



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων

Μηχανικών

Τομέας Θερμότητας

Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***Προσομοίωση και τεχνοοικονομική
αξιολόγηση συστήματος ηλιακής
υποβοήθησης για θέρμανση και ζεστό
νερό χρήσης***

Του Φοιτητή

Αναστασόπουλου Ιωάννη

Επιβλέπων

Δρ. Καρέλλας Σωτήριος, Καθηγητής
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2019

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση αυτής της μελέτης οφείλω αναγνώριση και ευχαριστίες στους παρακάτω.

Στο Δρ. Σωτήριο Καρέλλα, Καθηγητή ΕΜΠ για την αξιόλογη συμβολή του στην πορεία των σπουδών μου και για τη βοήθειά του στην ολοκλήρωση της Διπλωματικής μου εργασίας.

Στον Ευστράτιο Βαρβαγιάννη για την ανεκτίμητη βοήθεια και καθοδήγησή του για την περάτωση αυτής της μελέτης.

Στην οικογένειά μου για την υποστήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη – Abstract	7
1.Εισαγωγή	9
1.1 Ενεργειακό πρόβλημα στα κτήρια	10
1.2 Ερευνητικές δράσεις και νομοθετικό πλαίσιο για την ενεργειακή αξιολόγηση κτηρίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	12
1.3 Κτηριακό Δυναμικό στην Ελλάδα	15
1.4 Αξιοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στα κτήρια	16
1.4.1 Αιολική Ενέργεια	16
1.4.2 Γεωθερμία.....	16
1.4.3 Ηλιακή Ενέργεια	18
1.5 Ερευνητικές εργασίες για συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας στα κτήρια	19
1.6 Λογισμικό TRNSYS	21
2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης	23
2.1 Συλλέκτες	26
2.1.1 Γενική περιγραφή.....	26
2.1.2 Περιγραφή Μοντέλου Και Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	28
2.2 Δοχείο Αποθήκευσης Νερού.....	31
2.2.1 Γενική Περιγραφή.....	31
2.3 Λέβητας.....	35
2.3.1 Γενική Περιγραφή.....	35
2.3.2 Περιγραφή Μοντέλου και Τεχνικά Χαρακτηριστικά	35
2.4 Τερματικά	38
2.4.1 Γενική περιγραφή.....	38
2.4.2 Περιγραφή Μοντέλου και Τεχνικά Χαρακτηριστικά	38
2.5 Σύστημα διανομής.....	40
2.5.1 Σωληνώσεις.....	40
2.5.2 Κυκλοφορητές	40
2.5.3 Βαλβίδες ελέγχου	40
2.6. Τεχνικές Ελέγχου	42
2.6.1 Θερμοστατικός Έλεγχος	42
2.6.2 Επαναληπτικός Ελεγκτής Ανάδρασης	43
2.7 Μοντέλο Κτηρίου – Προφίλ Ζήτησης ΖΝΧ.....	45
2.7.1 Γενική Περιγραφή.....	45
2.7.2 Περιγραφή Μοντέλου Κτηρίου και Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	45

2.7.3 Περιγραφή Προφίλ Ζήτησης ΖΝΧ	46
3. Περιγραφή Διατάξεων	49
3.1 Διάταξη 1.....	49
3.2 Διάταξη 2.....	51
3.3 Διάταξη 3.....	53
3.4 Μοντελοποίηση Διατάξεων στο TRNSYS.....	55
4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων	59
4.1 Υπολογισμός Καταναλώσεων	60
4.2 Διάταξη 1.....	61
4.3 Διάταξη 2.....	65
4.4 Διάταξη 3.....	68
4.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	71
4.6 Προσδιορισμός Καταναλισκομένης Ενέργειας σε Συμβατικό Σύστημα	74
5. Αντιστάθμιση	77
5.1 Περιγραφή Διαδικασίας και Ρύθμισης Αντιστάθμισης.....	78
5.2 Αποτελέσματα Μοντέλων Με Εφαρμογή της Αντιστάθμισης	80
5.2.1 Διάταξη 1 με Αντιστάθμιση.....	81
5.2.2 Διάταξη 2 με Αντιστάθμιση.....	84
5.2.3 Διάταξη 3 με Αντιστάθμιση.....	87
5.3 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Μοντέλων Με Αντιστάθμιση	90
6. Οικονομική Αξιολόγηση	93
6.1 Υπολογισμός Κόστους κάθε Διάταξης	94
6.2 Οικονομική Αξιολόγηση Αγοράς Νέου Συστήματος	96
6.3 Οικονομική Αξιολόγηση Αναβάθμισης Υπάρχοντος Συστήματος.....	98
7. Συμπεράσματα και Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	101
7.1 Συμπεράσματα	101
7.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	102
Αναφορές.....	103

Περίληψη – Abstract

Η μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της εποχής. Ο κτηριακός τομέας, αποτελώντας τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας, έχει σημαντικά περιθώρια περιορισμού των ενεργειακών του αναγκών. Για αυτό το λόγο τόσο στην Ευρωπαϊκή ένωση όσο και σε εθνικό επίπεδο έχουν θεσπιστεί οδηγίες και κανονισμοί για την ελάττωση της καταναλισκόμενης ενέργειας στα κτήρια. Ένας τρόπος για να περιοριστεί η καταναλισκόμενη ενέργεια είναι η ηλιακή υποβοήθηση στη θέρμανση και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX), η οποία θα μελετηθεί στην παρούσα μελέτη. Σε αυτή, εξετάζονται συνοπτικά οι λόγοι για τους οποίους η μείωση της ενέργειας από συμβατικές πηγές είναι αναγκαία και με ποιους τρόπους αυτό μπορεί να γίνει εφικτό με την ηλιακή υποβοήθηση. Στη συνέχεια εξετάζονται τρεις διατάξεις ηλιακής υποβοήθησης στη θέρμανση και την παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης για μία τυπική ελληνική κατοικία, οι οποίες μοντελοποιούνται στο λογισμικό TRNSYS.

Αρχικά, γίνεται μία σύντομη περιγραφή των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν και των μοντέλων για κάθε μία από αυτές. Στη συνέχεια, περιγράφεται αναλυτικά η λειτουργία κάθε διάταξης και των τεχνικών ελέγχου αυτής. Τα ενεργειακά αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε διάταξη συγκρίνονται και υπολογίζεται η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει για κάθε μία από αυτές. Τέλος, πραγματοποιείται μία οικονομική αξιολόγηση για κάθε διάταξη και εξετάζεται η οικονομική βιωσιμότητά της.

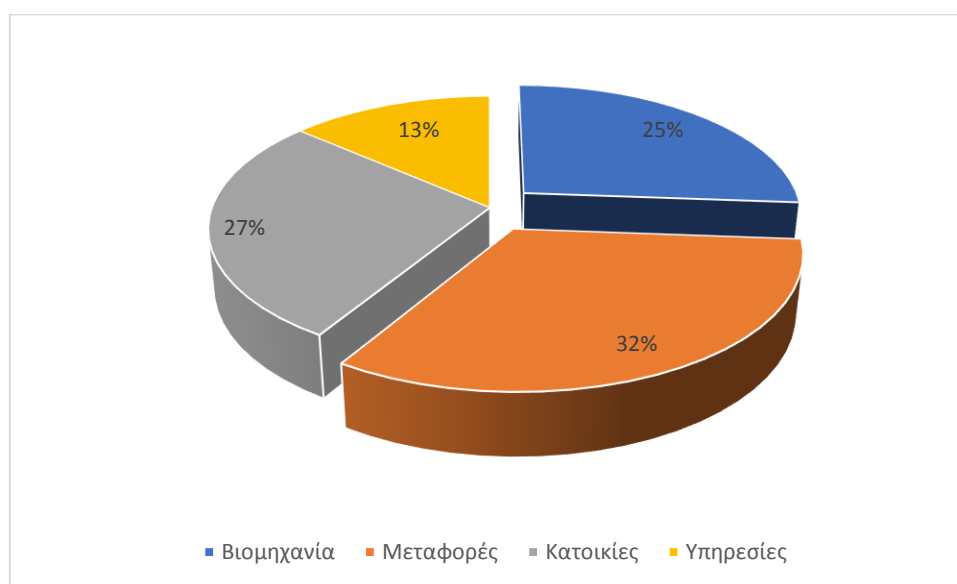
Nowadays, the reduction of the consumed energy constitutes one of the greatest challenges. It is a fact that the building sector consumes the biggest part of the energy spent, thus leaving high potential for its minimization. Accordingly, directives and regulations have been applied both in the European Union and in Greece to reduce the consumed energy in buildings. One of the ways to achieve the desired result is solar assisted heating and domestic hot water production layouts, which is the point under consideration of this study. In the current study the reasons why the reduction of the energy produced by conventional forms of energy is briefly presented, whereas ways in which this can be viable through solar assistance are examined. Furthermore, three layouts of solar assisted heating and domestic hot water production for a typical Greek house are analyzed, being modelled in TRNSYS software.

At first, there is a brief description of the components and models used in each layout. Afterwards, the function of each layout and its control are described and the energy results ensuing from each are compared in order to estimate the energy saving for each layout. Finally, an economic evaluation is carried out and their economic sustainability is demonstrated.

1.Εισαγωγή

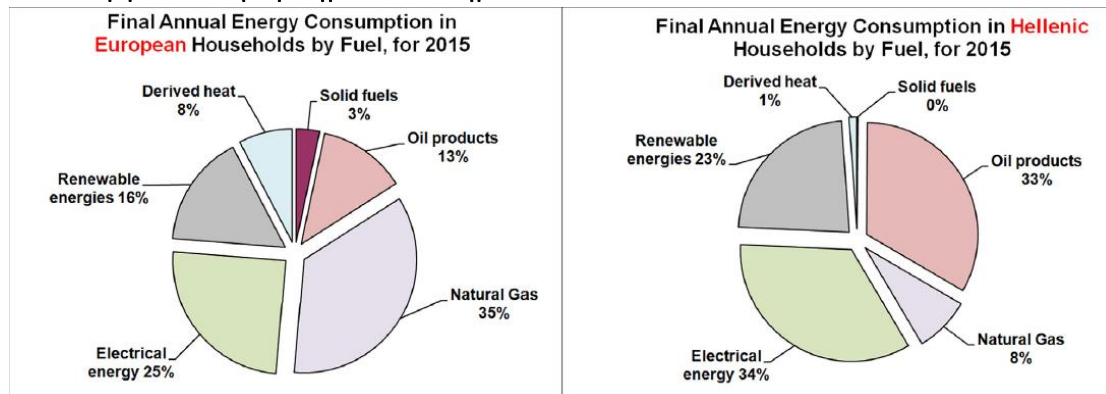
Η παραγωγή και η διαχείριση ενέργειας αποτελούν σημαντικό ζήτημα της σύγχρονης εποχής. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της έντονης αύξησης των ενεργειακών αναγκών των αναπτυσσόμενων χωρών για τη βιομηχανία, τις μεταφορές, τις κατοικίες και τις υπηρεσίες, οι οποίες ανέρχονταν συνολικά για τα μέλη της ευρωπαϊκής ένωσης το 2010 στις 1121 Mtoe, ενώ το 2011 στις 1153 Mtoe [1]. Έτσι, μια σειρά προβλημάτων δημιουργούνται όπως η εξάντληση των φυσικών πόρων του πλανήτη, η μόλυνση της ατμόσφαιρας και η επιβάρυνση της υγείας των ανθρώπων από τους ρύπους, η υπερθέρμανση του πλανήτη και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τα κτήρια αποτελούν μια σημαντική κατανάλωση ενέργειας καθώς είναι υπεύθυνα για το 40 % της κατανάλωσης της συνολικής ενέργειας και για το 36 % των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για την Ευρωπαϊκή Ένωση [1]. Η κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια μπορεί να διαχωριστεί στην ενέργεια που καταναλώνεται στις κατοικίες και στην ενέργεια που καταναλώνεται στα κτήρια που στεγάζουν διάφορες υπηρεσίες. Για το 2010, η κατανάλωση ενέργειας στις κατοικίες αποτελούσε το 27 % και για τις υπηρεσίες το 13 % [1], από όπου προκύπτει και το συνολικό 40 % της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας.



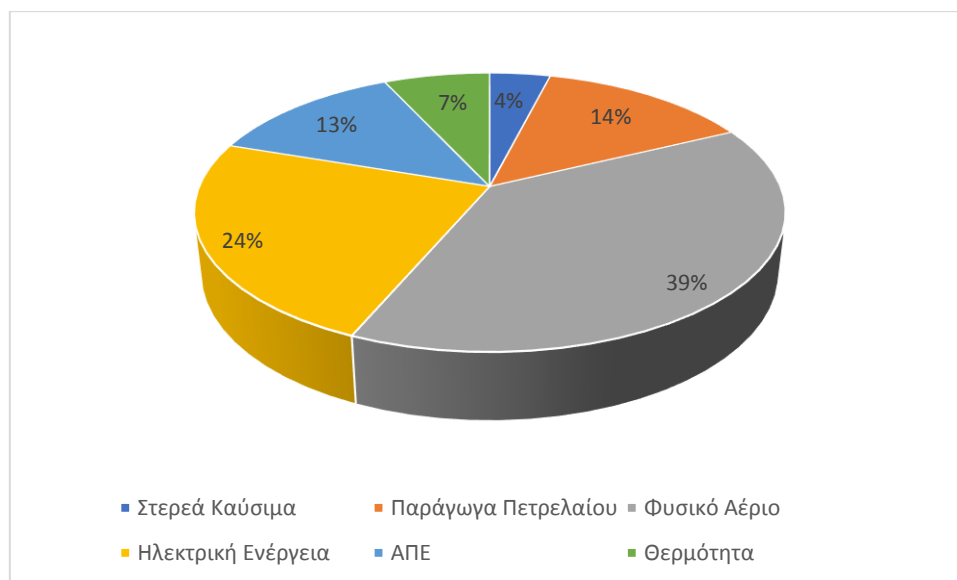
Εικόνα 1: Ποσοστό κατανάλωση ενέργειας 2010 στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Eurostat & European Commission)

1.1 Ενεργειακό πρόβλημα στα κτήρια



Εικόνα 2: Ποσοστά ενέργειας ανά καύσιμο για τα 28 κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (αριστερά) και για την Ελλάδα (δεξιά) για το έτος 2015 [2]

Ακόμα, στα κτήρια για κατοικίες χρησιμοποιούνται κυρίως το φυσικό αέριο, η ηλεκτρική ενέργεια και τα παράγωγα πετρελαίου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών [1] τόσο στην Ελλάδα όσο και στην ευρωπαϊκή ένωση, καθώς στην ευρωπαϊκή ένωση αντιστοιχεί το 35 % της ενέργειας που προέρχεται από φυσικό αέριο και το 25 % από ηλεκτρική ενέργεια, ενώ στην Ελλάδα το 33 % από παράγωγα πετρελαίου και το 34% από ηλεκτρική ενέργεια[2]. Γίνεται προφανές ότι τα κτήρια καταναλώνοντας αρκετή ενέργεια, η οποία προέρχεται κυρίως από ορυκτά καύσιμα, τα οποία συμβάλλουν στα περιβαλλοντικά προβλήματα. Επομένως, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων είναι ιδιαίτερα σημαντική και δύναται να συμβάλει στους στόχους της ευρωπαϊκής ένωσης για απεξάρτηση της οικονομίας από τον άνθρακα μέχρι το 2050 [3].



Εικόνα 3: Πηγές ενέργειας για κατοικίες, 2010 στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Eurostat & European Commission)

Η χρήση ορυκτών καυσίμων οδηγεί σε περιβαλλοντικά προβλήματα και ταυτόχρονα στην αύξηση της έντασης της ενεργειακής κρίσης. Λύση σε αυτό το πρόβλημα αποτελούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες είναι παντού διαθέσιμες και ταυτόχρονα φιλικές

1.Εισαγωγή

προς το περιβάλλον [4]. Οπότε, από την στιγμή που στα κτήρια καταναλώνεται σημαντική ποσότητα ενέργειας έχει λογική να εξεταστεί η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτηρίων αλλά και ο περιορισμός της απαιτούμενης από αυτά ενέργειας.

1.2 Ερευνητικές δράσεις και νομοθετικό πλαίσιο για την ενεργειακή αξιολόγηση κτηρίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Καθώς ο κτηριακός τομέας αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα κατανάλωσης ενέργειας έχουν αναπτυχθεί διάφορα ερευνητικά προγράμματα για την μελέτη των υπαρχόντων κτηρίων.

Στο πρόγραμμα TABULA: DATAMINE (2006-2008) στόχος αποτελούσε η βελτίωση της γνώσης που αφορά την ενεργειακή απόδοση του κτηριακού δυναμικού με την έκδοση ενεργειακών πιστοποιητικών [5].

Στο πρόγραμμα TABULA (2009-2012) αναπτύχθηκαν, για κάθε χώρα, τυπολογίες των κτηρίων οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις κτηριακές υποδομές κάθε χώρας. Με τον όρο τυπολογία εννοείται μια συστηματική περιγραφή των κριτηρίων με σκοπό τον ορισμό των τυπικών κτηρίων καθώς και τον ορισμό των ομάδων των κτηρίων [6] δηλαδή, για κάθε χώρα τα κτήρια ομαδοποιούνται σύμφωνα με το μέγεθος, την ηλικία και άλλους παράγοντες και έτσι προκύπτουν κτήρια αναφοράς για κάθε κατηγορία κτηρίων. Το πρόγραμμα αυτό στοχεύει στη μελέτη του κτηριακού δυναμικού, ώστε με βάση την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση χώρων και για παραγωγή ΖΝΧ, να προσδιοριστούν οι κατάλληλες στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας. Τα αποτελέσματα του προγράμματος TABULA είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο από όπου μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες για τα κτήρια αναφοράς που αφορούν τα ενεργειακά τους χαρακτηριστικά καθώς και η εξοικονόμηση ενέργειας που είναι δυνατόν να επιτευχθεί με ανακαίνιση του κτηρίου. Σε αυτό το πρόγραμμα συμμετείχαν 13 ευρωπαϊκές χώρες (Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Τσεχία, Γερμανία, Δανία, Γαλλία, Ελλάδα, Ιρλανδία, Ιταλία, Πολωνία, Σουηδία, Σλοβενία).

Το πρόγραμμα EPISCOPE αποσκοπούσε στην αύξηση της αποτελεσματικότητας και της διαφάνειας των διαδικασιών εξοικονόμησης ενέργειας στον κτηριακό τομέα της Ευρωπαϊκής ένωσης, εξασφαλίζοντας την επίτευξη των στόχων της προστασίας του περιβάλλοντος [5]. Ως συνέχεια του προγράμματος TABULA, οι τυπολογίες για 10 χώρες αναπτύχθηκαν περαιτέρω ενώ δημιουργήθηκαν οι τυπολογίες κτηρίων για 6 ακόμα χώρες [5]. Στόχος των όσων έγιναν σε αυτό το πρόγραμμα είναι να ενεργοποιηθούν οι αρμόδιοι φορείς και τα ενδιαφερόμενα μέλη ώστε να γίνουν εφικτές σωστές ενεργειακές ανακαινίσεις, οι οποίες συμβαδίζουν με τους κανονισμούς και είναι και οικονομικά συμφέρουσες και να αξιολογηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτεύχθηκε [5].

Εκτός όμως από τα ερευνητικά προγράμματα η ευρωπαϊκή ένωση έχει εκδώσει και οδηγίες για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων την πρώτη το 2002 και μια ανανέωση αυτής το 2010. Οι οδηγίες αυτές αναφέρονται ως Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). Η EPBD στοχεύει στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, παρέχοντας στα κράτη μέλη την καθοδήγηση για το πώς θα καθοριστούν οι ελάχιστες προδιαγραφές για τα κτήρια και επιβάλλοντας τον ενεργειακό έλεγχο στα κτήρια ο οποίος συνοδεύεται με την έκδοση του ενεργειακού πιστοποιητικού του κτηρίου [2]. Με τον όρο ενεργειακή απόδοση κτηρίου εννοείται η υπολογισθείσα ή μετρούμενη ποσότητα ενέργειας που χρειάζεται για να ικανοποιηθεί η ενεργειακή ζήτηση που συνδέεται με την τυπική χρήση του κτιρίου, η οποία περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, την ενέργεια που χρησιμοποιείται για θέρμανση, ψύξη, εξαερισμό, παραγωγή ζεστού νερού και φωτισμό όπως αναφέρεται στο [7].

1.Εισαγωγή

Στην Ελλάδα, νωρίτερα από αυτές τις οδηγίες, ο μόνος κανονισμός που υπήρχε ήταν ο κανονισμός για τη θερμομόνωση κτηρίων που καθόριζε τις ελάχιστες προδιαγραφές για αυτή. Ο παραπάνω κανονισμός εφαρμόστηκε το 1979.

Η EPBD εφαρμόστηκε στην Ελλάδα και αντικατέστησε τον κανονισμό για την θερμομόνωση των κτηρίων με την έκδοση σχετικού Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.ΕΝ.ΑΚ).

Ο Κ.ΕΝ.Α.Κ. αποτελείται από 5 τεχνικές οδηγίες, σύμφωνα με τις οποίες γίνεται ο χαρακτηρισμός της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου:

- ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017. Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης
- ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017. Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων
- ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010. Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών
- ΤΟΤΕΕ 20701-4/2017. Οδηγίες και έντυπα εκθέσεων ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, συστημάτων θέρμανσης και συστημάτων κλιματισμού
- ΤΟΤΕΕ 20701-5/2017. Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια

Η ανάγκη για μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται από τα κτήρια έχει οδηγήσει στα κτήρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (nearly zero energy building, nZEB), τα οποία αποτελούν και βασικό πυλώνα της ενεργειακής πολιτικής της ευρωπαϊκής ένωσης [3]. Αυτό μπορεί να επιβεβαιωθεί και από το ότι από την EPBD καθορίζεται ότι κάθε καινούργιο κτήριο και κάθε κτήριο στο οποίο πραγματοποιείται ανακαίνιση μεγάλης κλίμακας θα πρέπει να μπορεί να χαρακτηριστεί ως nZEB μετά το 2021 (για τα δημόσια κτήρια από το 2019) [5].

Ως nZEB χαρακτηρίζεται ένα κτήριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, προσδιοριζόμενη σύμφωνα με συγκεκριμένο τρόπο που καθορίζεται στην EPBD. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται θα πρέπει να συνίσταται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, περιλαμβανομένης της παραγομένης επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου όπως αναφέρεται και στο [4].

Βέβαια, σε ευρωπαϊκό επίπεδο δεν υπάρχει καθορισμένη κατανάλωση ενέργειας ώστε να χαρακτηριστεί ως nZEB ένα κτήριο. Επομένως, κάθε κράτος μέλος έχει την δυνατότητα να ορίσει τις ελάχιστες προδιαγραφές ώστε να χαρακτηριστεί ένα ως nZEB. Σε κτήρια κατοικιών η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, δηλαδή ενέργεια από ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές που δεν έχει υποστεί μετατροπή ή μετασχηματισμό [4], κυμαίνεται από 33 kWh/(m² γ) μέχρι 95 kWh/(m² γ) [5]. Μόνο ένα μέρος των κρατών μελών έχουν καθορίσει πότε ένα κτήριο είναι δυνατόν να χαρακτηριστεί ως nZEB καθορίζοντας τις τιμές της πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνεται [8].

Το επόμενο βήμα για τον κτηριακό τομέα είναι τα κτήρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης και τα κτήρια με πλεόνασμα ενέργειας, τα οποία παράγουν όση ενέργεια χρειάζονται, ή στην περίπτωση των κτηρίων με πλεόνασμα ενέργειας, παραπάνω από αυτή, με ανανεώσιμες ή μη πηγές ενέργειας.

Στα nZEB καθοριστικός παράγοντας αποτελεί η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, δηλαδή ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές, όπως αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική ενέργεια και ενέργεια από τον ωκεανό, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από τα αέρια που παράγονται σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και από τα βιοαέριο [7]. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει σαφής καθορισμός για το ποσοστό της ενέργειας που πρέπει να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε όλα τα κράτη μέλη, αλλά μόνο σε μερικά [3].

Εκτός όμως από τους περιβαλλοντικούς λόγους, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική η διεύρυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτήρια εξαιτίας και της ραγδαίας αύξησης στην τιμή των ορυκτών καυσίμων και της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία έχει οδηγήσει στην αύξηση του κόστους που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτηρίων [9].

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, γίνεται σαφές ότι θα παρουσίαζε ενδιαφέρον να μελετηθούν τρόποι ώστε στα κτήρια να μειωθούν οι ενεργειακές ανάγκες και να γίνει χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ώστε να περιοριστούν τα περιβαλλοντικά προβλήματα, να συμμορφωθούν τα κράτη μέλη στις υπάρχουσες οδηγίες και να ελαττωθεί το κόστος για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτηρίων.

1.3 Κτηριακό Δυναμικό στην Ελλάδα

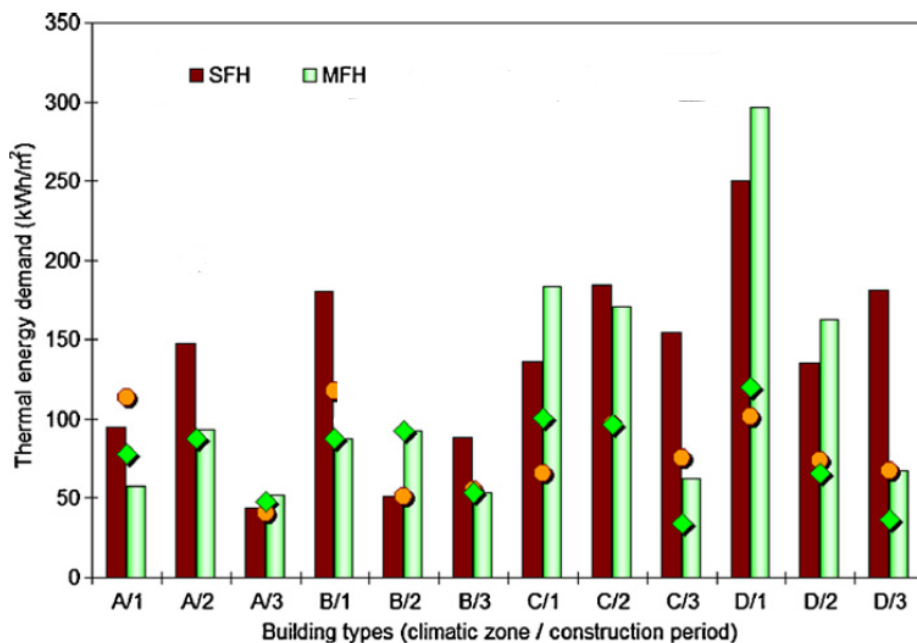
Στην Ελλάδα, ο πρώτος κανονισμός για την θερμική μόνωση των κτηρίων εκδόθηκε το 1980 και θέσπισε τις ελάχιστες απαιτήσεις για τη θερμική μόνωση των κτηρίων, παρόλα αυτά, εφαρμόστηκε μετά το 1990. Ταυτόχρονα το 75% των κτηρίων στην Ελλάδα κτίστηκε πριν το 1980. Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα ότι στην πλειοψηφία των ελληνικών κτηρίων δεν υπάρχει θερμική μόνωση [10].

Για αυτόν το λόγο, και το ένα από τα 3 κριτήρια για την δημιουργία των τυπολογιών των κτηρίων κατά την εφαρμογή του προγράμματος Tabula ήταν και η ηλικία του κτηρίου. Οι υπόλοιποι 2 παράμετροι ήταν το μέγεθος του κτηρίου και η κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκεται.

Με βάση την ηλικία του κτηρίου δημιουργήθηκαν 3 κατηγορίες με έτος κατασκευής πριν το 1980, τα οποία θεωρείται ότι δεν έχουν καμία μόνωση, 1980-2000, τα οποία θεωρείται ότι είναι μερικώς μονωμένα και μετά το 2000 τα οποία θεωρούνται και πλήρως μονωμένα. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις κτηρίων κατασκευής πριν το 2000 έχουν πραγματοποιηθεί ανακαινίσεις με βασικότερες αλλαγές την μόνωση της οροφής του κτηρίου, την εφαρμογή διπλών υαλοπινάκων και την εγκατάσταση λεβήτων μεγαλύτερου βαθμού απόδοσης.

Με βάση το μέγεθος του κτηρίου δημιουργήθηκαν 2 κατηγορίες, οι οποίες είναι η μονοκατοικία (Single Family Houses, SFH) και η πολυκατοικία (Multifamily Houses, MFH), ενώ με βάση την κλιματική ζώνη σε τέσσερις κατηγορίες (A,B,C,D). Άρα, προέκυψαν 24 κατηγορίες και για κάθε κατηγορία, ένα πραγματικό σπίτι χρησιμοποιήθηκε ως σημείο αναφοράς. Έτσι με τον παραπάνω τρόπο έγινε δυνατή η καταγραφή του κτηριακού δυναμικού στην Ελλάδα.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται συνοπτικά οι απαιτήσεις για θερμική ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο για κάθε μία από τις 24 κατηγορίες.



