηλώνει ότι η τιμή αυτή λαμβάνεται υπόψη μόνο όταν είναι θετικός αριθμός. Έτσι, σε κάθε χρονικό βήμα ανάλογα με την θερμοκρασία υπολογίζεται το θερμικό φορτίο που πρέπει να καλυφθεί.

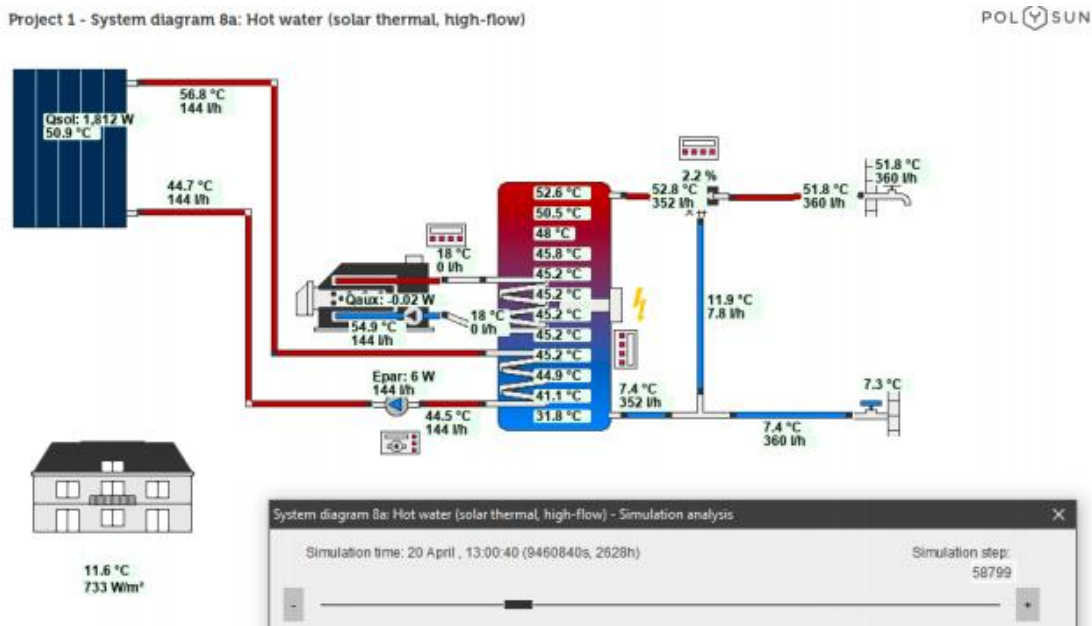
- **Μοντέλο ωριαίας απαίτησης ενέργειας**

Για να λειτουργήσει το συγκεκριμένο μοντέλο, εισάγεται ένα αρχείο με δεδομένα ενεργειακής ή ψυκτικής απαίτησης. Τα δεδομένα αυτά δίνονται σε ωριαία βάση, το μοντέλο διαβάζει αυτές τις τιμές και με τον τρόπο αυτόν δίνεται η απαίτηση του κτιρίου για ενέργεια που πρέπει να καλυφθεί. Το αρχείο αυτό το εισάγει ο ίδιος ο χρήστης ανάλογα με τα δεδομένα που έχει και την κατανάλωση που θέλει να μελετήσει

Το λογισμικό γενικά λειτουργεί με τέτοιο τρόπο που επιτρέπει στον χρήστη κάθε στιγμή να ελέγχει την λειτουργία του συστήματος, τη συμπεριφορά του κτιρίου και τον καθορισμό των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη, μέσα από μία οπτικοποιημένη επιφάνεια εργασίας εύκολα κατανοητή και διαχειρίσιμη.

4.3 Εξαγωγή αποτελεσμάτων λογισμικού

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει το λογισμικό και στις διαθέσιμες επιλογές για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Κάθε στοιχείο που συμμετέχει στην διάταξη που προσομοιώνεται, είναι δυνατό να ελεγχθεί ως προς τη συμπεριφορά του και τα αποτελέσματα που βγάζει. Τα αποτελέσματα μπορούν να εμφανίζονται ως τιμές ετήσιες, μηνιαίες, ημερήσιες, ωριαίες ή και ακόμα μικρότερες. Η παρουσίαση μπορεί να γίνει γραφικά, σε τιμές πίνακα, συγκριτικά με άλλα συστήματα ή ακόμα με οπτική αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος κάθε στιγμή.

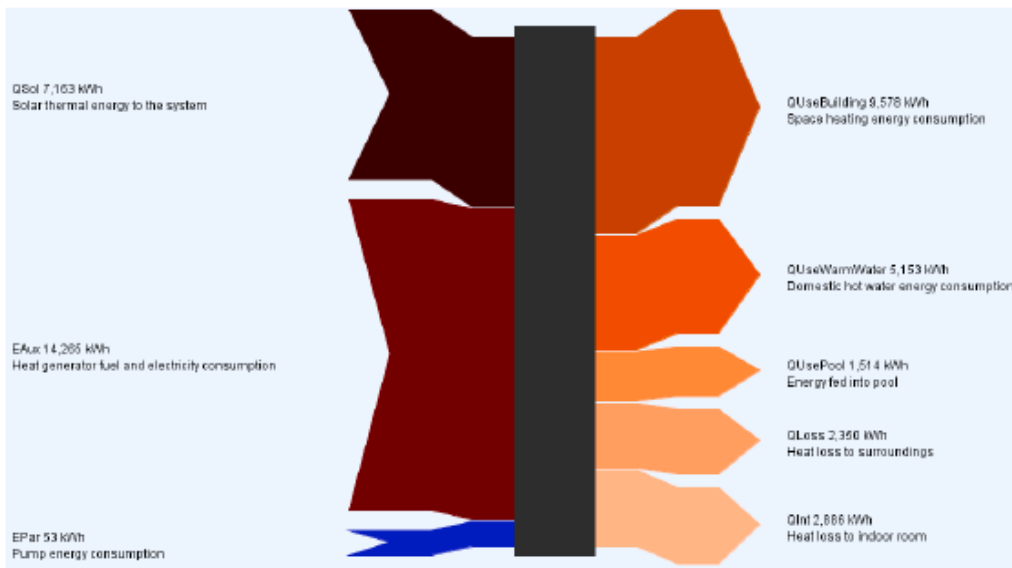


Εικόνα 4.7: Παράδειγμα του οπτικού ελέγχου της λειτουργίας της διάταξης[43]

4.3.1 Αποτελέσματα του έργου σε μορφή επαγγελματικής αναφοράς

Η λειτουργία αυτή του λογισμικού δημιουργεί αυτόματα μία παρουσίαση όλης της διάταξης που προσομοιώνεται με τα χαρακτηριστικά και τα αποτελέσματα του κάθε στοιχείου, γραφική απεικόνιση των σημαντικότερων μεγεθών καθώς και διαγράμματα ροής ενέργειας της εγκατάστασης.

Energy flow diagram (annual balance)

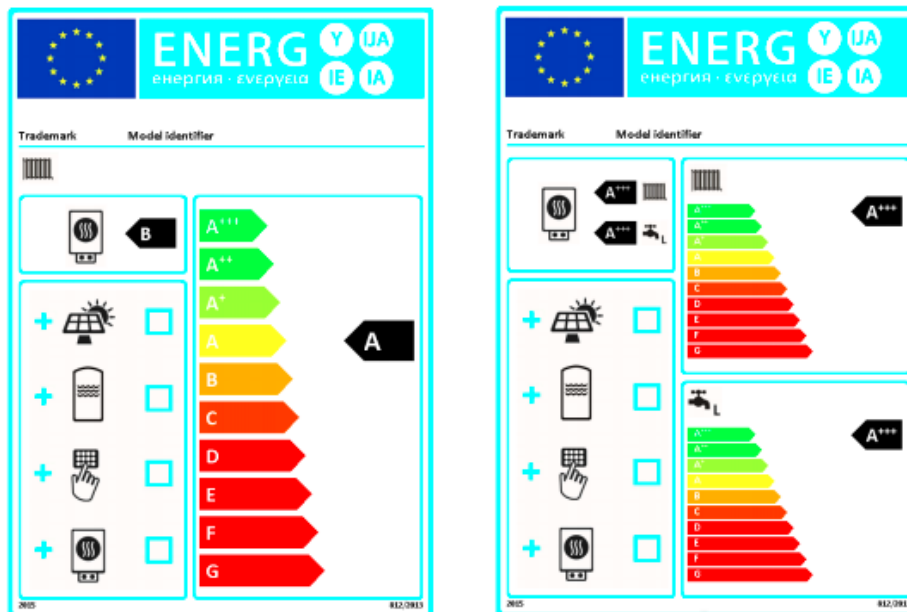


Εικόνα 4.8: Παράδειγμα διαγράμματος ροής ενέργειας[43]

Τα αποτελέσματα αυτής της λειτουργίας εξάγονται σε αρχείο PDF. Με τον τρόπο αυτό ο δημιουργός της προσομοίωσης μπορεί πολύ άμεσα να μοιραστεί τα αποτελέσματα άλλα και να έχει ο ίδιος μία καλύτερη εικόνα της προσομοίωσης που εκτελεί.

4.3.2 Ενεργειακή ετικέτα του έργου

Το λογισμικό διαθέτει τη δυνατότητα να τυπώσει την ενεργειακή ετικέτα του συστήματος που προσομοιώνεται. Οι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με τους κανονισμούς 811/2013 και 812/2013 της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

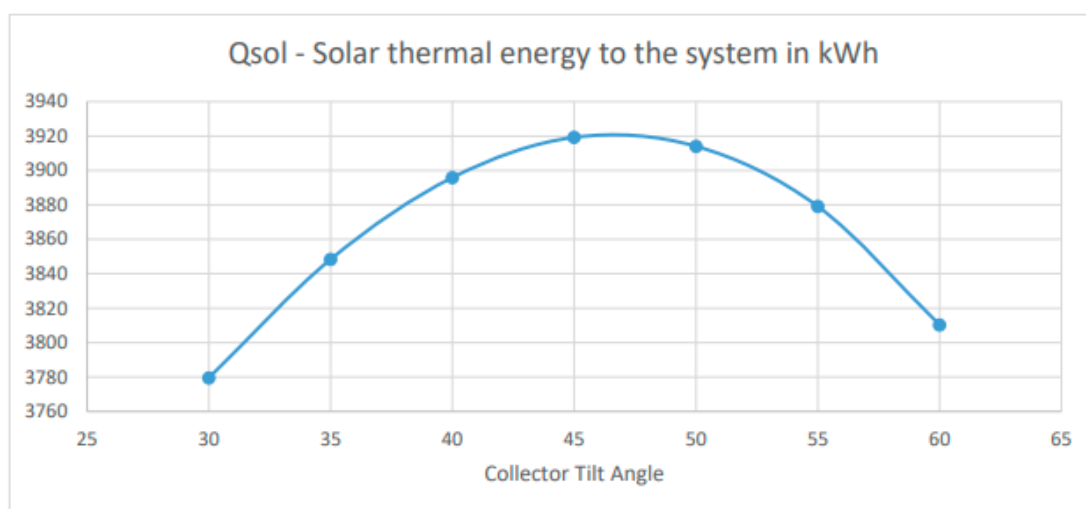


Εικόνα 4.9: Παράδειγμα ενεργειακής ετικέτας[43]

Οι ενεργειακές ετικέτες δημιουργούνται χωριστά για τα συστήματα θέρμανσης χώρου και για τα συστήματα του ζεστού νερού χρήσης.

4.3.3 Παραμετροποίηση των αποτελεσμάτων

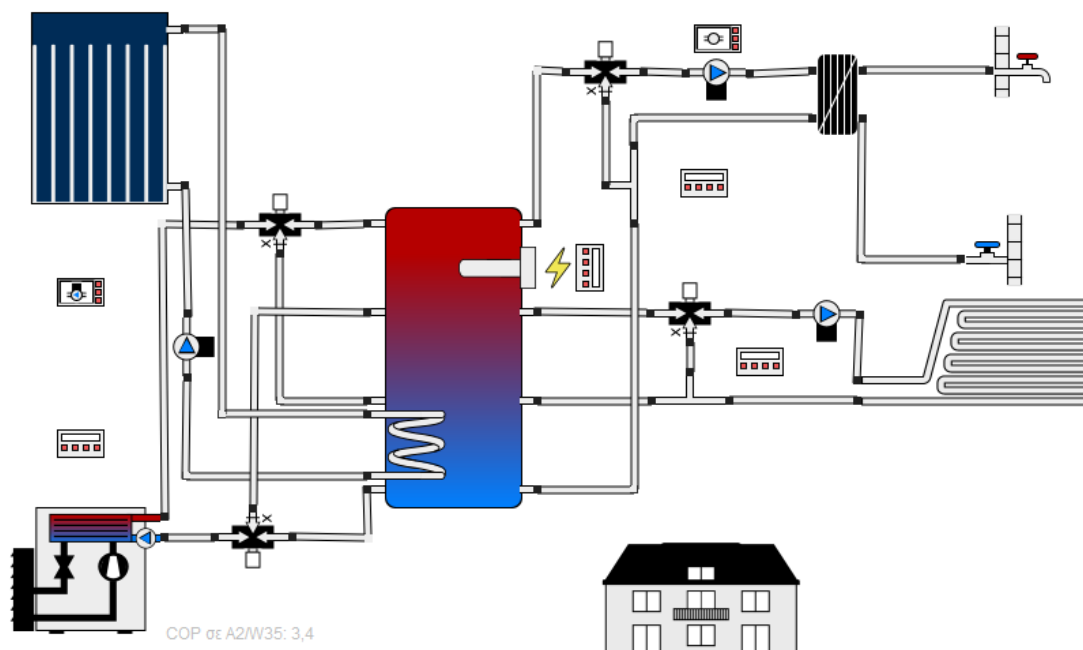
Μία άλλη αρκετά χρήσιμη δυνατότητα που προσφέρεται από το λογισμικό είναι η παραμετροποίηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να μελετήσει μόνο τα αποτελέσματα που δίνει ένα στοιχείο της εγκατάστασης τότε μπορεί να ορίσει με όποιο τρόπο θέλει την υπολογιζόμενη τιμή, τις παραμέτρους και το εύρος τους. Στο παρακάτω διάγραμμα που δημιουργείται αυτόματα από το λογισμικό, φαίνεται ένα παράδειγμα γραφικής απεικόνισης των αποτελεσμάτων της ηλιοθερμικής ενέργειας στο σύστημα, με παράμετρο τη γωνία κλίσης του συλλέκτη,



Εικόνα 4.10: Παράδειγμα παραμετρικής ανάλυσης[43]

5. Δημιουργία κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης με το POLYSUN

Στο παρόν κεφάλαιο τίθεται ως ζήτημα η δημιουργία και η προσομοίωση ενός κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης με το λογισμικό Polysun. Περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία που χρειάζεται να ακολουθηθεί για την εκτέλεση των προσομοιώσεων με το συγκεκριμένο λογισμικό. Η αρχική διάταξη που θα δημιουργηθεί είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα 5.1

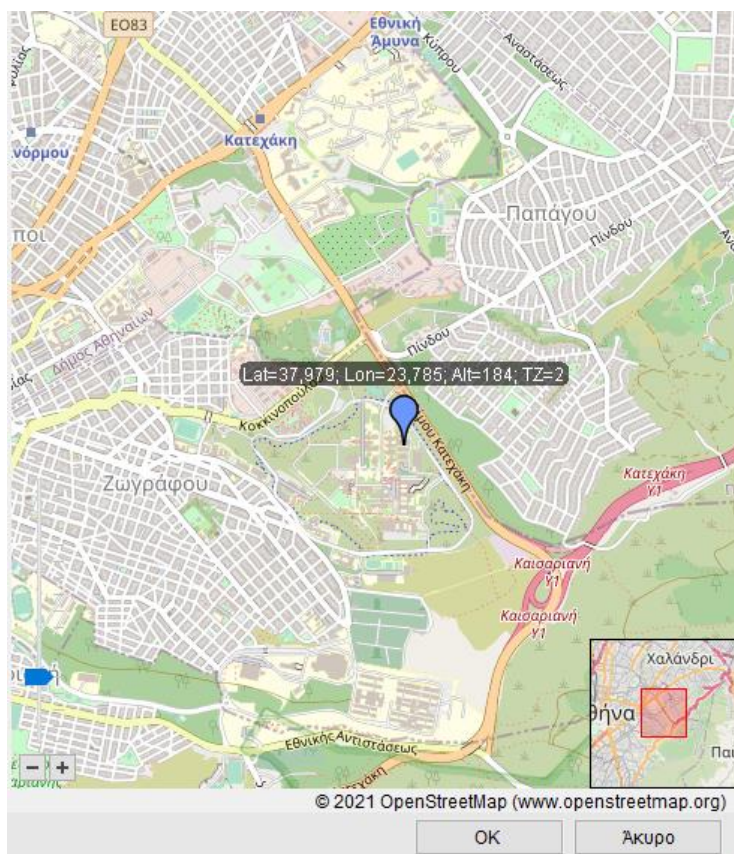


Εικόνα 5.1 Διάταξη μελετούμενου συστήματος με το λογισμικό Polysun

Πρόκειται για μία διάταξη η οποία χρησιμοποιεί σε μεγάλο βαθμό την Ηλιακή ενέργεια για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Οι Ηλιακοί συλλέκτες δίνουν την θερμότητα τους ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής. Μία Ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας δίνει την επιπλέον ενέργεια που απαιτείται στην δεξαμενή. Από την δεξαμενή το ζεστό νερό διοχετεύεται σε σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης από όπου ακτινοβολείται η θερμότητα στον χώρο του κτιρίου. Παράλληλα μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας το νερό της δεξαμενής δίνει την ενέργεια του στο νερό που χρησιμοποιείται ως Ζεστό Νερό Χρήσης (ΖΝΧ). Στο σύστημα υπάρχουν αισθητήρες ελέγχου, controllers, και τριόδες βάνες. Με λεπτομέρεια κάθε στοιχείο χωριστά περιγράφεται παρακάτω.

5.1 Τοποθεσία του συστήματος

Το πρόγραμμα αρχικά ζητάει να επιλέξουμε την τοποθεσία στην οποία θέλουμε να γίνει η προσομοίωση. Επιλέγοντας την τοποθεσία, μέσω της υπηρεσίας `meteoprom` εισάγονται τα καιρικά δεδομένα (εξωτερική θερμοκρασία, Ηλιακή ακτινοβολία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου) στο σύνολο ενός έτους με βήμα 1 ώρας. Ως τοποθεσία του συστήματος ορίζεται η Πολυτεχνειούπολη του Ζωγράφου.



Εικόνα 5.2: Τοποθεσία του συστήματος

Πρόκειται για μία τοποθεσία που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 38° , γεωγραφικό μήκος 24° και υψόμετρο 184 m. Ανατολικά της τοποθεσίας αυτής βρίσκεται το όρος Υμηττός, που έχει μέγιστο υψόμετρο 1026 m. Γενικά, η περιοχή αυτή παρότι είναι σε πολύ κοντινή απόσταση από το κέντρο της Αθήνας, δεν διαθέτει μεγάλα κτίρια που να προκαλούν σκίαση και να περιορίζουν την Ηλιακή ακτινοβολία. Αντίθετα διαθέτει πολλές εκτάσεις με πράσινο, δημόσια κτίρια και μεγάλους δρόμους που διέρχονται (λεωφόρος Κατεχάκης, Περιφερειακή λεωφόρος Υμηττού). Παράλληλα, η γειτονική περιοχή του Παπάγου έχει πολύ καλή δόμηση, με μεγάλες αποστάσεις ανάμεσα στα κτίρια, πλατιούς δρόμους και σχετικά χαμηλές πολυκατοικίες. Καθώς, μέσα στον χώρο της Πολυτεχνειούπολης δεν μπορεί να κατασκευαστεί κατοικία, η γειτονική περιοχή αποτελεί μία καλή τοποθεσία για να δημιουργηθεί στην πράξη ένα τέτοιο κτίριο.



Εικόνα 5.3: Κτίρια στην περιοχή του Παπάγου χωρίς κανένα εμπόδιο προς τον Νότο[24]

5.2 Εξεταζόμενο Κτίριο

Το σημαντικότερο κομμάτι στην μελέτη ενός κτιρίου ΜΚΕ, είναι η αποδοτική κατασκευή, ώστε να απαιτούνται τα ελάχιστα δυνατά ποσά θερμότητας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Στην ανάλυση που προηγήθηκε παρουσιάστηκαν τα παθητικά κτίρια, τα οποία παρουσιάζουν την βέλτιστη ενεργειακή συμπεριφορά. Επιλέγεται έτσι το κτίριο στο οποίο θα γίνει η προσομοίωση, να είναι μία μονοκατοικία με χαρακτηριστικά παθητικού κτιρίου. Η επιλογή αυτή γίνεται μέσα από τους καταλόγους του λογισμικού.

Κτίριο
✕

@ Ονομασία	Τιμή	Μονά	Σχηματικό διάγραμμα
Περιγραφή			
Na εμφανιστεί στα αποτελέσματα	▼ ορατό		
Είναι γνωστή η ενεργειακή απαίτηση?	Όχι		
Υπάρχει σύστημα θέρμανσης?	▼ Ναι		
Υπάρχει σύστημα ψύξης?	▼ Ναι		
Κτίριο σύμφωνα με ΕπΕΥ	▼ Όχι		
Είναι καθορισμένο το φορτίο για θέρμα...	▼ Όχι		
Κτίριο	<input checked="" type="checkbox"/> Μονοκατοικία, παθ...		
- Τιμή k κτιρίου	0,13	W/K/m	
A Μήκος κτιρίου	10	m	
B Πλάτος κτιρίου	7,5	m	
Αριθμός ορόφων	2		
Θερμανόμενη/ψυχόμενη επιφάνεια	150	m ²	
C Ύψος ορόφου	3	m	
D Προσανατολισμός κτιρίου	0	°	
Σκίαση	▼ Ναι		
Θερμοκρασία υπό σκιά	23	°C	
Φυσικός εξαερισμός	▼ Ναι		
Απουσίες	<input checked="" type="checkbox"/> Ποτέ		
Κέρδος ανάκτησης θερμότητας	0	%	
Πύσηση θερμοκρασίας διαμετα...	22	°C	

Εικόνα 5.4: Χαρακτηριστικά εξεταζόμενου κτιρίου με το λογισμικό Polysun

Ο προσανατολισμός του κτιρίου είναι νότιος με διαστάσεις 10 m X 7,5 m και 2 ορόφους, με ύψος κάθε ορόφου 3 m. Ακολούθως δίνονται κάποια επιμέρους χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων και των κατασκευαστικών στοιχείων του κτιρίου όπως παρέχονται από το λογισμικό.

Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας

Το κτίριο έχει **συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U** ίσο με **0,13 $\frac{W}{m^2K}$** , ενώ η απαίτηση για θερμικό και ψυκτικό φορτίο είναι **15 kWh/m²**

Παράθυρα

Το δεδομένο που εισάγεται για τον υπολογισμό των θερμικών κερδών από τα παράθυρα είναι ο **συντελεστής μετάδοσης Ηλιακής ενέργειας g**, δηλαδή το ποσοστό της Ηλιακής ακτινοβολίας που μέσω των παραθύρων εισέρχεται στο κτίριο. Η αξία g που επιλέγεται για το συγκεκριμένο κτίριο είναι **0,5**. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται το ποσοστό της επιφάνειας των παραθύρων σε σχέση με του τοίχου, στις 4 διευθύνσεις.

Ποσοστό επιφάνειας παραθύρων προς το Νότο	%	25
Ποσοστό επιφάνειας παραθύρων προς το Βορρά	%	13
Ποσοστό επιφάνειας παραθύρων προς την Ανατολή	%	25
Ποσοστό επιφάνειας παραθύρων προς τη Δύση	%	6

Πίνακας 5.1: Αναλογία επιφάνειας παραθύρων σε κάθε τοίχο

Θερμοχωρητικότητα και θερμικά κέρδη

Όπως στην περίπτωση της θερμικής διαπερατότητας, έτσι και εδώ, δεν παρέχεται κάποια πληροφορία για τα υλικά του κτιρίου αλλά δίνεται κατευθείαν μία τιμή **θερμοχωρητικότητας** ίση με **1000 kJ/m²K**. Τα **θερμικά κέρδη** που εισάγονται στην προσομοίωση είναι **2 W/m²** λόγω της **ανθρώπινης δραστηριότητας** και **240 W** λόγω του **ηλεκτρικού εξοπλισμού**. Παράλληλα δίνεται ότι οι **εναλλαγές του καθαρού αέρα** είναι **0,4** εναλλαγές την ώρα και ότι η **διείσδυση του αέρα** μέσω των τοίχων και των ανοιγμάτων παίρνει και αυτή την τιμή **0,3/hr**.

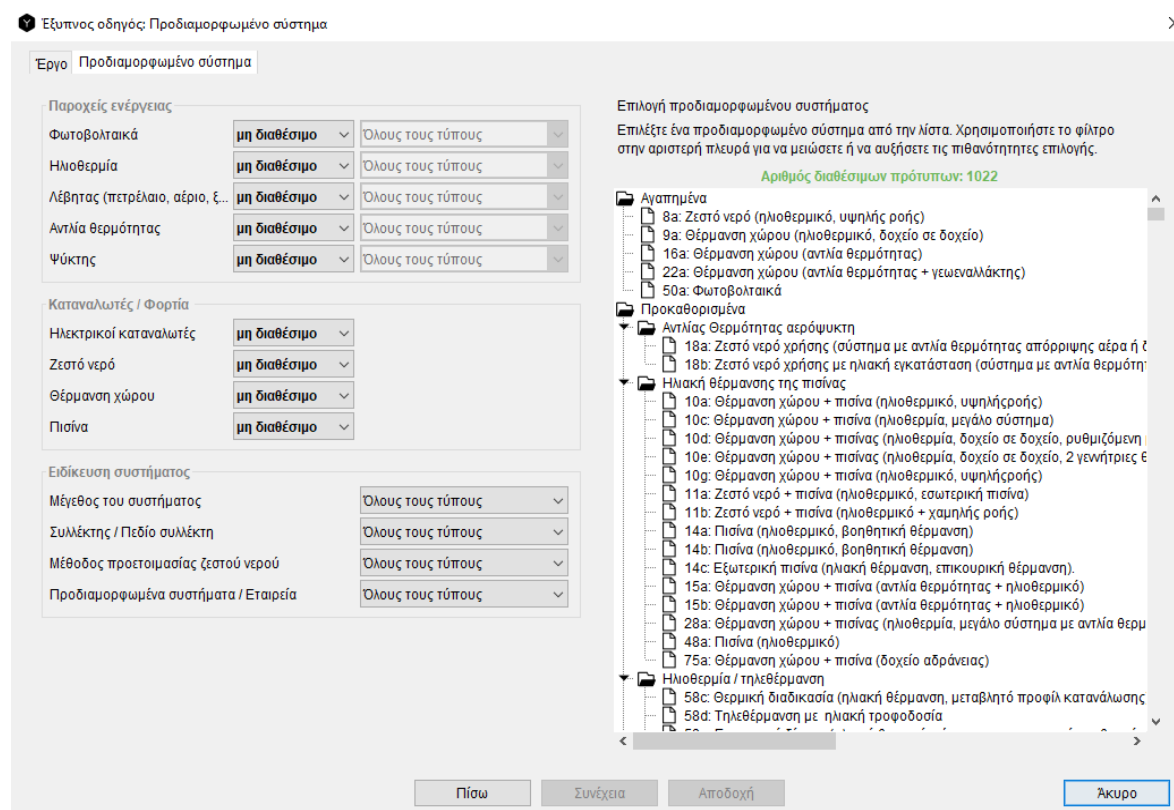
Η ρύθμιση της θερμοκρασίας του κτιρίου κατά τη διάρκεια του χειμώνα επιλέχθηκε να είναι 22 °C την ημέρα και 21 °C τη νύχτα, ενώ το καλοκαίρι η **θερμοκρασία ψύξης** ορίζεται ως 25 °C την ημέρα και 26 °C τη νύχτα. Το ζεστό νερό χρήσης είναι 50 °C . Στον ακόλουθο πίνακα γίνεται παρουσίαση των τιμών που εισάγονται στην προσομοίωση σχετικά με τα χαρακτηριστικά της κατασκευής.

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Κτίριο		
Μήκος	m	10
Πλάτος	m	7,5
Όροφοι		2
Ύψος ορόφου	m	3
Προσανατολισμός		Νότιος
Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας	W/m^2K	0,13
Θερμοχωρητικότητα	kJ/m^2K	1000
Ρύθμιση θερμοκρασίας Θέρμανσης ημέρα	$^{\circ}C$	22
Ρύθμιση θερμοκρασίας Θέρμανσης νύχτα	$^{\circ}C$	21
Ρύθμιση θερμοκρασίας ψύξης ημέρα	$^{\circ}C$	25
Ρύθμιση θερμοκρασίας ψύξης νύχτα	$^{\circ}C$	26
Παράθυρα		
Συντελεστής μετάδοσης Ηλιακής ενέργειας g		0,5
Ποσοστό επιφάνειας παραθύρων προς το Νότο	%	25
Ποσοστό επιφάνειας παραθύρων προς το Βορρά	%	13
Ποσοστό επιφάνειας παραθύρων προς την Ανατολή	%	25
Ποσοστό επιφάνειας παραθύρων προς τη Δύση	%	6
Θερμικά κέρδη και εναλλαγές		
Θερμικά κέρδη λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας	W/m^2	2
Θερμικά κέρδη λόγω Ηλεκτρικού εξοπλισμού	W	240
Εναλλαγές αέρα	1/hr	0,4
Διείσδυση αέρα	1/hr	0,3

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά εξεταζόμενου κτιρίου

5.3 Επιλογή συστημάτων παροχής ενέργειας

Η επιλογή του κτιρίου χρονικά, γίνεται σε μεταγενέστερο σημείο της εκτέλεσης της προσομοίωσης. Ωστόσο παρουσιάστηκε ήδη για καλύτερη κατανόηση του συστήματος που θα δημιουργηθεί. Για την εκτέλεση της προσομοίωσης το πρόγραμμα διαθέτει έναν έξυπνο οδηγό που διευκολύνει αρκετά τον χρήστη να δημιουργήσει το επιθυμητό σύστημα. Έπειτα από τον καθορισμό της τοποθεσίας, ο οδηγός ζητάει από τον χρήστη να επιλέξει τι στοιχεία θα διαθέτει το σύστημα του, δηλαδή εάν θα διαθέτει Ηλιακούς συλλέκτες, αντλίες θερμότητας, συστήματα ψύξης και άλλα.



Εικόνα 5.5: Κατάλογος προδιαμορφωμένων συστημάτων του λογισμικού Polysun

Ο κατάλογος του λογισμικού διαθέτει περισσότερα από 1000 έτοιμα προδιαμορφωμένα συστήματα. Ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη αποκλείονται κάποια και παραμένουν μόνο όσα πληρούν τα κριτήρια.

Το σύστημα που εξετάζεται επιλέγεται να διαθέτει Ηλιακούς συλλέκτες, αντλία θερμότητας, Φωτοβολταϊκά, και να μην έχει λέβητα που καίει κάποιο καύσιμο, ώστε να εξυπηρετείται ο σκοπός της μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

Εργο Προδιαμορφωμένο σύστημα
✕

Παροχές ενέργειας

Φωτοβολταϊκά	Ναι	Όλους τους τύπους
Ηλιοθερμία	Ναι	Όλους τους τύπους
Λέβητας (πετρέλαιο, αέριο, ξ...	Όχι	Όλους τους τύπους
Αντλία θερμότητας	Ναι	Όλους τους τύπους
Ψύκτης	μη διαθέσιμο	Όλους τους τύπους

Καταναλωτές / Φορτία

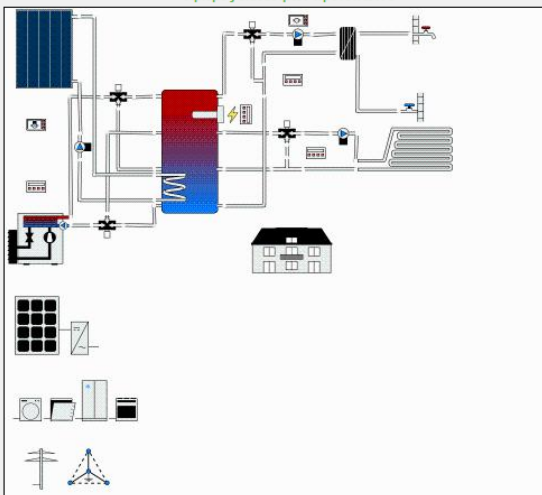
Ηλεκτρικοί καταναλωτές	Ναι
Ζεστό νερό	Ναι
Θέρμανση χώρου	Ναι

Ειδικευση συστήματος

Μέγεθος του συστήματος	Όλους τους τύπους
Συλλέκτης / Πεδίο συλλέκτη	Όλους τους τύπους
Μέθοδος προετοιμασίας ζεστού νερού	Όλους τους τύπους
Προδιαμορφωμένα συστήματα / Εταιρεία	Όλους τους τύπους

Επιλογή προδιαμορφωμένου συστήματος
 Επιλέξτε ένα προδιαμορφωμένο σύστημα από την λίστα. Χρησιμοποιήστε το φίλτρο στην αριστερή πλευρά για να μειώσετε ή να αυξήσετε τις πιθανότητες επιλογής.

Αριθμός διαθέσιμων προτύπων: 9



55a: Θέρμανση χώρου (αντλία θερμότητας + ηλιοθερμικό + φωτοβολταϊκά)
 Το σύστημα είχε καθοριστεί για 4 άτομα (ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού 200 lt). Στην περίπτωση αλλαγής της κατανάλωσης ίσως χρειαστεί να προσαρμόσετε το μέγεθος των εξαρτημάτων για να πετύχετε το βέλτιστο αποτέλεσμα

Εικόνα 5.6: Προδιαμορφωμένο σύστημα με βάση τα επιλεγμένα κριτήρια

Έτσι, το λογισμικό προτείνει 9 προδιαμορφωμένα πρότυπα από τα οποία επιλέγεται αυτό που θα παρουσιασθεί. Σημειώνεται πως υπάρχει η δυνατότητα να αλλαχθεί το προδιαμορφωμένο πρότυπο, να προστεθούν ή να αφαιρεθούν στοιχεία με οποιονδήποτε τρόπο θέλει ο χρήστης. Αν κάποιος δεν θέλει να εργαστεί σε ένα υπάρχον σύστημα μπορεί να δημιουργήσει εξ ολοκλήρου το δικό του.

Το Polysun παρέχει την διάταξη. Είναι στο χέρι του χρήστη να διαστασιολογήσει τα στοιχεία του, να ρυθμίσει τα συστήματα ελέγχου και τον τρόπο λειτουργίας όλης της διάταξης. Αυτές οι διαδικασίες γίνονται σε επόμενο στάδιο.

5.4 Επιλογή μεγεθών κατανάλωσης

Το επόμενο βήμα για την εκτέλεση της προσομοίωσης, έχει να κάνει με την επιλογή των χαρακτηριστικών της κατανάλωσης ZNX. Θεωρείται ότι στην οικία κατοικούν 4 άτομα και ότι η κατανάλωση ZNX είναι **200 l** την ημέρα. Παράλληλα ορίζεται η επιθυμητή θερμοκρασία ZNX ίση με 50 °C.

Έχετε επιλέξει σύστημα με ζεστό νερό. Τώρα καθορίστε την ενεργειακή απαίτηση.

Ζεστό νερό χρήσης

Βάση υπολογισμού	Απαίτηση σε ζεστό νερό
Αριθμός ατόμων	4
Θερμοκρασία [°C]	50
Είναι γνωστή η ετήσια απαίτηση ?	<input type="radio"/> Ναι <input checked="" type="radio"/> Όχι
Ημερήσια απαίτηση ζεστού νερού [l]	200
Απουσίες	Ποτέ

Εικόνα 5.7: Καθορισμός κατανάλωσης ZNX

Πέρα από την κατανάλωση για ZNX ορίζεται η Ηλεκτρική κατανάλωση του κτιρίου από τους σταθερούς Ηλεκτρικούς καταναλωτές (φώτα, ηλεκτρικές συσκευές, κ.λ.π.). Υπάρχουν έτοιμα προφίλ κατανάλωσης, τα οποία εισάγονται στην προσομοίωση και αντιπροσωπεύουν την κατανάλωση ρεύματος κάθε στιγμή. Το συνολικό ποσό κατανάλωσης στο σύνολο του έτους το ορίζει ο χρήστης. Επιλέγεται έτσι ένα τυπικό προφίλ κατανάλωσης οικιστικού κτιρίου, που καταναλώνει 2800 kWh στο σύνολο του έτους.

Ηλεκτρικοί καταναλωτές
Προσθέστε έως και 10 προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και αφήστε το Polysun να υπολογίσει την αυτο-κατανάλωση.

Ηλεκτρικοί καταναλωτές

Αριθμός προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρισμού	1		
Προφίλ κατανάλωσης 1	Οικιστικό προφίλ	Ετήσια κατανάλωση [kWh]	2.800

Εικόνα 5.8: Καθορισμός ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος

5.5 Διαστασιολόγηση στοιχείων του κυκλώματος

Στο επόμενο στάδιο, ο οδηγός του λογισμικού δίνει κάποια προτεινόμενα μεγέθη και χαρακτηριστικά για την διαστασιολόγηση καθενός στοιχείου. Ωστόσο οι επιλογές δεν θα βασιστούν σε αυτόν τον οδηγό αλλά θα προσαρμοστούν στις δικές μας απαιτήσεις.

5.5.1 Θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες

Στον κατάλογο του λογισμικού περιλαμβάνεται πληθώρα θερμικών ηλιακών συλλεκτών διάφορων τύπων. Συγκεκριμένα διατίθενται συλλέκτες επίπεδοι, με ή χωρίς υαλοκάλυψη, συγκεντρωτικοί και κενού. Προκειμένου να επιλεγεί το ποιοι συλλέκτες θα χρησιμοποιηθούν ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία.

1) Επιλογή από τον κατάλογο ενός τύπου συλλέκτη

2) Εκτέλεση της προσομοίωσης και έλεγχος των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα ελέγχεται εάν αρχικά ο επιλεγμένος αριθμός και τύπος συλλεκτών αρκεί για να καλύψει το θερμικό φορτίο που υπολογίζεται από την προσομοίωση.

3) Εύρεση του συνδυασμού τύπου και αριθμού συλλεκτών που καλύπτει την ενεργειακή απαίτηση και δίνει επιθυμητά αποτελέσματα ηλιακής κάλυψης στο σύστημα. Σε αυτό το βήμα γίνεται έλεγχος προκειμένου να μην τοποθετηθεί υπερβολικά μεγάλος αριθμός συλλεκτών.

Με βάση την παραπάνω διαδικασία επιλέγεται να χρησιμοποιηθούν συλλέκτες κενού που θα θερμαίνουν το νερό στη δεξαμενή. Εγκαθίστανται **2** τέτοιοι συλλέκτες συνολικής επιφάνειας **6,44 m²**.

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδα
Εκτύπωση		
Περιγραφή		
Na εμφανιστεί στα αποτελέσματα	▼ ορατό	
Περιβάλλον	▼ εξωτερικός	
Test Standard	▼ Ευρώπη	
Συλλέκτης	☑ CPC-HP15	
- Τύπος συλλέκτη	Συλλέκτης κενού	
- Ελέγξτε το τυπικό Solar Keymark	EN ISO 9806:2017	
Τιμή αναφοράς για την περιοχή	▼ Αριθμός συλλεκτών	
Συνολική επιφάνεια	6,44	m ²
Συνολική εσωτερική επιφάνεια	5,44	m ²
Απορροφητική επιφάνεια	5,44	m ²
Αριθμός συλλεκτών	2	
Παράλληλες συστοιχίες	1	
Ταχύτητα ανέμου στην συστοιχία συλλε...	50	%
A Προσανατολισμός (A=+90°, N=0°, Δ=-...	0	°
B Γωνία κλίσης (οριζόντια=0°, κάθετα=9...	39	°
Περιστροφή	0	°
Ανίχνευση	▼ χωρίς περιστροφή	
Μέγιστη θερμοκρασία συλλέκτη	▼ Όχι	

Εικόνα 5.9: Χαρακτηριστικά θερμικού ηλιακού συλλέκτη στο λογισμικό Polysun

Ο υπολογισμός των στοιχείων και της απόδοσης των συλλεκτών γίνεται σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN12975/ISO9806. Σύμφωνα με το εγχειρίδιο του polysun, η καμπύλη απόδοσης του συλλέκτη υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$x = \frac{T_m - T_a}{G_k}$$

$$h(x) = C_0 - C_1 x - C_2 G_k x^2$$

όπου,

T_m : Η μέση θερμοκρασία του ρευστού μέσα στον συλλέκτη (°C)

T_a : Η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

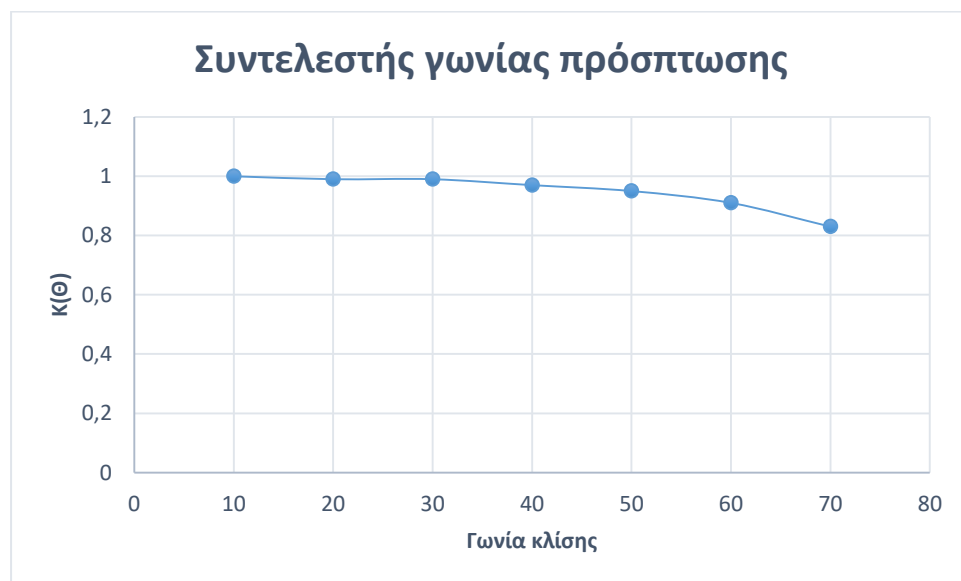
G_k : Η συνολική προσπίπτουσα Ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2)

C_0 : Οπτική απόδοση του συλλέκτη (απόδοση χωρίς θερμικές απώλειες).

C_1, C_2 : Θερμικές απώλειες συλλέκτη.

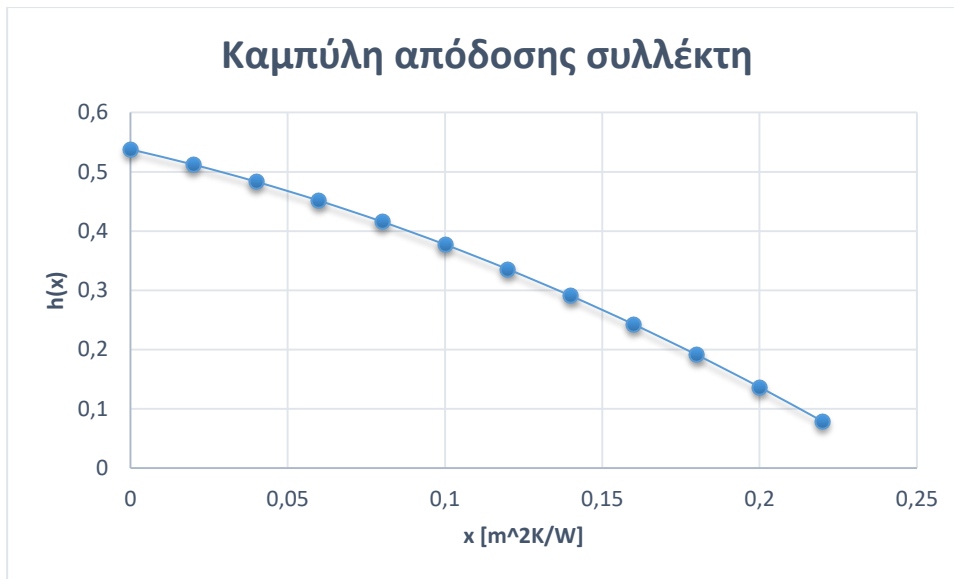
Για τον τύπο συλλέκτη που εξετάζουμε δίνονται οι τιμές $C_0=0.5379$, $C_1=1.21 W/m^2 K$ και $C_2=0.004 W/m^2 K^2$.

Η ποσότητα της Ηλιακής ακτινοβολίας που θα πέσει στην επιφάνεια του συλλέκτη και θα απορροφηθεί από αυτόν, εξαρτάται από την γωνία πρόσπτωσης της Ηλιακής ακτινοβολίας. Ορίζεται έτσι ένας συντελεστής γωνίας πρόσπτωσης $K(\theta)$ που εκφράζει την ιδιότητα αυτή. Στον τύπο συλλέκτη που μελετάμε η τιμή του συντελεστή αυτού φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα, ανάλογα με την κλίση του συλλέκτη:



Διάγραμμα 5.1: Συντελεστής γωνίας πρόσπτωσης θερμικού συλλέκτη

Για τιμή έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας $G_k=1000 W/m^2$ ο συλλέκτης παρουσιάζει την ακόλουθη καμπύλη απόδοσης.



Διάγραμμα 5.2: Καμπύλη απόδοσης θερμικού συλλέκτη

Γωνία κλίσης συλλεκτών

Προκειμένου να εντοπιστεί η βέλτιστη γωνία κλίσης των συλλεκτών, εκτελέστηκε η προσομοίωση αρκετές φορές κρατώντας όλα τα άλλα στοιχεία σταθερά και αλλάζοντας μόνο την κλίση. Τα αποτελέσματα θα παρουσιασθούν γραφικά παρακάτω. Εδώ σημειώνεται απλώς πως η γωνία για την οποία επιτεύχθηκε μεγιστοποίηση της παρεχόμενης ηλιοθερμικής ενέργειας ήταν 39°. Αυτή είναι και η κλίση που επιλέγεται.

Επιπλέον χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 5.3

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Συλλέκτης κενού CPC-HP15		
Αριθμός συλλεκτών		2
Θερμοχωρητικότητα	J/K	8230
Όγκος	l	0.8
Γωνία κλίσης	°	39
Εσωτερική διάμετρος σωλήνα	mm	7
Μήκος σωλήνας	m	1.917
Παράλληλες σωληνώσεις		11
Τραχύτητα σωλήνα	mm	0.1
Μέγιστη παροχή	l/h	2000
Μέγιστη πίεση	Bar	10
Μέγιστη θερμοκρασία	°C	280

Πίνακας 5.3: Χαρακτηριστικά θερμικού συλλέκτη

5.5.2 Αντλία θερμότητας

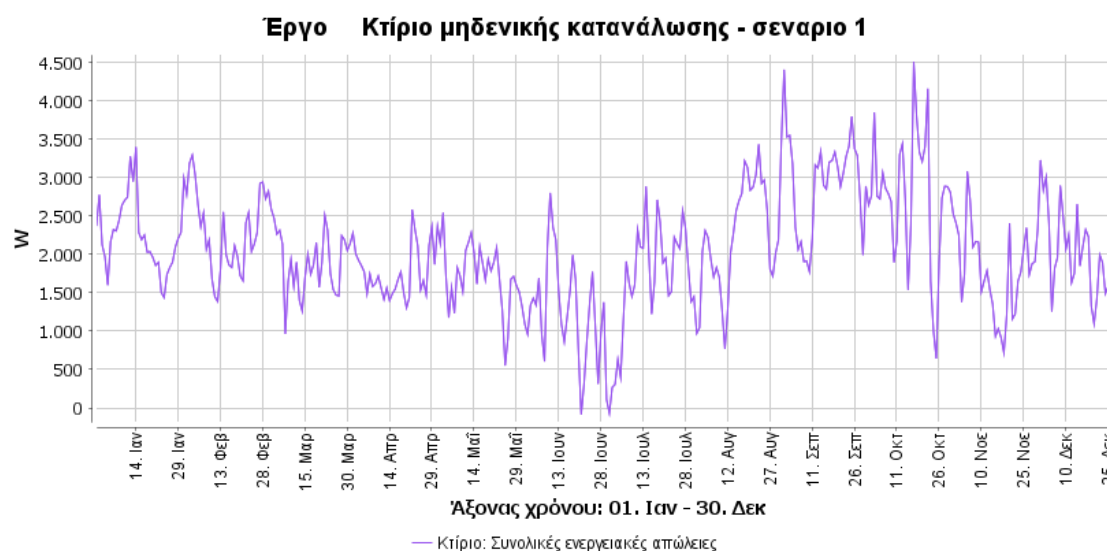
Η αντλία θερμότητας χρησιμοποιείται για να παρέχει την επιπλέον θερμότητα στην δεξαμενή αποθήκευσης του νερού. Καθώς είναι υποβοηθούμενη από τους ηλιακούς συλλέκτες ο υπολογισμός της λαμβάνει υπόψη και αυτούς και έπεται χρονικά

Η αντλία θερμότητας πρέπει να διαστασιολογηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Παράλληλα δεν πρέπει να υπερδιαστασιολογηθεί γιατί αυτό θα οδηγήσει σε υψηλότερη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά και σε πιθανή βλάβη της αντλίας λόγω πολλών ενάρξεων.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στον υπολογισμό της αντλίας θερμότητας είναι η εξής:

- 1) Εκτελείται μία φορά η προσομοίωση χωρίς να είναι απαραίτητη η σωστή τοποθέτηση των συστημάτων. Στο συγκεκριμένο βήμα αυτό που ενδιαφέρει είναι να υπολογιστούν οι ενεργειακές απώλειες του κτιρίου κατά τη διάρκεια του έτους.
- 2) Εντοπισμός των ενεργειακών απωλειών του κτιρίου κατά τη διάρκεια του χειμώνα και εύρεση της απαιτούμενης ισχύος της αντλίας
- 3) Τοποθέτηση της κατάλληλης αντλίας θερμότητας, εκτέλεση της προσομοίωσης και έλεγχος εάν καλύπτεται το απαιτούμενο φορτίο.

Το ακόλουθο γράφημα παρουσιάζει τις συνολικές ενεργειακές απώλειες του κτιρίου κατά τη διάρκεια του έτους, όπως προέκυψε από το βήμα 1.



Εικόνα 5.10: Συνολικές ενεργειακές απώλειες του κτιρίου, όπως προκύπτουν από την προσομοίωση

Όπως παρατηρούμε κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι απώλειες δεν ξεπερνάνε τα 4 KW. Η χαμηλότερη εξωτερική θερμοκρασία που εντοπίστηκε είναι 1 °C στις 14 Ιανουαρίου. Επιλέγεται έτσι μία αντλία η οποία θα παρέχει την απαιτούμενη θερμική ισχύ στην δυσμενέστερη περίπτωση.

Από τον κατάλογο του rolysun μελετάται η χρήση μίας αντλίας ισχύος 7,8 KW με εργαζόμενο μέσο R404A, για την οποία το λογισμικό μας δίνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Θερμική ισχύς ίση με 7,9 KW για εξωτερική θερμοκρασία 2 °C και θερμοκρασία νερού προσαγωγής 50 °C
- Θερμική ισχύς ίση με 9,7 KW για εξωτερική θερμοκρασία 7 °C και θερμοκρασία νερού προσαγωγής 50 °C

Ετσι, με τη συγκεκριμένη αντλία το φορτίο καλύπτεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Όνομασία	Τιμή	Μονά...
Περιγραφή	▼ ορατό	
Να εμφανιστεί στα αποτελέσματα	▼ εσωτερικά	
Περιβάλλον	▼ -	
Επιλογή κτιρίου	▼ Μη θερμαινόμενη περ...	
Τύπος εγκατάστασης		
Απώλεια θερμότητας στη θερμαινόμενη...	10	%
Περιγραφή του κυκλώματος		
Γενήτρια θερμότητας	▼ Αντλία θερμότητας	
Αντλία θερμότητας	☑ LW 80N-I	
- Ισχύς θέρμανσης στο A2/W35	7,8	kW
- Ηλεκτρική ισχύς στο A2/W35	2,3	kW
- ΔT στο A7/W35	9,5	K
COP σε A2/W35	3,4	
Σφάλμα θερμοκρασίας υπερπίεσης	65	°C
Πηγή θερμότητας	▼ Αέρας περιβάλλοντος	

Εικόνα 5.11: Χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας

Η καμπύλη ισχύος φαίνεται στο παρακάτω γράφημα:



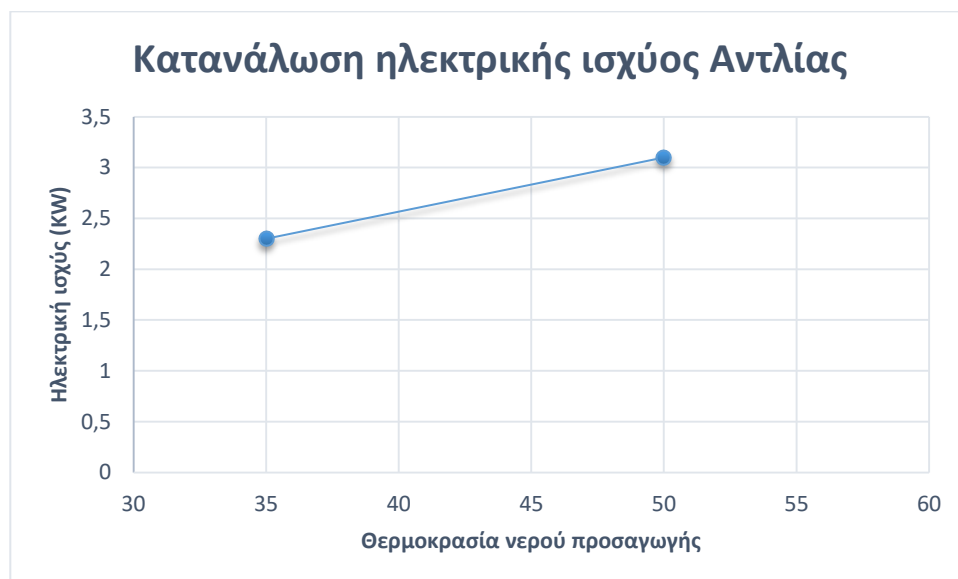
Διάγραμμα 5.3: Καμπύλη απόδοσης αντλίας θερμότητας

Η εν λόγω αντλία είναι αέρος-νερού που αντλεί την ενέργεια της από τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος. Ο COP της αντλίας παρέχεται από το λογισμικό ίσος με 3,4 σε

συνθήκες του προτύπου τεστ EN255(εξωτερική θερμοκρασία 2 °C και νερό προσαγωγής 35 °C). Κάποια χαρακτηριστικά της φαίνονται παρακάτω.