Εικόνα 4:Απαιτήση θερμικής ισχύος για κάθε κατηγορία σπιτιού. [10]

1.4 Αξιοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στα κτήρια

1.4.1 Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι μία από τις παλαιότερες και πιο διαδεδομένες ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Παρόλα αυτά, αξιοποιείται κυρίως από μεγάλες ή μεσαίες ανεμογεννήτριες, μεγαλύτερες των 50 kW, ενώ μόνο το 0.22 % της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από αιολική ενέργεια προέρχεται από μικρές ανεμογεννήτριες [11], οι οποίες θα ήταν δυνατόν να εφαρμοστούν και στα κτήρια για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Παρόλα αυτά, έχουν γίνει κάποιες τέτοιες μελέτες.

Στο [12] μελετάται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε χωρίσματα που διαπερνούν το κτήριο ώστε να αξιοποιηθεί η διαφορά πίεσης που δημιουργείται μεταξύ 2 πλευρών του κτηρίου λόγω του αέρα.

Στο [11] μελετάται η εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών σε μια πρόσθετη οροφή στην οροφή του κτηρίου και γίνεται έλεγχος της βέλτιστης διάταξης της οροφής ώστε οι ανεμογεννήτριες να είναι εκτεθειμένες στην υψηλότερη δυνατή ταχύτητα αέρα.

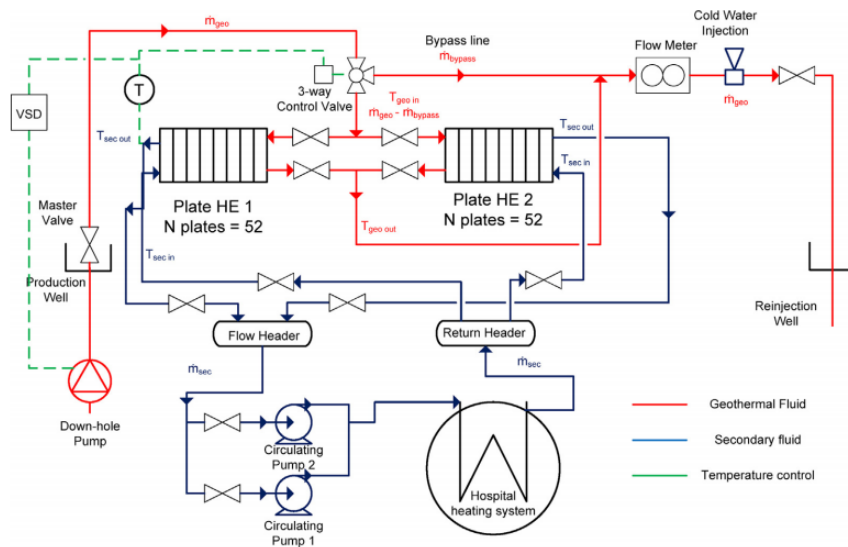
1.4.2 Γεωθερμία

Μια ακόμα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί ώστε να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες ενός κτηρίου είναι η γεωθερμία. Η γεωθερμία είναι θερμότητα που πηγάζει από το εσωτερικό της γης και εκτός από τη θέρμανση και την ψύξη κτηρίων, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για την παραγωγή ζεστού νερού για χρήση στη βιομηχανία και τη γεωργία κ.α. [13]. Το πολύ σημαντικό με αυτή την πηγή θερμότητας είναι ότι δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και είναι δυνατόν να χρησιμοποιείται για ολόκληρη σχεδόν την διάρκεια του έτους [13].

Οι τρεις βασικοί τύποι αξιοποίησης την γεωθερμίας είναι η χρήση της θερμότητας άμεσα ή με τηλεθέρμανση, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας [13].

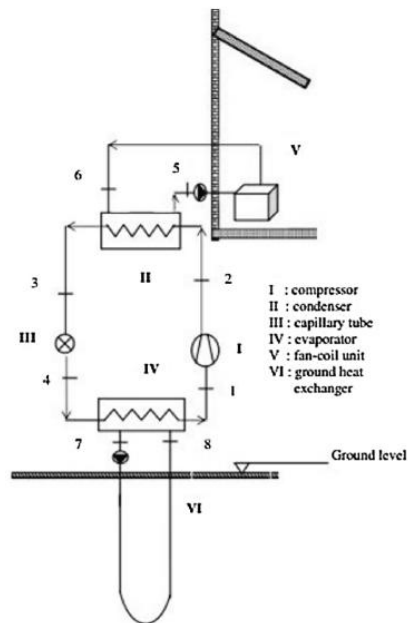
Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί την θερμότητα από γεωθερμικές πηγές για να ζεστάνει μέσω πλακοειδών εναλλακτών θερμότητας το νερό του κυκλώματος της θέρμανσης παρουσιάζεται στο [14].

1.Εισαγωγή



Εικόνα 5: Διάγραμμα γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης [14]

Ένα σύστημα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας παρουσιάζεται στη συνέχεια.



Εικόνα 6: Σχηματική αναπαράσταση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. [13]

Σε αυτήν την περίπτωση, ο ατμοποιητής την αντλίας θερμότητας τροφοδοτείται με θερμότητα από τη γεωθερμική πηγή η οποία, όπως είναι προφανές βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία από το περιβάλλον με αποτέλεσμα η αντλία θερμότητας να λειτουργεί με υψηλότερο βαθμό απόδοσης.

1.4.3 Ηλιακή Ενέργεια

Στα κτήρια ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση της ηλιακής ενέργειας λόγω του μηδενικού κόστους λειτουργίας αλλά και της δυνατότητας που έχει να καλύψει υψηλά φορτία σε χώρες όπως η Ελλάδα η οποία δέχεται υψηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας [5]. Επίσης η ηλιακή ενέργεια έχει την δυνατότητα να καλύψει μεγάλο ποσοστό από τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου [15].

Ένας τρόπος αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας είναι η χρήση των φωτοβολταϊκών πάνελ. Αυτά μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μπορεί να καλύψει ένα μέρος των αναγκών του κτηρίου.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ώστε να τροφοδοτήσει μια αντλία θερμότητας. Μια τέτοια διάταξη μελετάται και στο [16]. Σε αυτή την περίπτωση η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά αποθηκεύεται σε μια μπαταρία όπου τροφοδοτεί με την απαιτούμενη ενέργεια την αντλία θερμότητας. Όταν δεν είναι δυνατόν αυτό, η απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας παρέχεται από το δίκτυο. Αυτές οι διατάξεις παρουσιάζουν το θετικό ότι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τη θέρμανση του χώρου και την παραγωγή ZNX αλλά και για την ψύξη του κτηρίου τους καλοκαιρινούς μήνες.

Η ηλιακή ενέργεια είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί και με τη χρήση ηλιακών συλλεκτών. Οι ηλιακοί συλλέκτες απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία, την οποία μεταφέρουν σε ένα ρευστό το οποίο κυκλοφορεί μέσα σε αυτούς. Αυτός ο τρόπος αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας έχει το πλεονέκτημα ότι αποτελεί μία ώριμη τεχνολογία, με ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης, χαμηλή συνεισφορά στο φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη και χαμηλό κόστος κύκλου ζωής [4].

Οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση και για ζεστό νερό χρήσης (ZNX) είναι ένας τομέας στον οποίο δύναται να εφαρμοστεί η ηλιακή υποβοήθηση.

Η χρησιμότητα της ηλιακής υποβοήθησης γίνεται κατανοητή και από ευρεία χρήση της. Το 2015 η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς συσκευών για θέρμανση νερού από την ηλιακή ενέργεια ήταν κοντά στα 450 GW [4].

1.Εισαγωγή

1.5 Ερευνητικές εργασίες για συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας στα κτήρια

Έχουν γίνει διάφορες μελέτες πάνω στην ηλιακή υποβοήθηση συστημάτων θέρμανσης. Οι βασικές διατάξεις οποίες χρησιμοποιούνται στην πλειονότητα των περιπτώσεων είναι δυο. Η πρώτη αποτελείται από boiler ως συμβατική μέθοδος θέρμανσης του νερού, ενώ στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται αντλία θερμότητας.

Στο [17] μελετάται ένα σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης το οποίο τροφοδοτείται από ένα δοχείο αποθήκευσης. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση της συγκεκριμένης διάταξης είναι το TRNSYS. Στο δοχείο αποθήκευσης η θερμότητα προέρχεται από ηλιακούς συλλέκτες, ενώ όταν είναι απαραίτητο, ενεργοποιείται ένας βοηθητικός θερμαντήρας νερού και τροφοδοτεί το δοχείο αποθήκευσης με νερό κατάλληλης θερμοκρασίας. Αναφέρεται ακόμα ότι η μέγιστη ισχύς που απαιτείται για τη θέρμανση του κτηρίου είναι 6 kW. Συμπεραίνεται ότι για να ζεσταθεί ικανοποιητικά ένα κτήριο και η κάλυψη από την ηλιακή ενέργεια να φτάσει το 90 % της απαιτούμενης ενέργειας για τη θέρμανση του χώρου ο καλύτερος συνδυασμός για τη συλλεκτική επιφάνεια και το δοχείο αποθήκευσης είναι 30 m² και 2.5m³ αντίστοιχα.

Στο [9] μελετάται η αειφορία ενός συστήματος με ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας, σε διάφορες πόλεις της Ευρώπης, και συγκρίνεται με ένα σύστημα απλής αντλίας θερμότητας. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση και αυτής της διάταξης είναι το TRNSYS. Το κτήριο στο οποίο εφαρμόζονται οι 2 διατάξεις οι οποίες συγκρίνονται είναι ένα κτήριο 100 m². Το συμπέρασμα το οποίο εξάγεται είναι ότι το σύστημα ηλιακής υποβοήθησης της αντλίας θερμότητας δύναται να οδηγήσει σε αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς (coefficient of performance, COP) στην τιμή 4, ενώ η απλή αντλία θερμότητας έχει τιμή για το COP ίση με 2 με αποτέλεσμα η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας να μέχρι και το 35 %.

Στο [4] παρουσιάζεται μία πιο περίπλοκη εγκατάσταση. Οι ηλιακοί συλλέκτες συνδέονται με ένα δοχείο αποθήκευσης. Το κύριο δοχείο αποθήκευσης του ζεστού νερού συνδέεται, με τριόδες βαλβίδες, με το δοχείο αποθήκευσης του ζεστού νερού του συλλέκτη και με μία αντλία θερμότητας CO₂. Το ZNX προκύπτει από το πέρασμα του νερού του δικτύου μέσα από ένα εναλλάκτη ο οποίος βρίσκεται μέσα στο κύριο δοχείο. Το νερό του δοχείου κυκλοφορεί στα fan coils και προσφέρει θέρμανση στον χώρο. Από την παραπάνω διάταξη προκύπτει εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας 53.6 % σε σύγκριση με την χρήση μονάχα της αντλίας θερμότητας CO₂ και η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση καλύπτεται κατά 71.1 % από την ηλιακή ενέργεια. Τα παραπάνω συμπεράσματα αναφέρεται ότι προκύπτουν για COP της αντλίας θερμότητας CO₂ ίσο με 2.55.

Εκτός βέβαια από τη θέρμανση του χώρου και την παραγωγή ZNX η ηλιακή ενέργεια είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί και για την ψύξη των κτηρίων. Κάτι τέτοιο γίνεται εφικτό με την χρήση ηλιακών συλλεκτών οι οποίοι τροφοδοτούν με την αναγκαία θερμότητα ένα σύστημα ψύξης με απορρόφηση ή προσρόφηση, όπου για να λειτουργήσουν απαιτούν την πρόσδοση θερμότητας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα μελετηθούν και θα συγκριθούν διάφορες διατάξεις για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ), και την θέρμανση μια τυπικής ελληνικής κατοικίας. Η μελέτη θα βασισθεί στην ανάπτυξη αναλυτικών δυναμικών μοντέλων για κάθε διάταξη με τη χρήση του λογισμικού TRNSYS. Η ανάπτυξη των μοντέλων αυτών θα επιτρέψει, πέραν από τη μελέτη κάθε υποσυστήματος, και την διερεύνηση διαφορετικών στρατηγικών αυτοματισμού και ελέγχου κάθε διάταξης, με στόχο τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση.

1.Εισαγωγή

1.6 Λογισμικό TRNSYS

Το TRNSYS αποτελεί ένα ολοκληρωμένο αλλά και με δυνατότητα επέκτασης λογισμικό δυναμικής μοντελοποίησης. Χρησιμοποιείται κυρίως από μηχανικούς και επιστήμονες με σκοπό την επικύρωση διαφόρων ενεργειακών διατάξεων όπως, απλά συστήματα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης αλλά και την μοντελοποίηση ολόκληρων κατοικιών με συστήματα θέρμανσης, συστήματα παραγωγής ζεστού νερού καθώς και των στρατηγικών ελέγχου τους.

Το λογισμικό αυτό δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να επέμβει στο κώδικα τόσο των μοντέλων του αλλά και στις βασικές του λειτουργίες.

Το TRNSYS αποτελείται από έτοιμα μοντέλα τα οποία έχουν εισόδους, εξόδους και παραμέτρους. Ο χρήστης καθορίζει τις παραμέτρους του κάθε μοντέλου και συνδέει τις εισόδους και τις εξόδους του μεταξύ τους με σκοπό τη δημιουργία του επιθυμητού συστήματος.

Τα έτοιμα μοντέλα που διαθέτει αφορούν κυρίως τις παρακάτω περιοχές:

- Φωτοβολταϊκά και ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες
- Κτήρια και συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συστήματα συμπαραγωγής και κυψελών καυσίμου

Παρόλα αυτά, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει και δικά του μοντέλα και να τα χρησιμοποιήσει σε συνδυασμό με τα ήδη υπάρχοντα.

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

Νομεκλατούρα

Q_u : ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς

m : παροχή μάζας θερμικού υγρού

c_p : ειδική θερμοχωρητικότητα θερμικού υγρού

T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος

T_i : θερμοκρασία εισόδου θερμικού υγρού

T_o : θερμοκρασία εξόδου θερμικού υγρού

A : συλλεκτική επιφάνεια

I_T : ωριαία ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη

G_T : στιγμιαία ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη

η : βαθμός απόδοσης ηλιακού συλλέκτη

F_R : παράγων θερμική απολαβής συλλέκτη

$(\tau\alpha)_n$: γινόμενο διαπερατότητας καλύμματος επί απορροφητικότητας απορροφητήρα

U_L : συντελεστής μεταφοράς θερμότητας απωλειών από τον συλλέκτη προς το περιβάλλον δια αγωγής συναγωγής και ακτινοβολίας

U_{LT} : συντελεστής μεταφοράς θερμότητας απωλειών από τον συλλέκτη προς το περιβάλλον δια αγωγής συναγωγής και ακτινοβολίας εξαρτώμενος από τη θερμοκρασιακή διαφορά $(T_i - T_a)$

$Q_{in,Tank}$, $Q_{out,Tank}$: Θερμική ισχύς που εισέρχεται και εξέρχεται αντίστοιχα στο δοχείο από τις ροές του ρευστού και εξαιτίας της συναλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον

T_{Tank} : Θερμοκρασία νερού στο δοχείο αποθήκευσης

T_{HX} : Θερμοκρασία εναλλάκτη θερμότητας

$Q_{in,HX}$, $Q_{out,HX}$: Θερμική ισχύς που εισέρχεται και εξέρχεται αντίστοιχα στον εναλλάκτη θερμότητας από τις ροές του ρευστού δια μέσω αυτού και εξαιτίας της συναλλαγής θερμότητας με το νερό του δοχείου

C_{Tank} : Θερμοχωρητικότητα νερού δοχείου αποθήκευσης

C_{HX} : Θερμοχωρητικότητα εναλλάκτη θερμότητας

n : αριθμός σωλήνων εναλλάκτη

h_o : συντελεστής συναγωγιμότητας εξωτερικά του εναλλάκτη

h_o : συντελεστής συναγωγιμότητας εξωτερικά του εναλλάκτη

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

- h_i : συντελεστής συναγωγιμότητας εσωτερικά του εναλλάκτη
- A_o : εξωτερική επιφάνεια σωλήνα εναλλάκτη
- A_i : εσωτερική επιφάνεια σωλήνα εναλλάκτη
- R_w : θερμική αντίσταση υλικού εναλλάκτη
- Nu_d : αριθμός Nusselt υπολογισμένος για την εξωτερική διάμετρο σωλήνα
- k : θερμική αγωγιμότητα του ρευστού
- d_o : εξωτερική διάμετρος σωλήνα
- r_o : εξωτερική διάμετρος σωλήνα εναλλάκτη θερμότητας
- r_i : εσωτερική διάμετρος σωλήνα εναλλάκτη θερμότητας
- L_{pipe} : μήκος σωλήνα εναλλάκτη
- k_w : συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας σωλήνα εναλλάκτη
- Nu_{hx} : αριθμός Nusselt στο εσωτερικό του σωλήνα του εναλλάκτη
- Q_{loss} : θερμική ισχύς απωλειών
- A_j : επιφάνεια κάθε κόμβου η οποία έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον
- U_{loss} : ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας δοχείου περιβάλλοντος
- T_{env} : θερμοκρασία περιβάλλοντος στην οποία βρίσκεται το δοχείο
- $Q_{cond,j}$: θερμική ισχύς που μεταφέρεται στον κάθε κόμβο με αγωγή από του γειτονικούς του κόμβους
- A_{cond} : επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας μεταξύ κόμβων δοχείου
- L_{cond} : απόσταση μεταξύ κόμβων δοχείου
- Q_{mix} : θερμική ισχύς που συναλλάσσεται μεταξύ 2 κόμβων λόγω θερμικής ανισορροπίας
- m_{mix} : παροχή μάζας που συναλλάσσεται μεταξύ 2 κόμβων λόγω θερμικής ανισορροπίας
- Q_{need} : απαιτούμενη θερμική ισχύς από το λέβητα
- T_{set} : Επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από το λέβητα
- Q_{max} : Ονομαστική θερμική ισχύς λέβητα
- Q_{fluid} : θερμική ισχύς που μεταφέρεται στο ρευστό από το λέβητα
- PLR : συντελεστής μερικού φορτίου
- η_{boiler} : βαθμός απόδοσης καυσήτα
- c_{ap} : θερμοχωρητικότητα κτηρίου
- Q_{gains} : θερμικά κέρδη κτηρίου
- A : Άθροισμα όλων των εξωτερικών επιφανειών του κτηρίου

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

T_{ground} : Θερμοκρασία εδάφους

U_{ground} : Συντελεστής μετάδοσης θερμότητας Κτηρίου – Εδάφους

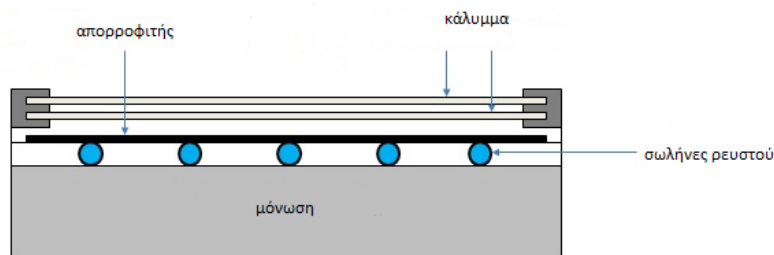
2.1 Συλλέκτες

2.1.1 Γενική περιγραφή

Ο ηλιακός συλλέκτης αποτελεί μια μορφή εναλλάκτη θερμότητας στον οποίον η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα. [18]

Οι κύριες κατηγορίες ηλιακών συλλεκτών είναι 3:

α) επίπεδος ηλιακός συλλέκτης



Εικόνα 7: Αναπαράσταση Τομής Επίπεδου ηλιακού συλλέκτη [19]

Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από μία απορροφητική πλάκα στη οποία είναι συγκολλημένοι σωλήνες. Μέσα στους σωλήνες κυκλοφορεί το ρευστό στο οποίο προσδίδεται θερμότητα. Ολόκληρη η παραπάνω διάταξη βρίσκεται μέσα σε ένα πλαίσιο στο οποίο στο κάτω μέρος υπάρχει μονωτικό υλικό, ενώ στο πάνω μέρος υπάρχουν ένα ή 2 καλύμματα κατασκευασμένα από υλικό το οποίο επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να διέρχεται μέσα από αυτό .



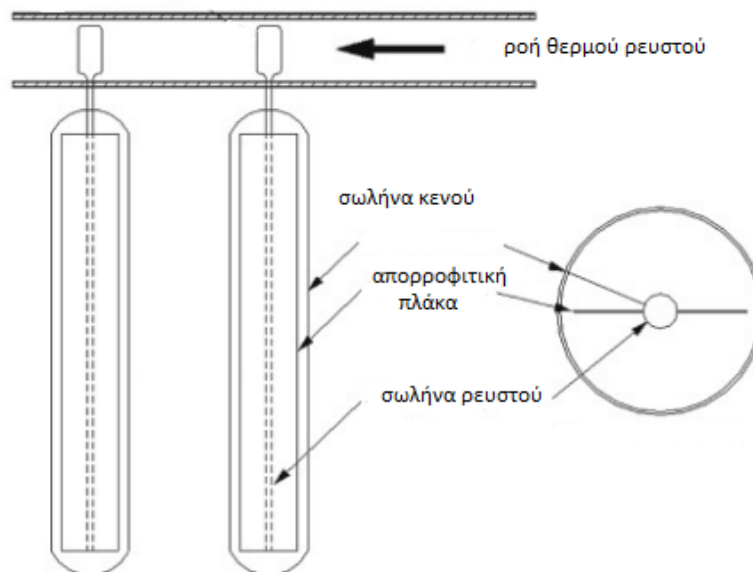
Εικόνα 8: Επίπεδος ηλιακός Συλλέκτης

β) συλλέκτης κενού

Στον συλλέκτη κενού, οι σωλήνες μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το ρευστό βρίσκονται μέσα σε σωλήνες κενού. Οι σωλήνες κενού και σε αυτή την περίπτωση επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στους σωλήνες του ρευστού. Σε κάθε σωλήνα ρευστού είναι συγκολλημένες απορροφητικές πλάκες όπως φαίνεται στην εικόνα 8. Όμως, επειδή η απορροφητική επιφάνεια η οποία υπάρχει σε κάθε σωλήνα είναι μικρή, συνήθως ένας

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

ηλιακός συλλέκτης κενού αποτελείται από 10 έως 20 σωλήνες . [20] Οι σωλήνες είναι παράλληλα συνδεδεμένοι όπως και στην περίπτωση του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.



Εικόνα 9: Αναπαράσταση Συλλέκτη Κενού [20]

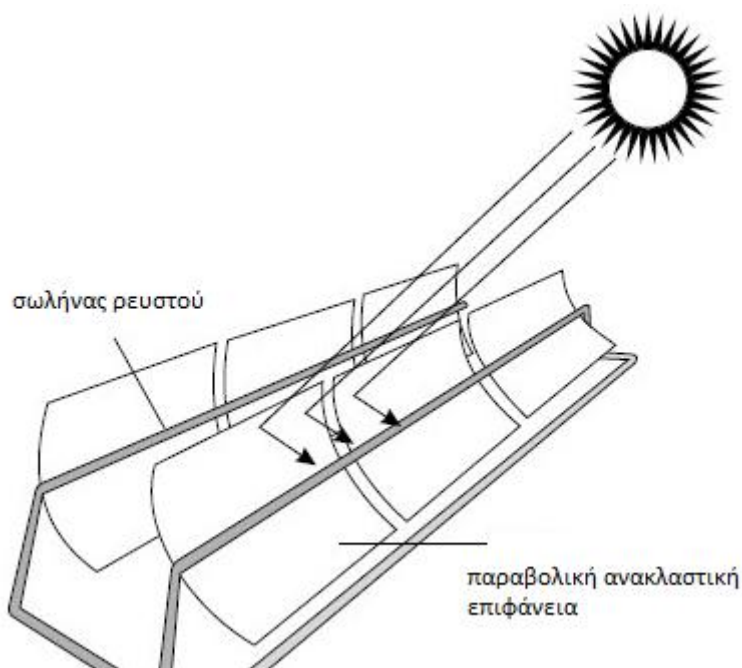


Εικόνα 10: Συλλέκτης Κενού

γ) παραβολικοί συλλέκτες

Ο παραβολικός συλλέκτης αποτελείται από ένα σωλήνα και μια ανακλαστική επιφάνεια σε παραβολικό σχήμα. Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει πάνω στην ανακλαστική επιφάνεια και συγκεντρώνεται στο σημείο στο οποίο βρίσκεται ο σωλήνας με αποτέλεσμα να ζεσταίνει το ρευστό που ρέει μέσα στο σωλήνα αυτόν.

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης



Εικόνα 11: Αναπαράσταση παραβολικού Συλλέκτη [21]

Οι 3 προαναφερθείσες κατηγορίες ηλιακών συλλεκτών εκτός από τις σχεδιαστικές τους διαφορές διαφέρουν και στις θερμοκρασίες λειτουργίας, στο βαθμό απόδοσης αλλά και στο κόστος κτήσης. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται μία συνοπτική σύγκριση των τριών κατηγοριών ηλιακών συλλεκτών.

Πίνακας 1: Σύγκριση τύπων Ηλιακών Συλλεκτών [4]

Τύπος Συλλέκτη	Θερμοκρασία Εξόδου (°C)	Βαθμός Απόδοσης (%)
Επίπεδος Συλλέκτης	27-60	52-80
Συλλέκτης Κενού	27-60	55-80
Παραβολικός Συλλέκτης	66-80	65-80

Ο τύπος του συλλέκτη ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί στις παρακάτω διατάξεις είναι ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης καθώς είναι ο πιο οικονομικός και αυτός που είναι ο πιο διαδεδομένος. Επίσης οι θερμοκρασίες λειτουργίας του επίπεδου συλλέκτη κρίνονται οι πιο κατάλληλες για το κλίμα την Ελλάδα, στο οποίο η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει σε υψηλές τιμές, καθώς διαφορετικός τύπος συλλέκτη είναι πιθανό να οδηγήσει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες είναι ακατάλληλες για την εφαρμογή για την οποία θα χρησιμοποιηθεί.

2.1.2 Περιγραφή Μοντέλου Και Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Η θερμική ισχύς που προστίθεται στο ρευστό που ρέει μέσα στον συλλέκτη, προκύπτει από την σχέση [22]:

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

$$Q_u = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \quad (2.1)$$

Η συσχέτιση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας πάνω στο συλλέκτη και της ωφέλιμης θερμικής ισχύος δίνεται από την σχέση [22]:

$$\eta = \frac{Q_u}{A I_T} \quad (2.2)$$

Και ο βαθμός απόδοσης δίνεται από την σχέση [22]:

$$\eta = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{T_i - T_a}{I_T} - F_R U_{L/T} \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T} \quad (2.3)$$

Η εξίσωση (2.3) γράφεται και με τη μορφή :

$$\eta = a_0 - a_1 \frac{T_i - T_a}{I_T} - a_2 \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T} \quad (2.4)$$

Με βάση τα παραπάνω λειτουργεί το μοντέλο του ηλιακού συλλέκτη. Ως είσοδο, δέχεται από τη βάση δεδομένων των καιρικών συνθηκών τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη, την ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, την ανακλαστικότητα του εδάφους και την κλίση του συλλέκτη.