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Ψυκτικό μέσο		R-404A
Ποσότητα ψυκτικού μέσου	Kg	1,4
Παροχή	l/h	900
Ενσωματωμένη ηλεκτρική αντίσταση θερμαντήρα	KW	6

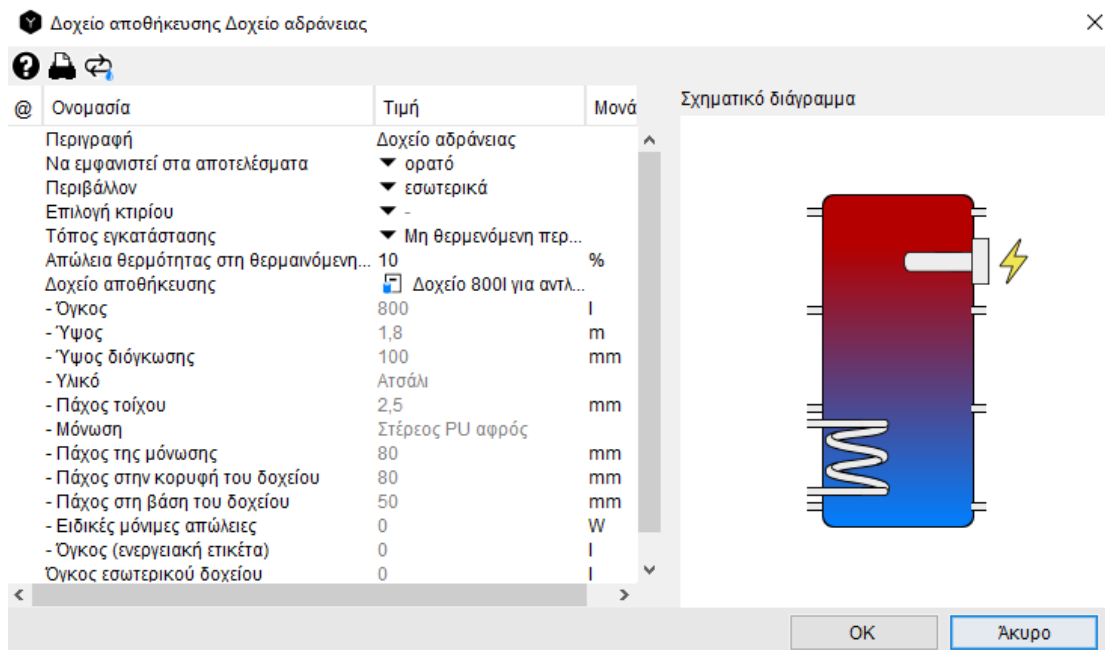
Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας



Διάγραμμα 5.4: Κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος αντλίας θερμότητας

5.5.3 Δεξαμενή αποθήκευσης νερού

Άμεσα συνεργαζόμενη με τους θερμικούς συλλέκτες και την αντλία θερμότητας είναι η δεξαμενή αποθήκευσης νερού. Πρόκειται για το στοιχείο στο οποίο θα αποθηκεύεται όλη η θερμική ενέργεια που αντλείται από τον Ηλιακό συλλέκτη και την αντλία θερμότητας. Το δοχείο διαστασιολογείται με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει την ημερήσια απαίτηση σε ζεστό νερό χρήσης(ZNX) αλλά και σε νερό που θα ρέει στο σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Η ημερήσια κατανάλωση ZNX καθορίστηκε ίση με 200 l/day. Επιλέγεται έτσι ένα δοχείο 800 l για αντλίες θερμότητας στο οποίο θεωρούνται 12 στρώσεις νερού ανάλογα με την θερμοκρασία. Τα κύρια χαρακτηριστικά του και το διάγραμμα του φαίνονται ακολούθως.



Εικόνα 5.12: Χαρακτηριστικά δεξαμενής νερού στο λογισμικό Polysun

Το υλικό της δεξαμενής είναι ατσάλι, ενώ διαθέτει μόνωση πάχους 80 mm από Στερεό PU αφρό. Ο κατάλογος του λογισμικού μας δίνει πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του κάθε υλικού και μας δίνει τη δυνατότητα να επιλέξουμε την μόνωση που θέλουμε. Κύρια χαρακτηριστικά των υλικών παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Στερεός PU αφρός		
Πυκνότητα	Kg/m^3	100
Θερμική αγωγιμότητα	W/mK	0,033
Θερμοχωρητικότητα	J/KgK	1000
Ατσάλι		
Πυκνότητα	Kg/m^3	7878
Θερμική αγωγιμότητα	W/mK	50
Θερμοχωρητικότητα	J/KgK	460

Πίνακας 5.5: Ιδιότητες των υλικών της δεξαμενής αποθήκευσης νερού

5.5.4 Στοιχείο θέρμανσης

Η θέρμανση στον χώρο του κτιρίου παρέχεται από σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Σε αυτό διακινείται το ζεστό νερό από το δοχείο αποθήκευσης, το οποίο κατά το πέρασμα του από το στοιχείο θέρμανσης ακτινοβολεί θερμότητα στον χώρο του κτιρίου. Στο κτίριο είναι εγκατεστημένα 6 τέτοια στοιχεία με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

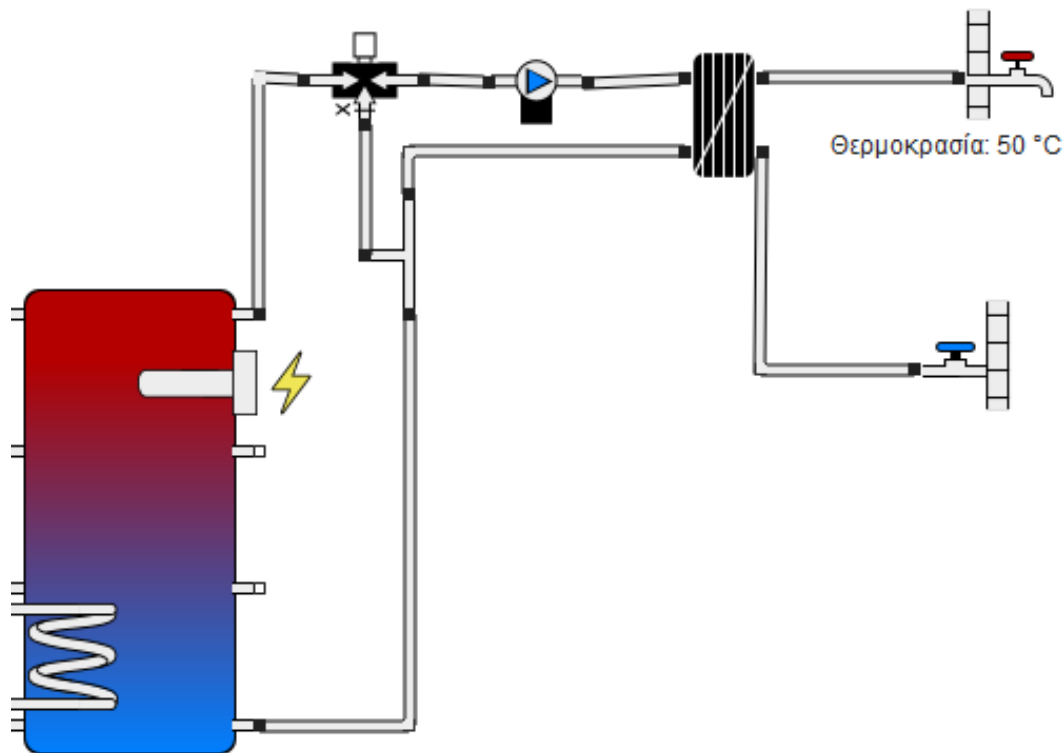
Περιγραφή		
Τύπος συλλέκτη	▼ Convector / καλοριφέρ	
Στοιχείο θέρμανσης/ψύξης	☑ Θέρμανση δαπέδου	
- Θερμοκρασία προσαγωγής υπό κανο...	40	°C
- Θερμοκρασία επιστροφής υπό κανο...	35	°C
- Ισχύς ανά στοιχείο θέρμανσης υπο κα...	1.000	W
- Επιφάνεια στοιχείων θέρμανσης/ψύξης	11	m ²
- Παροχή ανά στοιχείο θέρμανσης/ψύξ...	172	l/h
Επιλογή κτιρίου	▼ -	
Αριθμός μονάδων θέρμανσης / fan coil...	▼ Όχι	
Αριθμός κυκλωμάτων θέρμανσης/ψύξης	6	-



Εικόνα 5.13: Χαρακτηριστικά στοιχείου θέρμανσης της εγκατάστασης

5.5.5 Εναλλάκτης θερμότητας

Το νερό που ρέει μέσα στο κύκλωμα της αντλίας θερμότητας και της ενδοδαπέδιας θέρμανσης λόγω του ότι περνάει από πολλά στοιχεία και σωληνώσεις δεν θεωρείται πόσιμο. Επομένως στο δοχείο αποθήκευσης δεν αποθηκεύεται το νερό που θα τρέξει στις βρύσες του κτιρίου, αλλά αυτό που θα δώσει την θερμότητα του στο τελικό νερό χρήσης μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Το κύκλωμα του εναλλάκτη θερμότητας αποκομμένο από το υπόλοιπο σύστημα φαίνεται ακολούθως



Εικόνα 5.14: Κύκλωμα ZNX

Χρησιμοποιείται πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας μεσαίου μεγέθους με τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας		
Μεταφερόμενη ποσότητα	W/K	10.000
Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας	W/m ² K	1
Μήκος τομέα	mm	480
Πλάτος	mm	100
Ύψος	mm	100
Παράγοντας ράβδωσης		1,1
Αριθμός πλακών		30
Γραμμικός παράγοντας		3
Παράγοντας τριβής		20


Πίνακας 5.6: Χαρακτηριστικά εναλλάκτη θερμότητας

Σε αυτό το κύκλωμα συνδέεται και μία τρίοδη βάνα η οποία έχει τον ρόλο να εξοικονομεί ενέργεια, μη αφήνοντας την θερμοκρασία του ζεστού νερού να ανέβει πολύ πάνω από την επιθυμητή, αναμειγνύοντας ένα ποσοστό από το κρύο νερό. Η λειτουργία της ελέγχεται από ένα σύστημα ελέγχου που μετράει τις θερμοκρασίες στους σωλήνες.



5.5.6. Αισθητήρες και συστήματα ελέγχου

Η λειτουργία όλου του συστήματος καθορίζεται από αισθητήρες και όργανα ελέγχου. Αυτά δίνουν τις κατάλληλες εντολές στις διάφορες αντλίες για την διακίνηση των ρευστών, και στις συσκευές για την κατάσταση λειτουργίας.

Οι αντλίες που διακινούν τα ρευστά είναι 4 και βρίσκονται στα κυκλώματα του συλλέκτη, της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, του ZNX και μία ενσωματωμένη στην αντλία θερμότητας. Επιλέγεται να χρησιμοποιηθούν αντλίες μικρού μεγέθους που μπορούν ωστόσο να διακινήσουν την απαιτούμενη παροχή, χωρίς βλάβες.


 Κυκλοφορητής Ηλιακό κύκλωμα

@

?



Σχηματικό διάγραμμα

Όνομασία	Τιμή	Μονά...	
Περιγραφή	Ηλιακό κύκλωμα		
Na εμφανιστεί στα αποτελέσματα	▼ ορατό		
Περιβάλλον	▼ εσωτερικά		
Επιλογή κτιρίου	▼ -		
Τύπος εγκατάστασης	▼ Μη θερμνόμενη περ...		
Απώλεια θερμότητας στη θερμαινόμενη...	10	%	
Περιγραφή του κυκλώματος			
Κυκλοφορητής	<input checked="" type="checkbox"/> Αντλία Eco, μικρή		
Ταχύτητα κυκλοφορητή	▼ 1		
Έλεγχος της παροχής	▼ Ρύθμιση του παροχή		
Πηγή ενέργειας	<input checked="" type="checkbox"/> Ηλεκτρική ενέργεια		



Εικόνα 5.15: Χαρακτηριστικά αντλίας

Τα συστήματα ελέγχου μπορούν να καθοριστούν από τον κάθε χρήστη ανάλογα με την τακτική που θέλει να ακολουθηθεί στο σύστημα του. Προσφέρονται πολλές και διαφορετικές

επιλογές για να ελέγχεται το κύκλωμα. Ο έλεγχος για κάθε στοιχείο ξεχωριστά παρουσιάζεται ακολούθως:

Ρύθμιση ροής Ηλιακών συλλεκτών

Οι Ηλιακοί συλλέκτες επιλέγεται να λειτουργούν όλον τον χρόνο προκειμένου να μεταφέρουν την ενέργεια του ηλίου στο κύκλωμα. Οι αισθητήρες της συσκευής ελέγχου μετράνε τη θερμοκρασία εκροής του συλλέκτη και τη θερμοκρασία της δεύτερης στρώσης της δεξαμενής αποθήκευσης (12 στρώσεις με την θερμοκρασία να αυξάνεται από την στρώση 1 στην στρώση 12). Όταν η θερμοκρασία των συλλεκτών είναι κατά 6 °C μεγαλύτερη από αυτήν της δεύτερης στρώσης της δεξαμενής, τότε ο κυκλοφορητής του κυκλώματος αυτού παίρνει εντολή να λειτουργήσει. Όταν αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά μειωθεί στους 2 °C τότε διακόπτεται η κυκλοφορία.

Εικόνα 5.16 Παράθυρο επιλογής ρυθμίσεων των συστημάτων ελέγχου

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα να οριστούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους οι στρατηγικές ελέγχου. Μπορούν να οριστούν οι ώρες λειτουργίας, οι μέρες και οι μήνες, η διακίνηση της παροχής εάν θα είναι συγκεκριμένη ή θα μεταβάλλεται, τα στοιχεία που θα λαμβάνονται υπόψη, η προτεραιότητα υπολογισμού της κάθε συσκευής ελέγχου και άλλα.

Ρύθμιση λειτουργίας αντλίας θερμότητας

Η αντλία θερμότητας είναι μία συσκευή που καταναλώνει ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι, χρειάζεται να λειτουργεί μόνο όταν υπάρχει άμεση ανάγκη για επιπλέον θερμότητα. Οι αισθητήρες ελέγχου μετράνε την θερμοκρασία στην ανώτερη στρώση της δεξαμενής, την απαίτηση σε ΖΝΧ και την απαίτηση λειτουργίας του συστήματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Όταν χρειάζεται ΖΝΧ και η θερμοκρασία στο δοχείο είναι μικρότερη από 50 °C τότε λειτουργεί η αντλία θερμότητας. Αντίστοιχα εκκίνηση της ΑΘ γίνεται όταν απαιτείται από την ενδοδαπέδια θέρμανση νερό θερμοκρασίας υψηλότερης από ότι υπάρχει στην 8^η στρώση, καθώς από αυτήν την στρώση προσάγεται το νερό για θέρμανση. Για επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας, ο αισθητήρας αυτός λειτουργεί συγκεκριμένες ώρες της ημέρας.

Περίοδοι διαθεσιμότητας								<input checked="" type="radio"/> Χρονοδιακόπτης	<input type="radio"/> Προφίλ διακοπής														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Δευ	Τρί	Τετ	Πέμ	Παρ	Σάβ	Κυρ																	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																	
Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ												
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 5.17: Controller της αντλίας θερμότητας

Συγκεκριμένα τίθεται ενεργός περισσότερο τις ώρες που μειώνεται η ηλιακή ακτινοβολία και η υποβοήθηση από τους συλλέκτες, και τις πρώτες πρωινές ώρες που ξεκινούν οι ανθρώπινες δραστηριότητες.

Ρύθμιση κυκλοφορίας ενδοδαπέδιας θέρμανσης

Οι αισθητήρες αυτοί μετράνε την θερμοκρασία του κτιρίου και με είσοδο τις επιθυμητές συνθήκες θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου που έχουν τεθεί, καθορίζουν αν θα κυκλοφορήσει νερό μέσα από το σύστημα θέρμανσης. Παράλληλα ελέγχουν την κατάσταση της τρίοδης βάνας που είναι εγκατεστημένη για εξοικονόμηση ενέργειας. Αναφέρεται πως οι αισθητήρες αυτοί τίθενται ανενεργοί κατά τους μήνες που δεν υπάρχει απαίτηση θέρμανσης του χώρου.

Περίοδοι διαθεσιμότητας								<input checked="" type="radio"/> Χρονοδιακόπτης	<input type="radio"/> Προφίλ διακοπής														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Δευ	Τρί	Τετ	Πέμ	Παρ	Σάβ	Κυρ																	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																	
Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ												
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 5.18: Controller ροής της ενδοδαπέδιας θέρμανσης

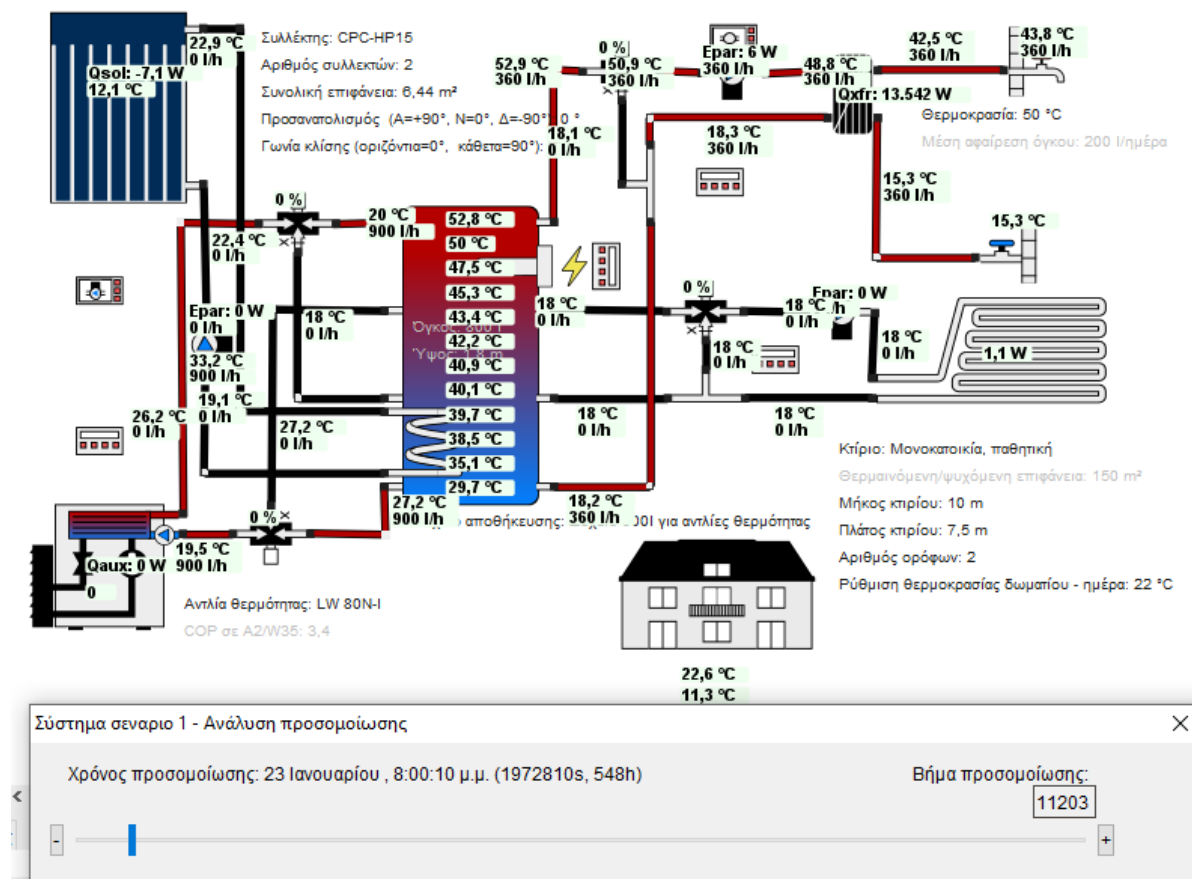
Ρύθμιση ηλεκτρικού θερμαντήρα και κυκλοφορητή ΖΝΧ

Όταν κάποια βρύση του κτιρίου ανοίξει και υπάρξει απαίτηση για ζεστό νερό, αυτόματα ενεργοποιείται η αντλία που δίνει την επιθυμητή παροχή. Επιπλέον, στην δεξαμενή αποθήκευσης υπάρχει ενσωματωμένος ηλεκτρικός θερμαντήρας. Ο θερμαντήρας αυτός τίθεται κλειστός καθόλη τη διάρκεια του χρόνου καθώς όλη η απαιτούμενη θερμική ενέργεια μπορεί να παρέχεται από τους συλλέκτες και την αντλία θερμότητας. Σε κάποια περίπτωση που οι κάτοικοι θέλουν επιπλέον θερμότητα μπορούν να τον ενεργοποιήσουν με τη μορφή διακόπτη. Η εκτέλεση των προσομοιώσεων ωστόσο έδειξε ότι είναι περιττή η χρήση αυτού του θερμαντήρα.

5.5.7 Ανάλυση προσομοιώσεων

Όλες οι παραπάνω ρυθμίσεις καθορίστηκαν μετά την εκτέλεση πλήθους προσομοιώσεων, προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη στρατηγική που θα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου, με την μικρότερη δυνατή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα να εκτελεστούν οι προσομοιώσεις σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Έτσι ο χρήστης μπορεί συνέχεια να αλλάζει το σύστημα του και να ελέγχει τα αποτελέσματα που φέρουν αυτές οι αλλαγές.

Παράλληλα, μέσω της δυνατότητας 'ανάλυσης προσομοίωσης' ο χρήστης μπορεί να έχει μία οπτική πολύ άμεση εικόνα της λειτουργία του κυκλώματος. Συγκεκριμένα με αυτή την λειτουργία φαίνονται κάθε ώρα του χρόνου οι θερμοκρασίες όλων των στοιχείων, ποια στοιχεία διακινούν παροχή και τι ενέργεια διακινείται.



Εικόνα 5.19: Περιγραφή της λειτουργίας του κυκλώματος την στιγμή που ενεργοποιείται η αντλία θερμότητας, στις 23 Ιανουαρίου ώρα 20:00

5.5.8 Παροχή ψύξης

Το μεσογειακό κλίμα στο οποίο βρίσκεται το εξεταζόμενο κτίριο είναι αναπόφευκτο να απαιτεί σύστημα ψύξης το καλοκαίρι. Η τεχνολογία έχει δώσει τις μηχανές απορρόφησης οι οποίες μπορούν να παρέχουν ψύξη εκμεταλλευόμενες την Ηλιακή ενέργεια. Η εγκατάσταση τέτοιου συστήματος θα εξεταστεί σε επόμενο κεφάλαιο στα εναλλακτικά σενάρια.

Το συγκεκριμένο σύστημα δεν διαθέτει κάποιο στοιχείο που να παρέχει ψύξη εκμεταλλευόμενο την Ηλιακή ενέργεια. Η ψύξη θα παρέχεται από συμβατικές κλιματιστικές μονάδες που λειτουργούν με συμπίεση. Για τον υπολογισμό του επιπλέον ποσού ηλεκτρικής κατανάλωσης που αντιστοιχεί στη λειτουργία των κλιματιστικών ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- 1) Ορίστηκε η θερμοκρασία ψύξης του κτιρίου σε 25 °C την ημέρα και 26 °C τη νύχτα
- 2) Εκτελέστηκε η προσομοίωση για αυτές τις συνθήκες με απενεργοποιημένα όλα τα συστήματα, και τα αποτελέσματα έδωσαν ότι το έλλειμμα ψυκτικής ισχύος ανήλθε 6045 KWh κατά τη διάρκεια του έτους. Αυτό θεωρείται ότι είναι το ποσό που πρέπει να καλυφθεί από τα κλιματιστικά.
- 3) Θεωρείται ένα σύγχρονο κλιματιστικό με τεχνολογία inverter το οποίο μπορεί να δώσει εποχιακή απόδοση SEER ίση με 7. Η απόδοση SEER δίνεται από τον λόγο της αποδιδόμενης ψυκτικής ενέργειας προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια, δηλαδή:

$$SEER = \frac{\text{Αποδιδόμενη ψυκτική ενέργεια}}{\text{Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας}}$$

- 4) Υπολογίζεται έτσι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της χρήσης των κλιματιστικών ίση με 863 KWh/έτος. Η κατανάλωση αυτή προστίθεται στους σταθερούς ηλεκτρικούς καταναλωτές του κτιρίου.

5.5.9 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Όλα τα συστήματα που συνεργάζονται μεταξύ τους, που δίνουν και καταναλώνουν ενέργεια, έχουν οριστεί πλήρως με τις προηγούμενες μεθόδους. Προκειμένου να εξυπηρετηθεί ο σκοπός της μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου απομένει να μελετηθεί η εγκατάσταση των Φωτοβολταϊκών.

Το εξεταζόμενο σύστημα επιλέγεται να επικοινωνεί με το εξωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο, δηλαδή να είναι on-grid. Έτσι, τις ημέρες με ευνοϊκές καιρικές συνθήκες το κτίριο χρησιμοποιεί όση ενέργεια χρειάζεται από τα Φ/Β και την υπόλοιπη τη δίνει στο δίκτυο. Αντίθετα, όταν υπάρχει περιορισμένη ηλιοφάνεια αντλείται ενέργεια από το δίκτυο. Επομένως, η μελέτη εστιάζει στο πόσα Φ/Β χρειάζεται να εγκατασταθούν για να επιτευχθεί μηδενική κατανάλωση στο σύνολο του έτους.

Έπειτα από πολλές δοκιμές υπολογίζεται ότι χρειάζεται να εγκατασταθούν 17 Φ/Β με κλίση 39°, για να επιτευχθεί ετήσια βελτιστοποίηση και μηδενική κατανάλωση.