Για τη λειτουργία του συλλέκτη έχουν οριστεί τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

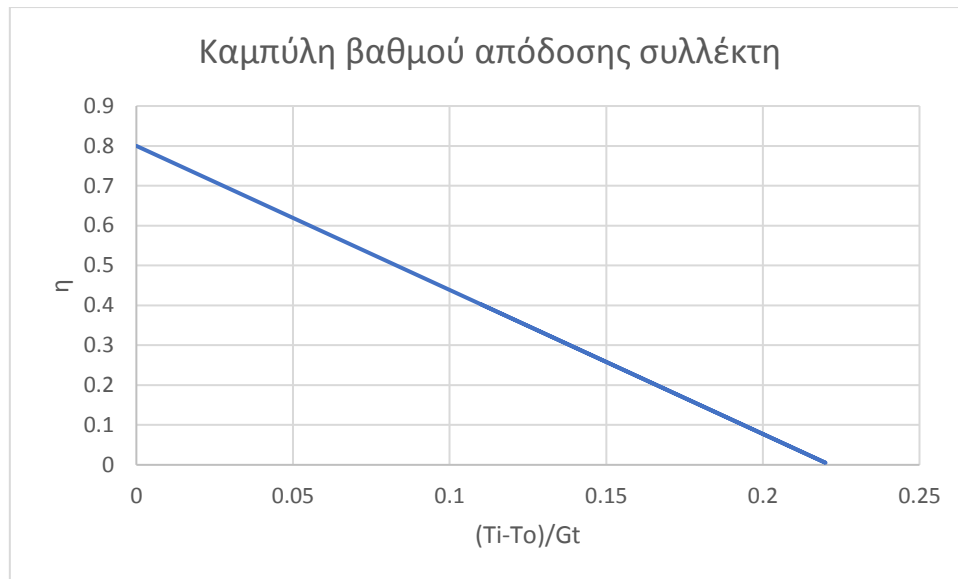
$$\beta = 45^\circ$$

$$\alpha_0 = 0.8$$

$$\alpha_1 = 3.61 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\alpha_2 = 0.014 \text{ W/m}^2\text{K}^2$$

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης



Εικόνα 12: Καμπύλη Βαθμού απόδοσης συλλέκτη

Στις παρακάτω διατάξεις, η συλλεκτική επιφάνεια έχει καθοριστεί ίση με 15 m^2 . Η παροχή των συλλεκτών έχει οριστεί 0.011 kg/sm^2 δηλαδή 0.1667 kg/s .

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

2.2 Δοχείο Αποθήκευσης Νερού

2.2.1 Γενική Περιγραφή

Στο δοχείο αποθήκευσης παραμένει νερό το οποίο έχει θερμανθεί από κάποια πηγή θερμότητας και δεν χρησιμοποιείται αμέσως, αλλά μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Κάτι τέτοιο είναι πολύ χρήσιμο σε διατάξεις ηλιακής υποβοήθησης και οι περισσότερες διατάξεις χρησιμοποιούν ένα τέτοιο [23], καθώς η θερμότητα από τους ηλιακούς συλλέκτες δεν είναι διαθέσιμη όλη την μέρα. Στο δοχείο αποθήκευσης, επομένως, είναι δυνατόν να αποθηκευτεί η θερμική ενέργεια και να χρησιμοποιηθεί όποτε είναι απαραίτητο. Ακόμα από μελέτες που έχουν γίνει [24], [25] με τη χρήση δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού είναι εφικτή η αύξηση την απόδοσης συστημάτων ηλιακής θέρμανσης.

Το δοχείο αποθήκευσης αποτελείται από ένα μεταλλικό δοχείο το οποίο μονώνεται σε όλη του την επιφάνεια από κάποιο μονωτικό υλικό (μαλακή πολυουρεθάνη, θερμική αγωγιμότητα 0.02 W/mK). Υπάρχουν διάφορες σπές οι οποίες χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτείται το δοχείο με νερό αλλά και να οδηγείται το ζεστό νερό στην κατανάλωση. Επίσης είναι δυνατόν να εφοδιάζεται και με εναλλάκτη θερμότητας μέσα στο οποίον κυκλοφορεί νερό είτε για να ζεστάνει το νερό του δοχείου είτε για να αυξηθεί η θερμοκρασία αυτού.

Μέσα στο δοχείο δημιουργείται μία στρωματοποίηση της θερμοκρασίας, δηλαδή το νερό με την υψηλότερη θερμοκρασία, επειδή έχει χαμηλότερη πυκνότητα, ανεβαίνει στο υψηλότερο σημείο του δοχείου. Η στρωματοποίηση του νερού είναι σημαντικός παράγοντας καθώς, όσο πιο καλή στρωματοποίηση γίνεται τόσο αυξάνεται και η βαθμός απόδοσης και η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στα συστήματα ηλιακής υποβοήθησης [26].



Εικόνα 13 : Δοχείο αποθήκευσης με εναλλάκτη θερμότητας

2.2.2 Περιγραφή Μοντέλου και Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί για το δοχείο αποθήκευσης όπως αυτό περιγράφεται στο [27].

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

Η ενέργεια που αποθηκεύεται στο νερό του δοχείου συναλλάσσεται με το υγρό των εναλλακτών θερμότητας, με το περιβάλλον και με όποια διάταξη είναι συνδεδεμένη με το δοχείο και τροφοδοτείται ή τροφοδοτεί το δοχείο με ενέργεια.

Η στρωματοποίηση της θερμοκρασίας στο νερό του δοχείου μοντελοποιείται με ισοθερμοκρασιακούς όγκους στους οποίους χωρίζεται το νερό του δοχείου. Στον κάθε όγκο πραγματοποιείται συναλλαγή θερμότητας με τον από πάνω και από κάτω του όγκο και με το περιβάλλον. Οι τρόποι με τους οποίους πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας είναι είτε η αγωγή μεταξύ των κόμβων και μεταξύ κόμβων και περιβάλλοντος, είτε με τη ροή που δημιουργείται μέσα στο δοχείο εξαιτίας της κυκλοφορίας του νερού ή από την κίνηση του ρευστού μέσα στο δοχείο εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας του.

Η μεταφορά θερμότητας μέσα στο δοχείο από τις εξόδους/εισόδους του δοχείου, η συναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον και η συναλλαγή θερμότητας με τους εναλλάκτες πραγματοποιείται από το παρακάτω σύστημα διαφορικών εξισώσεων το οποίο επιλύεται αναλυτικά.

$$\frac{dT_{Tank}}{dt} = \frac{Q_{in,Tank} - Q_{out,Tank}}{C_{Tank}} \quad (2.5)$$

$$\frac{dT_{HX}}{dt} = \frac{Q_{in,HX} - Q_{out,HX}}{C_{HX}} \quad (2.6)$$

Με τα $Q_{in,Tank}$ και $Q_{out,Tank}$ να είναι συναρτήσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της θερμοκρασίας και της ροής των ροών του ρευστού που εισέρχονται στο δοχείο και της θερμοκρασίας των εναλλακτών θερμότητας.

Ακόμα ο εναλλάκτης θερμότητας που είναι βυθισμένος μέσα στο δοχείο χωρίζεται και αυτός σε κόμβους. Είναι δυνατόν να επιλεγεί σε ποιον κόμβο του δοχείου θα βρίσκεται ο κάθε κόμβος και τι ποσοστό της συνολικής επιφάνειας του εναλλάκτη θα αντιπροσωπεύεται από κάθε κόμβο. Η θερμοκρασία εξόδου της ροής από τον εναλλάκτη προκύπτει ως ο μέσος όρος της θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του χρονικού βήματος του κόμβου του δοχείου στον οποίο βρίσκεται ο τελευταίος κόμβος του εναλλάκτη.

Ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για τον εναλλάκτη δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$UA = \frac{n}{\frac{1}{h_o A_o} + R_w + \frac{1}{h_i A_i}} \quad (2.7)$$

Όπου :

$$h_o = \frac{N_{ud} k}{d_o} \quad (2.8)$$

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

$$R_w = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi L_{pipe} k_w} \quad (2.9)$$

$$h_i = \frac{Nu_{hx} k}{d_i} \quad (2.10)$$

Και τέλος με βάση τα παραπάνω προκύπτει η μετάδοση θερμότητας από τον κόμβο j του δοχείου στον κόμβο k του εναλλάκτη θερμότητας.

$$Q_{HX,j \rightarrow k} = UA_{j,k} (T_{tank,j} - T_{hx,k}) \quad (2.11)$$

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στο δοχείο συναλλάσσεται θερμότητα και με το περιβάλλον και έτσι προκύπτουν οι απώλειες του δοχείου για κάθε κόμβο του δοχείου.

$$Q_{loss,j} = A_j U_{loss} (T_{tank,j} - T_{env}) \quad (2.12)$$

Είναι δυνατόν να θεωρηθεί διαφορετικός συντελεστής μετάδοσης απωλειών για κάθε κόμβο αλλά σε αυτήτην περίπτωση ο συντελεστής αυτός θεωρείται σταθερός.

Επιπροσθέτως, συναλλαγή θερμότητας πραγματοποιείται και μεταξύ κάθε κόμβου του δοχείου. Σύμφωνα με την παρακάτω σχέση προκύπτει η θερμική ισχύς που μεταδίδεται σε ένα κόμβο j από τους 2 γειτονικούς του $j-1, j+1$:

$$Q_{cond,j} = \frac{kA_{cond}(T_j - T_{j+1})}{L_{cond}} + \frac{kA_{cond}(T_j - T_{j-1})}{L_{cond}} \quad (2.13)$$

Τέλος, όταν κάποιος κόμβος έχει υψηλότερη θερμοκρασία από τον από πάνω κόμβο τότε πραγματοποιείται ανάμιξη του νερού μέχρις ότου επιτευχθεί θερμική ισορροπία.

Η θερμική ισχύς που μεταδίδεται μεταξύ των 2 αυτών κόμβων ($j, j-1$) προκύπτει από τη παρακάτω σχέση:

$$Q_{mix} = m_{mix} c_p (T_j - T_{j+1}) + m_{mix} c_p (T_j - T_{j-1}) \quad (2.14)$$

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται 3 δοχεία. Ένα δοχείο χωρητικότητας 1 m^3 και ύψους 2 m , το οποίο θεωρείται ότι αποτελείται από 10 ίσου όγκου κόμβους για θέρμανση, ένα δοχείο 0.8 m^3 και ύψους 1.6 m , το οποίο θεωρείται και αυτό ότι έχει 10 κόμβους και ένα δοχείο 0.2 m^3 ZNX ύψους 1.4 m , το οποίο θεωρείται ότι αποτελείται από 7 ίσου όγκου κόμβους αντίστοιχα.

Οι σωλήνες των εναλλακτών θερμότητας έχει θεωρηθεί ότι έχουν εσωτερική διάμετρο 1 ίντσα και πάχος 1 mm . Το υλικό του έχει θεωρηθεί ανοξείδωτος χάλυβας, επομένως, η θερμική αγωγιμότητα του εναλλάκτη θεωρείται ίση με 9 W/mK . Για τα 2 μεγάλα δοχεία αποθήκευσης το συνολικό μήκος του σωλήνα για κάθε εναλλάκτη θερμότητας είναι 37.6 m και είναι τυλιγμένος σε διάμετρο 0.75 m με βήμα 0.01 m από όπου προκύπτει συλλεκτική επιφάνεια ίση με 3 m^2 . Για το μικρό δοχείο αποθήκευσης το συνολικό μήκος του σωλήνα για κάθε εναλλάκτη θερμότητας είναι 12.53 m και είναι τυλιγμένος σε διάμετρο 0.43 m με βήμα 0.007 m από όπου προκύπτει συλλεκτική επιφάνεια ίση με 1 m^2 .

Επίσης το μικρό δοχείο είναι εξοπλισμένο και με μία ηλεκτρική αντίσταση στον 2^ο κόμβο του, οπότε, όταν η θερμοκρασία αυτού του κόμβου πέσει κάτω από 40 βαθμούς τότε η ηλεκτρική αντίσταση τίθεται σε λειτουργία και σταματά όταν η θερμοκρασία του κόμβου ξεπεράσει τους $42 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ο συντελεστής απωλειών για το δοχείο έχει οριστεί ίσος με $1.3 \text{ W/m}^2\text{k}$, ενώ η θερμοκρασία περιβάλλοντος στην οποία βρίσκεται το δοχείο έχει θεωρηθεί σταθερή και ίση με 20°C .

Το ρευστό τόσο μέσα στο δοχείο όσο και αυτό που κυκλοφορεί μέσα στους εναλλάκτες θεωρείται νερό, επομένως ο συντελεστής αγωγιμότητας είναι ίσος με 0.6 W/mK .

Η παροχή μάζας που συναλλάσσεται μεταξύ 2 κόμβων λόγω θερμικής ανισορροπίας έχει την τιμή $m_{\text{mix}} = 0.0278 \text{ kg/s}$.

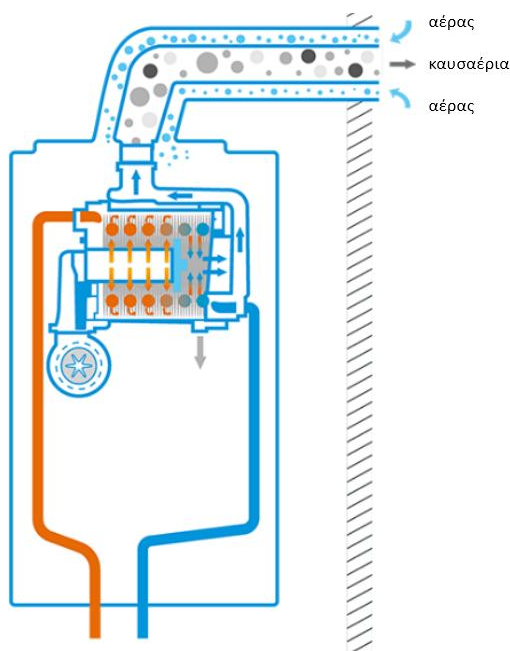
2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

2.3 Λέβητας

2.3.1 Γενική Περιγραφή

Στο λέβητα, νερό του οποίου η θερμοκρασία είναι επιθυμητό να ανέβει, κυκλοφορεί μέσα σε ένα σωλήνα στο εξωτερικό του οποίου πραγματοποιείται καύση κάποιου καυσίμου.

Εδώ θα χρησιμοποιηθεί λέβητας συμπίκνωσης, όπου αποτελεί και την πιο εξελιγμένη μορφή λέβητα [28]. Σε σχέση με τους συμβατικούς λέβητες, στο λέβητα συμπίκνωσης αξιοποιείται και η λανθάνουσα θερμότητα που προκύπτει από την υγροποίηση του ατμού στα καυσαέρια, καθώς τα καυσαέρια κατεβαίνουν σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Για αυτό το λόγο, το πιο σύνηθες καύσιμο στους λέβητες συμπίκνωσης είναι το φυσικό αέριο και όχι το πετρέλαιο στο οποίο η πτώση θερμοκρασίας των καυσαερίων του οδηγεί στη δημιουργία οξέων τα οποία καταστρέφουν το λέβητα με διάβρωση.



Εικόνα 14: Αναπαράσταση λέβητα συμπίκνωσης αερίου [29]

2.3.2 Περιγραφή Μοντέλου και Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Για τον λέβητα χρησιμοποιείται μοντέλο στο οποίο ο βαθμός απόδοσης καύσης και ο συνολικός βαθμός απόδοσης του λέβητα θεωρείται σταθερός και δίνεται από τον χρήστη όντας ανεξάρτητος από τις συνθήκες της ροής του ρευστού που εισέρχεται στο λέβητα, όπως περιγράφεται στο [30].

Στο μοντέλο αυτό δίνεται η επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου του ρευστού και υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια που πρέπει να μεταφερθεί στο ρευστό ώστε να επιτευχθεί αυτή η θερμοκρασία.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αναλυτικά οι καταστάσεις λειτουργίας στις οποίες μπορεί να βρεθεί ο λέβητας.

Μηδενική Ροή

Όταν η εισερχόμενη ροή είναι ίση με το 0 τότε αυτόματα το μοντέλο μηδενίζει τη ροή εξόδου, την ενέργεια που μεταφέρεται στο ρευστό, την ενέργεια που καταναλώνεται

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

(καύσιμο) και η θερμοκρασία εισόδου θεωρείται ίση με την θερμοκρασία εξόδου. Τα παραπάνω ισχύουν και στην περίπτωση που το σήμα λειτουργίας του συστήματος είναι 1 (δηλαδή η συσκευή λειτουργεί).

Σήμα Λειτουργίας 0 (σύστημα ανενεργό)

Σε αυτή την περίπτωση ισχύουν σχεδόν τα ίδια με την προηγούμενη περίπτωση. Η παροχή εξόδου θεωρείται ίση με της εισόδου καθώς και οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του ρευστού ταυτίζονται. Η θερμότητα που μεταφέρεται στο ρευστό καθώς και η απαιτούμενη ενέργεια (καύσιμο) θεωρούνται 0.

Κανονική Λειτουργία

Αυτή είναι η περίπτωση κατά την οποία υπάρχει ροή μέσω του συστήματος και το σήμα λειτουργίας είναι 1. Αρχικά υπολογίζεται η απαιτούμενη θερμική ισχύς για να φτάσει το ρευστό στην έξοδο του στη θερμοκρασία που έχει οριστεί T_{set} . Η θερμοκρασία T_{set} έχει οριστεί στους 50 °C. Η απαιτούμενη θερμική ισχύς προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\dot{Q}_{need} = m_{fluid} c_{pfluid} (T_{set} - T_{in}) \quad (2.15)$$

Η μέγιστη τιμή της \dot{Q}_{need} καθορίζεται από την ονομαστική ισχύ του λέβητα η οποία θεωρήθηκε ίση με $\dot{Q}_{max}=15$ kW. Επομένως, όταν ισχύει $\dot{Q}_{need} < \dot{Q}_{max}$ η θερμική ισχύς που μεταφέρεται στο ρευστό \dot{Q}_{fluid} είναι ίση με την \dot{Q}_{need} .

Το μοντέλο διαθέτει ένα εσωτερικό σύστημα ελέγχου το οποίο επιτρέπει να μεταφερθεί στο ρευστό μόνο η αναγκαία θερμότητα ώστε η θερμοκρασία εξόδου να φτάσει την T_{set} . Για να γίνει αυτό, ο λέβητας λειτουργεί σε μερικό φορτίο το οποίο υπολογίζεται ως εξής:

$$PLR = \frac{\dot{Q}_{need}}{\dot{Q}_{max}} \quad (2.16)$$

Στην περίπτωση που απαιτούμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική ενέργεια του λέβητα ο συντελεστής μερικού φορτίου γίνεται ίσος με 1 και η θερμοκρασία εξόδου από τον λέβητα γίνεται ίση με:

$$T_{out} = T_{in} + \frac{\dot{Q}_{max}}{m_{fluid} c_{pfluid}} \quad (2.17)$$

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

Η ενέργεια του καυσίμου προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$Q_{fuel} = \frac{Q_{fluid}}{\eta_{boiler}} \quad (2.18)$$

Η παροχή του ρευστού στο λέβητα έχει οριστεί ίση με 0.25 kg/hr.

2.4 Τερματικά

2.4.1 Γενική περιγραφή

Οι κύριες κατηγορίες τερματικών μονάδων στα συστήματα θέρμανσης είναι 3: α) ενδοδαπέδια θέρμανση, β) τερματικές μονάδες φυσικής κυκλοφορίας, γ) τερματικές μονάδες εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

α) Ενδοδαπέδια θέρμανση

Στο σύστημα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, η θερμότητα μεταφέρεται στο χώρο με σωλήνες, μέσω των οποίων κυκλοφορεί νερό. Οι σωλήνες βρίσκονται εγκατεστημένοι στο πάτωμα. Οι πιο συνήθεις τρόποι εγκατάστασης είναι δυο. Κατά τον πρώτο και πιο διαδεδομένο τρόπο, οι σωλήνες τοποθετούνται πάνω σε ένα στρώμα τσιμέντου, ενώ κατά το δεύτερο τρόπο, οι σωλήνες τοποθετούνται πάνω σε πλάκες μονωτικού υλικού και πάνω από τις σωλήνες τοποθετούνται φύλλα αλουμινίου ή γαλβανισμένου μετάλλου [31].

Η ενδοδαπέδια θέρμανση αποτελεί μία τεχνολογία με αυξανόμενη χρήση στην ευρωπαϊκή ένωση [31] καθώς χρησιμοποιεί νερό χαμηλής θερμοκρασίας με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας.

β) Καλοριφέρ

Το καλοριφέρ, ως τερματική μονάδα, είναι η πιο συνηθισμένη σε κατοικίες στην Ελλάδα. Το καλοριφέρ είναι ένα εναλλάκτης θερμότητας μέσα στον οποίο κυκλοφορεί ζεστό νερό και ζεσταίνει το χώρο. Το πρόβλημα με τα καλοριφέρ είναι ότι για να λειτουργήσουν απαιτούν, το νερό να κυκλοφορεί σε υψηλή θερμοκρασία, έτσι τα τελευταία χρόνια αναζητούνται τρόποι ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία του νερού [32]. Κάποιοι παράμετροι που είναι δυνατόν να οδηγήσουν στην κυκλοφορία νερού χαμηλότερης θερμοκρασίας είναι η αύξηση της επιφάνειας, άρα και του μεγέθους, του καλοριφέρ ή να αυξηθεί ο αριθμός των τερματικών μονάδων σε κάθε δωμάτιο [32].

γ) Τερματική Μονάδα Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας

Οι τερματικές μονάδες εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (Fan Coils Unit - FCU) αποτελούν το πιο συνηθισμένο τερματικό μέσο θέρμανσης και ψύξης στα κτήρια γραφείων [33]. Στην ουσία, το FCU αποτελεί ένα εναλλάκτη αέρα νερού. Αποτελείται από μία ή περισσότερες σειρές σωλήνων, μέσα στις οποίες κυκλοφορεί νερό, ενώ ένας ανεμιστήρας δημιουργεί μία ροή αέρα που ψύχεται ή θερμαίνεται. Τα FCU έχουν χρησιμοποιηθεί ως τερματικές μονάδες στις παρακάτω διατάξεις. Προφανώς στις διατάξεις που θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια τα FCU χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρου, άρα μέσα στο σωλήνα του κυκλοφορεί ζεστό νερό με σκοπό να ανέβει η θερμοκρασία της ροής του αέρα μέσω της μονάδας.

2.4.2 Περιγραφή Μοντέλου και Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται αποτελείται από ένα ανεμιστήρα με λειτουργία on/off και ένα σωλήνα από τον οποίο περνάει ρευστό που θερμαίνει τον αέρα. Το μοντέλο δίνει την δυνατότητα ανάμιξης του αέρα του χώρου με φρέσκο αέρα από τον περιβάλλον, όμως αυτό δεν χρησιμοποιείται στις παρακάτω διατάξεις.

Για τον υπολογισμό του ισοζυγίου ενέργειας μεταξύ της ροής του αέρα και της ροής του νερού εφαρμόζεται μία επαναληπτική διαδικασία. Αρχικά, θεωρείται ότι το νερό εξέρχεται

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

στη θερμοκρασία του αέρα επιστροφής στη μονάδα. Επομένως, προκύπτει η θερμοκρασιακή διαφορά του νερού και το ποσό ενέργειας που μεταφέρεται στη ροή του αέρα. Το μοντέλο προσδιορίζει τις τιμές της ενθαλπίας βάσει του ψυχομετρικού χάρτη.

$$Q_{fcu} = m_w (h_{air,in} - h_{air,out}) \quad (2.19)$$

Η νέα θερμοκρασία του νερού προκύπτει από τη σχέση :

$$T_{new} = T_{w,in} + \frac{Q_{fcu}}{m_w c_p} \quad (2.20)$$

Όταν οι θερμοκρασίες συγκλίνουν τότε προκύπτει και η τελική θερμοκρασία του νερού εξόδου άρα και η τελική ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται στον αέρα.

Στις παρακάτω διατάξεις έχει θεωρηθεί σταθερή ροή τόσο του νερού όσο και του αέρα στα FCU. Για να καθοριστούν οι παρακάτω τιμές χρησιμοποιήθηκε το [34] στο οποίο ελέγχθηκαν οι λόγοι μεταξύ παροχής αέρα και παροχής νερού. Ο λόγος παροχής αέρα (kg/s) προς παροχής νερού (kg/s) επιλέχθηκε να είναι ίσος με **0,86**. Ύστερα από δοκιμές ο συνδυασμός ο οποίος έδωσε την επιθυμητή θερμοκρασία στο κτήριο αλλά και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας ορίστηκε να είναι ο εξής: παροχή αέρα 0.48 kg/s και παροχή νερού 0.556 kg/s. Η τιμή της θερμοκρασία της ροής του νερού στην είσοδο των FCU έχει καθοριστεί να είναι 45 °C.

2.5 Σύστημα διανομής

2.5.1 Σωληνώσεις

Για τις διατάξεις που θα παρουσιαστούν παρακάτω θεωρήθηκε ιδανικό δίκτυο σωληνώσεων, δηλαδή χωρίς θερμικές απώλειες και απώλειες πίεσης. Στη είσοδο και στην έξοδο κάθε αγωγού η θερμοκρασία και πίεση του ρευστού θεωρείται η ίδια. Στις πραγματικές εγκαταστάσεις, βέβαια, κάτι τέτοιο δεν ισχύει καθώς παρατηρούνται θερμικές απώλειες αλλά και πτώση πίεσης, οι οποίες αποτελούν σημαντικές παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό της εγκατάστασης.

2.5.2 Κυκλοφορητές

Για την κυκλοφορία του ρευστού στο εκάστοτε κύκλωμα χρησιμοποιήθηκαν κυκλοφορητές. Το μοντέλο του κυκλοφορητή αντιπροσώπευε μία αντλία σταθερών στροφών. Η παροχή θεωρείται σταθερή και μεταβάλλεται μεταξύ της τιμής 0 και της καθορισμένης τιμής σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με το σήμα ελέγχου το οποίο παίρνει τις τιμές 0 ή 1. Σε αυτό το μοντέλο η παροχή και η θερμοκρασία εισόδου και εξόδου ταυτίζονται, χωρίς να μοντελοποιείται η μικρή αύξηση της θερμοκρασίας του ρευστού εξαιτίας της αντλίας.

2.5.3 Βαλβίδες ελέγχου

α) Αναμεικτική Βαλβίδα

Σε αυτή τη βαλβίδα 2 ροές ενώνονται μεταξύ τους και καταλήγουν σε μία. Ακόμα εκτός από τις θερμοκρασίες και τις παροχές 2 ροών απαιτείται και ως είσοδος ένα σήμα ελέγχου μεταξύ 0-1. Ανάλογα με το σήμα αυτό καθορίζεται πόσο ποσοστό θα περάσει από κάθε είσοδο. Δηλαδή, αν το σήμα ελέγχου έχει την τιμή $0 \leq c \leq 1$ και m_1 , m_2 και οι 2 ροές εισόδου με θερμοκρασίες T_1 , T_2 αντίστοιχα, τότε η παροχή και η θερμοκρασία εξόδου m_{out} , T_{out} θα προκύψουν από τις παρακάτω σχέσεις.

$$m_{out} = c * m_1 + (1 - c) * m_2 \quad (2.20)$$

$$T_{out} = c * T_1 + (1 - c) * T_2 \quad (2.21)$$

Και σε αυτή την περίπτωση οι απώλειες θεωρούνται αμελητέες.

β) Διαχωριστική Βαλβίδα

Σε αυτή την περίπτωση ως είσοδος στη βαλβίδα θεωρείται μία ροή νερού. Το μοντέλο έχει ως είσοδο τη θερμοκρασία και την παροχή του ρευστού και ένα σήμα ελέγχου μεταξύ 0-1. Αυτή η παροχή θα διαχωριστεί, ανάλογα με το σήμα, σε 2 ροές των οποίων το άθροισμα θα είναι ίσο με τη ροή στην είσοδο και η θερμοκρασία τους θα είναι ίδια και ίση με τη θερμοκρασία της ροής εισόδου. Άρα, αν m_{in} η παροχή εισόδου, m_1 και m_2 οι παροχές εξόδου θα ισχύει:

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

$$m_1 = c * m_{in} \quad (2.22)$$

$$m_2 = (1 - c) * m_{in} \quad (2.23)$$

$$T_{out} = T_{in} \quad (2.24)$$

Και σε αυτή την περίπτωση οι απώλειες θεωρούνται αμελητέες.

γ) Μείκτης

Σε αυτή τη βαλβίδα 2 ροές ενώνονται μεταξύ τους και καταλήγουν σε μία. Το μοντέλο δέχεται ως είσοδο μόνο τα χαρακτηριστικά των 2 ροών εισόδου (θερμοκρασία και παροχή). Οι 2 ροές αναμειγνύονται πλήρως και προκύπτει η ροή εξόδου. Αν m_1, m_2 οι 2 ροές εισόδου με θερμοκρασίες T_1, T_2 αντίστοιχα, τότε η παροχή και η θερμοκρασία εξόδου m_{out}, T_{out} θα προκύψουν από τις παρακάτω σχέσεις.

$$m_{out} = m_1 + m_2 \quad (2.25)$$

$$T_{out} = \frac{m_1 * T_1 + m_2 * T_2}{m_1 + m_2} \quad (2.26)$$

Και σε αυτή την περίπτωση οι απώλειες θεωρούνται αμελητέες.