Φωτοβολταικά

Ονομασία	Τιμή	Μονά
Περιγραφή	ορατό	
Na εμφανιστεί στα αποτελέσματα	Φωτοβολταικός συ...	
Φωτοβολταικά	Ανώνυμο	
- Κατασκευαστής	πολυκρυσταλλικά	
- Τύπος συλλέκτη		
- Ονομαστική ισχύς STC	180	W
- Συνολική επιφάνεια	1,4	m ²
Μέθοδος υπολογισμού	Χρησιμοποιήστε τα ...	
Τιμή αναφοράς για την περιοχή	Αριθμός συλλεκτών	
Αριθμός συλλεκτών	17	
Αριθμός φωτοβολταικών συλλεκτών (δι...	17	
Συνολική ονομαστική ισχύς DC	3,06	kW
Συνολική επιφάνεια	23,8	m ²
A Προσανατολισμός (A=+90°, N=0°, Δ=-...	0	°
B Γωνία κλίσης (οριζόντια=0°, κάθετα=9...	38	°
Ανίχνευση	χωρίς περιστροφή	
Μέρος του ανέμου	50	%
Εξαερισμός στην πίσω πλευρά	μέτρια	
Μόλυνση	2	%

Σχηματικό διάγραμμα

OK Άκυρο

Εικόνα 5.20: Χαρακτηριστικά φωτοβολταικών

Τα φωτοβολταικά στοιχεία είναι αυτά που μας επιτρέπουν να μετατρέψουμε την προσπίπτουσα Ηλιακή ακτινοβολία σε ρεύμα, προκειμένου να το χρησιμοποιήσουμε στο σύστημα μας. Τα Φ/Β παράγουν συνεχές ρεύμα το οποίο μέσω ενός κατάλληλου μετατροπέα (inverter) δίνουν εναλλασσόμενο, συμβατό με αυτό που κυκλοφορεί το δίκτυο. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα να επιλέξουμε το κατάλληλο Φ/Β που ταιριάζει στις απαιτήσεις μας, αλλά και το σχεδιάγραμμα του μετατροπέα που είναι συμβατό με αυτό.

Φωτοβολταικά: Εγκυρότητα
Εγκυρότητα ηλεκτρικών ορίων στο σχεδιάγραμμα μετατροπέα/συστοιχιών

Ολική επιβεβαίωση

Εξάρτημα	Εγκυρότητα	Τιμή	Όριο	Αποτέλεσμα
Μετατροπέας 1: A Inverter 1100	Συντελεστής ισχύος Αναλογία: Inverter στο πεδίο. Inverter power: Μέγιστη ισχύς συνεχούς ρεύματος (DC)	78 %	-	✓
Μετατροπέας 1: A Inverter 1100	Ελάχιστη τάση AC Τάση τοπικού ηλεκτρικού δικτύου	230 V	190 V	✓
Μετατροπέας 1: A Inverter 1100	Μέγιστη τάση AC Τάση τοπικού ηλεκτρικού δικτύου	230 V	255 V	✓
Μετατροπέας 1: A Inverter 1100	Ελάχιστη τάση MPP MPP τάση συστοιχίας (70 °C)	202,2 V	100 V	✓
Μετατροπέας 1: A Inverter 1100	Μέγιστη τάση MPP MPP τάση συστοιχίας (-10 °C)	269,4 V	300 V	✓
Μετατροπέας 1: A Inverter 1100	Μέγ. τάση εισόδου Τάση ανοιχτού κυκλώματος συστοιχίας (-10 °C)	340,1 V	400 V	✓
Μετατροπέας 1: A Φωτοβολταικός συλλέκτης	Μέγ.τάση συστήματος Τάση ανοιχτού κυκλώματος συστοιχίας (-10 °C)	340,1 V	1.000 V	✓
Μετατροπέας 1: A Inverter 1100	Μέγ.ρεύμα εισόδου MPP ρεύμα όλων των συστοιχιών (70 °C)	7,6 A	10,5 A	✓
Μετατροπέας 1: A	Μέγιστη ασφάλεια συστοιχίας			✓

Εικόνα 5.21: Επιλογή χαρακτηριστικών μετατροπέα

Επιλέγουμε να Χρησιμοποιήσουμε πολυκρυσταλλικά πάνελ με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά σε STC συνθήκες (standard test conditions: Προσπίπτουσα ακτινοβολία 1000 W/m² , Θερμοκρασία πάνελ 25 °C , Μάζα αέρα 1 kg)

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
STC Συνθήκες		
Απόδοση		0,13
Ονομαστική ισχύς	W	180
Συντελεστής θερμοκρασίας ισχύος	%/K	-0,47
Τάση εξόδου στη μέγιστη ισχύς	V	24
Ρεύμα εξόδου στη μέγιστη ισχύς	A	7,5
Γενικά χαρακτηριστικά		
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	V	30,3
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	A	8,15
Συντελεστής θερμοκρασίας τάσης	%/K	-0,35
Συντελεστής θερμοκρασίας ρεύματος	%/K	0,03
Μέγιστη τάση συστήματος	V	1000
Συνολική επιφάνεια	m ²	1,4

Πίνακας 5.7: Βασικά μεγέθη Φωτοβολταϊκών

6. Αποτελέσματα εκτέλεσης της προσομοίωσης

Η εκτέλεση της προσομοίωσης παρέχει μία συνολική αναλυτική εικόνα για την συμπεριφορά όλων των στοιχείων της εγκατάστασης. Μία πρώτη περιληπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων φαίνεται στο ακόλουθο παράθυρο που δημιουργείται από το λογισμικό.

Συνοπτική παρουσίαση ×

?

Σύστημα - σενاريو 1

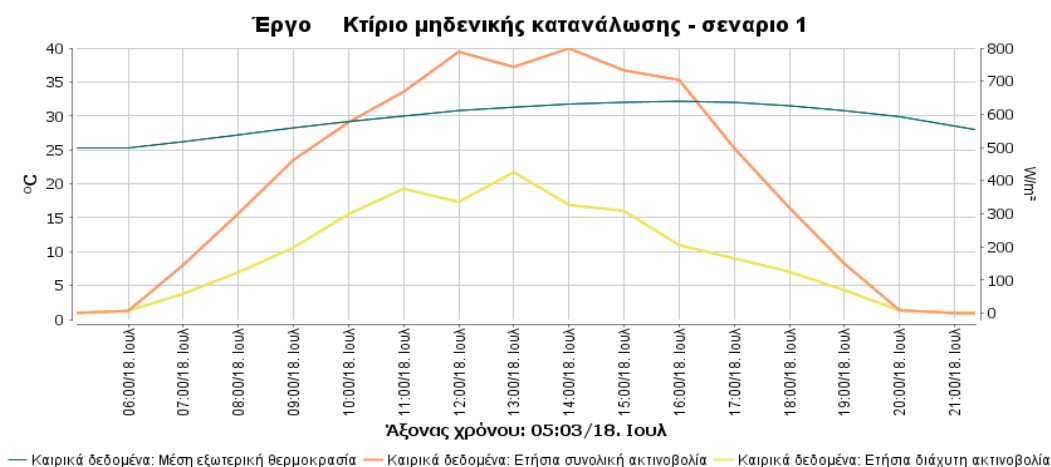
Όνομα	Σύμβολο	Μονάδα	Έτος
Ηλιακή κάλυψη: ποσοστό ηλιακής ενέργειας στο σύστημα	SFn	%	89,6
Ηλιακή κάλυψη σε ζεστό νερό	SFnHw	%	89,9
Ηλιακή κάλυψη στην θέρμανση	SFnBd	%	89,9
Ηλιοθερμική ενέργεια στο σύστημα	Qsol	kWh	4.669
Πεδίο φωτοβολταϊκών εναλασσόμενου ρεύματος	Qinv	kWh	3.992,1
Δική μας κατανάλωση	Eocs	kWh	1.234
Τροφοδοσία δικτύου	Eteg	kWh	2.758
Από το εξωτερικό δίκτυο	Efeg	kWh	2.614
Ενέργεια μονάδος παραγωγής θερμότητας στο σύστημα (ενέ...	Qaux	kWh	540
Συνολική ενεργειακή κατανάλωση	Quse	kWh	2.849
Έλλειμμα ενέργειας	Qdef	kWh	78,4
Συνολική κατανάλωση καυσίμου ή/και ηλεκτρικής ενέργειας τ...	Etot	kWh	-144,6
Συνολική κατανάλωση ηλεκτρισμού	Ecs	kWh	3.847
Βασικός συντελεστής ενέργειας	eP		0,1

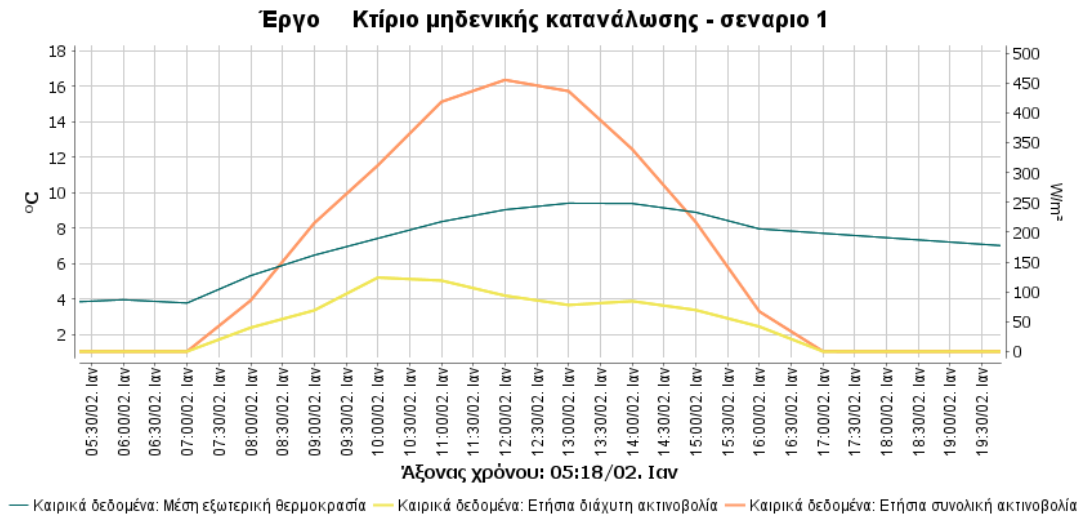
Εικόνα 6.1: Αποτελέσματα εκτέλεσης της προσομοίωσης

Το πώς υπολογίζεται το κάθε στοιχείο ξεχωριστά και τι αποτελέσματα δίνει αναλυτικά, παρουσιάζεται παρακάτω σε αυτό το κεφάλαιο.

6.1 Καιρικά δεδομένα

Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει είτε με γραφικό τρόπο, είτε με τιμές πίνακα. Γραφικά, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται για τα καιρικά δεδομένα κατά τη διάρκεια μίας ημέρας του καλοκαιριού και μίας ημέρας του χειμώνα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.

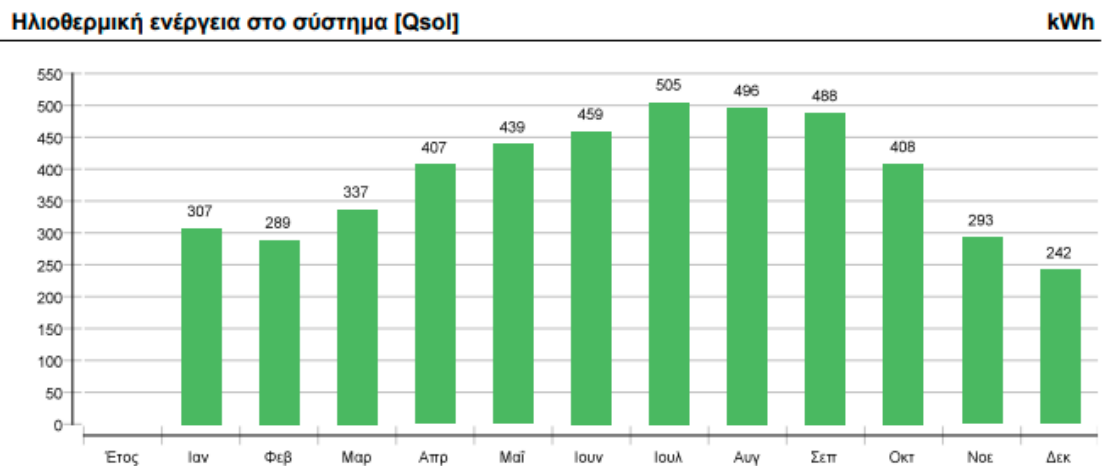




Διάγραμμα 6.1: Καμπύλη μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας, Ετήσιας συνολικής και ετήσιας διάχυτης ακτινοβολίας

6.2 Αποτελέσματα συλλεκτών και ηλιοθερμικής ενέργειας

Η εκτέλεση της προσομοίωσης δίνει ότι η Ηλιοθερμική ενέργεια που παρέχεται από τους συλλέκτες στο σύστημα είναι **4669 kWh/έτος**. Ακολούθως φαίνεται το διάγραμμα κατά τη διάρκεια του έτους.

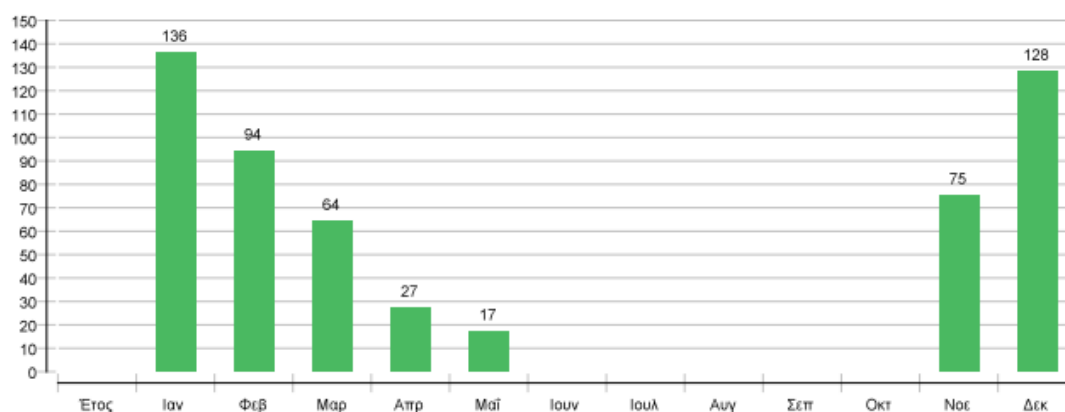


Διάγραμμα 6.2: Ηλιοθερμική ενέργεια στο σύστημα

Η ενέργεια που δεν παρέχεται από τους Ηλιακούς συλλέκτες αλλά από τις βοηθητικές συσκευές, παρουσιάζεται στο ακόλουθο γράφημα.

Ενέργεια μονάδος παραγωγής θερμότητας στο σύστημα (ενέργεια από ηλιοθερμία δεν περιλαμβάνεται) [Qaux]

kWh

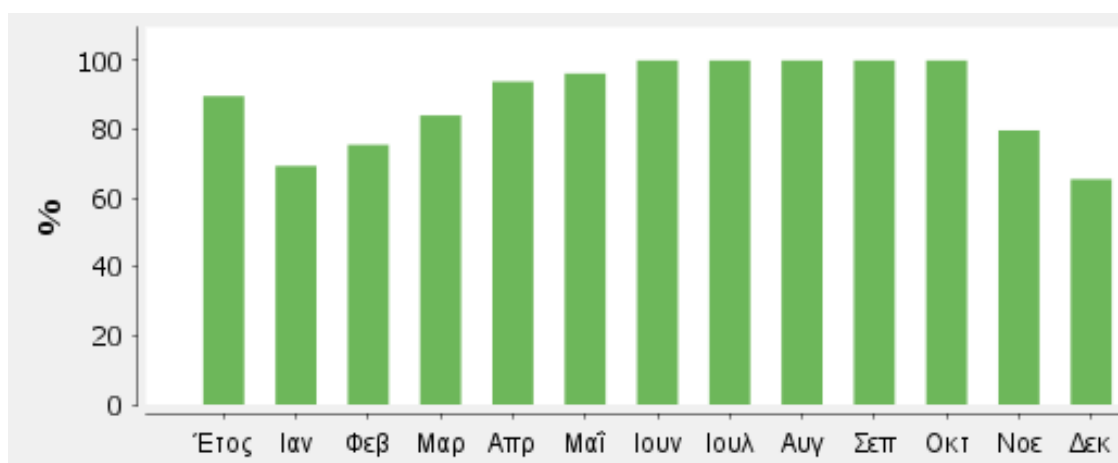


Διάγραμμα 6.3: Ενέργεια από βοηθητικές συσκευές

Στο σύνολο του έτους **540 kWh** δίνονται από τις βοηθητικές συσκευές προκειμένου να καλυφθεί το φορτίο για θέρμανση χώρων και ΖΝΧ. Από τα παραπάνω μπορεί να υπολογιστεί η Ηλιακή κάλυψη στο σύνολο του έτους από την σχέση:

$$\text{Ηλιακή κάλυψη} = \frac{\text{Ηλιοθερμική ενέργεια στο σύστημα}}{\text{Ηλιοθερμική ενέργεια στο σύστημα} + \text{ενέργεια από βοηθητικές συσκευές}}$$

Η τιμή της ανέρχεται σε **89,6 %** στο σύνολο του έτους ενώ για κάθε μήνα φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 6.4: Ηλιακή κάλυψη στο σύνολο του έτους

Η ηλιακή κάλυψη αναφέρεται στο ποσοστό της Ηλιοθερμικής ενέργειας που χρησιμοποιείται αποδοτικά για την θέρμανση των χώρων και του ΖΝΧ.

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Ηλιακοί συλλέκτες		
Απορροφητική Επιφάνεια	m ²	5,44
Αριθμός		2
Συνολική Επιφάνεια	m ²	6,44
Γωνία κλίσης	°	39
Συνολική Ηλιακή κάλυψη	%	89,6
Κάλυψη σε ζεστό νερό	%	89,9
Κάλυψη σε θέρμανση χώρων	%	89,9
Συνολικό πεδίο απόδοσης συλλεκτών	KWh	4669
Ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη	KWh	9464
Απόδοση συλλέκτη	%	49,3
Ετήσια μείωση εκπομπής CO ₂	Kg	775

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα θερμικών συλλεκτών

6.3 Αποτελέσματα αντλίας θερμότητας

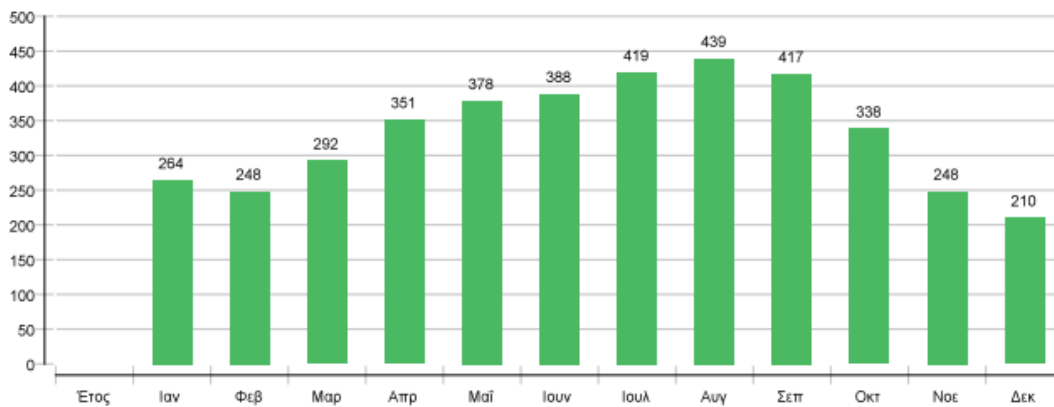
Η αντλία θερμότητας είναι Ηλιακά υποβοηθούμενη από τους συλλέκτες και λειτουργεί ώστε το μέσο μεταφοράς θερμότητας να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία. Η συνολική Ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει στη διάρκεια του έτους είναι **167 KWh** και αποδίδει ωφέλιμη θερμική ισχύ ίση με **540 KWh**. Έτσι ο συντελεστής απόδοσης της κατά τη λειτουργία του έτους είναι **3,23**.

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Αντλία θερμότητας		
Συντελεστής απόδοσης		3,23
Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	KWh	167
Συνολική εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας	KWh	373
Συνολική μείωση εκπομπής CO ₂	Kg	200

Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα Αντλίας θερμότητας

6.4 Αποτελέσματα Φωτοβολταϊκών

Στο σύστημα εγκαθίστανται **17 Φ/Β** που θα παρέχουν το απαραίτητο ηλεκτρικό ρεύμα για την λειτουργία του κτιρίου. Η κλίση τους όπως προαναφέρθηκε είναι 39°. Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται το πεδίο παραγωγής τους



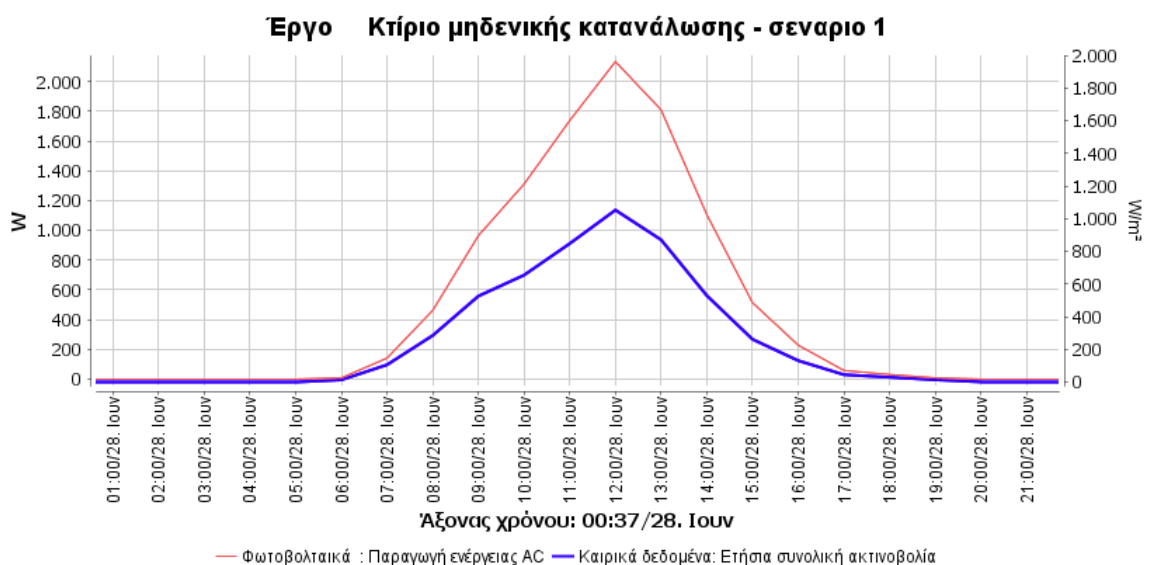
Διάγραμμα 6.5: Παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος από τα φωτοβολταϊκά

Συνολικά παράγονται **3992 kWh/έτος** ηλεκτρικού ρεύματος.

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Φωτοβολταϊκά		
Αριθμός		17
Συνολική επιφάνεια	m ²	23,8
Συνολική ισχύς DC	KW	3,06
Γωνία κλίσης	°	39
Ετήσια παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος	KWh	3992
Εξοικονόμηση CO2	Kg	2141

Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτοβολταϊκών

Συγκριτικά με την προσπίπτουσα Ηλιακή ακτινοβολία Gh [W/m²] παρουσιάζεται η παραγωγή ενέργειας A/C [W] από τα Φ/Β, για μία τυπική ημέρα του καλοκαιριού.



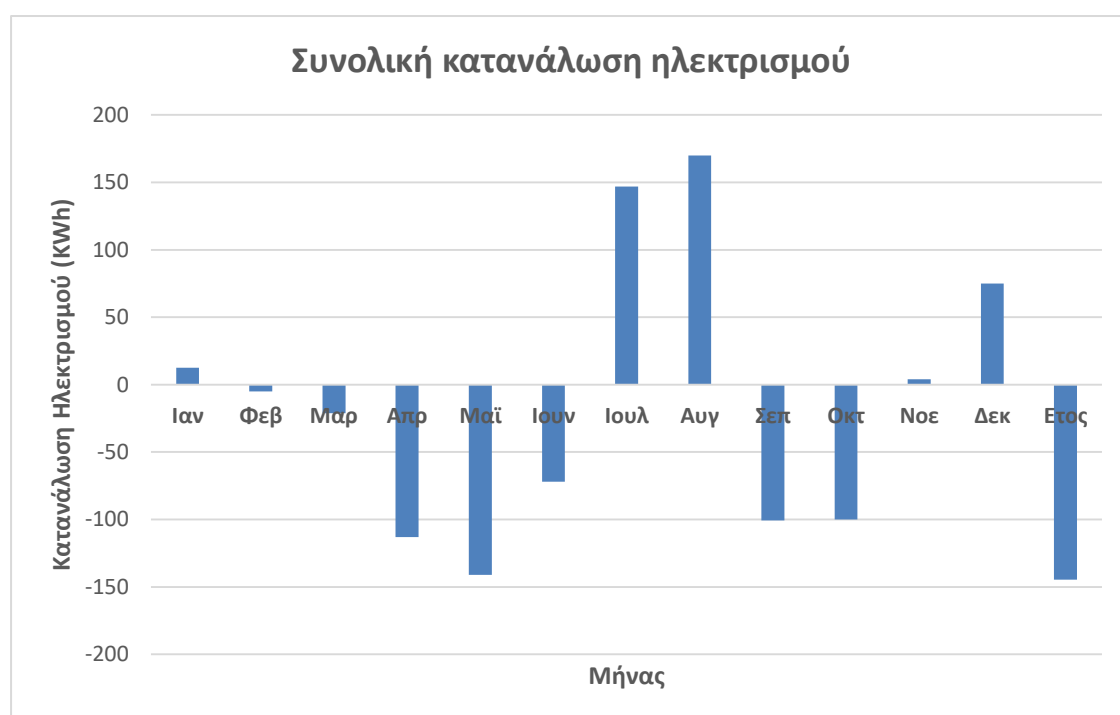
Διάγραμμα 6.6: Καμπύλες ετήσιας συνολικής ακτινοβολίας και παραγωγής ρεύματος AC κατά τη διάρκεια μίας ημέρας του καλοκαιριού

6.5 Συνολικά αποτελέσματα

Εάν στην κατανάλωση της αντλίας προστεθεί η κατανάλωση των ηλεκτρικών συσκευών όλου του σπιτιού που ορίστηκε ως **2800 KWh/έτος**, η κατανάλωση από τα κλιματιστικά ίση με **863 KWh/έτος** και η κατανάλωση από τους κυκλοφορητές του συστήματος που υπολογίζεται από το λογισμικό ίση με **17,4 KWh/έτος**, τότε προκύπτει η συνολική ετήσια κατανάλωση Ηλεκτρισμού Ecs.

$$Ecs = 167 + 2800 + 863 + 17,4 = 3847 \text{ KWh/έτος.}$$

Η παραγωγή ρεύματος από τα Φ/Β αναφέρθηκε παραπάνω ίση με **3992 KWh/έτος**. Επομένως στη διάρκεια του έτους συνολικά καταναλώνονται **3847-3992=-145 KWh ηλεκτρικού ρεύματος**. Άρα το εξεταζόμενο κτίριο μπορεί να καλύπτει τις ενεργειακές του ανάγκες με μηδενική κατανάλωση Ηλεκτρικής ενέργειας. Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά για κάθε μήνα το ισοζύγιο ηλεκτρικής παραγωγής-κατανάλωσης.