2.6. Τεχνικές Ελέγχου

2.6.1 Θερμοστατικός Έλεγχος

Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο ελέγχου συγκρίνονται 2 θερμοκρασίες και παράγεται ένα σήμα ελέγχου, το οποίο είναι δυνατόν να πάρει την τιμή 0 ή 1. Ο θερμοστάτης δέχεται ως είσοδο 2 θερμοκρασίες, τις T_H και T_L και την τιμή εξόδου την οποία είχε την προηγούμενη χρονική στιγμή, γ_i . Ακόμα, ως χαρακτηριστικά σε κάθε θερμοστάτη δίνονται και 2 θερμοκρασιακές διαφορές οι οποίες καθορίζουν και την ευαισθησία του, οι ΔT_H και ΔT_L . Με βάση τα παραπάνω και τη μεθοδολογία που θα παρουσιαστεί παρακάτω προκύπτει και το σήμα γ_o σε κάθε χρονική στιγμή.

Η μεθοδολογία με την οποία υπολογίζεται το σήμα που δίνει ο θερμοστάτης είναι η εξής:

α) Αν την προηγούμενη χρονική στιγμή το σήμα εξόδου ήταν 1 ($\gamma_i=1$)

$$\text{Αν } \Delta T_L \leq (T_H - T_L), \gamma_o = 1 \quad (2.27)$$

$$\text{Αν } \Delta T_L > (T_H - T_L), \gamma_o = 0 \quad (2.28)$$

β) Αν την προηγούμενη χρονική στιγμή το σήμα εξόδου ήταν 0 ($\gamma_i=0$)

$$\text{Αν } \Delta T_H \leq (T_H - T_L), \gamma_o = 1 \quad (2.29)$$

$$\text{Αν } \Delta T_L > (T_H - T_L), \gamma_o = 0 \quad (2.30)$$

Ακόμα είναι δυνατόν να καθορισθεί και ένα όριο T_{MAX} το οποίο, όταν η θερμοκρασία T_H υπερβεί αυτό το όριο, το σήμα εξόδου γίνεται 0. Αυτός ο έλεγχος είναι πιο ισχυρός από τον προηγούμενο, δηλαδή ακόμα και αν ο πρώτος έλεγχος δώσει $\gamma_o=1$ αλλά ταυτόχρονα $T_H > T_{MAX}$ αυτόματα προκύπτει $\gamma_o=0$.

Ο θερμοστατικός έλεγχος εφαρμόζεται με 2 διαφορετικούς τρόπους στις παρακάτω διατάξεις.

2.6.1.1 Θερμοστατικός στις θερμοκρασίες των Συλλεκτών

Σε αυτή την περίπτωση ο θερμοστατικός έλεγχος εφαρμόζεται με σκοπό τον έλεγχο της κυκλοφορίας του νερού μέσα από τον ηλιακό συλλέκτη και τον εναλλάκτη θερμότητας μέσα στο δοχείο αποθήκευσης. Αναλυτικότερα, όταν το νερό στην έξοδο του συλλέκτη έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από το νερό στη θέση του δοχείου που βρίσκεται η είσοδος του εναλλάκτη θερμότητας μέσω του οποίου κυκλοφορεί το νερό από τον συλλέκτη (νυχτερινές ώρες ή συννεφιά), τότε θα πρέπει να διακοπεί η κυκλοφορία του. Για να εφαρμοστεί το παραπάνω, η θερμοκρασία T_L αντιστοιχίζεται με τη θερμοκρασία μέσα στο δοχείο

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

αποθήκευσης, η θερμοκρασία T_H αντιστοιχίζεται με τη θερμοκρασία εξόδου από τον συλλέκτη και ορίζεται $\Delta T_H = \Delta T_L = 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Ακόμα για την αποφυγή της κυκλοφορία ατμού μέσα στο κύκλωμα ορίζεται $T_{MAX} = 95 \text{ }^\circ\text{C}$. Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω η κυκλοφορία του νερού μέσα στον συλλέκτη ξεκινάει όταν η θερμοκρασία εξόδου είναι κατά 2 βαθμούς υψηλότερη από τη θερμοκρασία στη εξεταζόμενη θέση του δοχείου αποθήκευσης και δεν θα σταματήσει μέχρις ότου η θερμοκρασία εξόδου από τον συλλέκτη γίνει κατά 2 βαθμούς χαμηλότερη από την θερμοκρασία στο δοχείο. Το εύρος αυτό των θερμοκρασιών χρησιμοποιείται έτσι ώστε η λειτουργία του συστήματος να είναι πιο ομαλή και να μην αλλάζει πολλές φορές σε κάθε χρονικό βήμα η τιμή εξόδου του διαφορικού θερμοστάτη. Κάτι τέτοιο δεν είναι επιθυμητό καθώς θα οδηγούσε σε αδυναμία σύγκλισης του μοντέλου. Ακόμα, το παραπάνω εύρος βρίσκεται πιο κοντά στην λειτουργία των αναλογικών διαφορικών θερμοστατών, οι οποίοι θεωρείται ότι χρησιμοποιούνται και στις παρακάτω διατάξεις.

2.6.1.2 Θερμοστατικός Έλεγχος για την θερμοκρασία του Χώρου

Σε αυτήν την περίπτωση ο θερμοστατικός έλεγχος χρησιμοποιείται έτσι ώστε η θερμοκρασία του χώρου να βρίσκεται μέσα σε ένα εύρος θερμοκρασιών και όταν γίνεται μεγαλύτερη η μικρότερη από αυτό το εύρος να δίνεται σήμα να σταματήσει η να ξεκινήσει αντίστοιχα η θέρμανση. Το εύρος αυτό έχει καθοριστεί να είναι $18 \text{ }^\circ\text{C} - 22 \text{ }^\circ\text{C}$.

Για να εφαρμοστεί αυτό, η θερμοκρασία του χώρου έχει αντιστοιχιστεί με την θερμοκρασία T_L , η θερμοκρασία T_H έχει καθοριστεί να είναι $20 \text{ }^\circ\text{C}$, αποτελώντας την επιθυμητή θερμοκρασία στον χώρο και ορίζεται $\Delta T_H = -\Delta T_L = 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.6.2 Επαναληπτικός Ελεγκτής Ανάδρασης

Αυτή η μέθοδος ελέγχου χρησιμοποιείται έτσι ώστε μία παράμετρος γ να ελέγχεται, συγκλίνοντας όσο το δυνατόν περισσότερο στην τιμή γ_{set} . Για να επιτευχθεί αυτό ο ελεγκτής δίνει ως έξοδο μία παράμετρο u , η οποία επηρεάζει την τιμή της παραμέτρου γ . Έτσι υπολογίζεται και το σφάλμα e ως η τιμή της διαφοράς του γ από γ_{set} .

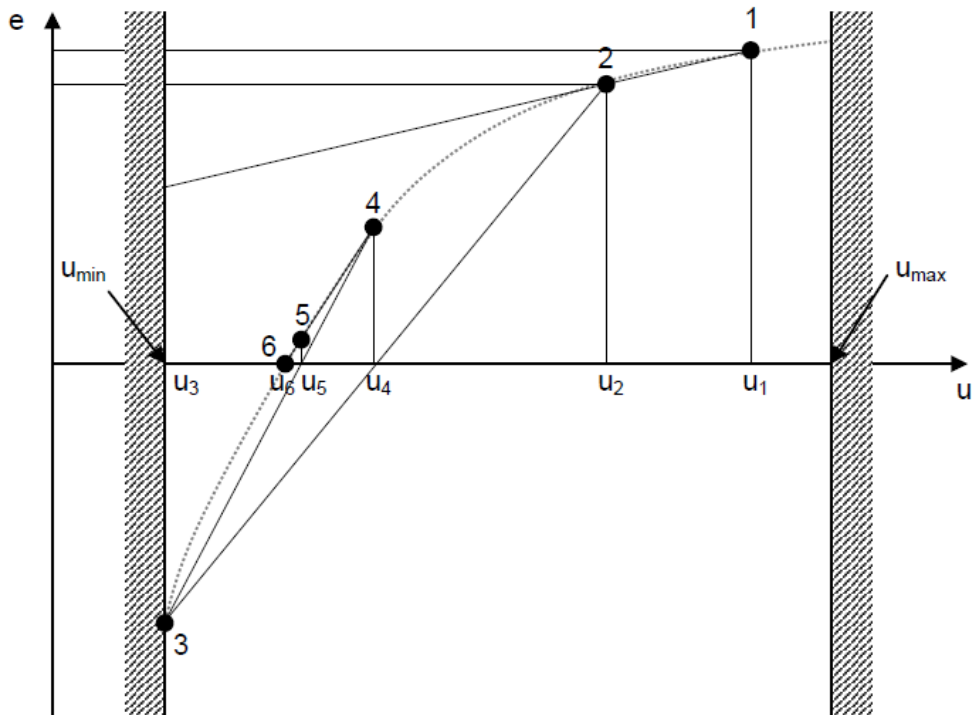
Η ελαχιστοποίηση του σφάλματος γίνεται με μια επαναληπτική διαδικασία σε κάθε βήμα με σκοπό τον προσδιορισμό της καταλληλότερης τιμής u . Αρχικά, υπολογίζονται 2 τιμές εξόδου, οι οποίες επιλέγονται από το μοντέλο με σκοπό να ξεκινήσει η επαναληπτική διαδικασία. Στη συνέχεια, οι 2 τιμές του u με τις αντίστοιχες τιμές σφάλματος αποθηκεύονται. Κατόπιν, το μοντέλο χρησιμοποιεί τη μέθοδο της τέμνουσας ώστε να βρεθεί η τιμή του u , η οποία ελαχιστοποιεί το σφάλμα e . Να σημειωθεί ότι σαν παράμετρο σε αυτό το μοντέλο δίνεται και ένα εύρος τιμών για την μεταβλητή u που περιορίζεται από τις τιμές u_{min} και u_{max} .

Οι συντεταγμένες των σημείων 1,2,3,4,5 και 6 αποτελούνται από την τιμή u και το αντίστοιχο σφάλμα που προκύπτει. Σε κάθε περίπτωση, η επόμενη τιμή του u προκύπτει ως το σημείο τομής της ευθείας που σχηματίζεται από τα 2 προηγούμενα σημεία με τον οριζόντιο άξονα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω.

Η διαδικασία τερματίζεται όταν η τιμή του σφάλματος γίνει μικρότερη από μία τιμή η οποία καθορίζεται από τον χρήστη.

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

Για να γίνει πιο κατανοητή η παραπάνω τεχνική ελέγχου, θα αναφερθεί η εφαρμογή της στις παρακάτω διατάξεις. Ο επαναληπτικός ελεγκτής ανάδρασης χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των αναμεικτικών βαλβίδων. Η τιμή y_{set} ορίζεται η επιθυμητή τιμή της θερμοκρασίας εξόδου από τη βαλβίδα, ενώ το σήμα εξόδου του ελεγκτή δίνεται ως σήμα ελέγχου της βαλβίδας. Έτσι, με το παραπάνω τρόπο ελέγχεται το κατά πόσο θα περνάει παροχή από την κάθε ροή και προκύπτει το επιθυμητό αποτέλεσμα.



Εικόνα 15: Περιγραφή μεθόδου τέμνουσας για τον Επαναληπτικό Ελεγκτή Ανάδρασης

Το παραπάνω μοντέλο χρησιμοποιείται για να προσομοιωθεί η λειτουργία ενός PID (Proportional–Integral–Derivative) controller, καθώς η παραπάνω τιμή που προκύπτει προσεγγίζει την τιμή που θα έδινε ένας PID ελεγκτής στη μόνιμη κατάσταση. Ο έλεγχος αυτός επιλέχθηκε καθώς, αποτελεί τη βέλτιστη για μοντελοποίηση συστημάτων με μεγάλα χρονικά διαστήματα.

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

2.7 Μοντέλο Κτηρίου – Προφίλ Ζήτησης ZNX

2.7.1 Γενική Περιγραφή

Σκοπός όλων των διατάξεων που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια αλλά και όλων των συστημάτων που αναλύθηκαν παραπάνω είναι η θέρμανση ενός σπιτιού και η παραγωγή ZNX. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μία περιγραφή του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για το κτήριο και τον τρόπο με τον οποίο προσδιορίστηκαν οι παράμετροί του, όπως επίσης και θα παρουσιαστεί το προφίλ ζήτησης του ZNX και ο τρόπος με το οποίο υπολογίστηκε.

2.7.2 Περιγραφή Μοντέλου Κτηρίου και Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Για το μοντέλο του κτηρίου χρησιμοποιήθηκε ένα απλό μοντέλο. Σε αυτό θεωρείται ότι όλο το εσωτερικό του κτηρίου έχει μία ενιαία θερμοκρασία, ένα ολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας και επίσης η θερμοχωρητικότητα του κτηρίου δίνεται ως μία παράμετρος.

Ο εξαερισμός του κτηρίου αλλά και τα ηλιακά κέρδη δεν εξετάζονται, όπως επίσης και τα φορτία από φωτισμό και από τους ανθρώπους. Η ζήτηση του κτηρίου προκύπτει από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού του κτηρίου και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Για τον υπολογισμό του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο μία μονοκατοικία 115 m² της οποίας τα στοιχεία λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων η οποία έχει δημιουργηθεί από το πρόγραμμα TABULA. Το κτήριο αποτελεί μονοκατοικία περιόδου κατασκευής από το 1980-2000 και βρίσκεται στην κλιματική ζώνη Β, στην οποία βρίσκεται και η Αθήνα, της οποίας τα κλιματικά δεδομένα χρησιμοποιούνται στους παρακάτω υπολογισμούς.

Για να προκύψει ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας λήφθηκαν οι παρακάτω τιμές για τους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας κάθε εξωτερικής επιφάνειας του σπιτιού, καθώς και η αντίστοιχη επιφάνεια.

Πίνακας 2: Συντελεστής Μετάδοσης Θερμότητας για τις επιφάνειες του κτηρίου

	Επιφάνεια (m ²)	U (W/ m ² k)
Οροφή	135	0.5
Τοίχος	136.8	0.7
Δάπεδο (πάνω από πυλωτή)	90	0.5
Παράθυρα	26.8	4.1
Δάπεδο (πάνω σε έδαφος)	45	1.21

Έτσι, η τιμή του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας προέκυψε από την παρακάτω σχέση, όπου ο i αναφέρεται στις παραπάνω επιφάνειες εκτός από το δάπεδο πάνω από το έδαφος το οποίο θα εξεταστεί στη συνέχεια:

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

$$U = \frac{\sum U_i A_i}{\sum A_i} \quad (2.29)$$

Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτηρίου για κάθε χρονική στιγμή προκύπτει από την επίλυση της παρακάτω διαφορικής εξίσωσης:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{UA}{C_{ap}}(T_a - T) + \sum Q_{gains} \quad (2.32)$$

Ως C_{ap} θεωρείται η συνολική θερμοχωρητικότητα του κτηρίου, η οποία λήφθηκε ίση με 25300 KJ/K.

Ως Q_{gains} θεωρείται οποιαδήποτε άλλη συναλλαγή θερμότητας, δηλαδή η θερμότητα που μεταφέρεται στο χώρο από τα FCU και η απώλεια θερμότητας από το δάπεδο του κτηρίου.

Για τις απώλειες από το έδαφος θεωρείται ότι πραγματοποιείται συναλλαγή μεταξύ του εδάφους και του εσωτερικού του χώρου. Ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας λαμβάνεται ίσος με $U_{floor} = 1.21 \text{ W/m}^2\text{K}$, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ενώ η θερμοκρασία του εδάφους λαμβάνεται από τον KENAK [35] και θεωρείται ίση με την θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος 0.5 m, η οποία ταυτίζεται με τη θερμοκρασία του νερού από το δίκτυο. Η απώλεια θερμότητας από το έδαφος προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$Q_{ground} = U_{ground}(T_{ground} - T) \quad (2.33)$$

2.7.3 Περιγραφή Προφίλ Ζήτησης ZNX

Η παρακάτω περιγραφή του προφίλ ζήτησης ZNX βασίζεται στο [36] από το οποίο χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω πίνακας.

Πίνακας 3: Προφίλ Ζήτησης ZNX

	Ώρα εκκίνησης ζήτησης	Ενέργεια (kWh)	Παροχή (l/min)	Τύπος Ζήτησης
1	7:00	0.105	3	Μικρή
2	7:05	1.4	6	Ντουζ
3	7:30	0.105	3	Μικρή
4	7:45	0.105	3	Μικρή
5	8:05	3.605	6	Μπάνιο
6	8:25	0.105	3	Μικρή
7	8:30	0.105	3	Μικρή
8	8:45	0.105	3	Μικρή
9	9:00	0.105	3	Μικρή

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

10	9:30	0.105	3	Μικρή
11	10:30	0.105	3	Σφουγγάρισμα
12	11:30	0.105	3	Μικρή
13	11:45	0.105	3	Μικρή
14	12:45	0.315	4	Πλύσιμο Πιάτων
15	14:30	0.105	3	Μικρή
16	15:30	0.105	3	Μικρή
17	16:30	0.105	3	Μικρή
18	18:00	0.105	3	Μικρή
19	18:15	0.105	3	Καθάρισμα Σπιτιού
20	18:30	0.105	3	Καθάρισμα Σπιτιού
21	19:00	0.105	3	Μικρή
22	20:30	0.735	4	Πλύσιμο Πιάτων
23	21:00	3.605	6	Μπάνιο
24	21:30	0.105	3	Μικρή

Στον πίνακα αυτό αναφέρεται η ώρα στην οποία ξεκινάει κάποια ζήτηση την απαιτούμενη ενέργεια για κάθε ζήτηση και ο τύπος της.

Ακόμα, κάθε τύπος ζήτησης συνοδεύεται και από μία επιθυμητή θερμοκρασιακή διαφορά η οποία παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 4: Περιγραφή Τύπων Ζήτησης ZNX

Τύπος	ΔΤ
Μικρή	15
Ντουζ	30
Σφουγγάρισμα	30
Πλύσιμο Πιάτων	45
Καθάρισμα Σπιτιού	30

Με βάση τους 2 παραπάνω πίνακες υπολογίζεται η διάρκεια της ζήτησης καθώς αυτή δεν αναφέρεται σε αυτούς. Ο μόνος τρόπος για να υπολογιστεί η χρονική διάρκεια της ζήτησης είναι να προκύψει από τις δοσμένες τιμές της ενέργειας ανά ζήτηση, της παροχής και της θερμοκρασιακής διαφοράς για κάθε τύπο ζήτησης.

$$\Delta t_z = \frac{Q_z}{m_z \Delta T_z} \quad (2.34)$$

Με βάση την σχέση (2.32) προκύπτουν οι παρακάτω τιμές για τη διάρκεια της ζήτησης.

2. Περιγραφή Υποσυστημάτων και Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

Πίνακας 5: Διάρκεια Ζήτησης για κάθε Τύπο

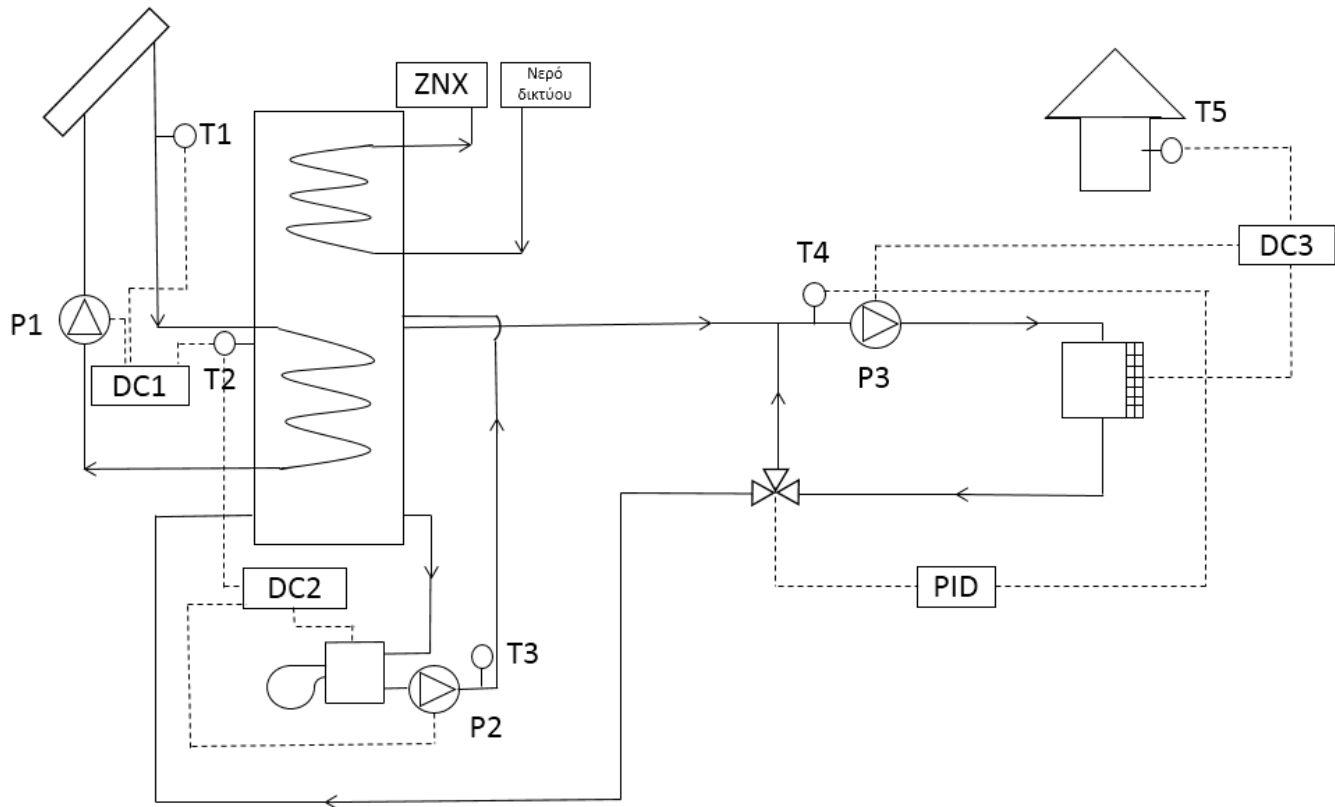
Τύπος	ΔΤ	Kwh	παροχή (Kg/min)	Δt (s)
Μικρή	15	0.105	3	120.3726
Ντουζ	30	1.4	6	401.2419
Σφουγγάρισμα	30	0.105	3	60.18629
Πλύσιμο Πιάτων	45	0.315	4	90.27944
Καθάρισμα Σπιτιού	30	0.105	3	60.18629

Άρα, με βάση την ώρα την οποία ξεκινάει η ζήτηση και τη χρονική της διάρκεια, προκύπτει και το προφίλ ζήτησης του ΖΝΧ.

3. Περιγραφή Διατάξεων

3. Περιγραφή Διατάξεων

3.1 Διάταξη 1



Εικόνα 16: Σχηματική Απεικόνιση Διάταξης 1

Πίνακας 6: Περιγραφή Ελεγκτών Διάταξης 1

Ελεγκτής	Ελεγχόμενες Μεταβλητές	Λειτουργία	Σημείο Λειτουργίας
DC1	T1, T2	Σήμα λειτουργίας σε P1	-
DC2	T2	Σήμα λειτουργίας σε Λέβητα	45 °C
DC3	T5	Λειτουργία Θέρμανσης	20 °C
PID	T4	Έλεγχος θερμοκρασίας στην είσοδο του FCU	45 °C ή Ανάλογα με καμπ. Αντιστάθμισης

Η διάταξη αυτή αποτελείται από ένα δοχείο αποθήκευσης νερού συνολικού όγκου 1 m³, το οποίο είναι εξοπλισμένο από 2 εναλλάκτες θερμότητας, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω. Ο ένας εναλλάκτης θερμότητας βρίσκεται ψηλά στο δοχείο (στους κόμβους 1,2 και 3) με σκοπό τη θέρμανση του νερού του δικτύου και την παραγωγή ZNX.

Για τον προσδιορισμό της ενέργειας που απαιτείται για το ZNX, το νερό που εξέρχεται από τον εναλλάκτη αναμειγνύεται με νερό από το δίκτυο ώστε να προκύπτει θερμοκρασία 40 °C στην έξοδο. Η παροχή του ZNX που παρουσιάστηκε παραπάνω αναφέρεται στη συνολική παροχή του νερού από τον εναλλάκτη θερμότητας και από το δίκτυο.

Ο δεύτερος εναλλάκτης θερμότητας βρίσκεται στους κόμβους 5,6 και 7. Μέσα από αυτόν τον εναλλάκτη κυκλοφορεί το νερό από τους ηλιακούς συλλέκτες. Ο έλεγχος για το αν το νερό κυκλοφορεί ή όχι γίνεται με τον διαφορικό θερμοστάτη DC1, ο οποίος δίνει το σήμα λειτουργίας στην αντλία P1. Ο έλεγχος που πραγματοποιείται περιγράφεται αναλυτικά στη παράγραφο 2.6.1.1, δηλαδή πραγματοποιείται σύγκριση των θερμοκρασιών T1 (θερμοκρασία εξόδου από τον ηλιακό συλλέκτη) και T2 (θερμοκρασία στη μέση του δοχείου, στον κόμβο 5) και δίνεται το κατάλληλο σήμα ελέγχου.

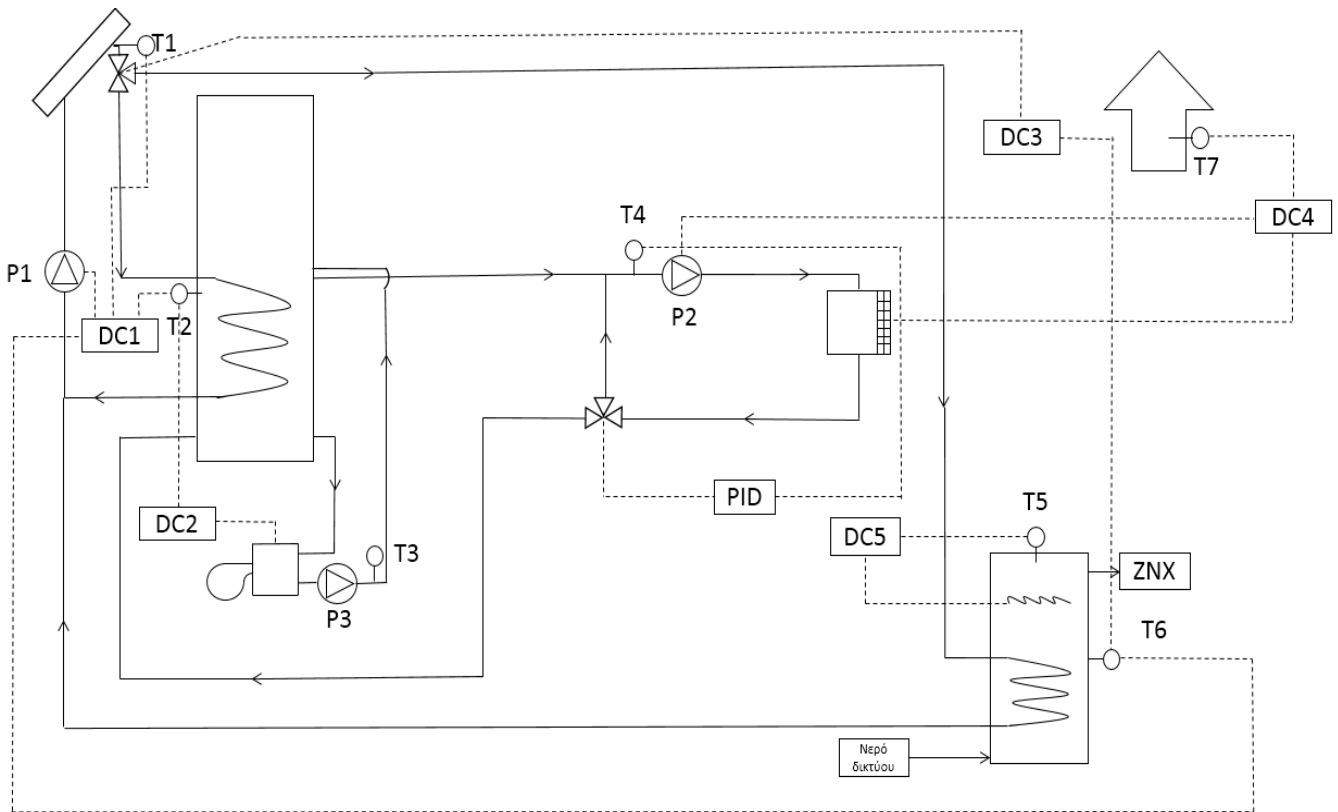
Η λειτουργία του καυστήρα ελέγχεται από τον διαφορικό θερμοστάτη DC2. Όταν η θερμοκρασία T2 πέσει κάτω από τους 43 °C τότε ξεκινά η κυκλοφορία του νερού μέσα από το λέβητα και η λειτουργία του λέβητα. Η κυκλοφορία του νερού θα σταματήσει όταν η θερμοκρασία T2 ξεπεράσει τους 47 °C. Πρακτικά, όταν ο διαφορικός θερμοστάτης DC2 δώσει σήμα στην αντλία P2 και ξεκινήσει, θα αρχίσει και η λειτουργία του λέβητα με τον τρόπο που περιεγράφηκε στην παράγραφο 2.3.2 έτσι ώστε η θερμοκρασία T3 να παραμένει σταθερή στην καθορισμένη τιμή των 50 °C. Το νερό από το δοχείο εξέρχεται από τον κόμβο 10, δηλαδή το χαμηλότερο σημείο του δοχείου και στην συνέχεια, αφού περάσει από τον λέβητα επιστρέφει στο δοχείο από τον κόμβο 5.

Η λειτουργία τόσο της αντλίας P3 αλλά και του ανεμιστήρα του FCU ελέγχεται από το διαφορικό θερμοστάτη DC3, με την λειτουργία του να περιγράφεται αναλυτικότερα στη παράγραφο 2.6.1.2, δηλαδή όταν η θερμοκρασία T5 πέσει κάτω από 18 °C, δίνει σήμα να ξεκινήσουν να λειτουργούν οι 2 παραπάνω συσκευές, ενώ όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 22 °C, η λειτουργία του σταματά.

Επιπλέον, η θερμοκρασία T4 ελέγχεται με τη χρήση της διαχωριστικής βαλβίδας και τον ελεγκτή PID. Ανάλογα με την θερμοκρασία της ροής του νερού από το δοχείο, η οποία θεωρείται ότι εξέρχεται από αυτό από τον κόμβο 5, και τη θερμοκρασία επιστροφής από τα FCU, ο ελεγκτής δίνει το κατάλληλο σήμα ελέγχου έτσι ώστε οι ανάμειξη των 2 παραπάνω παροχών να οδηγήσει σε μία θερμοκρασία όσο το δυνατόν πιο κοντά στους 45 °C, που έχει οριστεί να είναι το σημείο λειτουργίας. Το σήμα που δίνεται από τον ελεγκτή καθορίζει το ποσοστό από κάθε παροχή από το οποίο θα αποτελείται η παροχή που θα περάσει μέσα από το FCU. Με τον παραπάνω τρόπο επιτυγχάνεται από την μία, εξοικονόμηση ενέργειας καθώς εξέρχεται λιγότερη ποσότητα νερού από το δοχείο αποθήκευσης, αλλά επιτυγχάνονται και συνθήκες άνεσης στο χώρο καθώς η πολύ υψηλή θερμοκρασία του εξερχόμενου αέρα οδηγεί σε πτώση της υγρασίας του χώρου κάτω από το επιθυμητό επίπεδο.

3. Περιγραφή Διατάξεων

3.2 Διάταξη 2



Εικόνα 17: Σχηματική Απεικόνιση Διατάξης 2

Πίνακας 7: Περιγραφή Ελεγκτών Διατάξης 1

Ελεγκτής	Ελεγχόμενες Μεταβλητές	Λειτουργία	Σημείο Λειτουργίας
DC1	T1, T6 ή T1, T2	Σήμα λειτουργίας στον P1 ανάλογα με την ροή του νερού των συλλεκτών	-
DC2	T2	Σήμα Λειτουργίας Λέβητα	45 °C
DC3	T1, T6	Έλεγχος τρίοδης για το νερό των συλλεκτών	45 °C
DC4	T7	Λειτουργία Θέρμανσης	20 °C
DC5	T5	Λειτουργία Ηλ. Αντίστασης	40 °C
PID	T4	Έλεγχος θερμοκρασίας στην είσοδο του FCU	45 °C ή Ανάλογα με καμπ. Αντιστάθμισης

Σε αυτή την διάταξη χρησιμοποιούνται 2 δοχεία αποθήκευσης νερού. Ένα δοχείο 0.8 m³, το οποίο τροφοδοτεί το FCU για την θέρμανση της κατοικίας, και ένα 0.2 m³, το οποίο τροφοδοτεί με ZNX, με τα χαρακτηριστικά που έχουν αναφερθεί παραπάνω.

Η ροή του νερού του συλλέκτη, περνάει είτε μέσα από τον εναλλάκτη θερμότητας του δοχείου του ZNX, είτε από τον εναλλάκτη του δοχείου της θέρμανσης. Προτεραιότητα δίνεται στο δοχείου το ZNX, δηλαδή, όταν η θερμοκρασία T6, η οποία μετρείται στον κόμβο 2 του δοχείου, ξεπεράσει τους 49 °C, τότε το νερό από τους συλλέκτες θα κυκλοφορεί από τον εναλλάκτη του μεγάλου δοχείου αποθήκευσης. Η κυκλοφορία του νερού θα ξεκινήσει να κυκλοφορεί πάλι μέσα από τον εναλλάκτη του δοχείου του ZNX όταν η θερμοκρασία T6 πέσει κάτω από τους 45 °C. Η παραπάνω λειτουργία επιτυγχάνεται με τη χρήση του διαφορικού θερμοστάτη DC3 και μίας διαχωριστικής βαλβίδας.

Επίσης ένας ακόμα διαφορικός θερμοστάτης, ο DC 1, ελέγχει το αν θα λειτουργεί η αντλία P1 η οποία τροφοδοτεί τους ηλιακούς συλλέκτες και ένας από τους δύο εναλλάκτες κάθε φορά με νερό. Αν το νερό με βάση τον παραπάνω έλεγχο, έχει επιλεγεί να κυκλοφορεί από τον εναλλάκτη του δοχείου του ZNX τότε συγκρίνεται η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τους συλλέκτες με τη θερμοκρασία T6, ενώ στην περίπτωση που το νερό έχει επιλεγεί να κυκλοφορήσει από τον εναλλάκτη του δοχείου θέρμανσης, τότε η θερμοκρασία που θα συγκριθεί με τη θερμοκρασία εξόδου του νερού από τους συλλέκτες θα είναι η θερμοκρασία T2. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας T2 ή T6 με την θερμοκρασία εξόδου του νερού από τους συλλέκτες και η εντολή που θα δοθεί γίνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο με την παραπάνω διάταξη. Συγκεκριμένα, αν c είναι η τιμή εξόδου τους διαφορικού θερμοστάτη DC3, τότε ως είσοδος στο διαφορικό θερμοστάτη DC1 δίνεται ασφαλώς η θερμοκρασία T1, που είναι η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τους συλλέκτες, και η τιμή $c*T6+(1-c)*T2$.

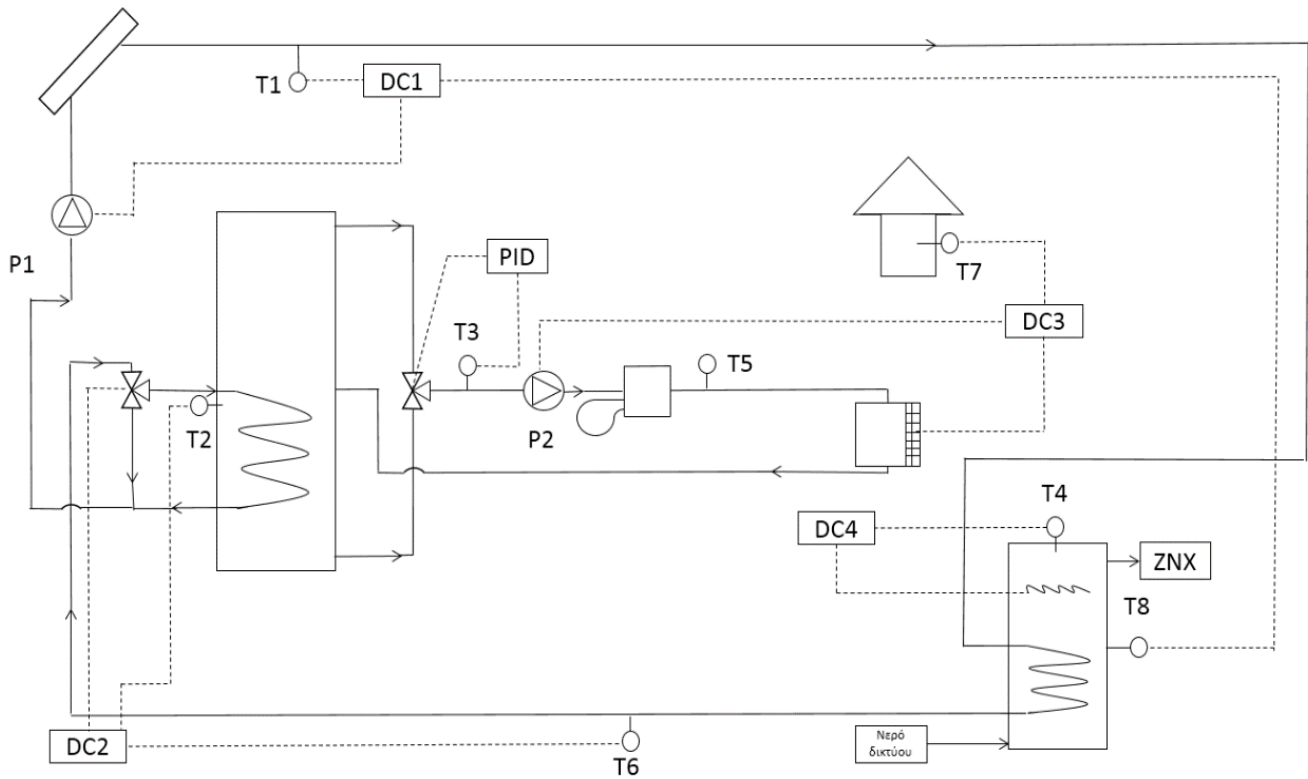
Στο δοχείο του ZNX, το νερό του δικτύου εισέρχεται από τον χαμηλότερο μέρος του δοχείου, δηλαδή από τον κόμβο 10 και εξέρχεται από το υψηλότερο σημείο, από τον κόμβο 1. Ο Εναλλάκτης θερμότητας βρίσκεται χαμηλά στο δοχείο στους κόμβους 5 και 6. Το νερό και σε αυτή τη διάταξη αναμιγνύεται με νερό δικτύου ώστε η θερμοκρασία που θα προκύπτει για την τελική παροχή του ZNX να είναι 40 °C.

Ακόμα, με παρόμοιο τρόπο με την παραπάνω διάταξη λειτουργεί και ο έλεγχος της λειτουργίας των FCU και της αντλίας P2, η λειτουργία του λέβητα αλλά και στην ίδια θέση βρίσκεται ο εναλλάκτης στο δοχείο αποθήκευσης νερού για θέρμανση.

Συνοψίζοντας, η διαφορά αυτής της διάταξης με την παραπάνω είναι σαφώς η ύπαρξη 2 δοχείων αλλά και ο έλεγχος της παροχής του νερού από τους συλλέκτες. Δηλαδή, αρχικά, επιλέγεται από ποιον εναλλάκτη θα περάσει το νερό των συλλεκτών και στη συνέχεια, ελέγχεται αν το νερό των συλλεκτών είναι σε υψηλότερη θερμοκρασία από τη θέση στο εκάστοτε δοχείο στο οποίο βρίσκεται ο εναλλάκτης θερμότητας.

3. Περιγραφή Διατάξεων

3.3 Διάταξη 3



Εικόνα 18: Σχηματική απεικόνιση Διάταξης 3

Πίνακας 8: Περιγραφή Ελεγκτών Διάταξης 3

Ελεγκτής	Ελεγχόμενες Μεταβλητές	Λειτουργία	Σημείο Λειτουργίας
DC1	T1, T8	Σήμα λειτουργίας σε P1	-
DC2	T2, T6	Έλεγχος τρίοδης βαλβίδας	-
DC3	T7	Λειτουργία Θέρμανσης	20 °C
DC4	T4	Λειτουργία Ηλ. Αντίστασης	40 °C
PID	T3	Έλεγχος θερμοκρασίας στην είσοδο του FCU	45 °C ή Ανάλογα με καμπ. Αντιστάθμισης

Και σε αυτή την διάταξη χρησιμοποιούνται 2 δοχεία αποθήκευσης νερού με τους εναλλάκτες στις ίδιες ακριβώς θέσεις όπως και στην διάταξη 2. Η κυκλοφορία του νερού από τους συλλέκτες όμως είναι διαφορετική. Σε αυτή την περίπτωση η ροή που ακολουθεί το νερό από τους συλλέκτες περνάει πρώτα από τον εναλλάκτη στο δοχείο για το ZNX και στη συνέχεια από τον εναλλάκτη του δοχείου για τη θέρμανση.

Η παραπάνω διαδικασία ελέγχεται από 2 διαφορικούς θερμοστάτες, τον DC1 και τον DC2. Στο διαφορικό θερμοστάτη DC1 ελέγχεται η θερμοκρασία T8, η οποία είναι η θερμοκρασία του δοχείου στον κόμβο 5, με τη θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον συλλέκτη και με τον ίδιο τρόπο που γίνεται και στις παραπάνω διατάξεις τίθεται σε λειτουργία η αντλία P1. Στη συνέχεια, στον διαφορικό θερμοστάτη DC2 ελέγχεται αν η ροή του νερού θα περάσει μέσα και από τον εναλλάκτη του δοχείου για θέρμανση. Αν η θερμοκρασία T6, η οποία είναι η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον εναλλάκτη του δοχείου για το ZNX είναι κατά 2 °C μεγαλύτερη από την θερμοκρασία T2, η οποία είναι η θερμοκρασία στον κόμβο 5 του δοχείου, τότε το νερό κυκλοφορεί μέσα από τον εναλλάκτη, μέχρις ότου η θερμοκρασία T6 να γίνει 2 °C μικρότερη από την T2. Ο έλεγχος της ροής γίνεται με την χρήση μίας διαχωριστικής βαλβίδας, στην οποία σύμφωνα με τον παραπάνω έλεγχο, δίνεται σήμα και η ροή του νερού είτε οδηγείται στον εναλλάκτη θερμότητας, είτε οδηγείται κατευθείαν στην είσοδο της αντλίας P1.

Με την παραπάνω διαδικασία, το νερό από τους συλλέκτες ζεσταίνει το νερό του δοχείου για το ZNX και στη συνέχεια, αφού εξέρχεται από τον εναλλάκτη σε χαμηλότερη θερμοκρασία, προθερμαίνει το νερό του δοχείου για τη θέρμανση. Το νερό αυτό ασφαλώς δεν είναι στην κατάλληλη θερμοκρασία για να τροφοδοτήσει το σύστημα της θέρμανσης, για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται και ένας λέβητας.

Η τροφοδοσία του νερού στο λέβητα γίνεται από 2 σημεία του δοχείου, από μία έξοδο του στην κορυφή και από μία έξοδο στον πάτο του δοχείου, δηλαδή από τους κόμβους 1 και 10 αντίστοιχα. Το παραπάνω γίνεται έτσι ώστε, σε περίπτωση που το νερό στην κορυφή του δοχείου βρίσκεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 45 °C, η θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στα FCU να μην ξεπερνά αυτή τη θερμοκρασία και για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας. Στην περίπτωση, βέβαια, που η θερμοκρασία του νερού στην κορυφή του δοχείου είναι χαμηλότερη των 45 °C, η ροή του νερού εξέρχεται μόνο από αυτή την έξοδο.

Στην συνέχεια η ροή του νερού οδηγείται στο λέβητα. Εκεί, αν η θερμοκρασία του νερού είναι ίση ή μεγαλύτερη από 45 °C, τότε ο λέβητας δεν τίθεται σε λειτουργία. Στην αντίθετη περίπτωση, ο λέβητας λειτουργεί και καταναλώνεται η κατάλληλη ποσότητα καυσίμου έτσι ώστε η θερμοκρασία στην έξοδό του να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία.

Η λειτουργία της αντλίας P2 και των FCU καθορίζεται από τη λειτουργία του διαφορικού θερμοστάτη DC3 όπως και στις παραπάνω διατάξεις.

3. Περιγραφή Διατάξεων

3.4 Μοντελοποίηση Διατάξεων στο TRNSYS

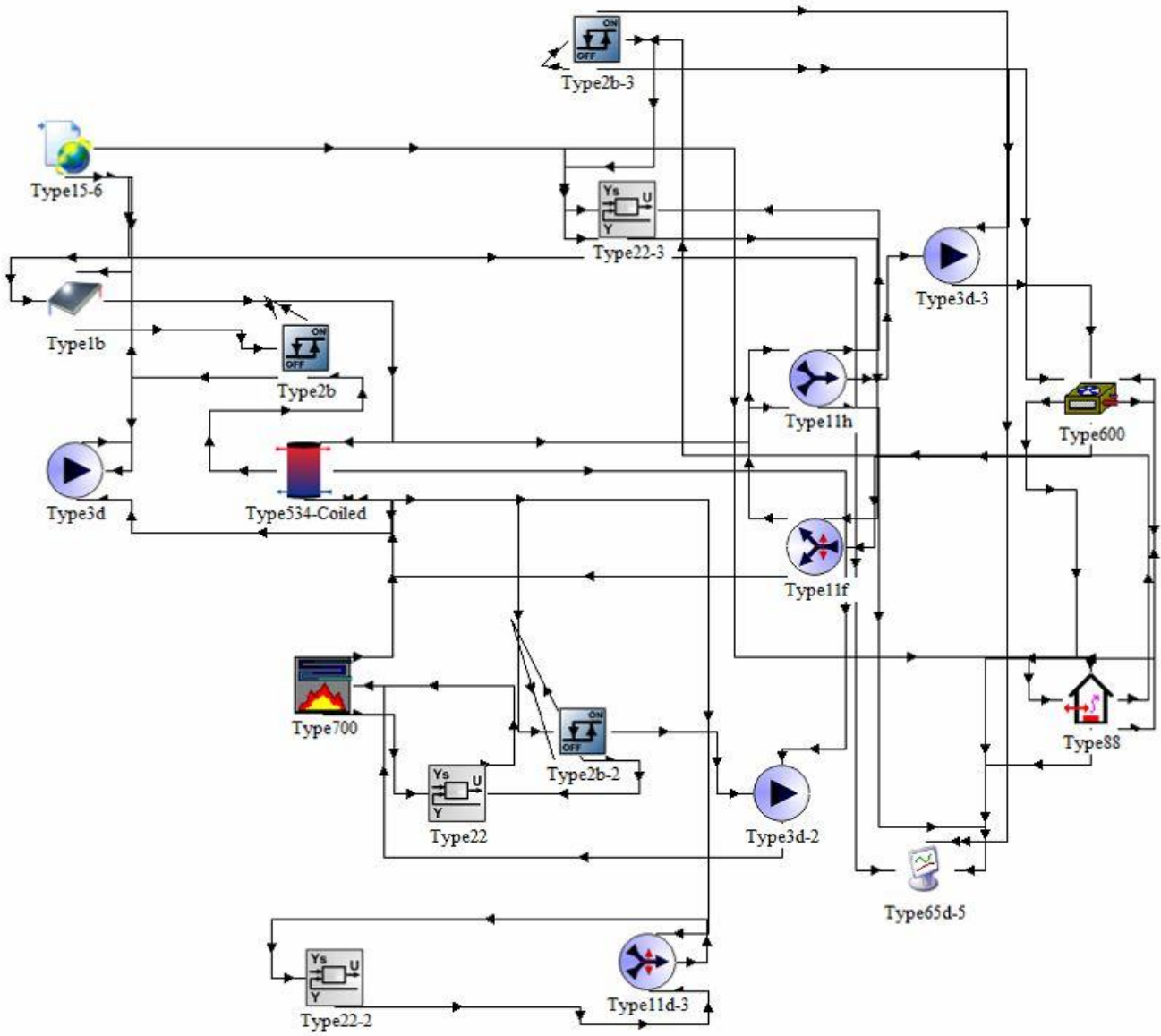
Οι παραπάνω διατάξεις μοντελοποιήθηκαν στο λογισμικό TRNSYS. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε συνιστώσα των παραπάνω διατάξεων αλλά και τα μοντέλα των διατάξεων στο περιβάλλον του λειτουργικού.

Πίνακας 9: Μοντέλα που αντιστοιχούν σε κάθε εξάρτημα

Εξάρτημα	Μοντέλο TRNSYS
Ηλιακός συλλέκτης	Type 1b
Δοχείο αποθήκευσης	Type 534
Κατοικία	Type 88
FCU	Type 600
Λέβητας	Type 700
Κυκλοφορητής	Type 3d
Διαφορικός Θερμοστάτης	Type 2b
Ελεγκτής PID	Type 22
Τρίοδη Διαχωριστή Βαλβίδα	Type 11 f
Τρίοδη Αναμεικτική Βαλβίδα	Type 11 d
Μείκτης	Type 11 h
Καιρικά Δεδομένα	Type 15

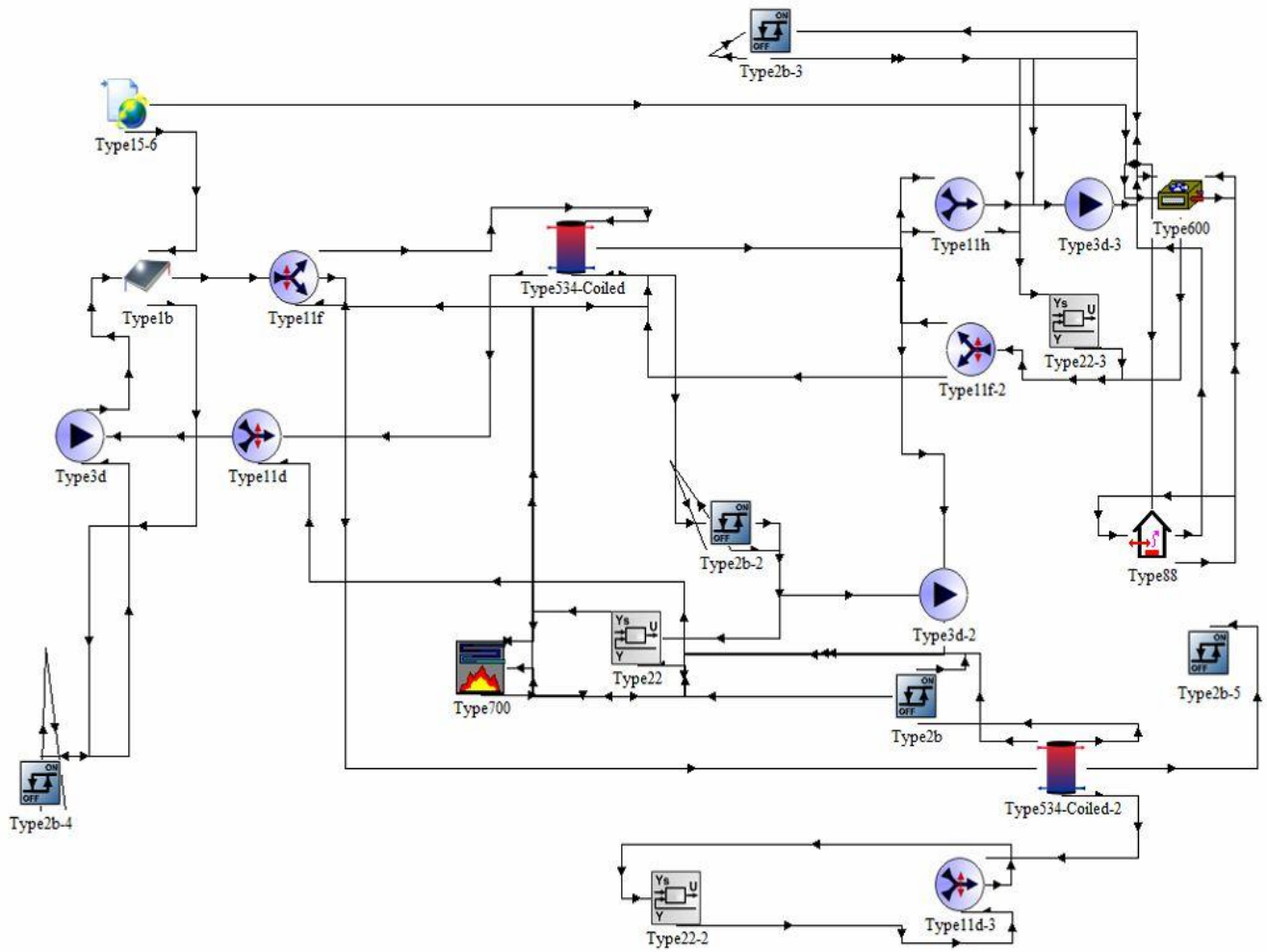
Τα παραπάνω μοντέλα συνδέονται μεταξύ τους με τις εισόδους και τις εξόδους τους και προκύπτουν τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν παρακάτω.

3. Περιγραφή Διατάξεων



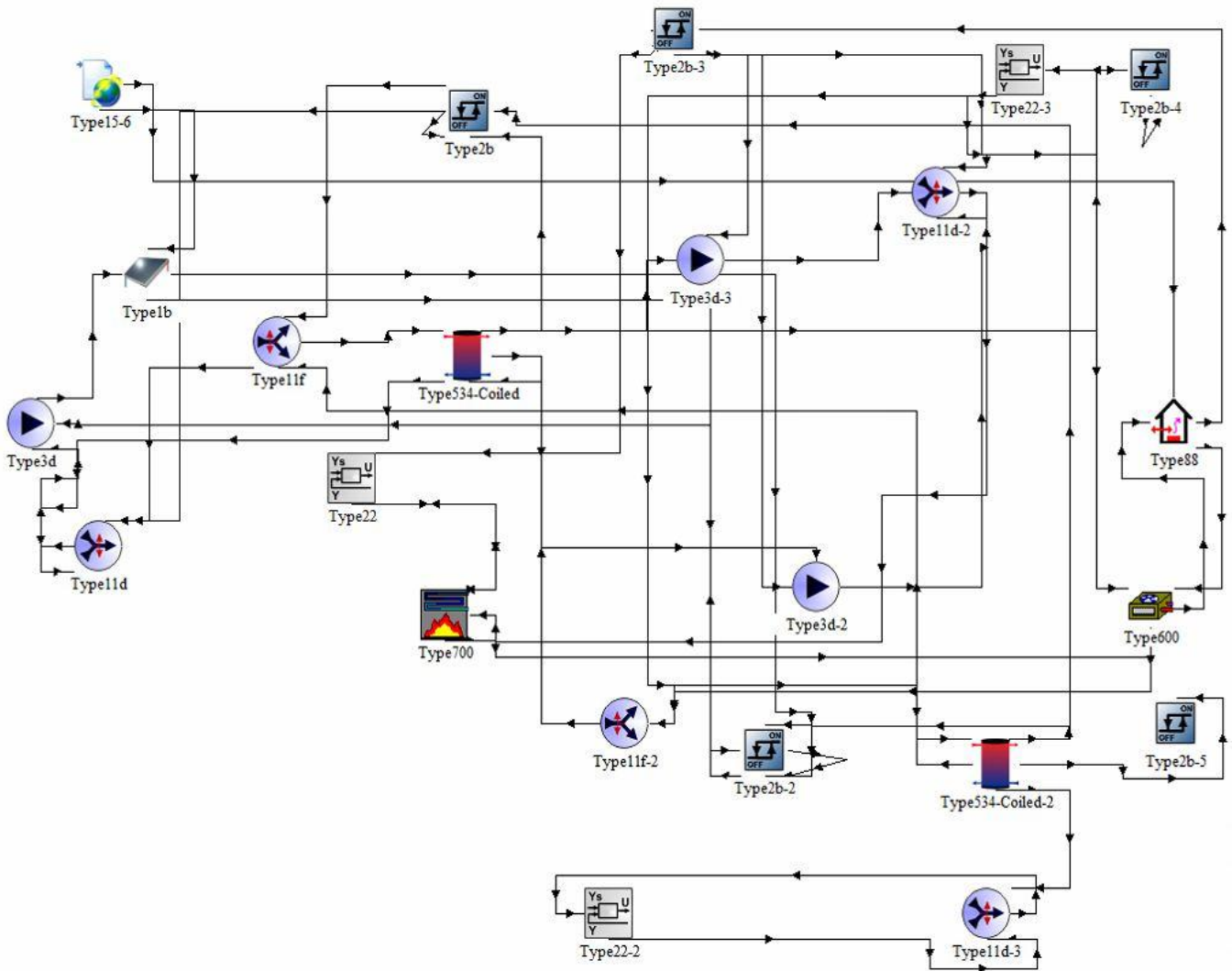
Εικόνα 19: Μοντελοποίηση Διάταξης 1 στο TRNSYS

3. Περιγραφή Διατάξεων



Εικόνα 20: Μοντελοποίηση Διάταξης 2 στο TRNSYS

3. Περιγραφή Διατάξεων



Εικόνα 21: Μοντελοποίηση Διάταξης 3 στο TRNSYS

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Η προσομοίωση των μοντέλων που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια έγινε για την περίοδο, για την οποία, με βάση τον καιρό της Αθήνας απαιτείται η λειτουργία θέρμανσης. Οπότε, η προσομοίωση έγινε για την περίοδο από τον Οκτώβριο μέχρι τον Απρίλιο. Βέβαια εξαιτίας του καθορισμού του χρόνου μοντελοποίησης στο TRNSYS, η προσομοίωση έσπασε σε 2 τμήματα, δηλαδή από αρχές Οκτώβρη έως τέλος Δεκέμβρη και από αρχή Ιανουαρίου έως τέλος Απριλίου. Στο λογισμικό, τα χρονικά όρια της προσομοίωσης δίνονται σε τιμή ώρας, οπότε τα 2 χρονικά όρια των προσομοιώσεων είναι 0-2880 hr και 7296-8760 hr.