Διάγραμμα 6.7: Ισοζύγιο ενεργειακής παραγωγής-κατανάλωσης κατά τη λειτουργία του κτιρίου για ένα έτος

Παρατηρείται ότι κάποιες φορές η ενέργεια που παράγεται είναι περισσότερη από αυτή που καταναλώνεται, και το αντίθετο. Το σύστημα πρέπει να επικοινωνεί με το εξωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο προκειμένου να ανταλλάσσει ενέργεια με αυτό. Ο μήνας που δίνει την καλύτερη παραγωγή ενέργειας είναι ο Μάιος, καθώς υπάρχει αρκετή διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία τότε, χωρίς να απαιτείται να λειτουργούν τα κλιματιστικά.

Όσον αφορά την περιβαλλοντική συνεισφορά του συστήματος η προσομοίωση μας δίνει την αποφυγή εκπομπών **CO2** λόγω εφαρμογής της κάθε τεχνολογίας.

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Αποφυγή εκπομπών CO2 κάθε τεχνολογίας		
Συλλέκτης	Kg	775
Φ/Β	Kg	2141
Αντλία θερμότητας	Kg	200
Σύνολο	Kg	3116

Πίνακας 6.4: Αποφυγή εκπομπών CO2 από την εφαρμογή της κάθε τεχνολογίας

7. Εναλλακτικά σενάρια

Στο παρόν κεφάλαιο στόχος είναι η δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων και η σύγκριση μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να παρουσιασθούν κάποιες επιπλέον δυνατότητες που προσφέρει το λογισμικό, και να μελετηθεί με ποιόν τρόπο ένας χρήστης μέσα από το λογισμικό μπορεί να καταστρώσει και να συγκρίνει εντελώς διαφορετικά συστήματα, ώστε να επιλέξει το κατάλληλο.

Σημειώνεται ότι το σενάριο που παρουσιάσθηκε στα κεφάλαια 5 και 6 είναι το σενάριο 1. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα να ορίσουμε ένα σύστημα ως σύστημα αναφοράς και τα υπόλοιπα που προσομοιώνονται να συγκρίνονται με αυτό.

7.1 Σενάριο 2- Ανίχνευση του ήλιου από τα φ/β

Τα φ/β συστήματα που εγκαταστάθηκαν στο παραπάνω σύστημα ήταν 17 στον αριθμό με κλίση 39 μοιρών. Μία τεχνολογία που βοηθάει πολύ στην αύξηση της απόδοσής τους είναι η δημιουργία μίας βάσης που να μπορεί να κινείται ανάλογα με το που βρίσκεται ο Ήλιος(Tracker).

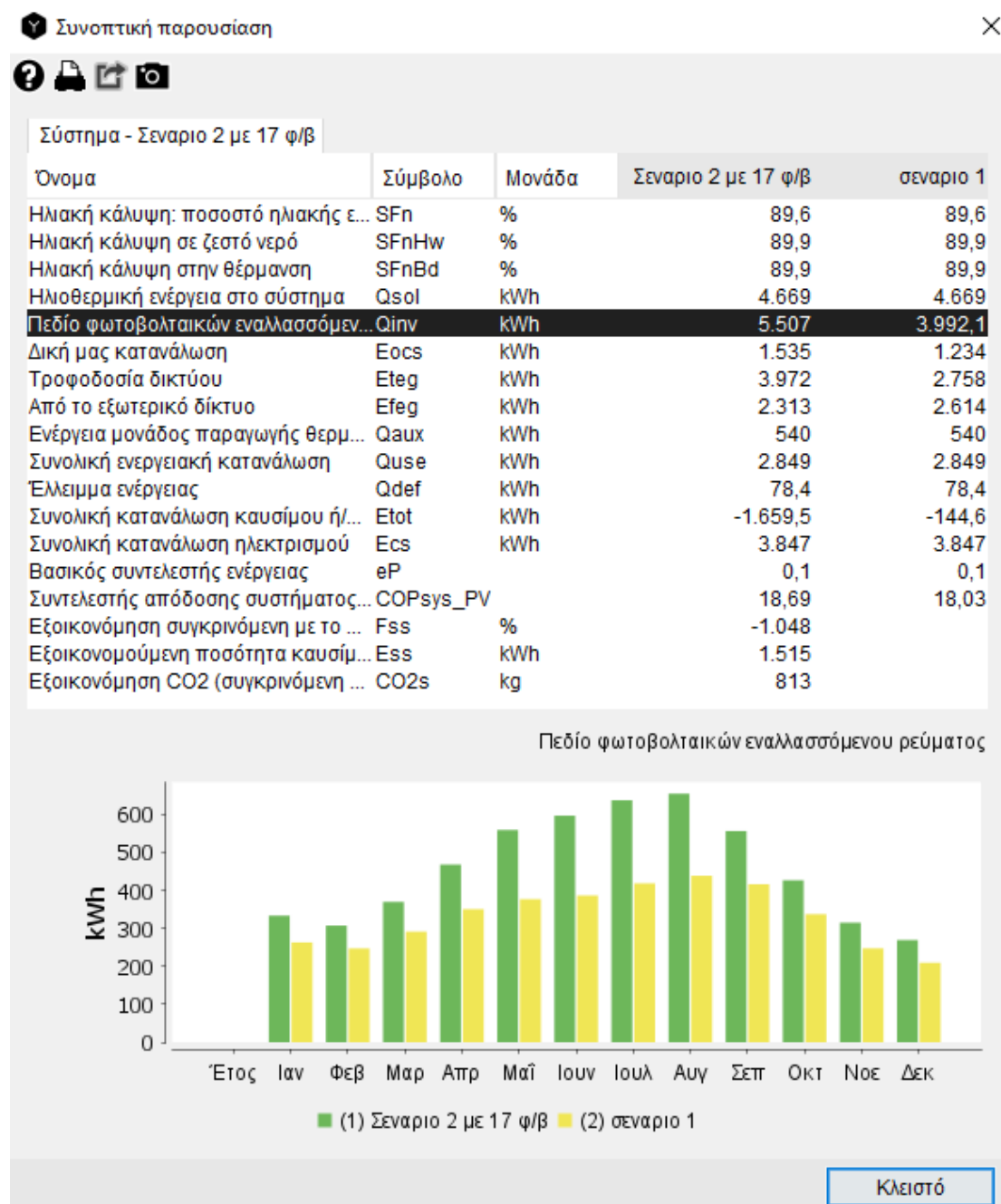


Εικόνα 7.1: Βάση στήριξης φωτοβολταϊκών συλλεκτών με δυνατότητα διαξονικής ανίχνευσης της πορείας του Ηλίου[30]

Οι τεχνολογίες αυτές έχουν δυσκολίες στο να εφαρμοστούν σε κτίρια, κυρίως λόγω του μεγάλου ύψους που απαιτεί η κατασκευή. Το κόστος επίσης για την αγορά και την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος ανεβαίνει αρκετά. Ωστόσο αυτό που ενδιαφέρει σε αυτό το σενάριο είναι να μελετηθεί η δυνατότητα που προσφέρει το λογισμικό να καθοριστεί

διαξονική ανίχνευση για τα Φωτοβολταϊκά. Με τον τρόπο αυτό το λογισμικό προσφέρεται προκειμένου κάποιος να υπολογίσει εάν είναι συμφέρουσα ή όχι η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος.

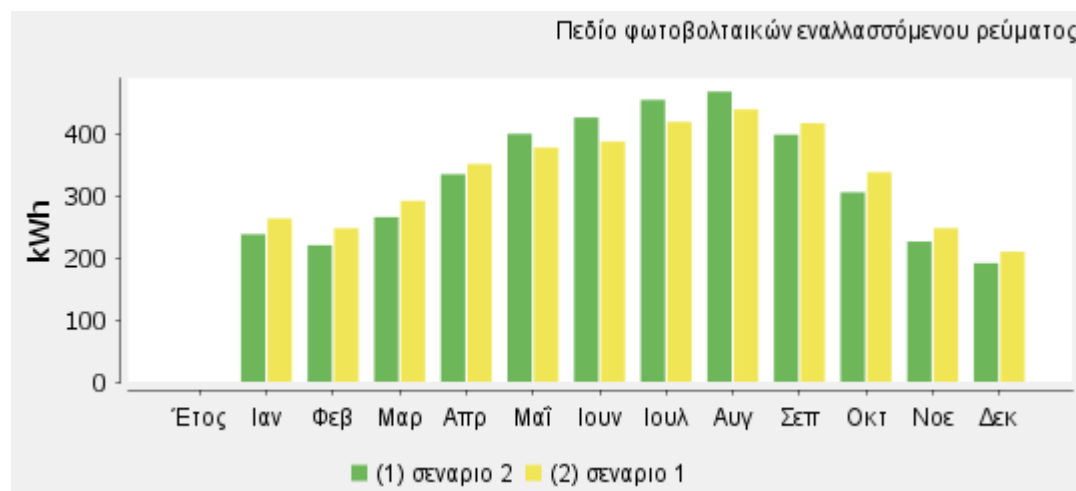
Για το προηγούμενο σύστημα κρατώντας όλα τα άλλα στοιχεία σταθερά, επιλέγουμε τα Φ/Β να έχουν δυνατότητα ανίχνευσης του Ηλίου. Η εκτέλεση της προσομοίωσης δίνει ότι για ίδιο αριθμό Φ/Β αποδίδεται εναλλασσόμενο ρεύμα **5507 kWh/έτος** όταν έχουμε ανίχνευση, σε σχέση με τις **3992 kWh** που αποδίδονταν πριν. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που δίνει το λογισμικό, συγκριτικά με το σενάριο 1 που έχει οριστεί ως σύστημα αναφοράς



Διάγραμμα 7.1: Σύγκριση αποτελεσμάτων σεναρίου 2 με το σενάριο 1

Έτσι, γίνεται εφικτό να μειωθεί αρκετά ο αριθμός των φ/β που θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις του κτιρίου για μηδενική κατανάλωση. Συγκεκριμένα, **12 φ/β** συστήματα με διαξονική ανίχνευση είναι αρκετά για να δώσουν μηδενική κατανάλωση στο σύνολο του έτους.

Στο παρακάτω σχήμα συγκρίνεται η παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος από τα 12 Φ/β με διαξονική ανίχνευση(πράσινο χρώμα) σε σχέση με τα 17 χωρίς ανίχνευση(κίτρινο χρώμα)



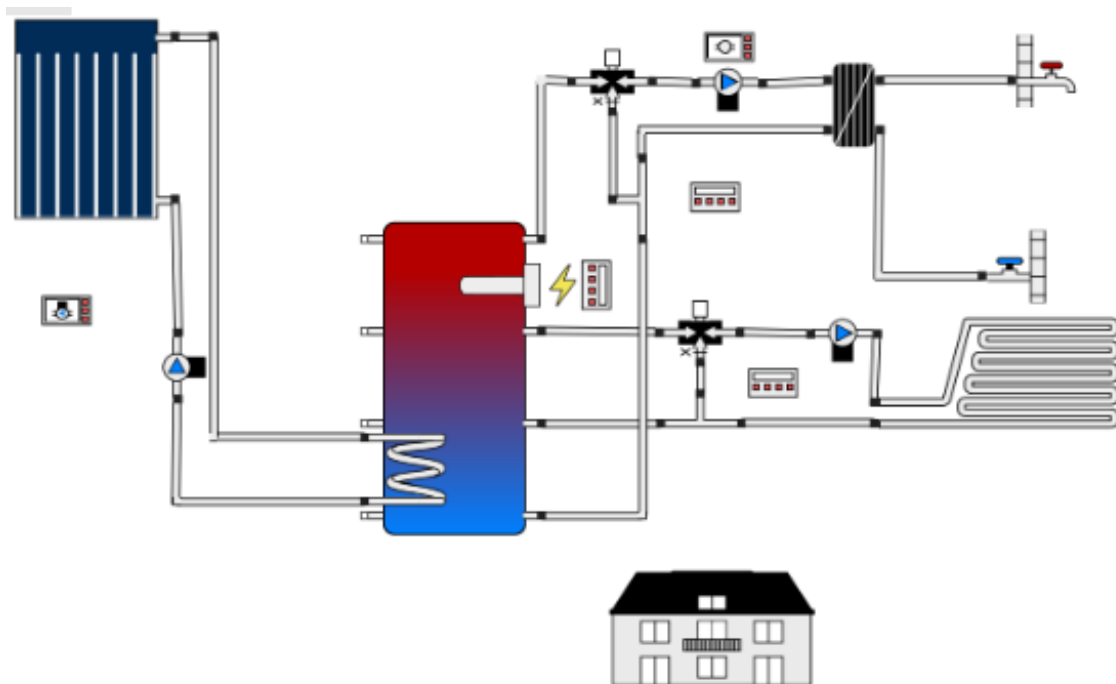
Διάγραμμα 7.2: Παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος 12 φωτοβολταϊκών με διαξονική
ανίχνευση σε σχέση με την παραγωγή 17 Φ/β γωνίας κλίσης 39°

Επομένως, σε αυτό το σενάριο δύναται να επιτευχθεί μηδενική κατανάλωση με λιγότερα Φ/β στοιχεία που θα λειτουργούν πολύ πιο αποδοτικά. Ωστόσο, το κόστος του συστήματος ανεβαίνει αρκετά.

7.2 Σενάριο 3-Αφαίρεση της αντλίας θερμότητας

Στο πρώτο σενάριο που παρουσιάστηκε, παρατηρήθηκε ότι η αντλία θερμότητας κατά τη διάρκεια του έτους χρειάστηκε να λειτουργήσει λίγες φορές και είχε μικρή συμβολή στην κάλυψη ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Από τις διάφορες προσομοιώσεις που έγιναν και για διαφορετικά χαρακτηριστικά κτιρίου, βγήκε το συμπέρασμα ότι η εγκατάσταση αντλίας θερμότητας στο κτίριο συμφέρει όταν δεν υπάρχουν αρκετοί συλλέκτες, ή όταν αυτοί που υπάρχουν αποδίδουν χαμηλά ποσά θερμότητας ή/και όταν η κατασκευή του κτιρίου δεν είναι ενεργειακή.

Στο σενάριο αυτό μελετάται εάν το κτίριο μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του χωρίς την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας. Το νέο σύστημα του κτιρίου φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 7.2: Απεικόνιση σεναρίου 3- Σύστημα χωρίς αντλία θερμότητας

Σε αυτό το σύστημα οι Ηλιακοί συλλέκτες παρέχουν όλη τη θερμική ενέργεια που απαιτείται για να έρθει το νερό της δεξαμενής στην κατάλληλη θερμοκρασία. Στην δεξαμενή ωστόσο υπάρχει και εφεδρικός ηλεκτρικός θερμαντήρας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους κατοίκους σε κάποια δυσμενή περίπτωση. Με την εγκατάσταση ενός 3^{ου} Ηλιακού συλλέκτη ίδιων χαρακτηριστικών η εκτέλεση της προσομοίωσης δίνει ότι μπορούν να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου στο σύνολο του έτους, χωρίς να λειτουργήσει καθόλου ο ηλεκτρικός θερμαντήρας. Στην ουσία δηλαδή η αντλία θερμότητας αντικαταστάθηκε από έναν επιπλέον θερμικό συλλέκτη κενού.

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Ηλιακοί συλλέκτες		
Απορροφητική Επιφάνεια	m^2	8,16
Αριθμός		3
Συνολική Επιφάνεια	m^2	9,66
Γωνία κλίσης	°	39
Συνολική Ηλιακή κάλυψη	%	100
Κάλυψη σε ζεστό νερό	%	100
Κάλυψη σε θέρμανση χώρων	%	100
Συνολικό πεδίο απόδοσης συλλεκτών	KWh	5522
Ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη	KWh	14196
Απόδοση συλλέκτη	%	38,9

Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα θερμικών συλλεκτών σεναρίου 3

Η αφαίρεση της αντλίας θερμότητας έχει ως αποτέλεσμα αφενός να μειώνεται το κόστος και η πολυπλοκότητα της εγκατάστασης και αφετέρου να αποφεύγεται η έστω και μικρή κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος της λειτουργίας της. Έτσι, προκειμένου να επιτευχθεί

μηδενική κατανάλωση είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ένα λιγότερο Φωτοβολταϊκό σε σχέση με το σενάριο 1, δηλαδή 16 συνολικά.

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Φωτοβολταϊκά		
Αριθμός		16
Συνολική επιφάνεια	m ²	22,4
Συνολική ισχύς DC	KW	2,88
Γωνία κλίσης	°	39
Ετήσια παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος	KWh	3766
Εξοικονόμηση CO2	Kg	2020

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα φωτοβολταϊκών σεναρίου 3

Στην περίπτωση αυτή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου για θέρμανση και ΖΝΧ γίνεται αποκλειστικά από την Ηλιακή ενέργεια σε ποσοστό 100%. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα το κτίριο μπορεί και καλύπτει τις ενεργειακές του ανάγκες, ενώ στο σύνολο του έτους παράγει 89 KWh περισσότερες από όσες καταναλώνει, επιτυγχάνοντας έτσι ενεργειακή ουδετερότητα.

7.3 Σενάριο 4- Μελέτη συστήματος Ηλιακής ψύξης

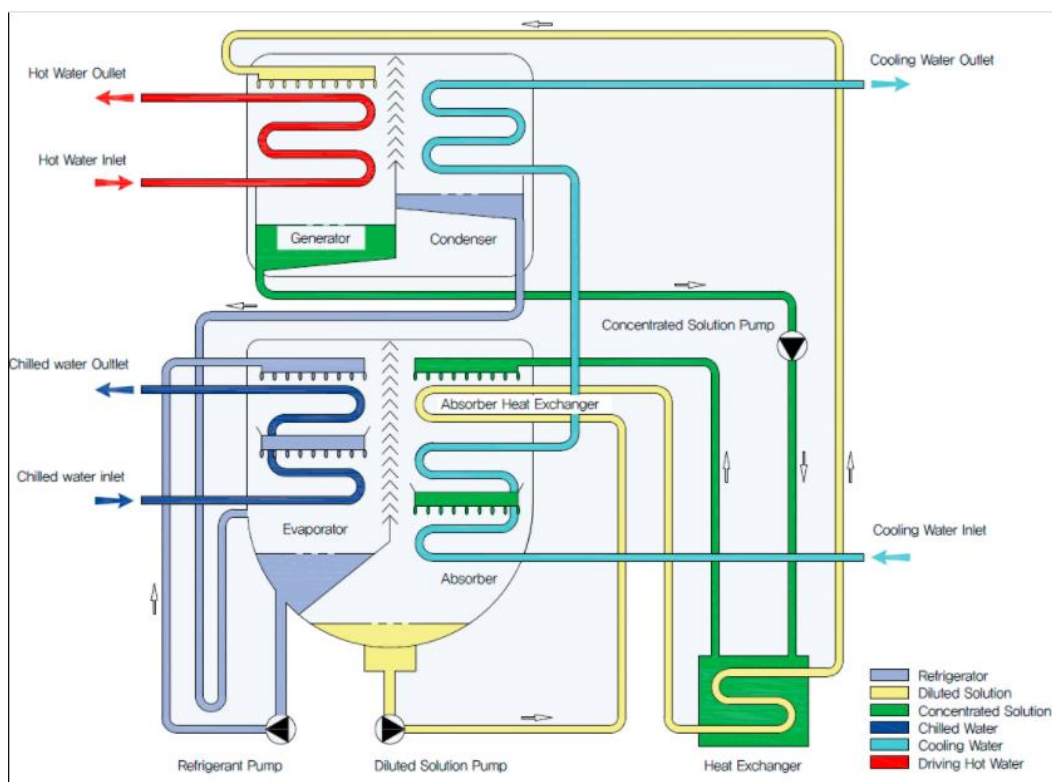
Η Ηλιακή ψύξη επιτυγχάνεται μέσω των απορροφητικών μηχανών. Οι μηχανές αυτές απαιτούν μία πηγή ζεστού νερού προκειμένου να λειτουργήσουν. Το καλοκαίρι που ο ήλιος είναι άφθονος αλλά και η ζήτηση για ψύξη είναι μεγάλη, η απαραίτητη θερμική ενέργεια μπορεί να παρέχεται από τους συλλέκτες. Ωστόσο τα συστήματα αυτά απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες ζεστού νερού. Στο σενάριο αυτό θα εξεταστεί αν ένα τέτοιο σύστημα είναι εφικτό, και αν συμφέρει περισσότερο από τα προηγούμενα σενάρια.

Οι τεχνολογίες ψύξης με ηλιακή ενέργεια που θα μελετηθούν είναι οι ψύκτες απορρόφησης και προσρόφησης.

7.3.1 Ψύκτης απορρόφησης

Οι ψύκτες απορρόφησης χρησιμοποιούν μία συνεχή κυκλική διαδικασία που βασίζεται σε δύο διαφορετικά μέσα, ένα ψυκτικό και ένα υγρό απορροφητικό. Συνήθως ως ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται το νερό, ενώ ως απορροφητικό το βρωμιούχο λίθιο ή το χλωριούχο λίθιο. Η όλη διαδικασία βασίζεται στην διαφορετική τάση ατμών μεταξύ των δύο μέσων. Η ψύξη

παράγεται όταν το ψυκτικό αλληλεπιδρά περιοδικά (απορροφάται και απελευθερώνεται) από το απορροφητικό οδηγώντας σε εξάτμιση και απορρόφηση.

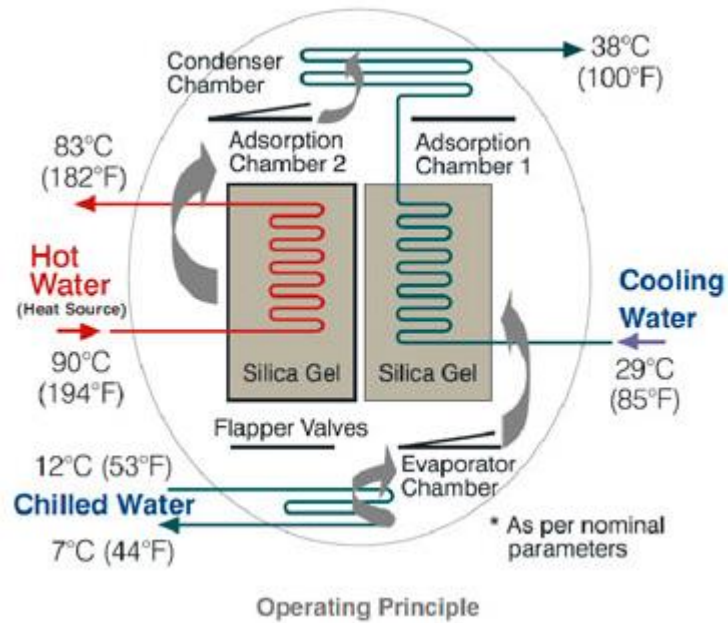


Εικόνα 7.3: Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας του ψύκτη απορρόφησης[31]

Οι ψύκτες απορρόφησης χρειάζεται να συνεργάζονται με έναν πύργο ψύξης προκειμένου να αποβάλλουν θερμότητα στο περιβάλλον. Η λειτουργία τους γενικά είναι αποδοτική σε θερμοκρασίες εισόδου ζεστού νερού από 80 °C έως 95 °C.

7.3.2 Ψύκτης προσρόφησης

Η διαδικασία προσρόφησης είναι ένα επιφανειακό φαινόμενο. Σε αυτούς τους ψύκτες το υγρό ψυκτικό μέσο προσροφάται σε ένα στερεό απορροφητή και παρέχει ψύξη μέσω της εξάτμισής του. Ως στερεός προσροφητής συνήθως χρησιμοποιείται ζεόλιθος ή silica gel (διοξείδιο του πυριτίου). το ψυκτικό συνεχίζει να απορροφάται μέχρι τον κορεσμό του στερεού προσροφητικού και στη συνέχεια η διαδικασία αντιστρέφεται. Υπάρχει απαίτηση θερμότητας για την εκρόφηση του αποθηκευμένου νερού από το προσροφητή. Η απαιτούμενη θερμοκρασία ζεστού νερού για να λειτουργήσουν οι ψύκτες αυτού του είδους είναι μεταξύ 55 °C και 90 °C.



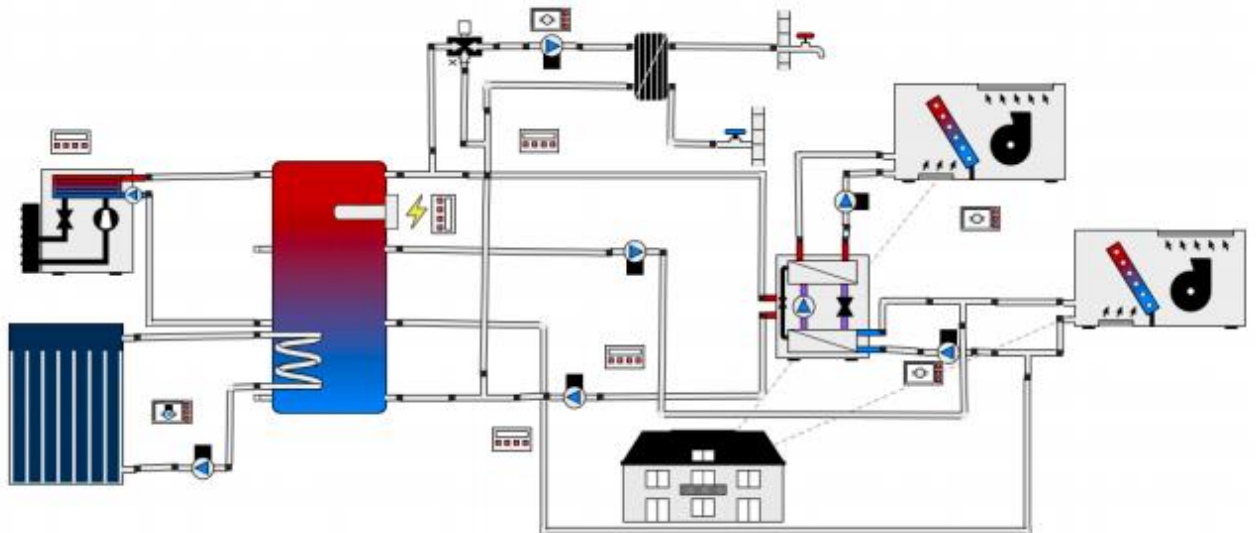
Εικόνα 7.4: Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας του ψύκτη προσρόφησης[32]

7.3.3 Προσομοίωση ψύκτη απορρόφησης με το Polysun

Για να δημιουργηθεί και να προσομοιωθεί το σενάριο 4 ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

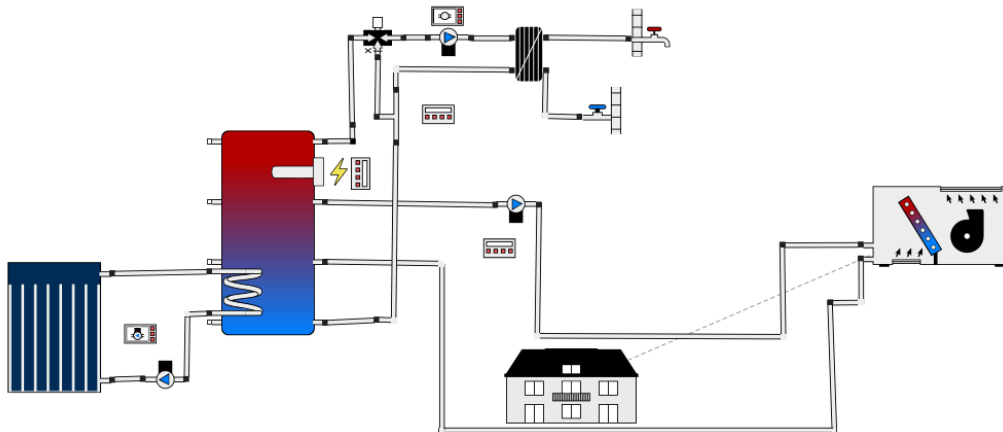
- 1) Δημιουργήθηκε ένα αντίγραφο του σεναρίου 1, ώστε τα μεγέθη κατανάλωσης που θα συγκριθούν να είναι τα ίδια.
- 2) Αφαιρέθηκαν οι τρίοδες βάνες από το σύστημα της αντλίας θερμότητας για απλοποίηση του συστήματος, καθώς θα υπάρξει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα με την προσθήκη του ψύκτη.
- 3) Όλο το σύστημα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης καθώς και τα συστήματα ελέγχου αυτής, αφαιρέθηκαν εντελώς.
- 4) Στη θέση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης τοποθετήθηκαν fan coils, οι οποίοι συνδέθηκαν με τον ψύκτη απορρόφησης που τοποθετήθηκε.
- 5) Δημιουργήθηκαν νέα συστήματα ελέγχου προκειμένου να ρυθμίζουν με κατάλληλο τρόπο τη λειτουργία του συστήματος, και να την μεταβάλλουν ανάλογα με την εποχή.
- 6) Έγινε κατάλληλη διαστασιολόγηση όλων των στοιχείων της εγκατάστασης προκειμένου να καλύπτουν το φορτίο και να επιτυγχάνεται βέλτιστη λειτουργία

Παρακάτω φαίνεται η διάταξη του συστήματος:



Εικόνα 7.5: Σχηματική απεικόνιση του σεναρίου 4

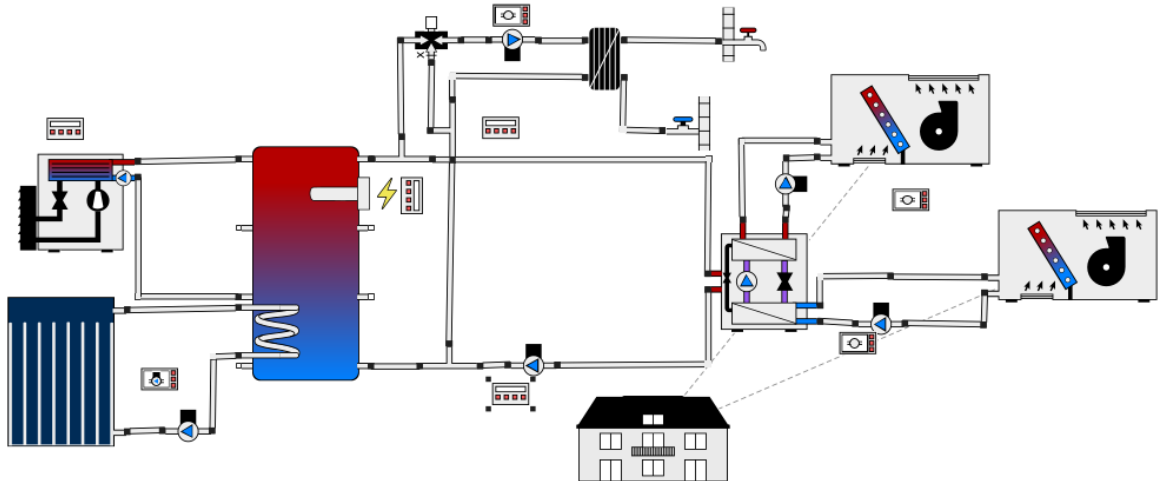
Το συγκεκριμένο σύστημα λειτουργεί με διαφορετικό τρόπο το χειμώνα και το καλοκαίρι. Τον χειμώνα, η λειτουργία του ψύκτη παρακάμπτεται με την βοήθεια των συστημάτων ελέγχου (controllers, αισθητήρες). Επίσης, τον χειμώνα η αντλία θερμότητας είναι ανενεργή, καθώς οι εγκατεστημένοι συλλέκτες κενού μπορούν να παρέχουν όλη την απαραίτητη ενέργεια για το κτίριο. Η θέρμανση στο κτίριο παρέχεται μέσω fan-coils που μπορούν να παρέχουν τόσο θέρμανση όσο ψύξη. Το κύκλωμα που λειτουργεί το χειμώνα είναι αυτό που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 7.6: Λειτουργία του συστήματος του σεναρίου 4 κατά τη διάρκεια του Χειμώνα

Όπως φαίνεται στους fan-coils κυκλοφορεί το ζεστό νερό της δεξαμενής που έχει θερμανθεί από τους Ηλιακούς συλλέκτες.

Το καλοκαίρι η αντλία θερμότητας τίθεται ενεργή προκειμένου να δώσει την επιπλέον θερμική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του ψύκτη. Επίσης στους fan-coils ρέει το νερό που έχει ψυχθεί. Παρακάμπτονται οι σωλήνες που βγαίνουν από τα μεσαία στρώματα της δεξαμενής και το σύστημα έχει την ακόλουθη μορφή.



Εικόνα 7.7: Λειτουργία του συστήματος του σεναρίου 4 κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού

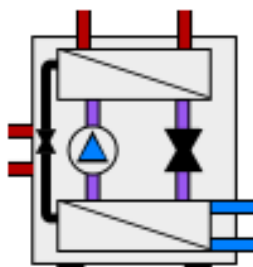
Ποσοτικά στοιχεία και χαρακτηριστικά του συστήματος ψύξης θα αναλυθούν με λεπτομέρεια παρακάτω.

Ο **εναλλάκτης θερμότητας** του κυκλώματος πόσιμου νερού είναι ο ίδιος με το σενάριο 1. Το ίδιο και η **δεξαμενή αποθήκευσης** του νερού.

Η **αντλία θερμότητας** είναι κι αυτή η ίδια που είχε παρουσιαστεί στο σενάριο 1 καθώς έχει την δυνατότητα να παρέχει την θερμική ισχύ που απαιτεί η λειτουργία του ψύκτη

Ψύκτης

Ο ψύκτης που χρησιμοποιείται σε αυτό το σενάριο είναι ένας ψύκτης απορρόφησης μονού σταδίου, ψυκτικής ισχύος 15 KW. Τα χαρακτηριστικά του και το σχήμα του φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 7.8: Σχηματική απεικόνιση του ψύκτη απορρόφησης

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Ψύκτης απορρόφησης		
ψυκτικό/απορροφητής		νερό/LiBr
Ισχύς	KW	15
COP ψύξης		0,71
Σχεδιασμός θερμοκρασίας εισόδου ζεστού νερού	°C	90
Σχεδιασμός θερμοκρασίας εξόδου ζεστού νερού	°C	80
Σχεδιασμός θερμοκρασίας εισόδου νερού ψύξης	°C	17
Σχεδιασμός θερμοκρασίας εξόδου νερού ψύξης	°C	11
Σχεδιασμός παροχής ζεστού νερού	l/h	1800
Σχεδιασμός παροχής νερού ψύξης	l/h	1900
Σχεδιασμός παροχής κρύου νερού	l/h	5000

Πίνακας 7.3: Περιγραφή χαρακτηριστικών του ψύκτη απορρόφησης

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το νερό ψύξης ρέει μέσα στους fan-coils προκειμένου να ψύξουν το κτίριο. Ο ψύκτης επίσης απαιτεί έναν **ψυκτικό πύργο** για να αποβάλει τη θερμότητα στο περιβάλλον. Στο σενάριο αυτό επιλέγεται πύργος ψύξης ξηρού τύπου. Στο λογισμικό ο **πύργος ψύξης ξηρού τύπου** προσομοιώνεται ως ένας fan coil, που λειτουργεί μόνο σε λειτουργία θέρμανσης αποβάλλοντας έτσι θερμότητα στο περιβάλλον. Προκειμένου να καλυφθεί το ψυκτικό φορτίο υπολογίστηκε ότι χρειάζονται 10 τέτοιοι fan-coils των 5,2 KW. Δηλαδή θεωρώντας τα αυτά ως έναν πύργο ψύξης τότε η ισχύς του είναι **52 KW**.

Ηλιακοί συλλέκτες

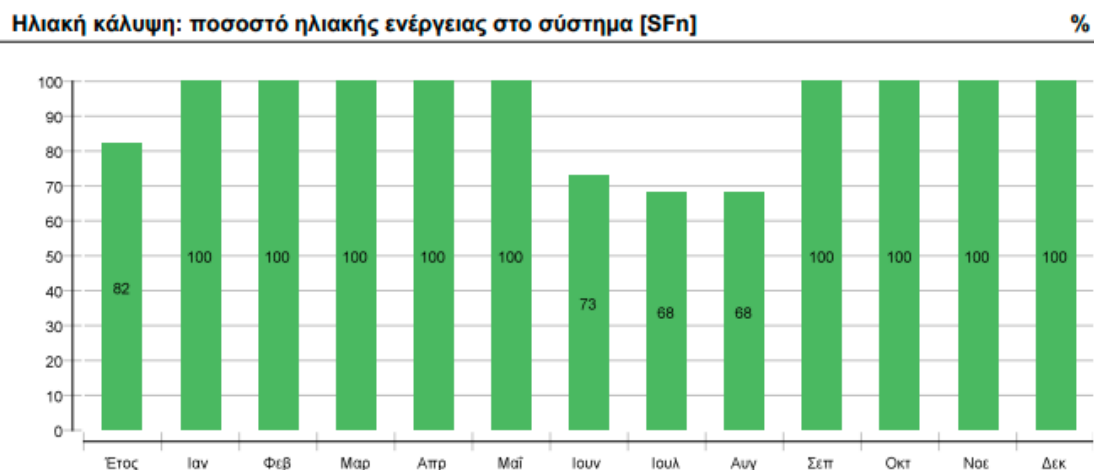
Οι συλλέκτες είναι οι ίδιοι που αναφέρθηκαν στο σενάριο 1. Ωστόσο ο ψύκτης απορρόφησης απαιτεί πολύ μεγάλα ποσά θερμότητας το καλοκαίρι. Επιλέγεται έτσι η κλίση τους να είναι **20 μοίρες**, ενώ ο αριθμός των συλλεκτών που εγκαθίστανται για να καλυφθεί το φορτίο είναι **7**.

Φωτοβολταικά

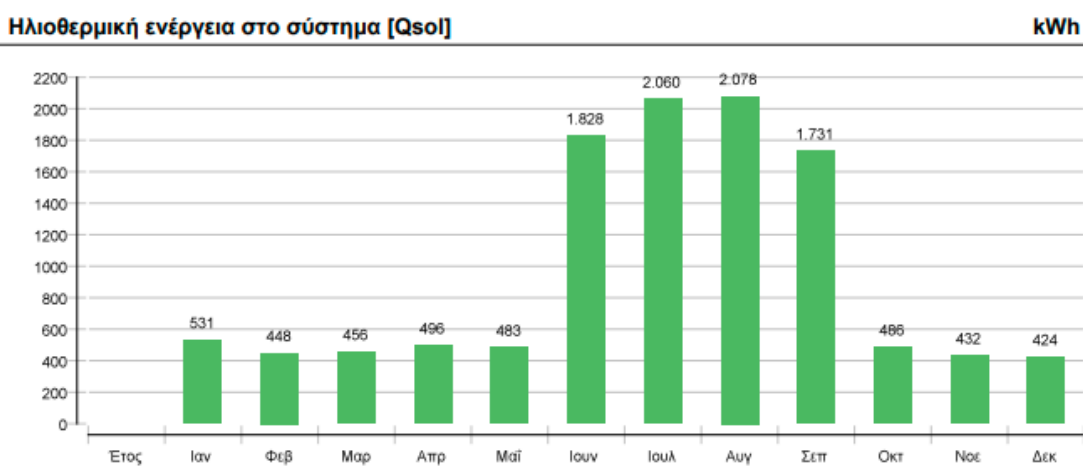
Το τελευταίο κομμάτι που χρειάζεται να ερευνηθεί είναι το πόσα Φ/Β πρέπει να μπουν, ώστε το κτίριο να είναι μηδενικής κατανάλωσης. Χρησιμοποιούνται τα στοιχεία του σεναρίου 1. Η προσομοίωση δίνει ότι χρειάζονται 16 στοιχεία για να έχουμε την παραγωγή ρεύματος που απαιτείται.

7.3.4 Αποτελέσματα σεναρίου 4

Η Ηλιακή κάλυψη στο σενάριο αυτό ανέρχεται σε **81,5%** στο σύνολο του έτους. Η θέρμανση/ψύξη καλύπτεται σε ποσοστό **75,2%** από Ηλιακή ενέργεια ενώ το ΖΝΧ σε **92,6%**.



Διάγραμμα 7.3: Ηλιακή κάλυψη στο σύστημα στην περίπτωση του σεναρίου 4



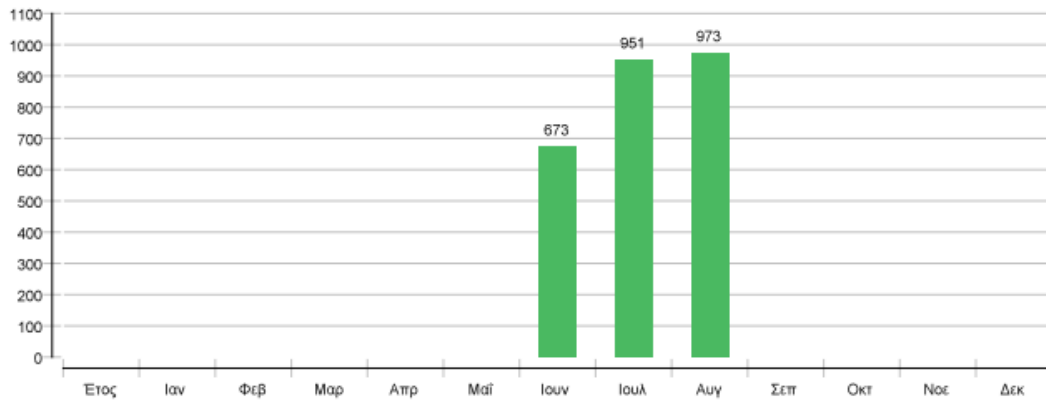
Διάγραμμα 7.4: Ηλιοθερμική ενέργεια στο σύστημα στην περίπτωση του σεναρίου 4

Παρατηρείται ότι η ηλιοθερμική ενέργεια στο σύστημα είναι πολύ μεγάλη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όπου λειτουργεί ο ψύκτης. Τότε υπάρχει και η μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση οπότε η ηλιακή κάλυψη λαμβάνει τα μικρότερα ποσοστά.

Η αντλία θερμότητας λειτουργεί μόνο το καλοκαίρι και η προσφορά της στο σύστημα φαίνεται στο διάγραμμα 7.5.

Ενέργεια μονάδος παραγωγής θερμότητας στο σύστημα (ενέργεια από ηλιοθερμία δεν περιλαμβάνεται) [Qaux]

kWh

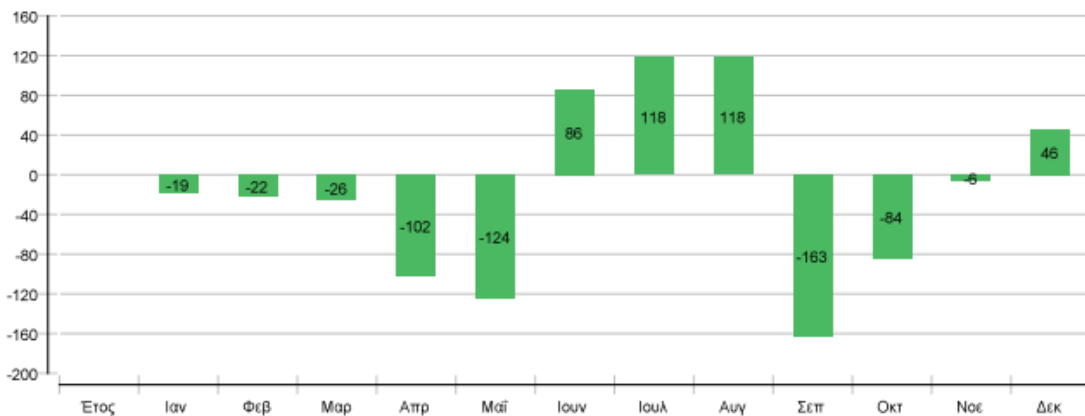


Διάγραμμα 7.5: Θερμική ενέργεια στο σύστημα του σεναρίου 4 από την αντλία θερμότητας

Στο σύνολο του έτους παράγονται **179 kWh** περισσότερες από όσες καταναλώνονται, με την μηνιαία κατανομή που φαίνεται στο διάγραμμα:

Συνολική κατανάλωση καυσίμου ή/και ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος [Etot]

kWh



Διάγραμμα 7.6: Ισοζύγιο ενεργειακής παραγωγής-κατανάλωσης σεναρίου 4 κατά τη λειτουργία του κτιρίου για ένα έτος

Αναλυτικά τα αποτελέσματα για κάθε στοιχείο περιγράφονται στους πίνακες:

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Ψύκτης απορρόφησης		
Εποχιακός συντελεστής απόδοσης SCOP		0,66
Ενεργειακό πεδίο ψύξης	kWh	5309
Θερμότητα τροφοδοσίας	kWh	8060
Ενέργεια από πύργο ψύξης	kWh	12832

Πίνακας 7.4: Αποτελέσματα της λειτουργίας του ψύκτη στο σενάριο 4

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Ηλιακοί συλλέκτες		
Απορροφητική Επιφάνεια	m ²	19,04
Αριθμός		7
Συνολική Επιφάνεια	m ²	22,54
Γωνία κλίσης	°	20
Συνολική Ηλιακή κάλυψη	%	81,5
Κάλυψη σε ζεστό νερό	%	92,5
Κάλυψη σε θέρμανση χώρων	%	75,2
Συνολικό πεδίο απόδοσης συλλεκτών	KWh	11454
Ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη	KWh	32963
Απόδοση συλλέκτη	%	34,7
Ετήσια μείωση εκπομπής CO ₂	Kg	1415

Πίνακας 7.5: Αποτελέσματα θερμικών συλλεκτών στο σύστημα του σεναρίου 4

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Φωτοβολταικά		
Αριθμός		16
Συνολική επιφάνεια	m ²	22,4
Συνολική ισχύς DC	KW	2,88
Γωνία κλίσης	°	39
Ετήσια παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος	KWh	3765
Εξοικονόμηση CO ₂	Kg	2020

Πίνακας 7.6: Αποτελέσματα φωτοβολταικών στο σύστημα του σεναρίου 4

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Αντλία θερμότητας		
Συντελεστής απόδοσης		3,4
Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	KWh	758
Συνολική εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας	KWh	1839
Συνολική μείωση εκπομπής CO ₂	Kg	986

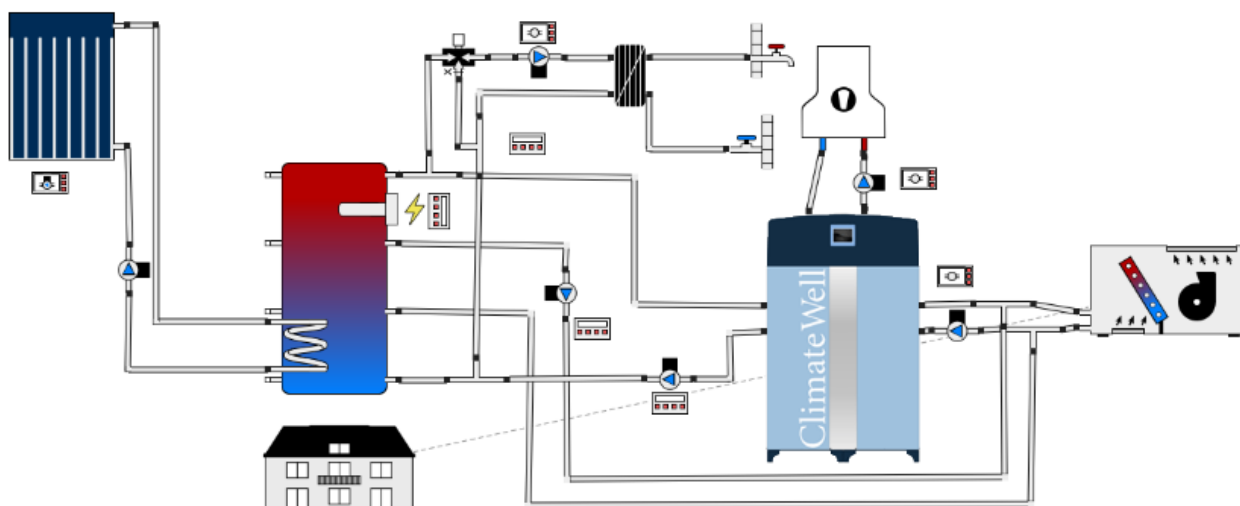
Πίνακας 7.7: Αποτελέσματα αντλίας θερμότητας στο σύστημα του σεναρίου 4

7.4 Σενάριο 5-Ψύκτης προσρόφησης χωρίς αντλία θερμότητας

Ο ψύκτης απορρόφησης που χρησιμοποιήθηκε στο προηγούμενο σενάριο, απαιτούσε νερό υψηλής θερμοκρασίας προκειμένου να λειτουργήσει αποδοτικά. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε αντλία θερμότητας που θα παρέχει την επιπλέον θερμότητα που απαιτεί ο ψύκτης. Ωστόσο υπάρχουν τεχνολογικές δυσκολίες στην εγκατάσταση αντλίας θερμότητας για αυτόν τον σκοπό. Παράλληλα η χρήση ενός λέβητα που θα καίει κάποιο καύσιμο, δεν συμβαδίζει με την απαίτηση για μηδενική κατανάλωση του κτιρίου.

7.4.1 Χαρακτηριστικά της διάταξης του σεναρίου 5

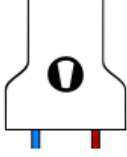
Οι ψύκτες προσρόφησης λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο, ωστόσο είναι αποδοτικοί και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες εισόδου ζεστού νερού. Συγκεκριμένα μπορούν να λειτουργήσουν περίπου σε εύρος 50-90 βαθμών. Το λογισμικό διαθέτει πολύ περιορισμένες επιλογές από ψύκτες τέτοιου τύπου. Από αυτούς τους ψύκτες μόνο ένας είναι ικανός να καλύψει το ψυκτικό φορτίο που απαιτεί το κτίριο. Ακολούθως φαίνεται το σύστημα του κτιρίου. Σημειώνεται πως η λειτουργία του συστήματος μεταβάλλεται χειμώνα-καλοκαίρι με τον τρόπο που γινόταν και στο σενάριο 4.



Εικόνα 7.9: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης του σεναρίου 5

Ο ψυκτής προσρόφησης που χρησιμοποιείται λειτουργεί με νερό ως ψυκτικό μέσο και silica gel για προσροφητή. Παράλληλα οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι καλύτερα αποτελέσματα παίρνουμε όταν ο ψυκτικός πύργος είναι υγρού τύπου.

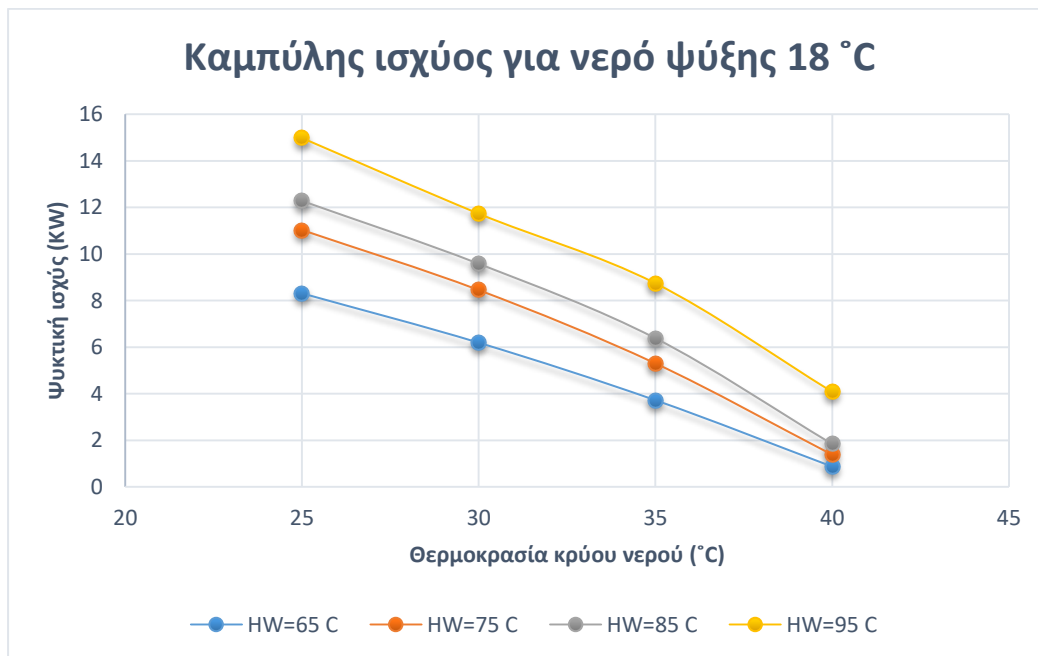
Πύργος ψύξης - υγρού τύπου

Ονομασία	Τιμή	Μονά...	Σχηματικό διάγραμμα
Περιγραφή			
Να εμφανιστεί στα αποτελέσματα	▼	ορατό	
Περιβάλλον	▼	εξωτερικός	
Πύργος ψύξης - υγρού τύπου	☑	κατοικία, μικρή	
- Σχεδιασμός χωρητικότητας ψύξης	30	kW	
- Σχεδιασμός παροχής νερού	3.600	l/h	
- Σχεδιασμός παροχής αέρα	140	l/s	
- Σχεδιασμός θερμοκρασίας εισόδου νε...	32	°C	
- Σχεδιασμός θερμοκρασίας εξόδου νε...	25	°C	
- Σχεδιασμός προσεγγιστικής θερμοκρα...	2	°C	
- Ξηρό ύψος	0,5	T	
- Υγρό ύψος	0,5	T	
- Ισχύς ανεμιστήρα	0,65	kW	
Είναι μεταβλητή η ταχύτητα του ανεμισ...	▼	Όχι	

OK Άκυρο

Εικόνα 7.10: Ψυκτικός πύργος σεναρίου 5

Η καμπύλη ψυκτικής ισχύος για νερό ψύξης 18 °C είναι η ακόλουθη:



Διάγραμμα 7.7: Καμπύλη ισχύος του ψυκτή προσρόφησης του σεναρίου 5

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Ψύκτης προσρόφησης		
Ψυκτική ισχύς το πλήρες φορτίο	KW	15
Αντιψυκτικό/προσοφητικό		νερό/silicagel
Συντελεστής απόδοσης COP		1
Σχεδιασμός παροχής νερού ψύξης	l/h	1500
Σχεδιασμός παροχής κρύου νερού	l/h	3000
Σχεδιασμός παροχής ζεστού νερού	l/h	1500
Ψυκτικός πύργος		
Τύπος		Υγρού τύπου
Σχεδιασμός ισχύος	KW	30
Ισχύς ανεμιστήρα	KW	0,65

Πίνακας 7.8: Χαρακτηριστικά μεγέθη του ψύκτη και του ψυκτικού πύργου του σεναρίου 5

Τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος είναι τα ίδια με το σενάριο 4, με την μόνη διαφορά ότι αφαιρέθηκε εντελώς η αντλία θερμότητας. Για να καλυφθεί η απαιτούμενη θερμική ενέργεια απαιτούνται **7 συλλέκτες κενού** κλίσης 20 μοιρών, ενώ για να είναι το κτίριο μηδενικής κατανάλωσης εγκαθίστανται **15 Φ/Β** με κλίση 39 μοίρες

7.4.2 Αποτελέσματα σεναρίου 5

Ολη η θερμική ενέργεια του συστήματος αυτού παρέχεται από τον ήλιο, επιτυγχάνοντας 100% ηλιακή κάλυψη. Στο σύνολο του έτους παράγονται 167 KWh περισσότερες από όσες καταναλώνονται.