Το χρονικό βήμα που επιλέχθηκε ήταν αυτό του ενός λεπτού. Η επιλογή αυτής της τιμής έγινε μετά από δοκιμές. Για μεγαλύτερα χρονικά βήματα το ισοζύγιο ενέργειας δεν έκλεινε με αποτέλεσμα, τα αποτελέσματα που προκύπταν για την απαιτούμενη ενέργεια και την ενέργεια η οποία αξιοποιείται για τη θέρμανση του σπιτιού και την παραγωγή ZNX να μην ήταν ρεαλιστικά.

Επίσης, ως αρχικές συνθήκες της προσομοίωσης, όλες οι θερμοκρασίες ορίστηκαν ίσες με 20 °C. Οι θερμοκρασίες αυτές είναι η εσωτερική θερμοκρασία του κτηρίου και η θερμοκρασία στα δοχεία αποθήκευσης νερού.

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν τα συνολικά ενεργειακά μεγέθη για κάθε διάταξη, δηλαδή την απαιτούμενη ενέργεια και πόση από αυτή αποτελείται από ηλιακή ενέργεια ή από συμβατική (φυσικό αέριο ή ηλεκτρισμός), καθώς και που καταναλώνεται αυτή η ενέργεια και οι απώλειες.

Κατόπιν, θα παρουσιαστούν κάποιες χαρακτηριστικές θερμοκρασίες για τυχαίες μέρες της εβδομάδας έτσι ώστε να επαληθευθεί η ορθή λειτουργία των μοντέλων.

4.1 Υπολογισμός Καταναλώσεων

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί ο τρόπος υπολογισμού των ενεργειακών μεγεθών που θα παρουσιαστούν για όλες τις διατάξεις. Όλα τα ενεργειακά μεγέθη προκύπτουν από την εξίσωση:

$$Q = \int \dot{m}c_p \Delta T dt$$

Σε κάθε περίπτωση, το ρευστό που χρησιμοποιείται είναι το νερό όποτε $c_p=4.19$ KJ/KgK. Παρακάτω θα παρουσιαστεί για κάθε περίπτωση ποια παροχή και ποια θερμοκρασιακή διαφορά χρησιμοποιείται στον εκάστοτε υπολογισμό. Η χρονική ολοκλήρωση πραγματοποιείται για όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Ενέργεια για Θέρμανση

Η θερμοκρασιακή διαφορά που χρησιμοποιείται στο παραπάνω υπολογισμό είναι μεταξύ της θερμοκρασίας εισόδου και της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από το FCU, ενώ η παροχή είναι αυτή του νερού το FCU.

Ενέργεια για ZNX

Στην περίπτωση της Διάταξης 1, η παροχή που χρησιμοποιείται για αυτόν τον υπολογισμό είναι ολόκληρη η παροχή του ZNX, διάμεσου του εναλλάκτη που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του ZNX ενώ η θερμοκρασιακή διαφορά είναι αυτή του νερού στην είσοδο και την έξοδο του εναλλάκτη .

Στις υπόλοιπες διατάξεις η παροχή από την οποία προκύπτει η ενεργειακή κατανάλωση για το ZNX είναι η ροή στην είσοδο και την έξοδο του δοχείου αποθήκευσης, ενώ η θερμοκρασιακή διαφορά προκύπτει από την θερμοκρασία εξόδου του νερού από το δοχείο μείον τη θερμοκρασία εισόδου.

Ηλιακή ενέργεια

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας λαμβάνεται υπόψιν η παροχή του νερού στον εκάστοτε εναλλάκτη και η θερμοκρασιακή διαφορά του. Ο τρόπος υπολογισμού της ηλιακής ενέργειας είναι ο ίδιος και στο δοχείο αποθήκευσης για τη θέρμανση και στο δοχείο αποθήκευσης για το ZNX.

Ενέργεια από Λέβητα

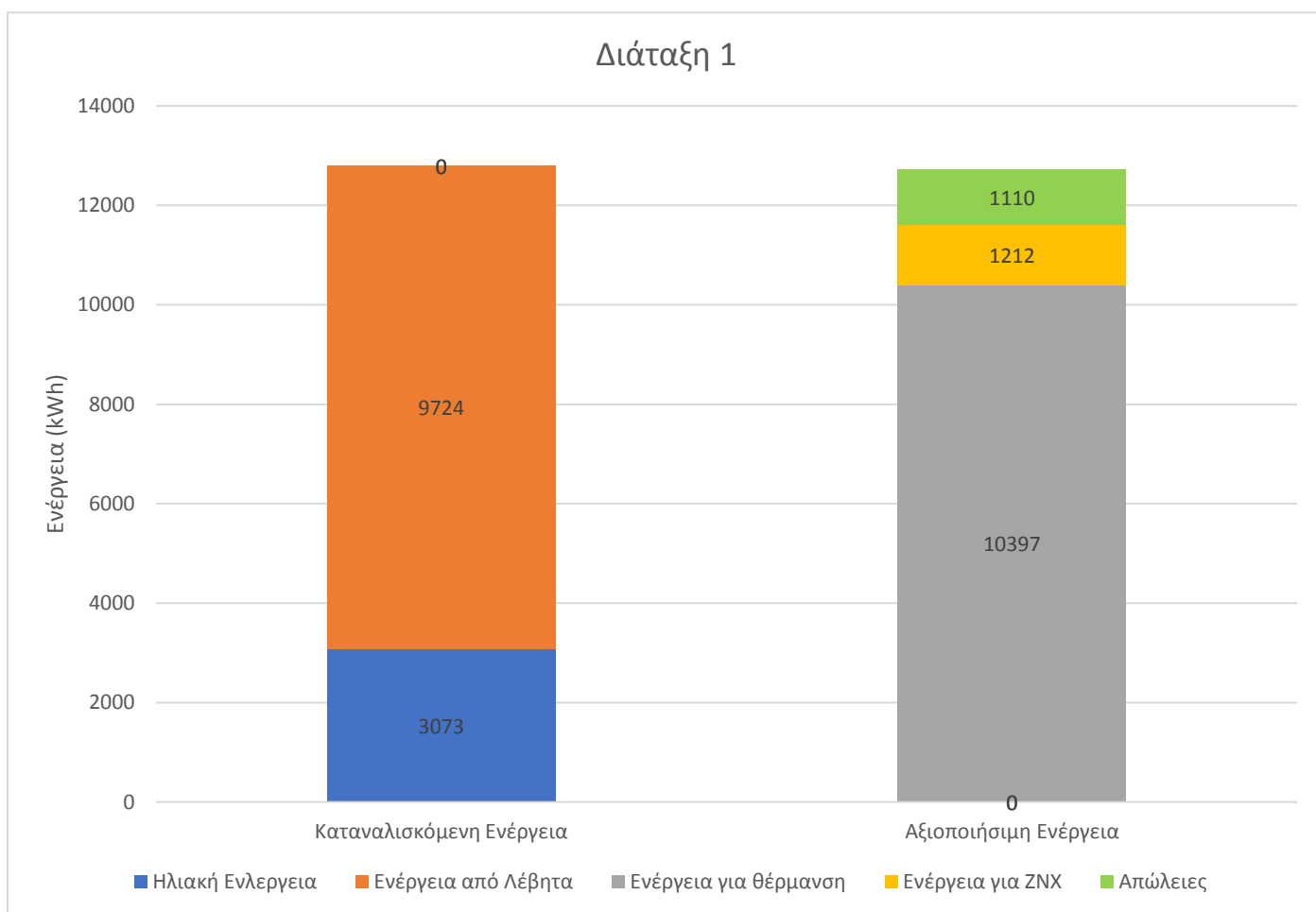
Η ενέργεια από το λέβητα προκύπτει από την ανύψωση της θερμοκρασίας που αποδίδει ο λέβητας και από την παροχή του λέβητα.

Ηλεκτρική Ενέργεια

Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας δεν χρησιμοποιείται η παραπάνω εξίσωση, αλλά ολοκληρώνεται η ισχύς της ηλεκτρικής αντίστασης για τον χρόνο λειτουργίας της .

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

4.2 Διάταξη 1



Εικόνα 22: Αποτελέσματα Διάταξης 1

Πίνακας 10: Ενεργειακές Καταναλώσεις Διάταξης 1

	Ηλιακή Ενέργεια (kWh)	Ενέργεια από Λέβητα (kWh)	Ηλεκτρική Ενέργεια (kWh)	Σύνολο (kWh)
Θέρμανση & ZNX	3073	9724	0	12797

Η καταναλισκόμενη ενέργεια αναφέρεται στην ενέργεια η οποία εισέρχεται στο σύστημα από το λέβητα (ενέργεια από λέβητα) και από τους ηλιακούς συλλέκτες (ηλιακή ενέργεια), ενώ η αξιοποιήσιμη ενέργεια στην ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση της κατοικίας

(ενέργεια για θέρμανση) και για την παραγωγή ΖΝΧ (ενέργεια για ΖΝΧ). Οι απώλειες αντιπροσωπεύουν τις απώλειες θερμότητας από το δοχείο αποθήκευσης.

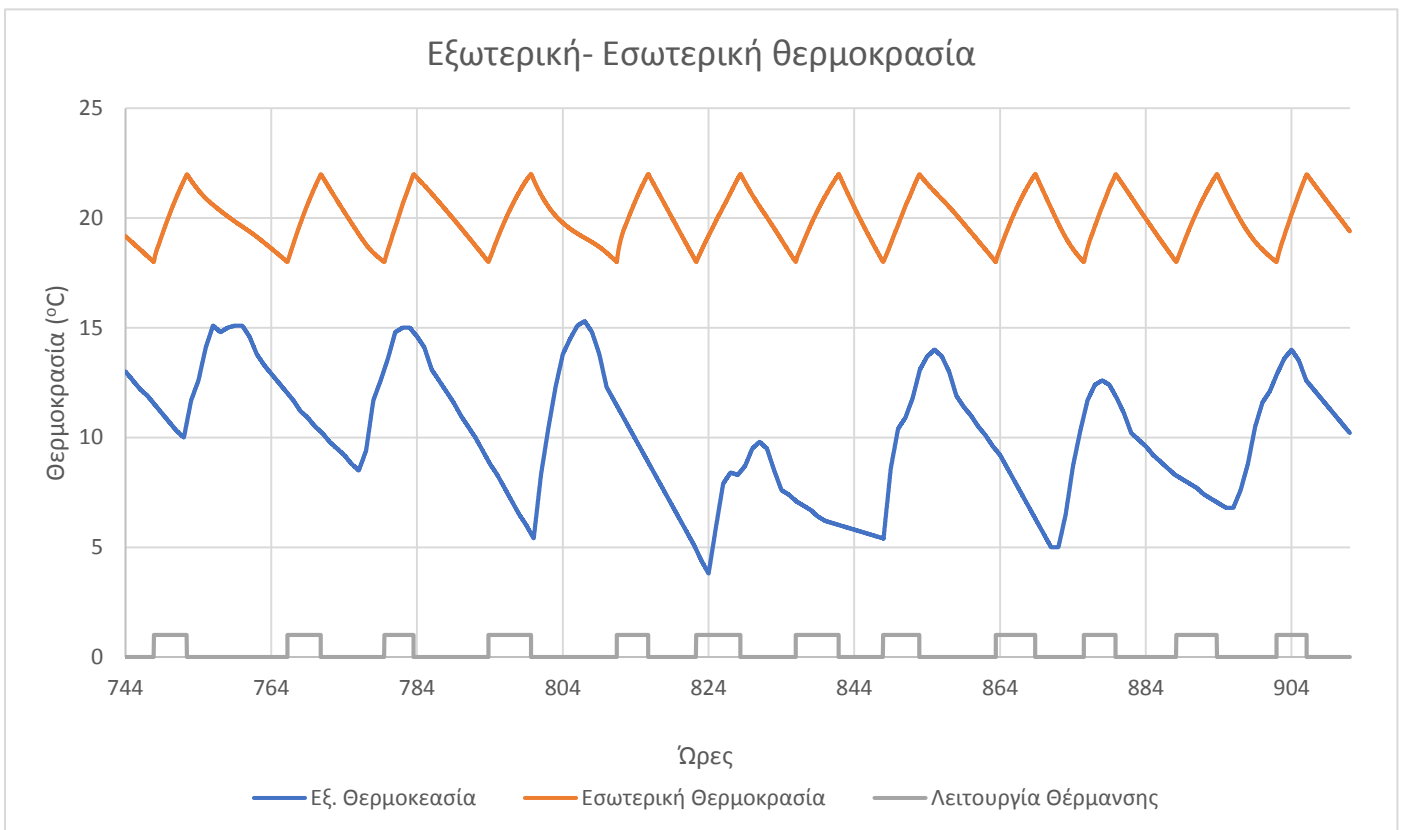
Από τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι το μοντέλο λειτουργεί φυσιολογικά καθώς κλείνει το ισοζύγιο ενέργειας, με μία απόκλιση 0.61 %. Η απόκλιση προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\text{απόκλιση} = \frac{\text{Καταν. Ενενέργεια} - \text{Αξιοπ. Ενέργεια} - \text{Απώλειες}}{\text{Καταν. Ενενέργεια}} \quad (4.1)$$

Ακόμα το ποσοστό της καταναλισκόμενης ενέργειας το οποίο προέρχεται από ηλιακή ενέργεια είναι **F=24,01%**. Το παραπάνω ποσοστό προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$F = \frac{\text{Ηλιακή Ενέργεια}}{\text{Καταναλισκόμενη Ενέργεια}}$$

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικά η θερμοκρασία της κατοικίας συγκριτικά με την εξωτερική θερμοκρασία, καθώς και ποιες ώρες λειτουργεί η θέρμανση για την περίοδο 1-7 Φεβρουαρίου.

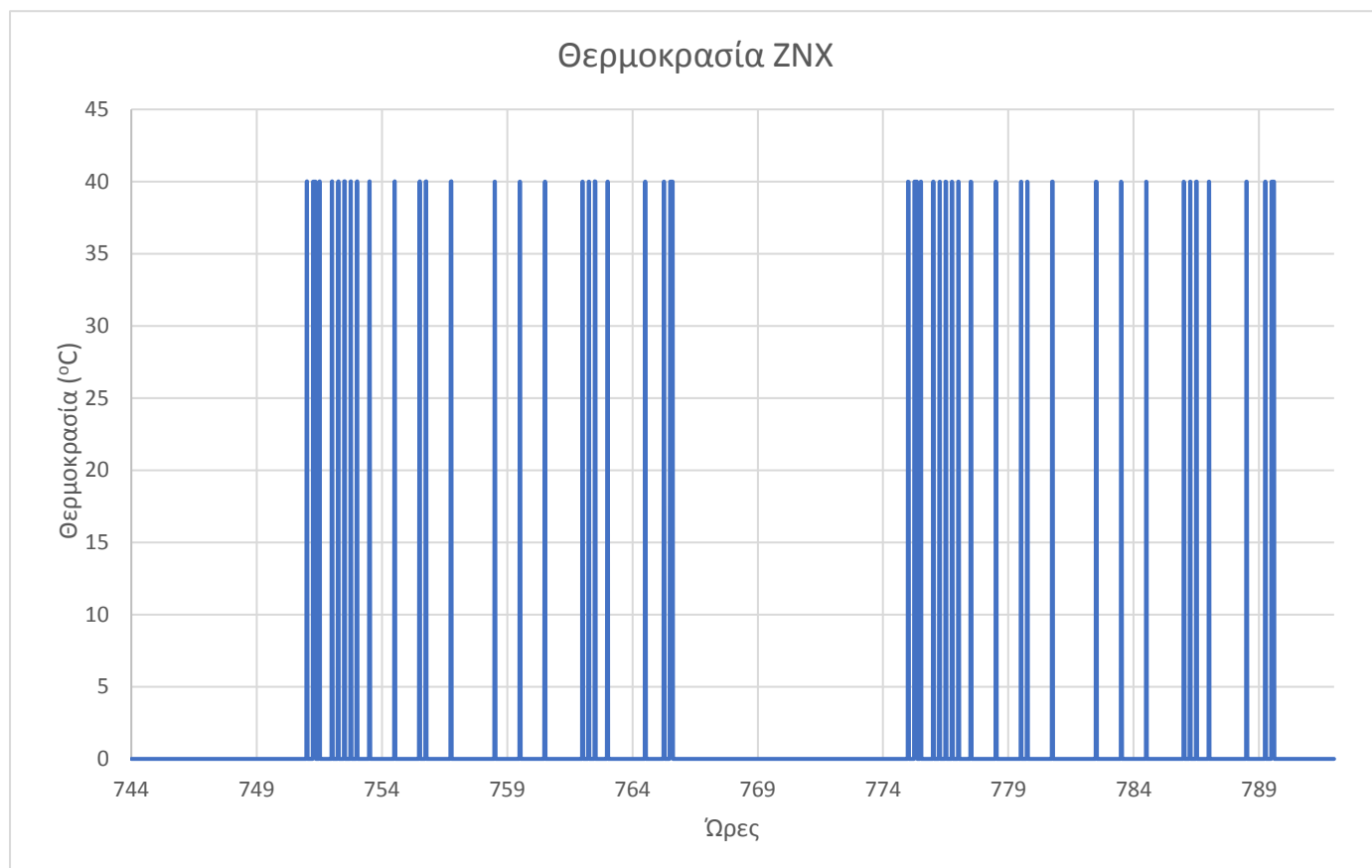


Εικόνα 23:Θερμοκρασία περιβάλλοντος και Θερμοκρασία κατοικίας που προκύπτει για την Διάταξη 1 κατά την περίοδο 1-7 Φεβρουαρίου

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνεται η ορθή λειτουργία του μοντέλου, καθώς η θερμοκρασία της κατοικίας διατηρείται στο εύρος στο οποίο έχει σχεδιαστεί, ενώ όταν πέσει κάτω από τους 18 °C, τίθεται σε λειτουργία η θέρμανση του χώρου.

Παρακάτω παρουσιάζονται η θερμοκρασία του ZNX και του νερού στην είσοδο των FCU για την περίοδο 1-2 Φεβρουαρίου.



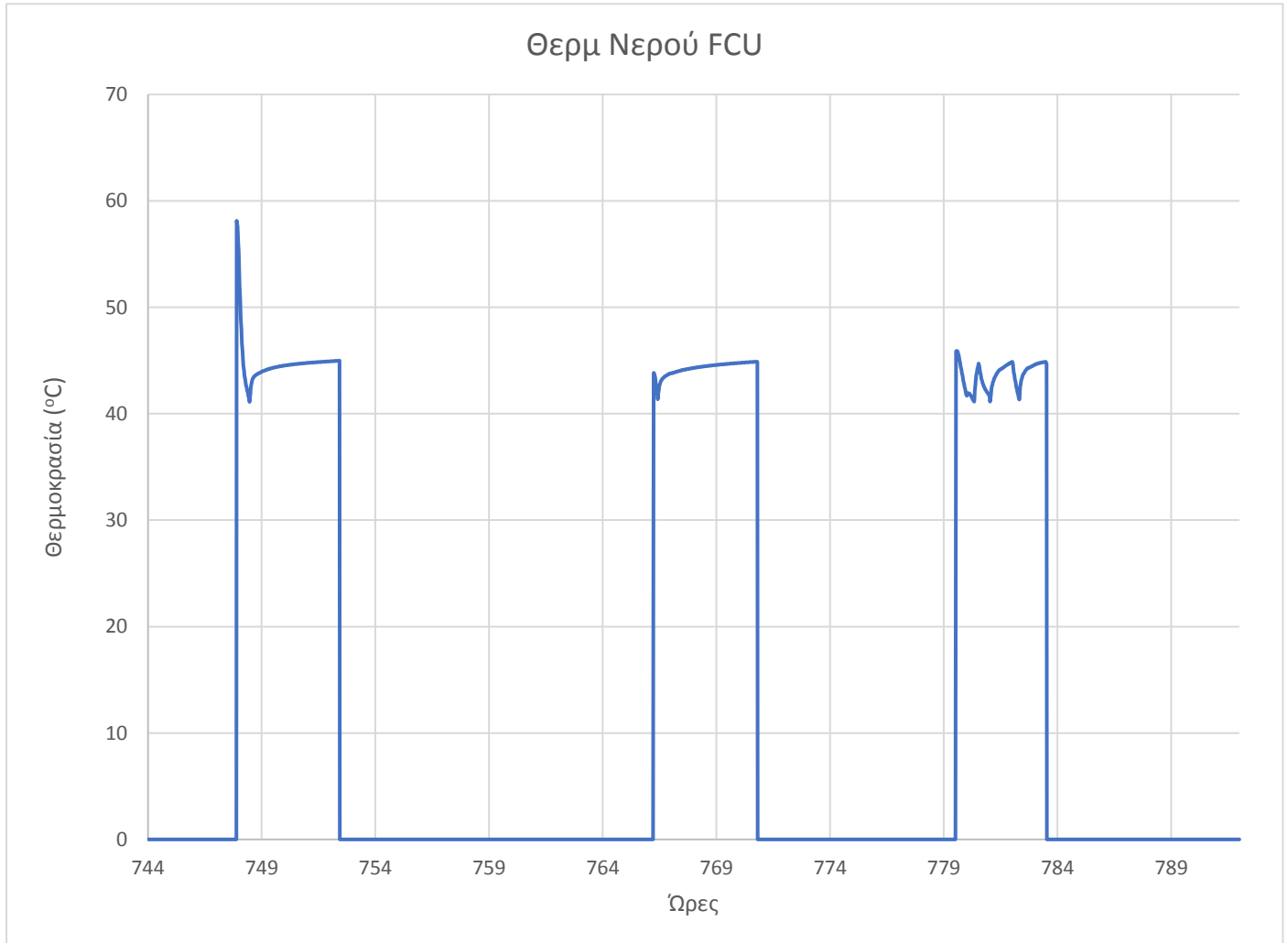
Εικόνα 24:Θερμοκρασία ZNX για την Διάταξη 1 κατά την περίοδο 1-2 Φεβρουαρίου

Οι τιμές των παραπάνω θερμοκρασιών αναφέρονται στη θερμοκρασία του νερού μετά την ανάμιξη του με το νερό του δικτύου, αλλά η ενέργεια για ZNX που υπολογίζεται παραπάνω, αφορά την παροχή του νερού που εξέρχεται από το δοχείο αποθήκευσης ZNX.

Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η θερμοκρασία εισόδου του νερού στα FCU. Στο διάγραμμα αυτό εμφανίζονται κάποιες τιμές του νερού υψηλότερες των 45 °C, που είναι και το σημείο σχεδιασμού της εγκατάστασης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την εκκίνηση της κυκλοφορίας του νερού στα FCU δεν είναι εφικτή η ανάμιξη του νερού από το δοχείο αποθήκευσης με νερό επιστροφής από τα FCU, καθώς δεν υπάρχει τέτοιο. Στη συνέχεια, ομαλοποιείται η λειτουργία της διάταξης και η τιμή του νερού επιστρέφει στην τιμή σχεδιασμού.

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

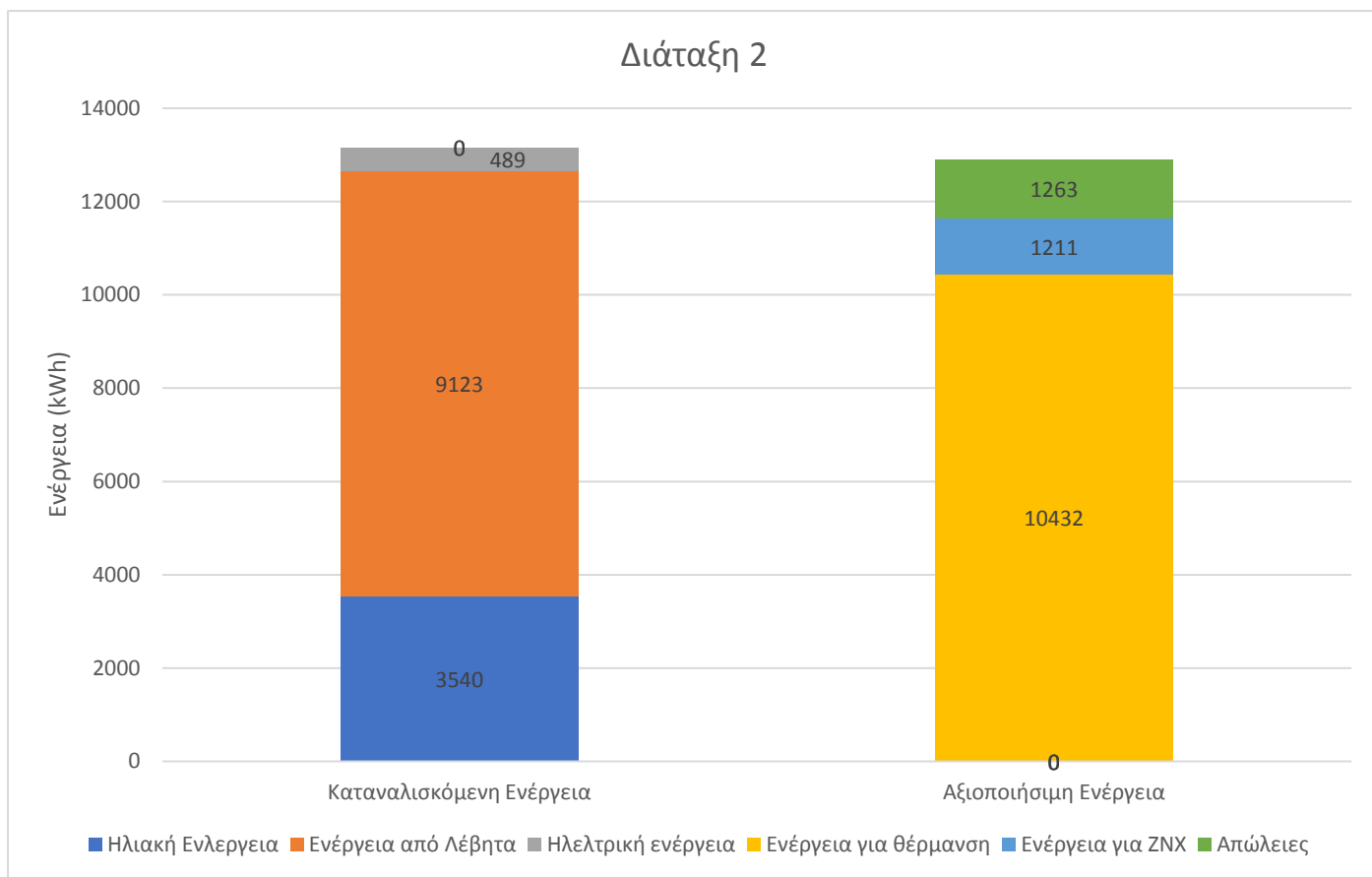
Ακόμα, οι τιμές που εμφανίζονται να είναι κάτω από την τιμή σχεδιασμού οφείλονται στην πτώση της τιμής της θερμοκρασίας του νερού στο δοχείο αποθήκευσης. Όμως, όταν συμβαίνει αυτό, ο λέβητας τίθεται σε λειτουργία και η τιμή της θερμοκρασίας του νερού που εισέρχεται στα FCU, επανέρχεται στην φυσιολογική τιμή.



Εικόνα 25:Θερμοκρασία νερού στην είσοδο των FCU για την διάταξη 1 κατά την περίοδο 1-2 Φεβρουαρίου

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

4.3 Διάταξη 2



Εικόνα 26: Αποτελέσματα Διάταξης 2

Πίνακας 11: Ενεργειακές καταναλώσεις Διάταξη 2

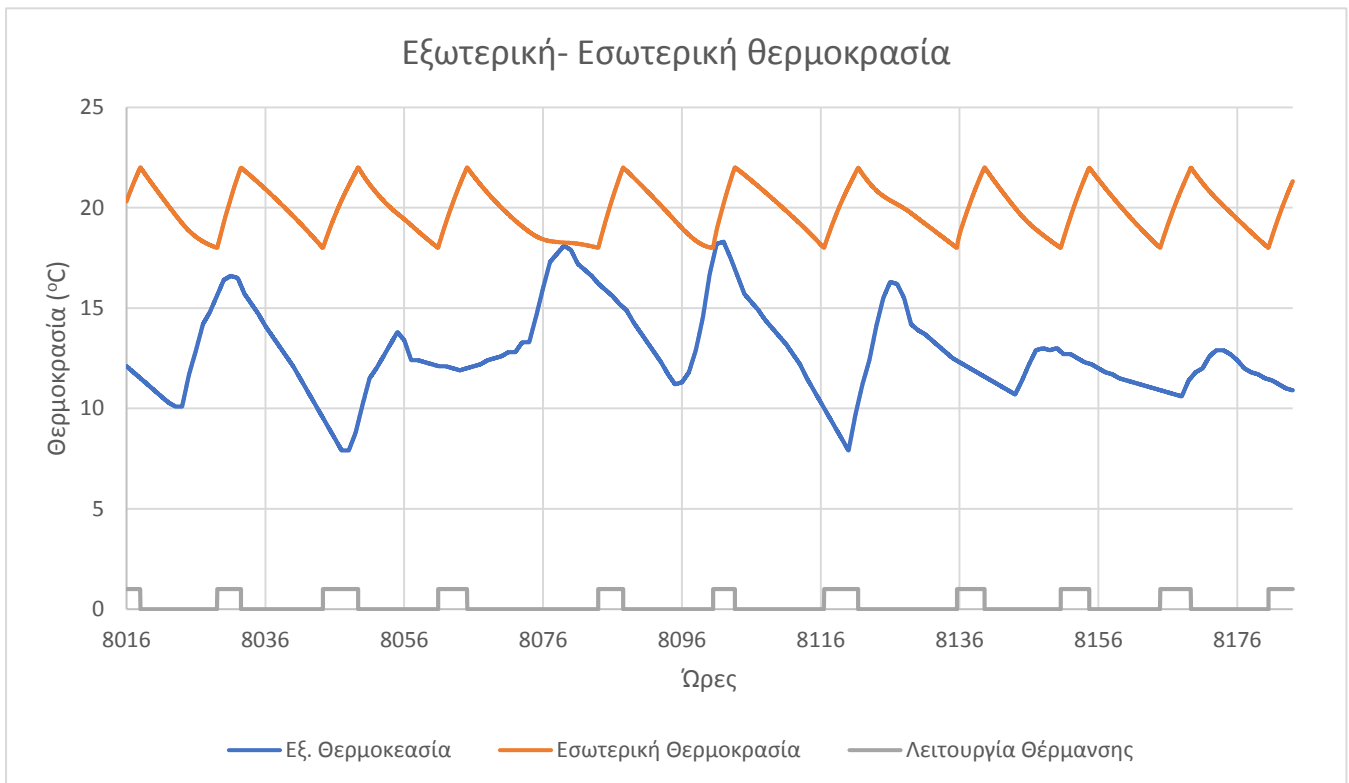
	Ηλιακή Ενέργεια (kWh)	Ενέργεια από Λέβητα (kWh)	Ηλεκτρική Ενέργεια (kWh)	Σύνολο (kWh)
Θέρμανση	2677	9123	0	11800
ΖΝΧ	863	0	489	1352

Σε αυτή τη διάταξη χρησιμοποιούνται 2 δοχεία αποθήκευσης νερού, οπότε είναι δυνατόν να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα ξεχωριστά για τα ενεργειακά μεγέθη που αφορούν τη θέρμανση και αυτά που αφορούν την παραγωγή ΖΝΧ. Οπότε, παραπάνω φαίνονται τα αποτελέσματα των συνολικών ενεργειακών μεγεθών αλλά και κάθε υποσυστήματος ξεχωριστά. Σε αυτό το μοντέλο παρουσιάζεται απόκλιση 0.9 %, ενώ το ποσοστό της ενέργειας που προέρχεται από την ηλιακή είναι $F_{tot}=26.91\%$. Σε αυτό το μοντέλο είναι

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

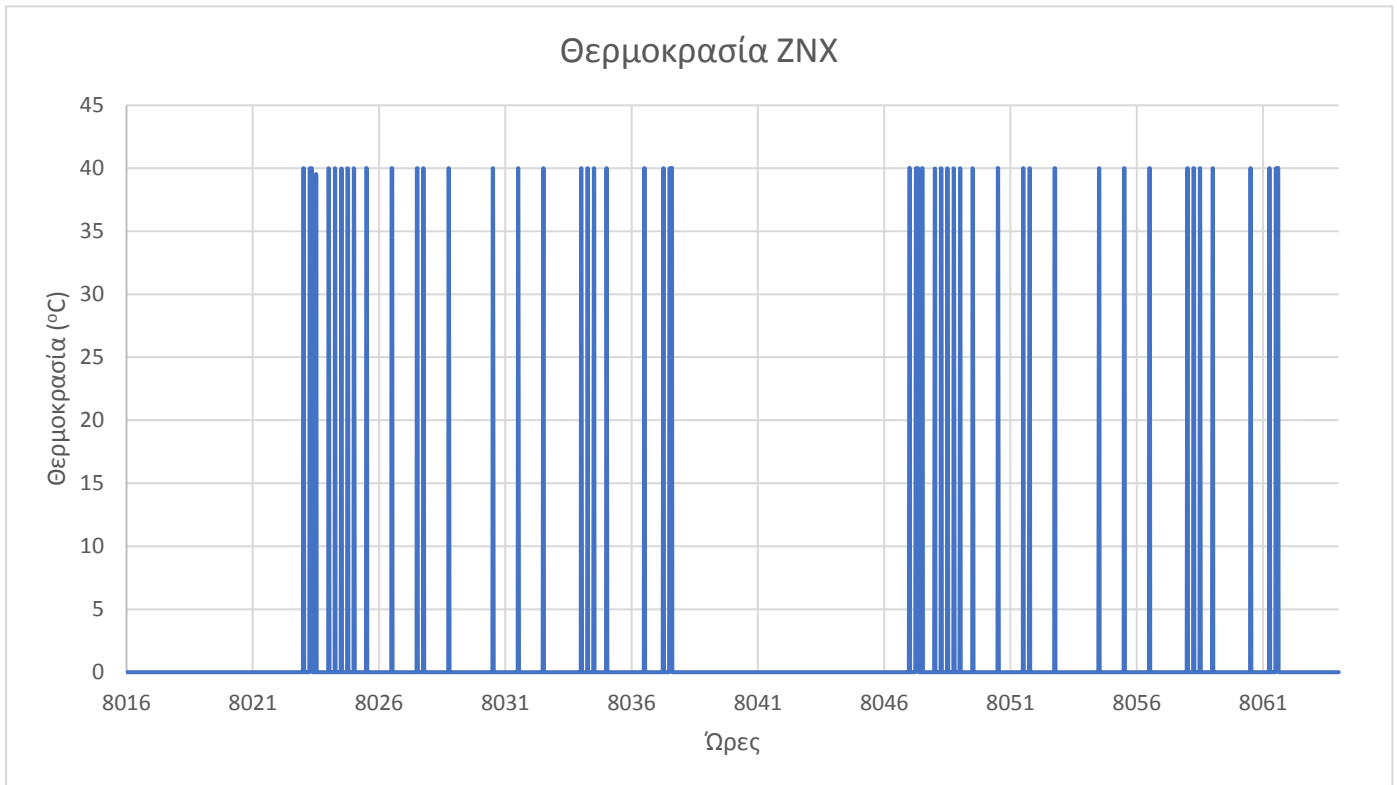
εφικτός και ο υπολογισμός του ποσοστού της ηλιακής ενέργειας και στη θέρμανση και στην παραγωγή ΖΝΧ και προκύπτουν αντίστοιχα $F_{\text{θέρμανσης}} = 22.67\%$, $F_{\text{ΖΝΧ}} = 63.83\%$.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται παρόμοια διαγράμματα, όπως και στη Διάταξη 1 για την θερμοκρασία του χώρου σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία και τη λειτουργία της θέρμανσης κατά την περίοδο 1-7 Δεκεμβρίου και για τη θερμοκρασία του ΖΝΧ και τη θερμοκρασία εισόδου του νερού στα FCU, κατά την περίοδο 1-2 Δεκεμβρίου

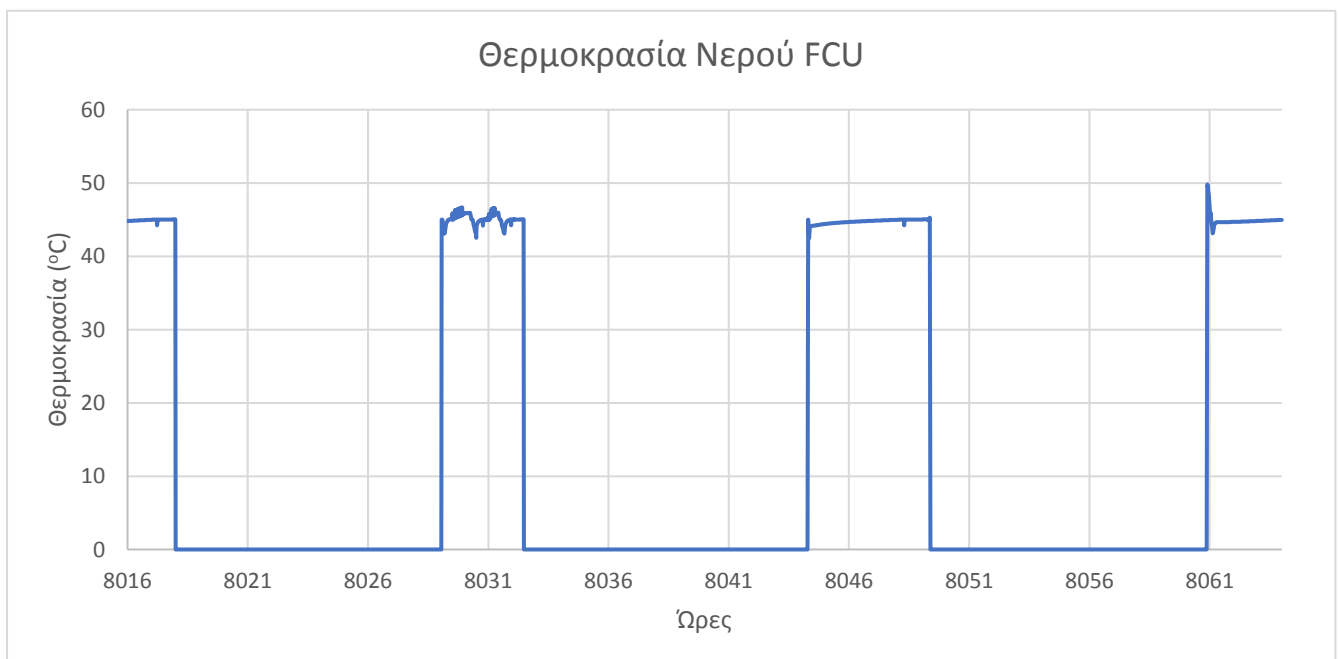


Εικόνα 27: Θερμοκρασία περιβάλλοντος και Θερμοκρασία κατοικίας που προκύπτει για την Διάταξη 2 κατά την περίοδο 1-7 Δεκεμβρίου

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων



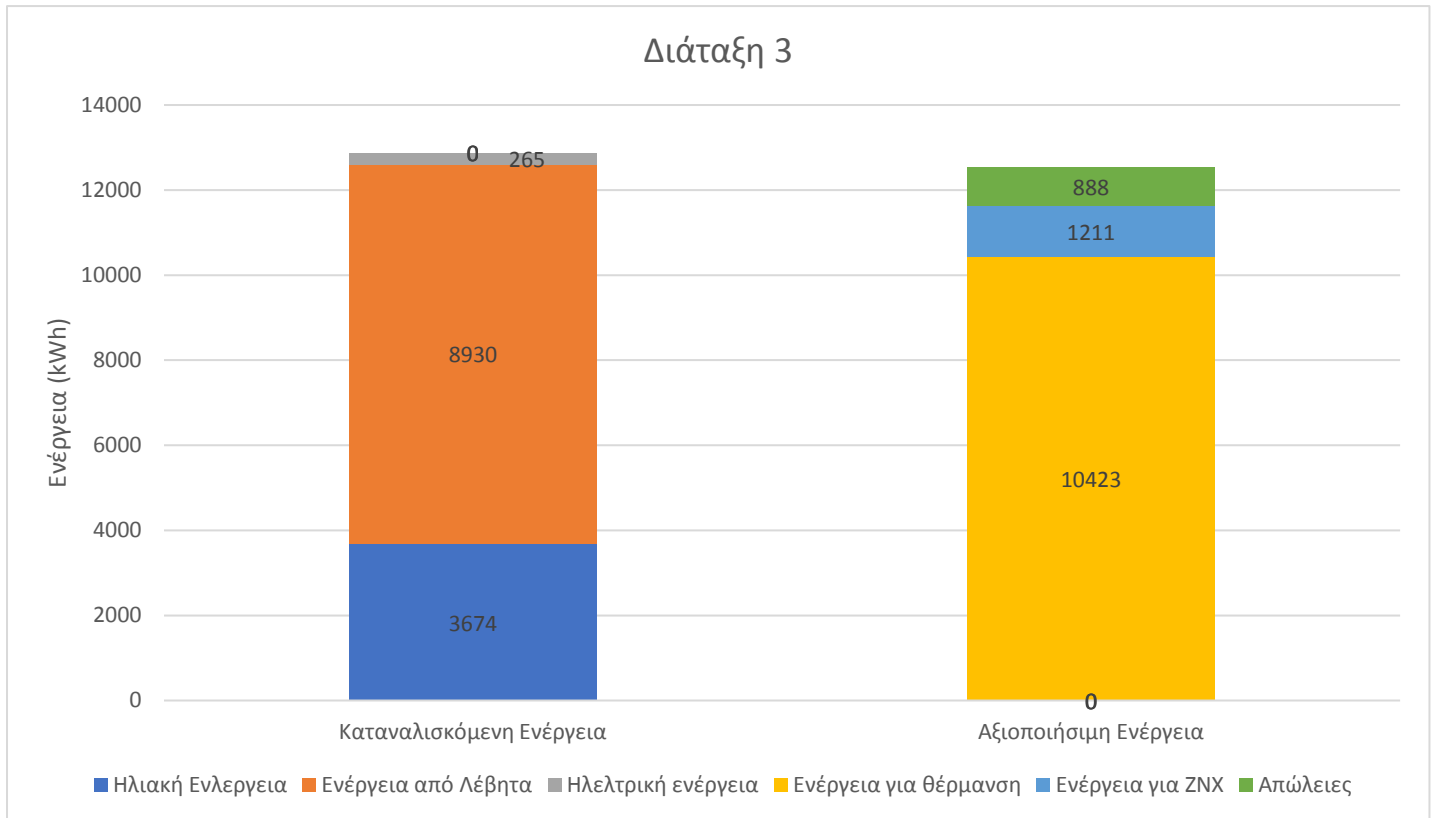
Εικόνα 28:Θερμοκρασία ZNX για τη Διάταξη 2 κατά την περίοδο 1-2 Δεκεμβρίου



Εικόνα 29:Θερμοκρασία νερού στην είσοδο των FCU για την διάταξη 2 κατά την περίοδο 1-2 Δεκεμβρίου

Και σε αυτή τη περίπτωση παρατηρείται η διακύμανση της θερμοκρασίας εισόδου στα FCU για τους ίδιους λόγους όπως και στη Διάταξη 1.

4.4 Διάταξη 3



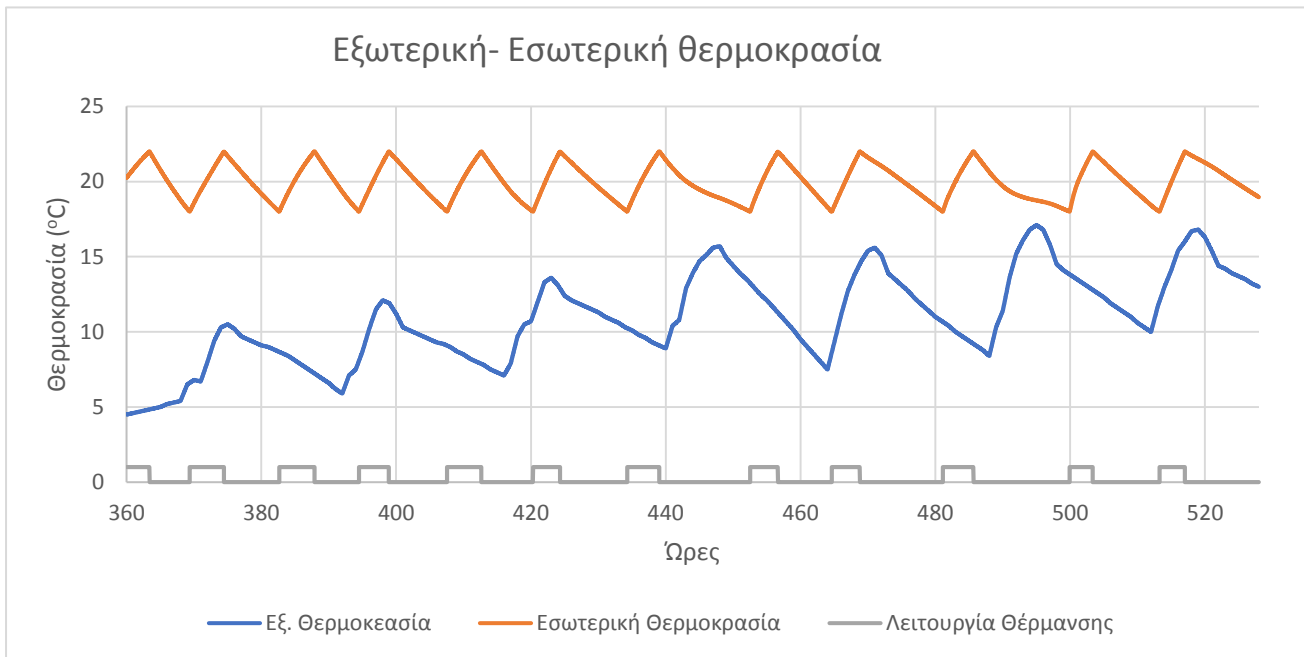
Πίνακας 12: Ενεργειακές καταναλώσεις Διάταξης 3

	Ηλιακή Ενέργεια (kWh)	Ενέργεια από Λέβητα (kWh)	Ηλεκτρική Ενέργεια (kWh)	Σύνολο (kWh)
Θέρμανση	2454	8930	0	11385
ZNX	1220	0	265	1484

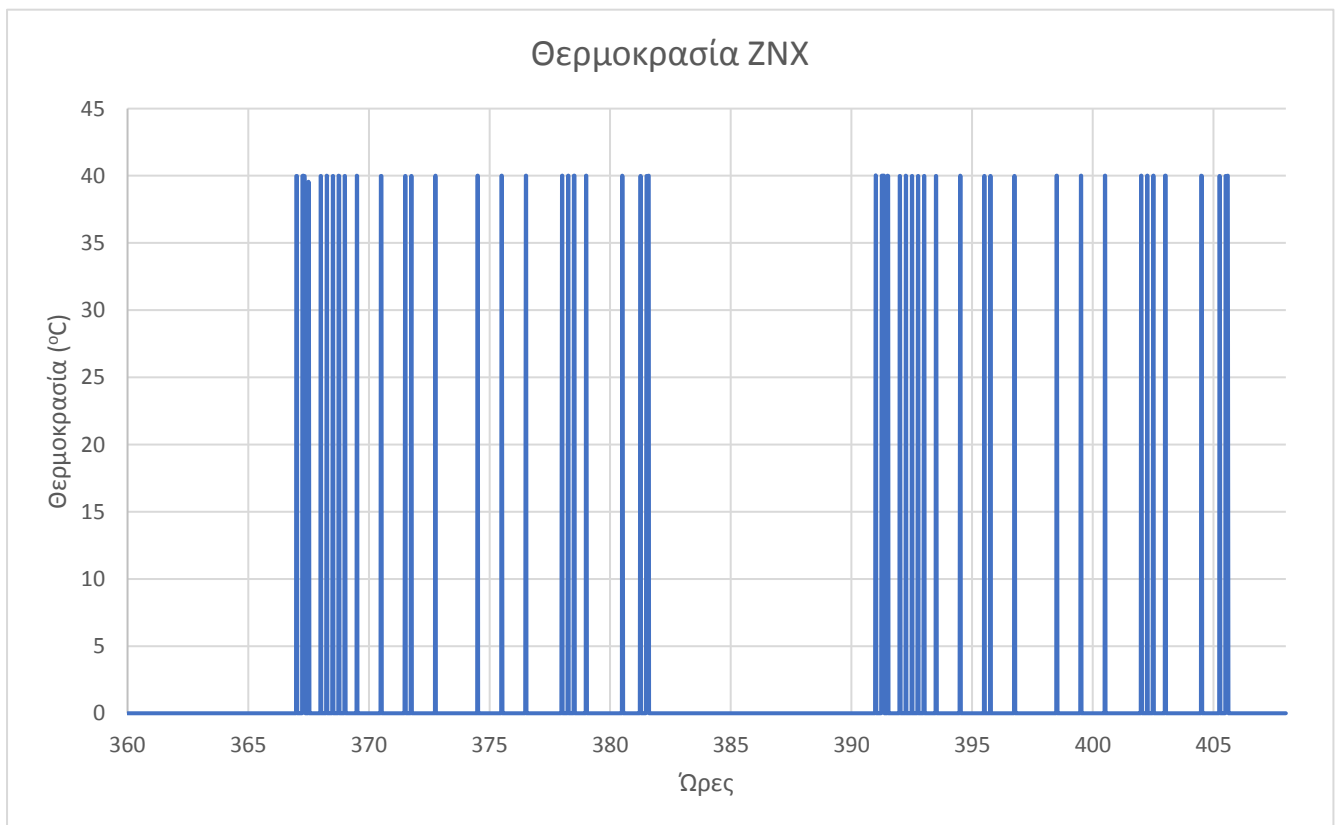
Σε αυτή τη διάταξη, παρουσιάζονται παρόμοια αποτελέσματα, όπως και στη διάταξη 2. Η απόκλιση σε αυτή την περίπτωση έχει την τιμή 2.5 %. Το ποσοστό της καταναλισκόμενης ενέργειας, το οποίο είναι ηλιακή, είναι $F_{\text{tot}}=28.55\%$. Και σε αυτό το μοντέλο είναι εφικτός και ο υπολογισμός του ποσοστού της ηλιακής ενέργειας στη θέρμανση και στην παραγωγή ZNX και προκύπτουν αντίστοιχα $F_{\text{θέρμανσης}}=21.55\%$, $F_{\text{ZNX}}=82.21\%$.

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα διαγράμματα για τη θερμοκρασία του χώρου σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία και τη λειτουργία της θέρμανσης κατά την περίοδο 15-21 Ιανουαρίου και για τη θερμοκρασία του ZNX και τη θερμοκρασία εισόδου του νερού στα FCU, κατά την περίοδο 15-17 Ιανουαρίου.

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

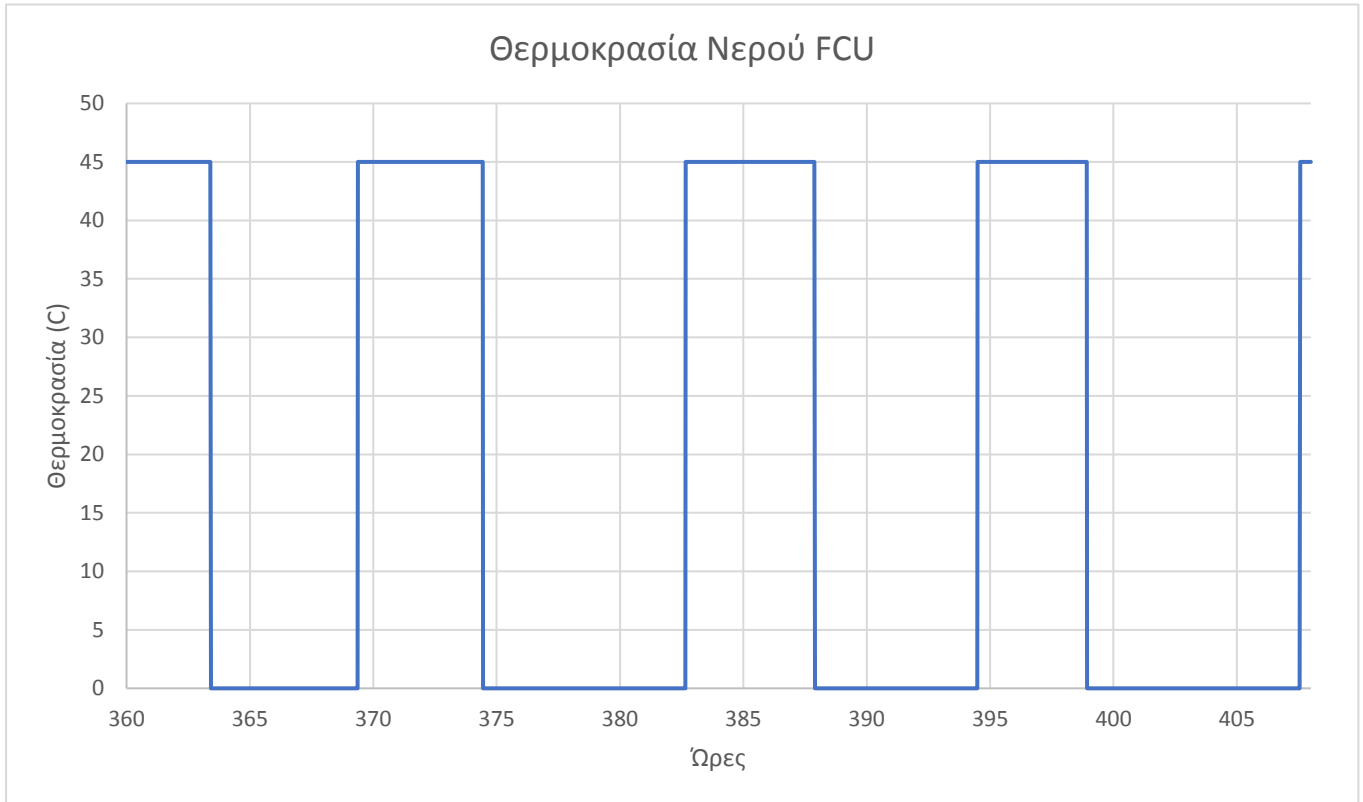


Εικόνα 31:Θερμοκρασία περιβάλλοντος και Θερμοκρασία κατοικίας που προκύπτει για την Διάταξη 3 κατά την περίοδο 15-21 Ιανουαρίου



Εικόνα 32:Θερμοκρασία ΖΝΧ για την Διάταξη 3 κατά την περίοδο 15-17 Ιανουαρίου

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων



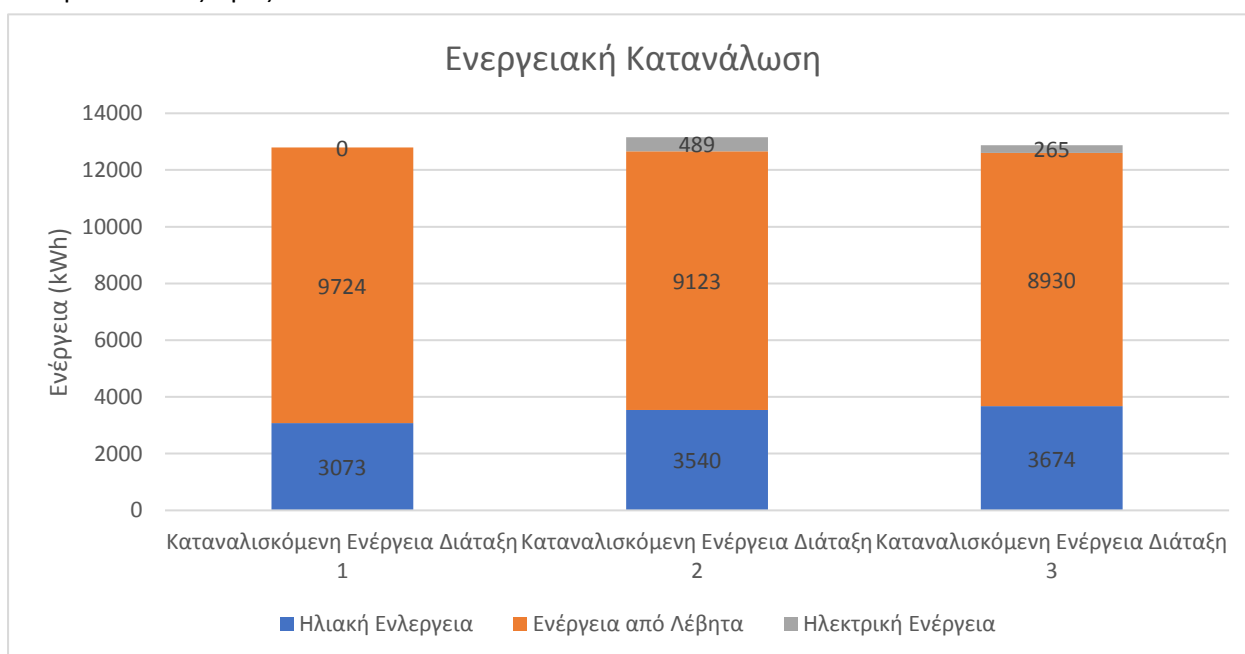
Εικόνα 33:Θερμοκρασία νερού στην είσοδο των FCU για την Διάταξη 3 κατά την περίοδο 15-17 Ιανουαρίου

Σε αυτήν τη διάταξη, η θερμοκρασία εισόδου του νερού στα FCU έχει σταθερά την τιμή των 45 °C, καθώς το νερό δεν εξέρχεται από το δοχείο αποθήκευσης και δεν προκύπτει από την μίξη με νερό επιστροφής, αλλά εξέρχεται κατευθείαν από το λέβητα.