Διάγραμμα 7.8: Ισοζύγιο ενεργειακής παραγωγής-κατανάλωσης σεναρίου 5 κατά τη λειτουργία του κτιρίου για ένα έτος

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Ηλιακοί συλλέκτες		
Απορροφητική Επιφάνεια	m ²	19,04
Αριθμός		7
Συνολική Επιφάνεια	m ²	22,54
Γωνία κλίσης	°	20
Συνολική Ηλιακή κάλυψη	%	100
Κάλυψη σε ζεστό νερό	%	100
Κάλυψη σε θέρμανση χώρων	%	100
Συνολικό πεδίο απόδοσης συλλεκτών	KWh	11581
Ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη	KWh	32963
Απόδοση συλλέκτη	%	35,1

Πίνακας 7.9: Αποτελέσματα ηλιακών συλλεκτών σεναρίου 5

Περιγραφή	Μονάδες	Τιμή
Ψύκτης προσρόφησης		
Εποχιακός συντελεστής απόδοσης SCOP		1
Ενεργειακό πεδίο ψύξης	KWh	5392
Θερμότητα τροφοδοσίας	KWh	5374
Ενέργεια από πύργο ψύξης	KWh	10581

Πίνακας 7.10: Αποτελέσματα λειτουργίας του ψύκτη προσρόφησης στο σενάριο 5

7.5 Σύγκριση μεταξύ των σεναρίων

Η διαδικασία που προηγήθηκε έδειξε με ποιόν τρόπο μπορούν να καταστρωθούν εντελώς διαφορετικές στρατηγικές για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου και να προσομοιωθούν μέσω του λογισμικού. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται και παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Τεχνολογία ψύξης	κλιματιστικό	κλιματιστικό	κλιματιστικό	Απορρόφησης	Προσρόφησης
Πύργος ψύξης	-	-	-	Ξηρού τύπου	Υγρού τύπου
Αντλία θερμότητας	Ναι	Ναι	-	Ναι	-
Αριθμός συλλεκτών (κλίση)	2 (39°)	2 (39°)	3 (39°)	7 (20°)	7 (20°)
Αριθμός Φ/Β (κλίση)	17 (39°)	12(Ανίχνευση)	16(39°)	16 (39°)	16 (39°)

Πίνακας 7.11: Συγκεντρωτική περιγραφή των χαρακτηριστικών της διάταξης των μελετούμενων σεναρίων

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	Μονάδες	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Ηλιακή κάλυψη	%	89,6	89,6	100	81,5	100
Ηλιακή κάλυψη σε ζεστό νερό	%	89,9	89,9	100	92,6	100
Ηλιακή κάλυψη σε θέρμανση χώρων	%	89,9	89,9	100	75,2	100
Ηλιοθερμική ενέργεια στο σύστημα	KWh	4.669	4.669	5.522	11.454	11.581
Παραγωγή A/C ρεύματος από Φ/Β	KWh	3.992	3.960	3.766	3.765	3.530
Συνολική ενεργειακή κατανάλωση	KWh	2.849	2.849	2.801	8.211	8.305
Ενέργεια από αντλία θερμότητας	KWh	540	540	-	2.597	-
Συνολική κατανάλωση ηλεκτρισμού	KWh	3.847	3.830	3.663	3.558	3.337
Συνολική κατανάλωση/παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	KWh	-145	-83,1	-89	-179	-167

Πίνακας 7.12: Σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των σεναρίων που μελετήθηκαν

Τα διάφορα συστήματα παρουσιάζουν διαφορές τόσο στα στοιχεία που τα αποτελούν όσο και στα αποτελέσματα που δίνουν. Το κοινό χαρακτηριστικό όλων είναι ότι δίνουν μηδενική κατανάλωση στο σύνολο του έτους. Από αυτά τα συστήματα αυτό που φαίνεται να είναι πιο αποδοτικό είναι το σενάριο 3. Υπερτερεί έναντι των σεναρίων 1,2 καθώς η αντλία θερμότητας που αποτελεί μία ακριβή διάταξη η οποία καταναλώνει επιπλέον ηλεκτρικό ρεύμα, αφαιρείται εντελώς και αντικαθίστανται από έναν επιπλέον συλλέκτη κενού, δίνοντας έτσι 100% ηλιακή κάλυψη στο σύστημα.

Τα σενάρια 4 και 5 χρησιμοποιούν μία διαφορετική προσέγγιση για την ψύξη με την εγκατάσταση απορροφητικών μηχανών. Η ανάγκη λειτουργίας αυτών των μηχανών όμως απαιτεί 7 συλλέκτες κενού για να καλυφθεί το φορτίο. Το κόστος έτσι αυξάνεται πολύ λόγω

των πολλών συλλεκτών άλλα και του ψύκτη. Η μελέτη για τα κτίρια μηδενικής κατανάλωσης γίνεται ώστε να μειωθούν οι ρύποι προς το περιβάλλον. Ο κάθε συλλέκτης, όπως και κάθε στοιχείο, κατά τη δημιουργία του στο εργοστάσιο προκαλεί ρύπους στο περιβάλλον. Έτσι, πέρα από το οικονομικό κόστος, και το περιβαλλοντικό κόστος είναι μεγάλο όταν τα συστήματα απαιτούν μεγάλες και πολύπλοκες διατάξεις. Για τους λόγους αυτούς το σενάριο 3 είναι η επικρατέστερη διάταξη.

8. Παραμετρική ανάλυση σεναρίου 3

Τα διαφορετικά συστήματα συγκρίθηκαν και ως καταλληλότερο επιλέχθηκε το σενάριο 3. Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται η επίδραση που έχουν οι διάφορες αλλαγές που μπορούν να γίνουν, όσον αφορά κάποια χαρακτηριστικά αυτής της διάταξης. Η διαδικασία αυτή βοηθάει ώστε να υπολογιστούν με βέλτιστο τρόπο τα επιμέρους χαρακτηριστικά του κάθε στοιχείου. Το λογισμικό βοηθάει αρκετά στην εκτέλεση αυτής της διαδικασίας.

8.1 Μεταβολή χαρακτηριστικών του κτιρίου

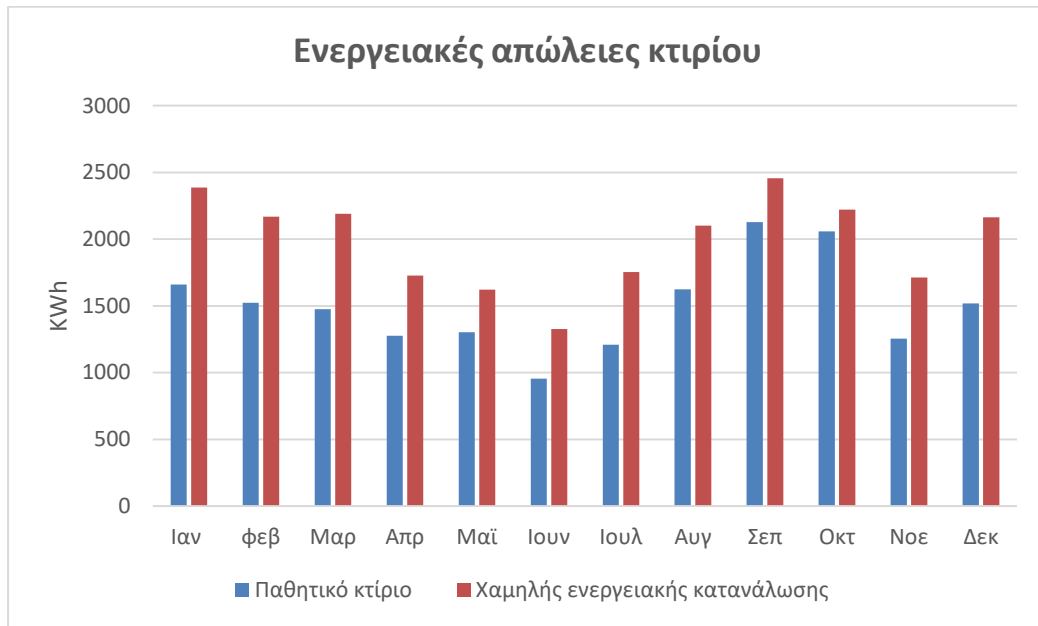
Στόχος σε αυτή τη παράγραφο είναι να μελετηθεί το πώς μεταβάλλονται τα αποτελέσματα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κτιρίου.

Επιλέγεται από τον κατάλογο του λογισμικού ένα κτίριο χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, αντί του παθητικού που μελετήθηκε πριν. Τα χαρακτηριστικά των 2 κτιρίων περιγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Περιγραφή	Μονάδες	Σενάριο 3 (παθητικό)	Χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης
Μήκος	m	10	10
Πλάτος	m	7,5	7,5
Όροφοι		2	2
Ύψος ορόφου	m	3	3
Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας	W/m^2K	0,13	0,35
Θερμοχωρητικότητα	kJ/m^2K	1000	750
Παράθυρα			
Συντελεστής μετάδοσης Ηλιακής ενέργειας g		0,5	0,7
Ποσοστό επιφάνειας παραθύρων προς το Νότο	%	25	25
Ποσοστό επιφάνειας παραθύρων προς το Βορρά	%	13	13
Ποσοστό επιφάνειας παραθύρων προς την Ανατολή	%	25	25
Ποσοστό επιφάνειας παραθύρων προς τη Δύση	%	6	6
Θερμικά κέρδη και εναλλαγές			
Θερμικά κέρδη λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας	W/m^2	2	2
Θερμικά κέρδη λόγω Ηλεκτρικού εξοπλισμού	W	240	240
Εναλλαγές αέρα	1/hr	0,4	0,3
Διείσδυση αέρα	1/hr	0,3	0,3

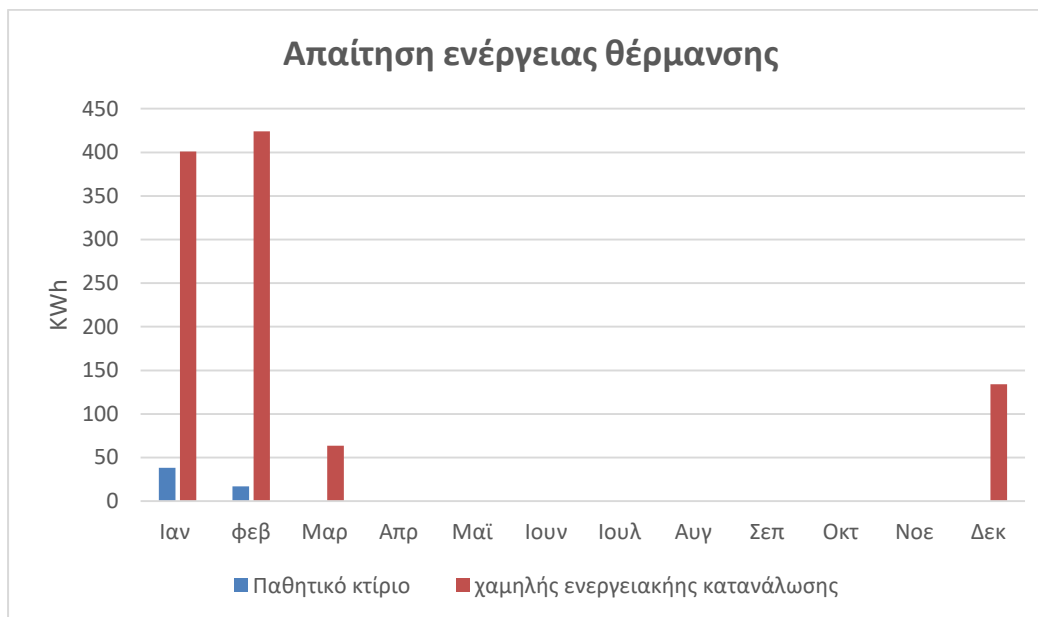
Πίνακας 8.1 Παρουσίαση χαρακτηριστικών συγκρινόμενων κτιρίων

Εκτελείται η προσομοίωση και αρχικά συγκρίνονται οι ενεργειακές απώλειες των κτιρίων. Τα αποτελέσματα για τα 2 κτίρια φαίνονται στο διάγραμμα:

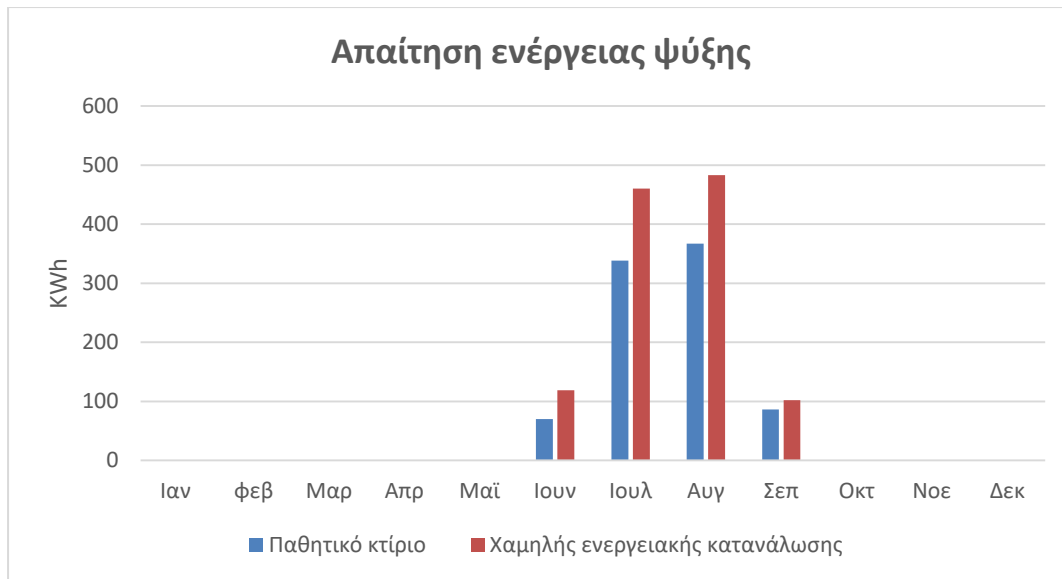


Διάγραμμα 8.1: Ενεργειακές απώλειες για κάθε τύπο κτιρίου

Το κάθε κτίριο απαιτεί διαφορετικά ποσά θερμικού και ψυκτικού φορτίου προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες του, αφού το παθητικό κτίριο έχει λιγότερες απώλειες.



Διάγραμμα 8.2: Απαίτηση ενέργειας θέρμανσης για κάθε τύπο κτιρίου



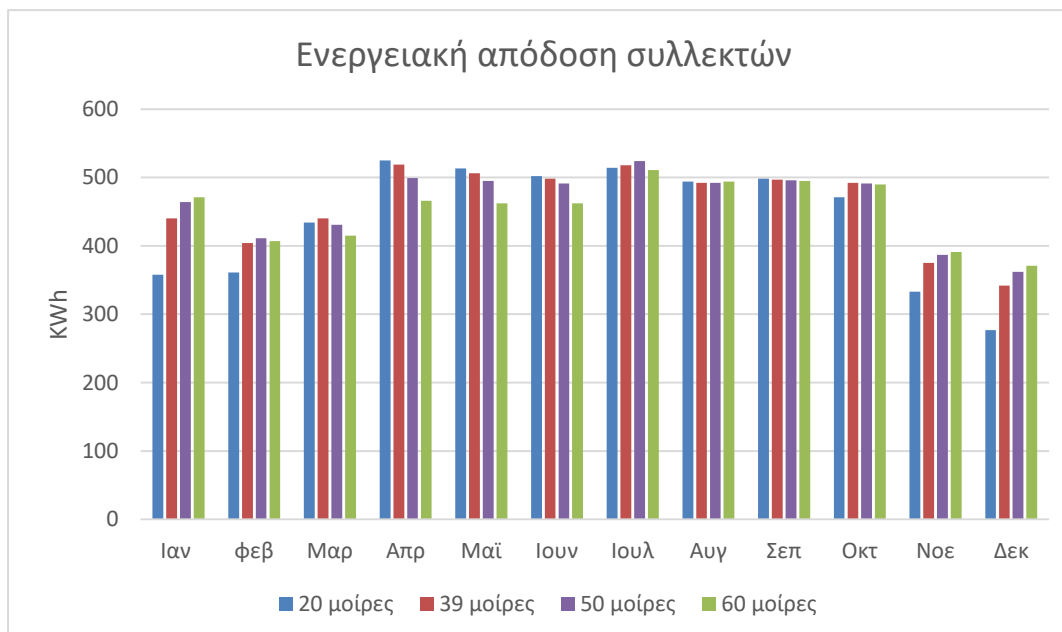
Διάγραμμα 8.3: Απαίτηση ενέργειας ψύξης για κάθε τύπο κτιρίου

Όπως φαίνεται παραπάνω το κτίριο χαμηλής κατανάλωσης απαιτεί μεγαλύτερα ποσά ενέργειας. Η προσομοίωση έδειξε ότι με το νέο κτίριο εμφανίζεται ένα **έλλειμμα ενέργειας περίπου 1000 kWh** στο σύνολο του έτους. Έτσι, το κτίριο αυτό δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του. Στην περίπτωση αυτή χρειάζεται η εγκατάσταση αντλίας θερμότητας ή κάποιου άλλου στοιχείου που να παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια.

8.2 Παραμετρική ανάλυση θερμικών ηλιακών συλλεκτών

8.2.1 Μεταβολή της κλίσης των συλλεκτών

Οι θερμικοί συλλέκτες όπως αναφέρθηκε είναι τύπου κενού. Στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνεται το πώς μεταβάλλεται η ενέργεια που δίνουν οι συλλέκτες στο σύστημα συναρτήσει της γωνίας κλίσης.

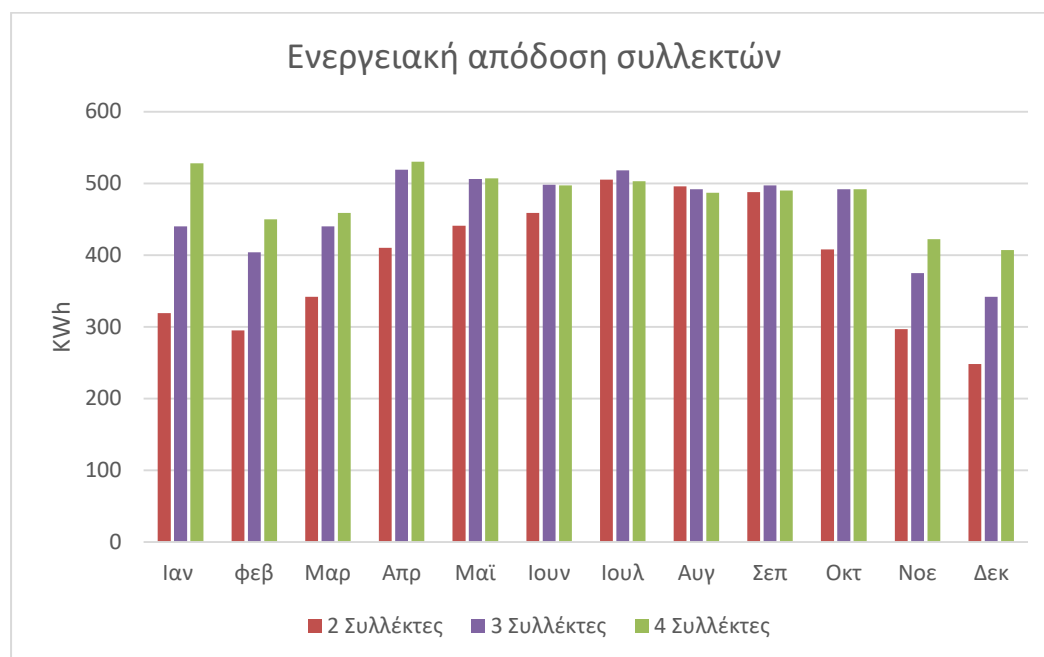


Διάγραμμα 8.4: Ενεργειακή απόδοση συλλεκτών συναρτήσει της γωνίας κλίσης

Τους καλοκαιρινούς μήνες η προσφορά των συλλεκτών στο σύστημα φαίνεται να είναι ίδια. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας που μπορεί να λάβει το σύστημα από τους συλλέκτες. Το καλοκαίρι που η Ηλιακή ακτινοβολία είναι άφθονη όλοι οι συλλέκτες καταφέρνουν να παρέχουν αυτό το μέγιστο ενέργειας.

8.2.2 Μεταβολή του αριθμού των συλλεκτών

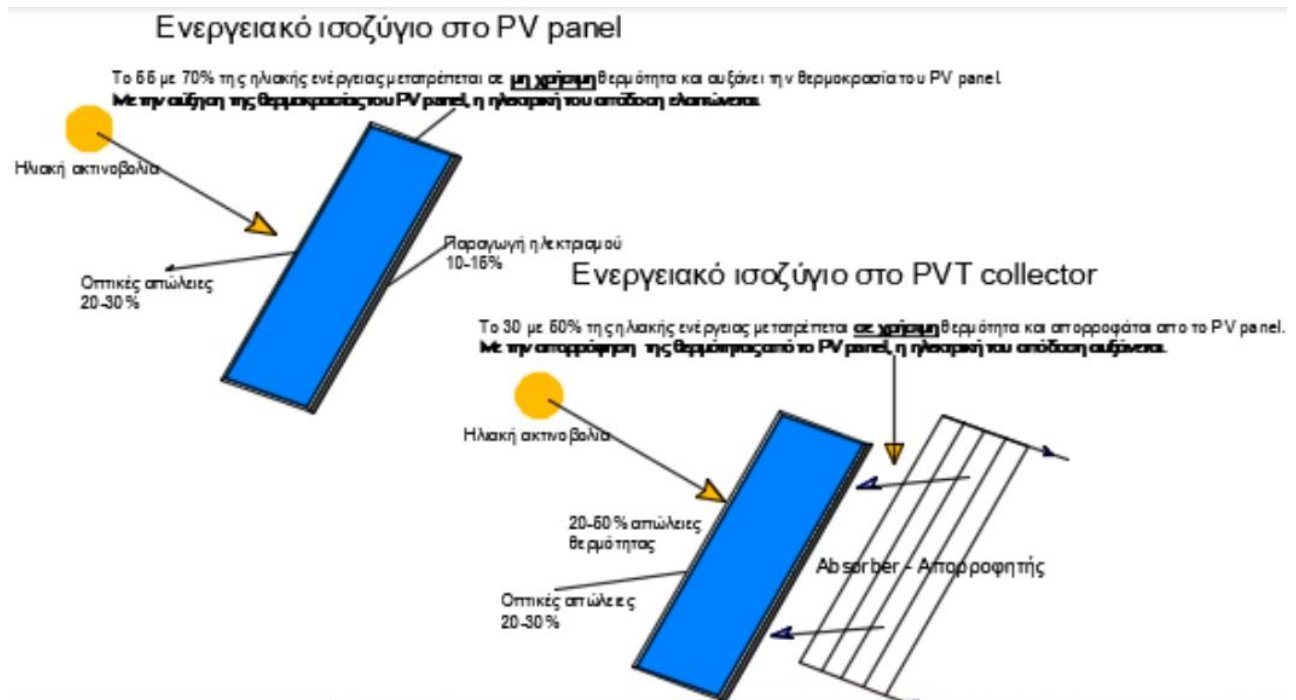
Το μέγιστο ενέργειας που μπορεί να λάβει το σύστημα από τους συλλέκτες αποτελεί έναν καλό οδηγό προκειμένου να υπολογιστεί το ποιος είναι ο βέλτιστος αριθμός ηλιακών συλλεκτών. Επομένως μπορεί να μελετηθεί εάν θα ήταν αποδοτική η προσθήκη ενός επιπλέον συλλέκτη ίδιου τύπου.



Διάγραμμα 8.5: Απόδοση θερμικής ενέργειας συλλεκτών συναρτήσει του αριθμού τους

8.3 Μελέτη τοποθέτησης συλλεκτών PVT

Αντί να τοποθετηθούν ξεχωριστά θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες και Φ/Β, υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης στοιχείων PVT. Πρόκειται για υβριδικά πάνελ που έχουν την δυνατότητα να παράγουν τόσο θερμική ενέργεια, όσο και ηλεκτρικό ρεύμα. Η φιλοσοφία αυτών των τεχνολογιών περιγράφεται στην εικόνα 8.1



Εικόνα 8.1: Αρχή λειτουργίας υβριδικών συλλεκτών PVT [33]

Στο λογισμικό υπάρχει μεγάλο πλήθος τέτοιων στοιχείων που μπορούν να εισαχθούν στην προσομοίωση. Από αυτά επιλέγεται να χρησιμοποιηθούν συλλέκτες PVT που να δίνουν καλή παροχή θερμικής ενέργειας, προκειμένου να καλύπτεται το φορτίο της εγκατάστασης. Γενικά οι συλλέκτες αυτού του τύπου έχουν καλύτερη απόδοση όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Με την εκτέλεση πλήθους προσομοιώσεων υπολογίζεται ότι για να καλυφθεί το φορτίο χρειάζεται να εγκατασταθούν 30 συλλέκτες PVT με χαρακτηριστικά που φαίνονται στην εικόνα

Συλλέκτες - PVT ✕

🔍 🛠️ ⚙️ 🔒 ↺

@ Ονομασία	Τιμή	Μονά	Σχηματικό διάγραμμα
Περιγραφή	▼ ορατό		
Na εμφανιστεί στα αποτελέσματα	▼ εξωτερικός		
Περιβάλλον	▼ Ευρώπη		
Test Standard	☑ Volther ? Powerthe...		
Συλλέκτες - PVT	πολυκρυσταλλικά		
- Τύπος συλλέκτη	155	W	
- Ονομαστική ισχύς STC	Επίπεδος συλλέκτης		
- Τύπος συλλέκτη	EN 12975		
- Ελέγξτε το τυπικό Solar Keymark	0		
Περιστροφή	1		
Παράλληλες θερμικές συστοιχίες	▼ Αριθμός συλλεκτών		
Τιμή αναφοράς για την περιοχή	30		
Αριθμός συλλεκτών	Αριθμός φωτοβολταϊκών συλλεκτών (δι...		
Αριθμός φωτοβολταϊκών συλλεκτών (δι...	4,65	kW	
Συνολική ονομαστική ισχύς DC	41,49	m ²	
Συνολική επιφάνεια	36,66	m ²	
Συνολική εσωτερική επιφάνεια	36	m ²	
Απορροφητική επιφάνεια	0	°	
Α Προσανατολισμός (A=+90°, N=0°, Δ=...			

OK Άκυρο

Εικόνα 8.2: Περιγραφή χαρακτηριστικών συλλεκτών PVT

Όσον αφορά τη συνεισφορά του συλλέκτη στην θερμική ενέργεια, η καμπύλη απόδοσης του υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο με τους συλλέκτες κενού που παρουσιάστηκαν. Χρησιμοποιούνται και εδώ οι σχέσεις:

$$x = \frac{T_m - T_a}{G_k}$$

$$h(x) = C_0 - C_1 x - C_2 G_k x^2$$

όπου,

T_m : Η μέση θερμοκρασία του ρευστού μέσα στον συλλέκτη (°C)

T_a : Η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

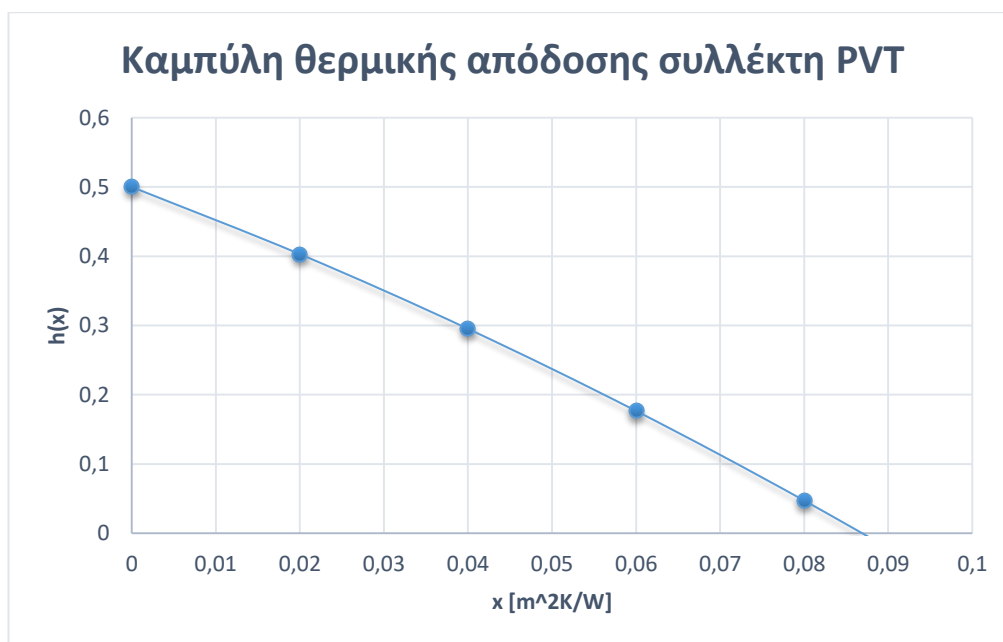
G_k : Η συνολική προσπίπτουσα Ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2)

C_0 : Οπτική απόδοση του συλλέκτη (απόδοση χωρίς θερμικές απώλειες).

C_1, C_2 : Θερμικές απώλειες συλλέκτη.

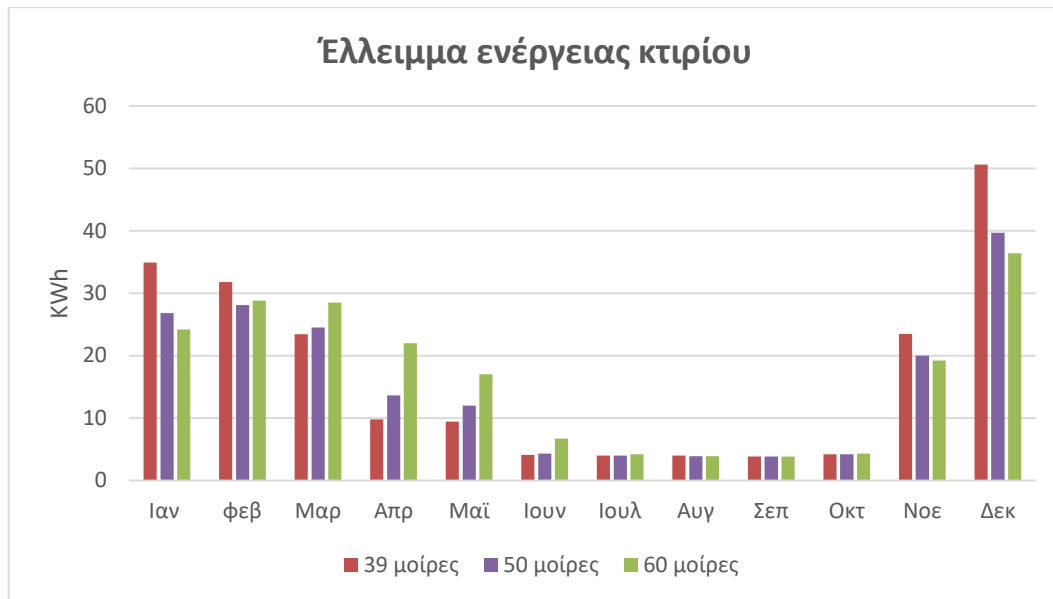
Για τον συλλέκτη PVT δίνονται οι τιμές $C_0=0.5$, $C_1=4.58 W/m^2 K$ και $C_2=0.0135 W/m^2 K^2$.

Για προσπίπτουσα ακτινοβολία $G_k=1000 W/m^2$ η καμπύλη θερμικής απόδοσης του συλλέκτη PVT φαίνεται στο διάγραμμα 8.6



Διάγραμμα 8.6: Καμπύλη απόδοσης συλλεκτών PVT

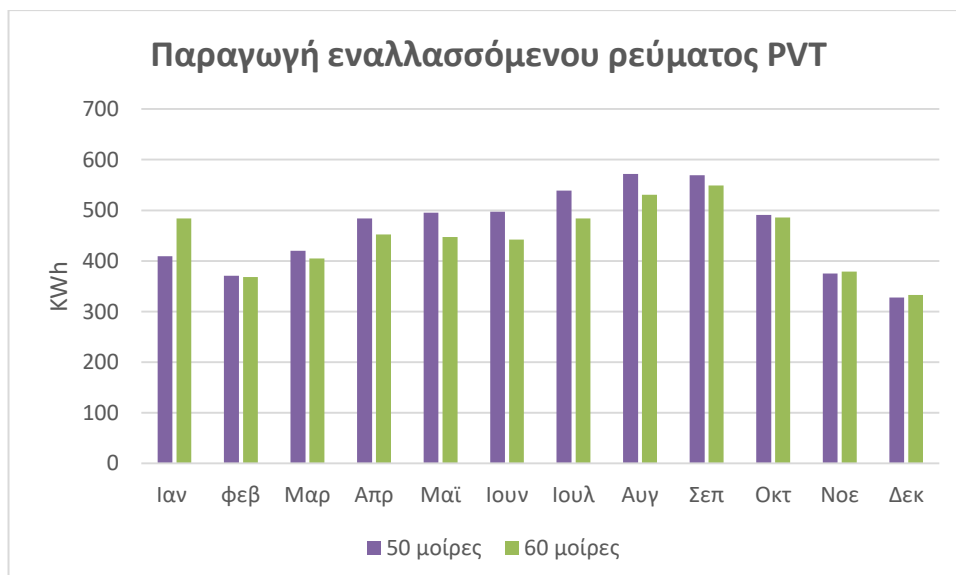
Επειδή η θερμική του απόδοση είναι μικρή, κατά τη διάρκεια του χειμώνα που υπάρχει περιορισμός στην ηλιακή ακτινοβολία το φορτίο καλύπτεται δυσκολότερα. Για τον λόγο αυτό πρέπει να επιλεγθεί μία γωνία κλίσης η οποία θα δίνει καλύτερα αποτελέσματα τον χειμώνα. Στο παρακάτω γράφημα συγκρίνεται το έλλειμμα ενέργειας που παρουσιάζεται ανάλογα με τη γωνία κλίσης των συλλεκτών.



Διάγραμμα 8.7: Έλλειμμα ενέργειας κτιρίου για διαφορετικές κλίσεις συλλεκτών PVT

Παρατηρείται ότι για μεγαλύτερες γωνίες κλίσης το έλλειμμα ενέργειας κατά τη διάρκεια του χειμώνα μειώνεται. Το λογισμικό θεωρεί ότι μπορεί να υπάρχει ένα μικρό έλλειμμα ενέργειας αρκεί το ποσοστό του να μην είναι πολύ μεγάλο. Έτσι στις περιπτώσεις γωνιών κλίσης 50° και 60° θεωρείται ότι το φορτίο καλύπτεται.

Οι δύο αυτές γωνίες κλίσης που καλύπτουν το φορτίο προφανώς θα εμφανίζουν και διαφορές στην παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος.



Διάγραμμα 8.8: Παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος για διαφορετικές κλίσης των συλλεκτών PVT

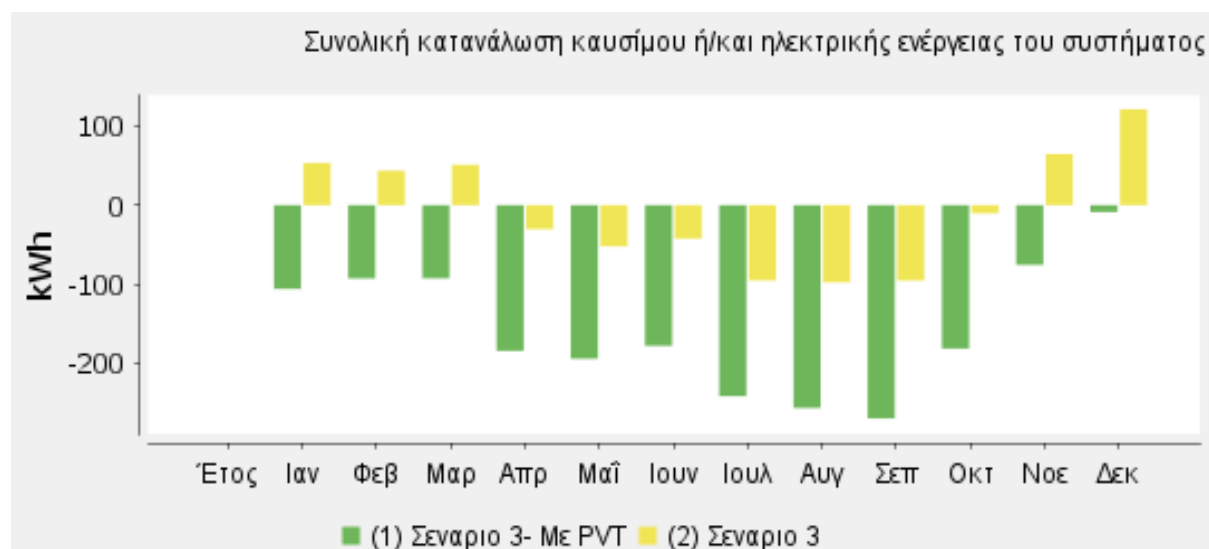
Στην περίπτωση κλίσης των 50° παράγονται συνολικά **5552 kWh** ηλεκτρικού ρεύματος AC ενώ στο σύνολο του συστήματος αποδίδονται **1883 kWh** περισσότερες από όσες

καταναλώνονται. Αντίθετα στην περίπτωση των 60° παράγονται **5288 kWh AC**, ενώ αποδίδονται **1620 kWh** περισσότερες.

Η ανάλυση που προηγήθηκε καταδεικνύει δύο δυνατότητες. Πρώτον τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να γίνει με το λογισμικό μία σύγκριση μεταξύ διαφορετικών παραμέτρων που μπορούν να καθορίσουν την εγκατάσταση. Έτσι αυτός που μελετάει την εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει τις βέλτιστες παραμέτρους.

Η δεύτερη δυνατότητα που εμφανίζεται είναι το πώς το εξεταζόμενο σύστημα μπορεί να γίνει **κτίριο θετικής απόδοσης ενέργειας** με χρήση υβριδικών συλλεκτών PVT. Οι συλλέκτες αρκούν οριακά ώστε να καλύψουν το απαραίτητο θερμικό φορτίο. Ωστόσο το εναλλασσόμενο ρεύμα που παράγουν αυτοί είναι αρκετά περισσότερο από το ρεύμα που καταναλώνει το κτίριο. Η επικοινωνία με το εξωτερικό δίκτυο κάνει το κτίριο κατά τη λειτουργία του να αποδίδει μεγάλη ποσότητα ρεύματος.

Πέρα από το ότι στην περίπτωση αυτήν το κτίριο είναι θετικής ενέργειας, μπορεί να χαρακτηριστεί και από έναν άλλο παράγοντα. Στο παρακάτω διάγραμμα συγκρίνεται το ισοζύγιο παραγωγής/κατανάλωσης ενέργειας για κάθε μήνα, ανάμεσα στο αρχικό σενάριο 3 και στο σενάριο 3 με χρήση PVT.

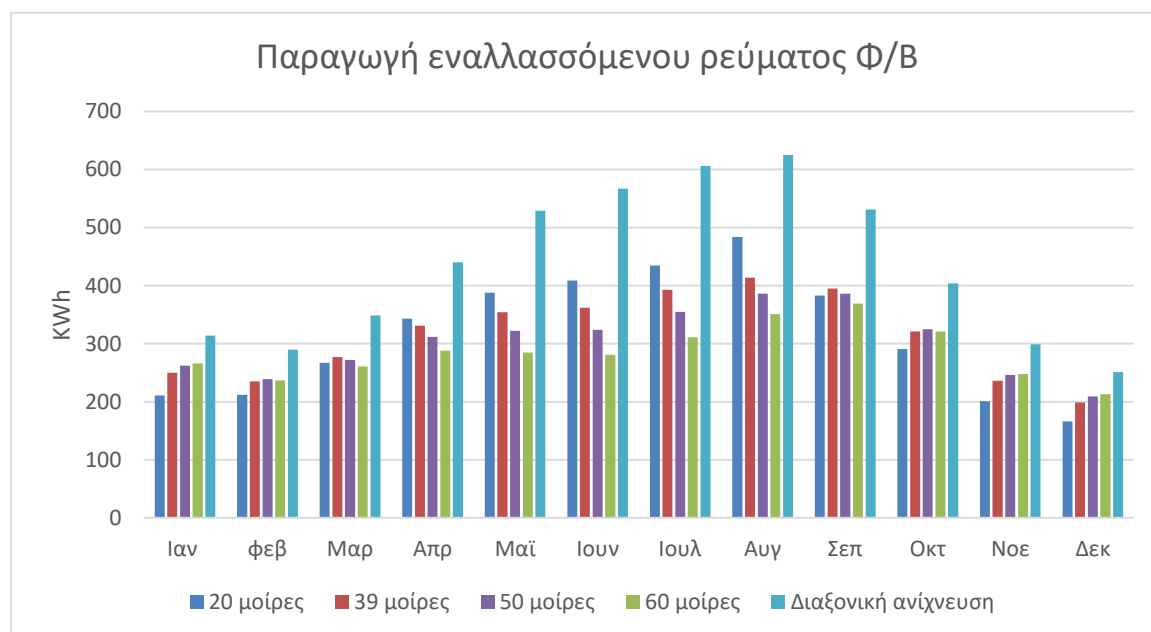


Διάγραμμα 8.9: Σύγκριση Ισοζυγίου ενεργειακής παραγωγής-κατανάλωσης για την περίπτωση του σεναρίου 3 και της χρήσης PVT

Αυτό που παρατηρείται στην περίπτωση χρήσης των συλλεκτών PVT, είναι ότι για κάθε μήνα επιτυγχάνεται περισσότερη παραγωγή από ότι κατανάλωση ενέργειας. Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή τα Κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας μπορούν να οριστούν με διαφορετικούς τρόπους και για διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Επομένως, το κτίριο αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα **κτίριο θετικής απόδοσης ενέργειας για κάθε μήνα στο σύνολο του έτους**.

8.4 Παραμετρική ανάλυση χρήσης των Φωτοβολταϊκών

Τα Φ/Β παρέχουν το εναλλασσόμενο ρεύμα που χρησιμοποιεί το σπίτι για να καλυφθεί η ηλεκτρική κατανάλωση. Από τη στιγμή που το σπίτι επικοινωνεί με το εξωτερικό δίκτυο ενδιαφέρει να δούμε με τι τρόπο πρέπει να μπουν τα Φ/Β ώστε να μεγιστοποιείται η παραγωγή ρεύματος. Γίνεται έτσι έλεγχος για διάφορες γωνίες κλίσης, προκειμένου να εντοπιστεί η παραγωγή κάθε μήνα. Το διάγραμμα δείχνει τα αποτελέσματα για 16 εγκατεστημένα Φ/Β στοιχεία.



Διάγραμμα 8.10: Παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος για διαφορετικές κλίσεις φωτοβολταϊκών του σεναρίου 3

Στο παραπάνω διάγραμμα συγκρίνονται και τα αποτελέσματα που δίνει η εγκατάσταση μίας βάσης διαξονικής ανίχνευσης. Υπολογίζεται ότι στην περίπτωση διαξονικής ανίχνευσης παράγεται **38%** περισσότερο ρεύμα από ότι στην κλίση των 39°. Με αυτόν τον τρόπο δύναται να υπολογιστεί από τον καθένα εάν είναι συμφέρουσα η εγκατάσταση μίας τέτοιας βάσης ή όχι.

9. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

9.1 Συμπεράσματα

Τα κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας αποτελούν το μέλλον προκειμένου να υπάρξει ανάπτυξη στον τομέα των κτιρίων, χωρίς ταυτόχρονα να προκαλούνται αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον. Η μελέτη γύρω από αυτά έχει χαρίσει νέες τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν.

Στην ανάλυση που προηγήθηκε παρουσιάστηκε ο τρόπος με τον οποίο αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να συνδυαστούν δημιουργώντας ένα κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Παράλληλα, περιγράφηκε η λειτουργία του λογισμικού Polysun που μπορεί να γίνει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για κάποιον που θέλει να μελετήσει ηλιακά συστήματα. Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι οι τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν είναι πολύ ενδιαφέρουσες και χρειάζεται να γίνουν αντικείμενο περαιτέρω επιστημονικής μελέτης. Η αναζήτηση υλικών που παρέχουν καλύτερη μόνωση, η δημιουργία συλλεκτών με καλύτερη απόδοση καθώς και η διεύρυνση του πεδίου και των δυνατοτήτων συστημάτων παροχής ψύξης με ηλιακή ενέργεια μπορούν να οδηγήσουν σε μία καθαρότερη πράσινη ανάπτυξη.

Οι κυβερνήσεις όλων των κρατών έχουν αρχίσει να λαμβάνουν μέτρα προκειμένου η κατασκευή των κτιρίων να είναι της φιλοσοφίας των κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Πέρα από νομικές υποχρεώσεις είναι πολύ σημαντικό να παρέχονται και τα κατάλληλα κίνητρα προκειμένου να αναζητείται ο αποδοτικότερος σχεδιασμός των κτιρίων. Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια οι πολίτες έχουν έρθει σε άμεση επαφή με την φιλοσοφία αυτήν και τα κίνητρα μέσω των προγραμμάτων «Εξοικονομώ-Αυτονομώ».

9.2 Προτάσεις για μελλοντική επιστημονική έρευνα

Με βάση την παρούσα εργασία θα μπορούσε να απασχολήσει ως αντικείμενο μελλοντικής επιστημονικής έρευνας η σύγκριση των αποτελεσμάτων που δίνει η προσομοίωση με το λογισμικό Polysun με ένα άλλο λογισμικό, προκειμένου να ελεγχθούν οι διαφορές και η αξιοπιστία.

Αποδοτικότερη από την θεωρητική προσέγγιση μέσω προσομοιώσεων θα ήταν η κατασκευή στη πράξη ενός τέτοιου κτιρίου. Η πραγματική κατασκευή ενός κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης αποτελεί μία πρόκληση με θετικό αντίκτυπο. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια η συμπεριφορά των υλικών του κτιρίου, τα πραγματικά φορτία ενέργειας που απαιτεί το κτίριο καθώς και η απόδοση των στοιχείων της διάταξης. Παράλληλα, οι πολίτες μπορούν να αποκτήσουν καλύτερη εξοικείωση με την έννοια του κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης και να αντιληφθούν στην πράξη τα πλεονεκτήματα που αυτά προσφέρουν.

Πέρα από την εκτίμηση των ενεργειακών αποτελεσμάτων, ωφέλιμη θα ήταν μία μελλοντική ανάλυση του κύκλου ζωής των υλικών που θεωρητικά συμμετέχουν στην διάταξη που προσομοιώθηκε. Επίσης, όταν αυτά τα κτίρια έχουν την μορφή επένδυσης και τον ιδιοκτήτη τον ενδιαφέρει η οικονομική απόδοση του έργου, χρήσιμη είναι μία επιστημονική έρευνα γύρω από τον υπολογισμό του κόστους και την οικονομική αξιολόγηση μίας τέτοιας επένδυσης σε βάθος χρόνου. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να παρουσιασθούν σε αυτόν που επιθυμεί να κατασκευάσει ένα κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν μαζί με όλα τα άλλα πλεονεκτήματα.

Βιβλιογραφία

- 1) IENE, Ο Ελληνικός ενεργειακός τομέας-Ετήσια έκθεση 2019
<https://www.iene.gr/articlefiles/file/meletes/iene-meleti-2019.pdf>
- 2) Διεθνής οργανισμός ενέργειας IEA <https://www.iea.org/>
- 3) Συμφωνία του Παρισιού: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)&from=EL](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019(01)&from=EL)
- 4) Μάριος Θεοδωρακάκης, National Geographic, Εγκυκλοπαίδεια του περιβάλλοντος
<https://www.inedivim.gr/images/ng-egkykpolaideia/ng-egkykpolaideia-perivalon-5-ripansi.pdf>
- 5) NASA https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/index_v4.html
- 6) Ευρωπαϊκή Επιτροπή, δράση για το κλίμα
https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_el
- 7) Κ.Γ. Δρούτσα, Σ. Κοντογιαννίδης, Ε.Γ. Δασκαλάκη, Κ.Α. Μπαλαράς «ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΩΝ»
- 8) Ενεργειακή φτώχεια στην Ελλάδα-Κοινωνικές εξελίξεις και προτάσεις πολιτικής καινοτομίας για την αντιμετώπισή της, 2019 https://gr.boell.org/sites/default/files/2020-12/BOLL_POVERTY2_WEB.pdf
- 9) Στόχος μείωσης ενεργειακής φτώχειας, 2 Rightto Energy Coalition (Μάιος 2019): Keeping the lights on: Which EU countries are taking action on energy poverty? :
<http://bit.ly/energypoverty-2>
- 10) Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ) ΦΕΚ 326Δ/79
- 11) Liu Yang , Haiyan Yan , Joseph C. Lam «Thermal comfort and building energy consumption implication- a review» Applied Energy 115 (2014)
- 12) Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK), ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010, ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 <http://www.opengov.gr/minenv/?p=184>
- 13) Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK), ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017
http://www.kenak.gr/files/TOTEE_20701-1_2017.pdf
- 14) Δημήτριος Παλλαντζάς , Ενεργειακή ανάλυση παθητικών συστημάτων σε Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης με χρήση των λογισμικών PHPP και DesignPH, 2019
- 15) Πέτρος Κωνσταντίνου, Υπολογιστική ανάλυση θερμικής συμπεριφοράς παθητικού κτηρίου, βελτιστοποίηση με PCM και σύγκριση με συμβατικό κτήριο, 2019

- 16) Solution sets and Net Zero Energy Buildings : A review of 30 Net ZEBs case studies worldwide, 2014 <https://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T40A52-DC-TR1-30-Net-ZEBs.pdf>
- 17) Passipedia, The Passive House Report. www.passipedia.org
- 18) Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου <https://eipak.org/pathitiko-ktirio-passive-house/vasikes-arxes-pathitikou-ktiriou>
- 19) Χ.Τζιβανίδης, σημειώσεις μαθήματος, Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων
- 20) Κίμων Α. Αντωνόπουλος, Κλιματισμός, 2015
- 21) Κίμων Α. Αντωνόπουλος, Θερμικά-Ηλιακά συστήματα, 2015
- 22) Λογισμικό polysun <https://www.velasolaris.com/ueber-uns/?lang=en>
- 23) Αλέξανδρος Τσιμπούκης, ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 2019
- 24) Δορυφορικοί χάρτες google <https://www.google.gr/maps>
- 25) Arash Ghaghazanian, System Integration of PV/T Collectors in Solar Cooling Systems, 2015
- 26) Alejandro Baeza, A zero energy house for UAE, 2013
- 27) Martin Guillaume, Guy Wagner, Xavier Jobard, Sara Eicher and Stéphane Citherlet, «SOLAR THERMAL SYSTEMS FOR THE SWISS PHARMACEUTICAL INDUSTRY SECTOR», 2019
- 28) Artem Sotnikov, Christian K. Nielsen, Chris Bales, Jan-Olof Dalenbäck, Martin Andersen and Emmanouil Psimopoulos, « Simulations of a Solar-Assisted Block Heating System», 2017
- 29) Andrea Lasiera, Energy analysis and simulation of solar thermal plants with seasonal storage, 2014
- 30) <https://www.ecodirect.com/ProductDetails.asp?ProductCode=Array-Technologies-15022-001>
- 31) <https://goldman.com.au/energy/wp-content/uploads/2016/08/40.-Absorption-chiller-single-stage-hot-water-driven-trigeneration-australia-world-energy.png>
- 32) <https://www.bryair.com/wp-content/uploads/2017/05/operating-principle-adsorption-chiller.jpg>
- 33) P. Axaopoulos & E. Sakellariou «ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ (PVT). Μία ελπιδοφόρα λύση για τη χρήση της ηλιακής ενέργειας στο μέλλον» <https://www.iene.eu/articlefiles/sakellariou.pdf>
- 34) <https://setz-architektur.ch/portfolio/page/6/>
- 35) John A. Duffie, William A. Beckman, 2006, Solar Engineering of Thermal Processes 3rd Edition, Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons Inc
- 36) www1.aegean.gr

- 37) www.universetoday.com
- 38) <https://www.nasa.gov/topics/earth/features/2012-seaicemin.html>
- 39) <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=898>
- 40) <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=GREECE&energy=Balances&year=2018>
- 41) <https://www.topicsforseminar.com/2018/02/zero-energy-building-project-report.html?m=1>
- 42) ASHRAE Standard 55-2010. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers; 2010.