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

4.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Από τις παραπάνω διατάξεις εξάγονται κάποια αποτελέσματα για το μοντέλο του κτηρίου που έχει χρησιμοποιηθεί, αλλά και το προφίλ ζήτησης ZNX. Αρχικά, και στις 3 διατάξεις η ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση του κτηρίου είναι πολύ κοντά στην τιμή 10400 kWh, γεγονός που αποδεικνύει τη σωστή λειτουργία των μοντέλων. Ακόμα, το ίδιο συμβαίνει και για την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ZNX, όπου η τιμή της και στις 3 διατάξεις είναι 1211 kWh. Για το κτήριο του οποίου τα στοιχεία έχουν χρησιμοποιηθεί τα παραπάνω ποσά ενέργειας, έχουν υπολογιστεί και από το πρόγραμμα TABULA και οι τιμές που προέκυψαν είναι 1150 kWh για την παραγωγή ZNX, και 7963 kWh για τη θέρμανση του χώρου. Η τιμή για την απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή ZNX σχεδόν ταυτίζεται με την τιμή που έχει προκύψει από τα παραπάνω μοντέλα, αλλά και η τιμή για τη θέρμανση του κτηρίου είναι κοντά και δείχνει ότι οι υπολογισμοί έχουν γίνει για ρεαλιστικές τιμές.



Εικόνα 34: Ενεργειακή Κατανάλωση συγκριτικά για τις 3 διατάξεις

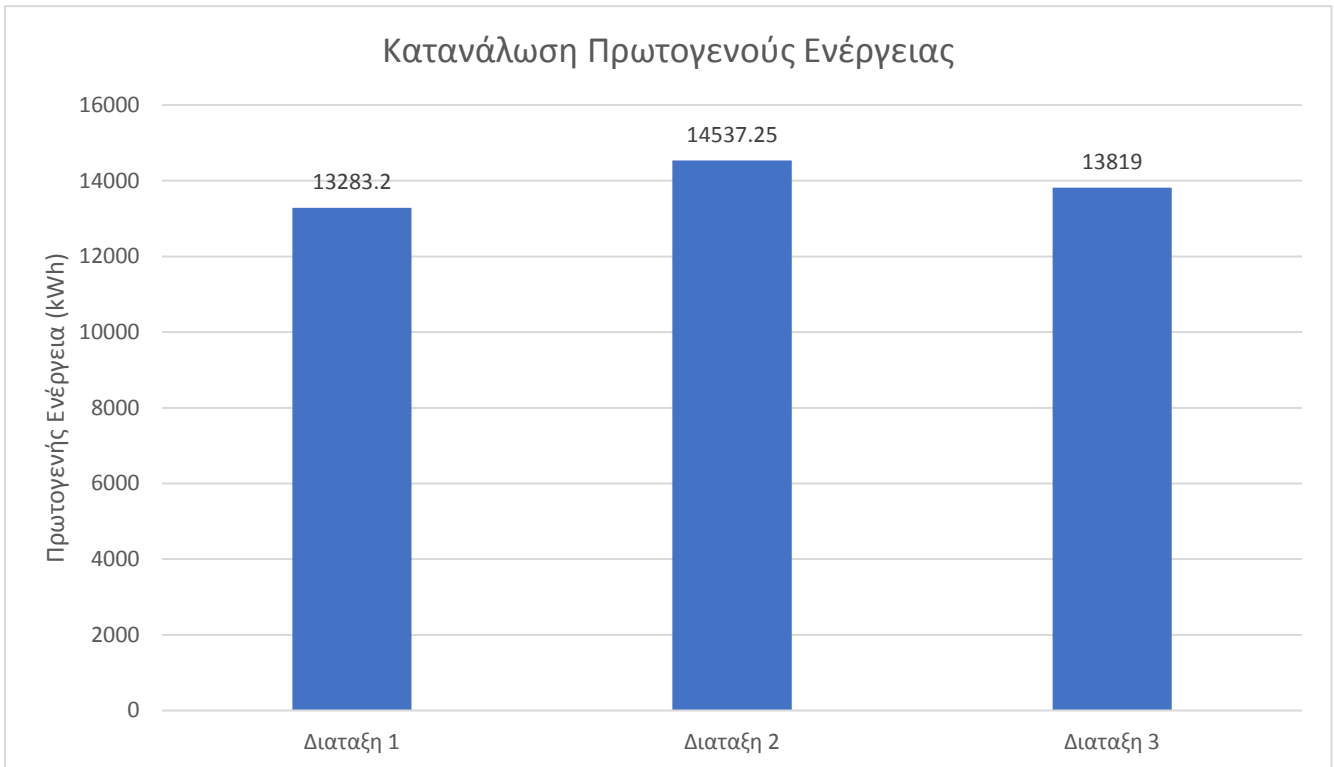
Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν συγκριτικά οι τιμές της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε διάταξη, αλλά και τα ποσά της πρωτογενούς ενέργειας που προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές.

Για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε πρωτογενή ενέργεια για την Ελλάδα, ο συντελεστής μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας έχει την τιμή 2.9, και για το φυσικό αέριο λαμβάνεται η τιμή 1.05.

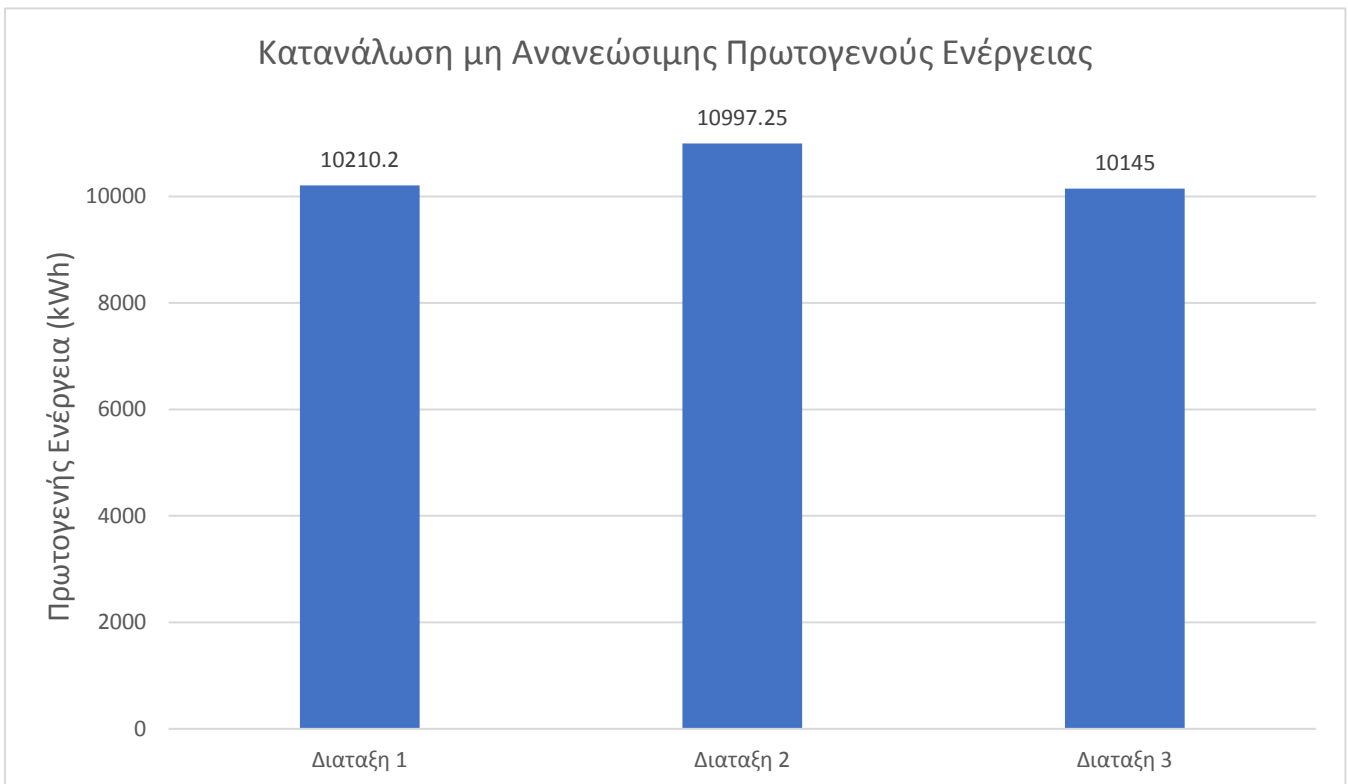
Δηλαδή, η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κάθε διάταξη προκύπτει σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\text{Πρωτογενής ενέργεια} = \text{Ηλιακή Εν.} + 2.09 * \text{Ηλεκτρική Εν.} + 1.05 * \text{Εν. από Λέβητα} \quad (4.2)$$

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων



Εικόνα 35: Συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κάθε διάταξη



Εικόνα 36: Κατανάλωση μη Ανανεώσιμης Πρωτογενούς ενέργειας

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι λιγότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας απαιτεί η Διάταξη 1, ενώ περισσότερη η Διάταξη 2. Ενδιαφέρον, όμως, παρουσιάζει το γεγονός ότι τη λιγότερη πρωτογενή ενέργεια από μη ανανεώσιμες πηγές απαιτεί η Διάταξη 3.

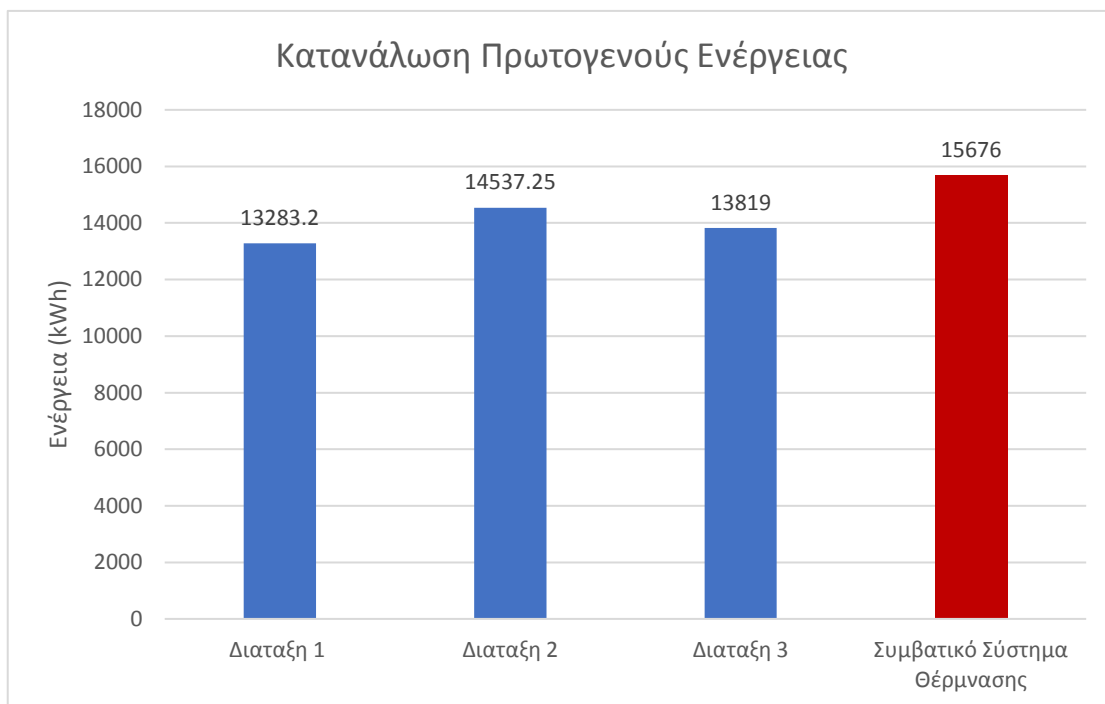
4.6 Προσδιορισμός Καταναλισκομένης Ενέργειας σε Συμβατικό Σύστημα

Για το συμβατικό σύστημα θέρμανσης θα θεωρηθεί ότι το κτήριο έχει τις ίδιες ενεργειακές ανάγκες με το μοντέλο που εξετάστηκε. Το σύστημα θέρμανσης θα είναι απλό σύστημα με λέβητα φυσικού αερίου. Για το σύστημα παραγωγής ZNX θα θεωρηθεί ότι χρησιμοποιείται απλό θερμοσίφωνο που τροφοδοτείται από ηλεκτρική ενέργεια.

Ο προσδιορισμός της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση για το εξεταζόμενο κτήριο, θα προκύψει από τον μέσο όρο της τιμής αυτής για κάθε μία από τις 6 παραπάνω περιπτώσεις. Η παραπάνω τιμή προκύπτει 10560 kWh. Λαμβάνοντας ακόμα ένα βαθμό απόδοσης 100% για το λέβητα φυσικού αερίου η τιμή της **καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση θα προκύψει ίση με 10560 kWh.**

Η καταναλισκόμενη ενέργεια για ZNX θα ληφθεί ίση με το μέσο όρο των τιμών της καταναλισκόμενης ενέργειας στις Διατάξεις 2 και 3, όπου το νερό αποθηκεύεται σε ξεχωριστό δοχείο όπως και στο θερμοσίφωνο. Η **καταναλισκόμενη ενέργεια για το ZNX προκύπτει ίση με 1400 kWh.**

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η πρωτογενής ενέργεια που καταναλώνεται στην περίπτωση του συμβατικού συστήματος θέρμανσης. Η πρωτογενής ενέργεια που καταναλώνεται στη συμβατική διάταξη προκύπτει ίση με 15676 kWh.



Εικόνα 37: Κατανάλωση Ενέργειας για κάθε διάταξη Συγκριτικά με το Συμβατικό Σύστημα Θέρμανσης

4. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Παρακάτω, θα παρουσιαστεί και η εξοικονόμηση για κάθε τύπο συμβατικής ενέργειας, η οποία προκύπτει με την χρήση της κάθε διάταξης.

Πίνακας 13:Εξοικονόμηση Ενέργειας για κάθε Διάταξη

	Ενέργεια από Λέβητα	Ηλεκτρική Ενέργεια
Διάταξη 1	8%	100%
Διάταξη 2	14%	65%
Διάταξη 3	15.4%	81%

Για τη Διάταξη 1, η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι 100%, καθώς σε αυτήν την περίπτωση δεν χρησιμοποιείται καθόλου ηλεκτρική ενέργεια. Για αυτό το λόγο κιάλας η εξοικονόμηση της ενέργειας από τον λέβητα είναι η πιο χαμηλή. Η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας φαίνεται να επιτυγχάνεται στην Διάταξη 1.

5. Αντιστάθμιση

5. Αντιστάθμιση

Νομεκλατούρα

μ : συντελεστής φορτίου

T_c : ακραία εξωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού συστήματος

T_h : Μέση επιθυμητή Εσωτερική θερμοκρασία

$T_{h,w,in}$: θερμοκρασία εισόδου του νερού στα τερματικά στο 100% του φορτίου

T : εξωτερική θερμοκρασία

N_R : μέγιστη ισχύς συστήματος

N : ισχύς συστήματος για εξωτερική θερμοκρασία T

T_{mR} : μέση θερμοκρασία νερού στο σύστημα κατά τη λειτουργία στο 100% του φορτίου

ΔT_{mR} : διαφορά θερμοκρασίας νερού εισόδου-εξόδου στο 100% του φορτίου

n : συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από τα θερμαντικά σώματα

T_{in} : θερμοκρασία εισόδου του νερού στα τερματικά για θερμοκρασία περιβάλλοντος T

5.1 Περιγραφή Διαδικασίας και Ρύθμισης Αντιστάθμισης

Στις παραπάνω διατάξεις, η θερμοκρασία εισόδου στα FCU έχει καθοριστεί σταθερή και ίση με 45 °C, ανεξάρτητα με την εξωτερική θερμοκρασία. Με την παρουσία της αντιστάθμισης στο σύστημα είναι δυνατόν να ρυθμιστεί η ισχύς που καταναλώνεται για θέρμανση μέσω της ρύθμισης της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο των FCU [37]. Η παραπάνω ρύθμιση είναι σημαντική όταν η θερμοκρασία που επικρατεί στο περιβάλλον δεν είναι η ακραία, για την οποία έχει σχεδιαστεί το σύστημα. Έτσι, με την μείωση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στα θερμαντικά σώματα, προσαρμόζεται η ισχύς του συστήματος θέρμανσης στις εκάστοτε ανάγκες.

Η ρύθμιση αυτής της θερμοκρασίας είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους, είτε με ανάμιξη του νερού επιστροφής από τα τερματικά με το ζεστό νερό από το δοχείο αποθήκευσης, είτε με την ρύθμιση της θερμοκρασίας νερού από το λέβητα. Η πρώτη μέθοδος θα εφαρμοστεί στις διατάξεις 1 και 2. Στη διάταξη 3 το νερό που εισέρχεται στα FCU προέρχεται κατευθείαν από την έξοδο του λέβητα, έτσι θα εφαρμοστεί η δεύτερη μέθοδος αντιστάθμισης, δηλαδή η ελάττωση της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από το λέβητα. Παρόλα αυτά, καθώς στη διάταξη αυτή ελέγχεται και η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον λέβητα και σε περίπτωση που αυτή ξεπερνάει την επιθυμητή θερμοκρασία, αναμειγνύεται με νερό από τον πάτο του δοχείου, θα εφαρμοστεί η αντιστάθμιση και σε αυτήν με τη χρήση διαχωριστικής βαλβίδας.

Από τα παραπάνω, γίνεται σαφές ότι η τιμή της θερμοκρασίας εισόδου στα τερματικά σώματα προκύπτει ως συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί η διαδικασία προσδιορισμού της συνάρτησης αυτής, όπως αυτή περιγράφεται στο [37].

Αρχικά, υπολογίζεται ο συντελεστής φορτίου για μία εξωτερική θερμοκρασία. Ο συντελεστής φορτίου εκφράζεται από τον παρακάτω λόγο:

$$\mu = \frac{N}{N_R} \quad (5.1)$$

Ενώ ο παραπάνω συντελεστής προκύπτει για την εκάστοτε εξωτερική θερμοκρασία από τη σχέση:

$$\mu = \frac{T_h - T}{T_h - T_c} \quad (5.2)$$

Στην συνέχεια υπολογίζεται η μέση τιμή της θερμοκρασίας στο σύστημα από τη σχέση:

$$T_{mR} = T_{h,w,in} - \frac{\Delta T_{mR}}{2} \quad (5.3)$$

Τέλος, υπολογίζεται η θερμοκρασία εισόδου του νερού στα τερματικά για θερμοκρασία περιβάλλοντος T, από τη σχέση:

$$T_{in} = \mu^{\frac{1}{n}} * (T_{mR} - T_h) + T_h + \frac{\mu * \Delta T_{mR}}{2} \quad (5.3)$$

5. Αντιστάθμιση

Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό της γραμμής αντιστάθμισης. Η ευθεία προέκυψε από το σημείο ακραίας θερμοκρασίας, το οποίο ορίστηκε να χαρακτηρίζεται από:

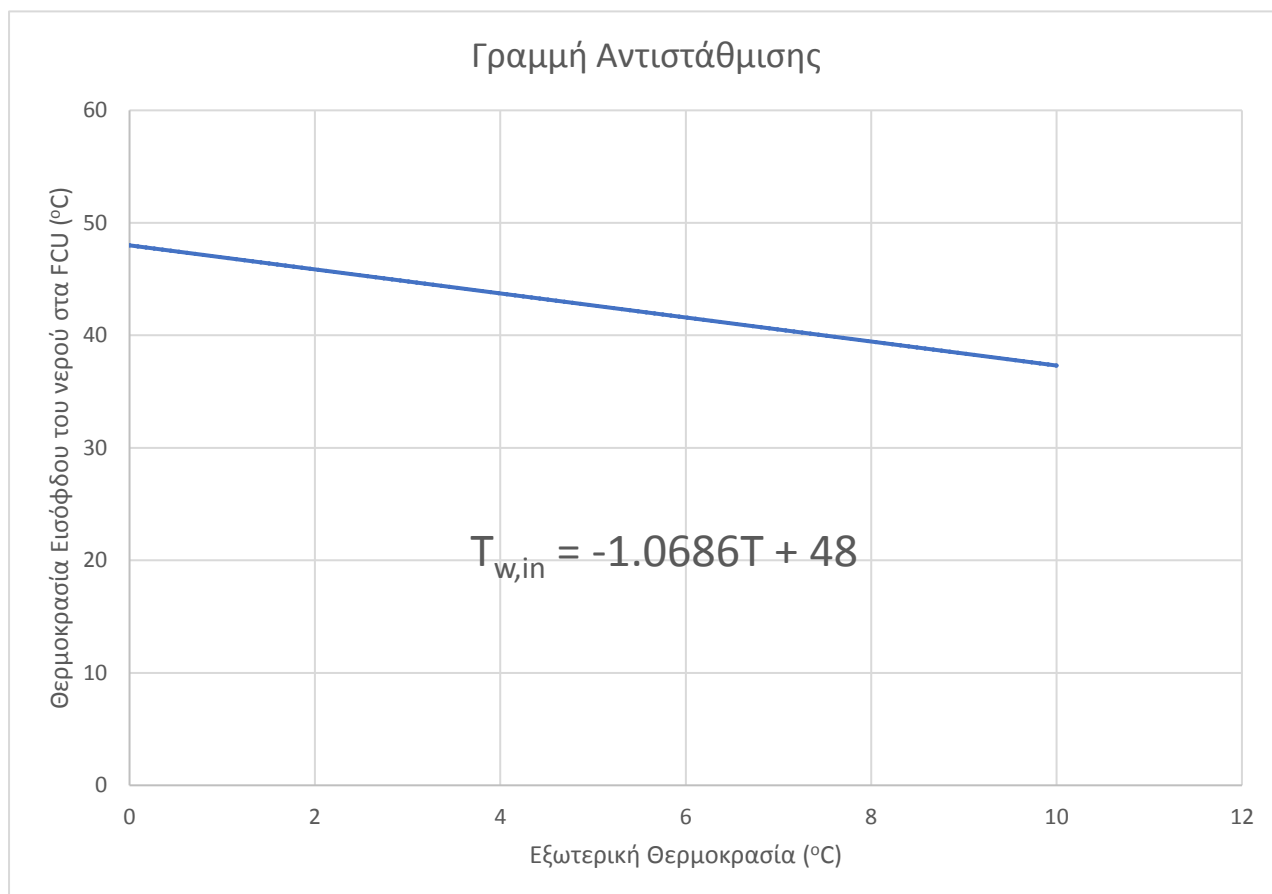
Ακραία εξωτερική Θερμοκρασία: 0 °C

Θερμοκρασία εισόδου του νερού στα FCU: 48 °C

Θερμοκρασιακή διαφορά νερού είσοδος- έξοδος: 5 °C

Η μέση θερμοκρασία χώρου θεωρήθηκε ίση με 20 °C, ενώ η τιμή του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας για τα FCU είναι $n=1.5$.

Η τιμή της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στα τερματικά υπολογίστηκε για την εξωτερική θερμοκρασία των 10 °C, και προέκυψε, σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία, ίση με 37.3 °C. Οπότε, με τα 2 παραπάνω σημεία προέκυψε η παρακάτω ευθεία.



Εικόνα 38: Γραμμή Αντιστάθμισης

5.2 Αποτελέσματα Μοντέλων Με Εφαρμογή της Αντιστάθμισης

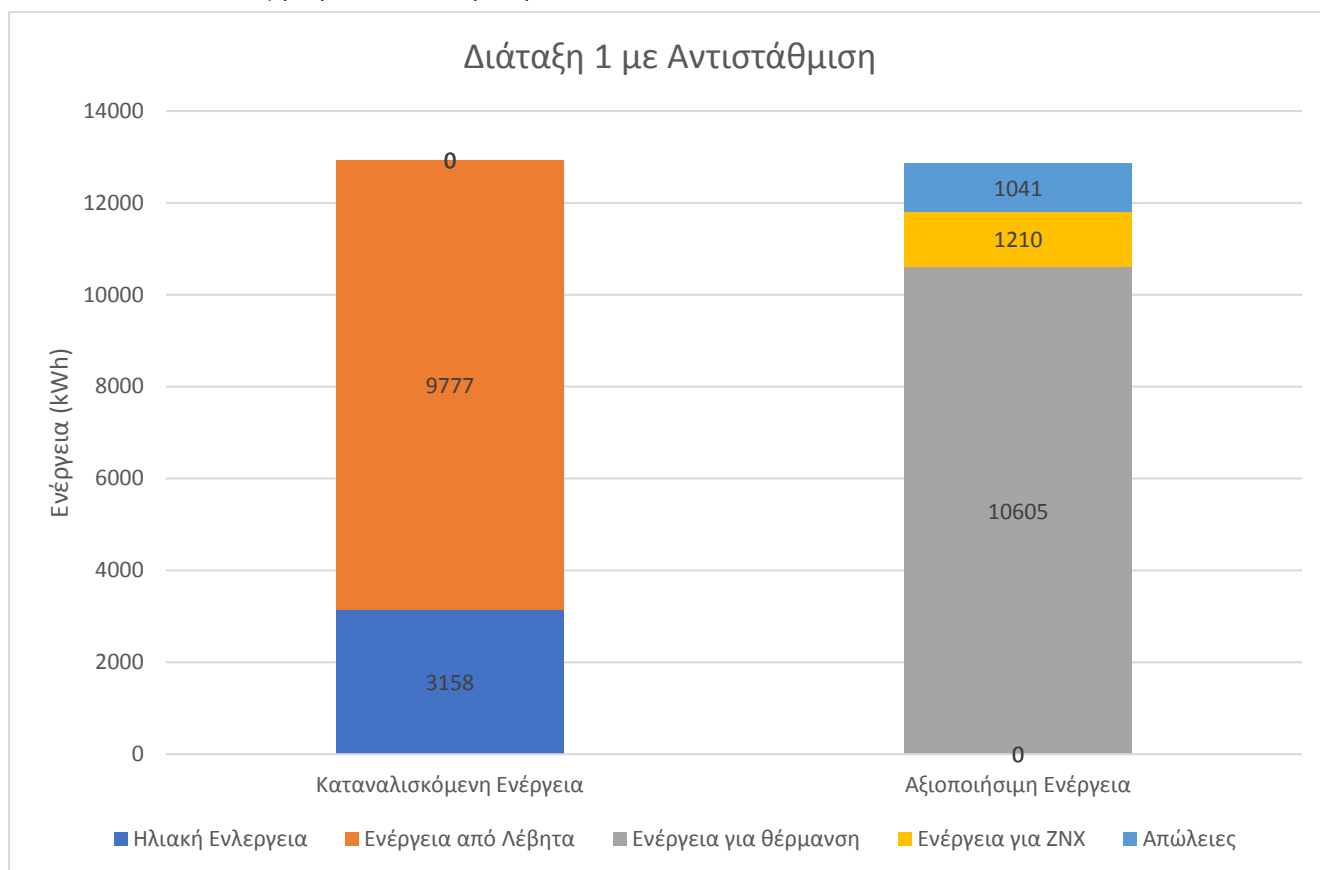
Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα ενεργειακά αποτελέσματα και τα αποτελέσματα για τις θερμοκρασίες, όπως παραπάνω. Όμως, σε αυτή την περίπτωση η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τα FCU ελέγχεται σύμφωνα με τη γραμμή αντιστάθμισης, όπως παραπάνω.

Η περίοδος της προσομοίωσης, το χρονικό βήμα και οι αρχικές συνθήκες είναι ίδιες, όπως και στην περίπτωση των μοντέλων χωρίς αντιστάθμιση.

Στο τέλος, θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων τόσο μεταξύ των μοντέλων με αντιστάθμιση, όσο και μεταξύ των αποτελεσμάτων για το κάθε μοντέλο με και χωρίς αντιστάθμιση.

5. Αντιστάθμιση

5.2.1 Διάταξη 1 με Αντιστάθμιση



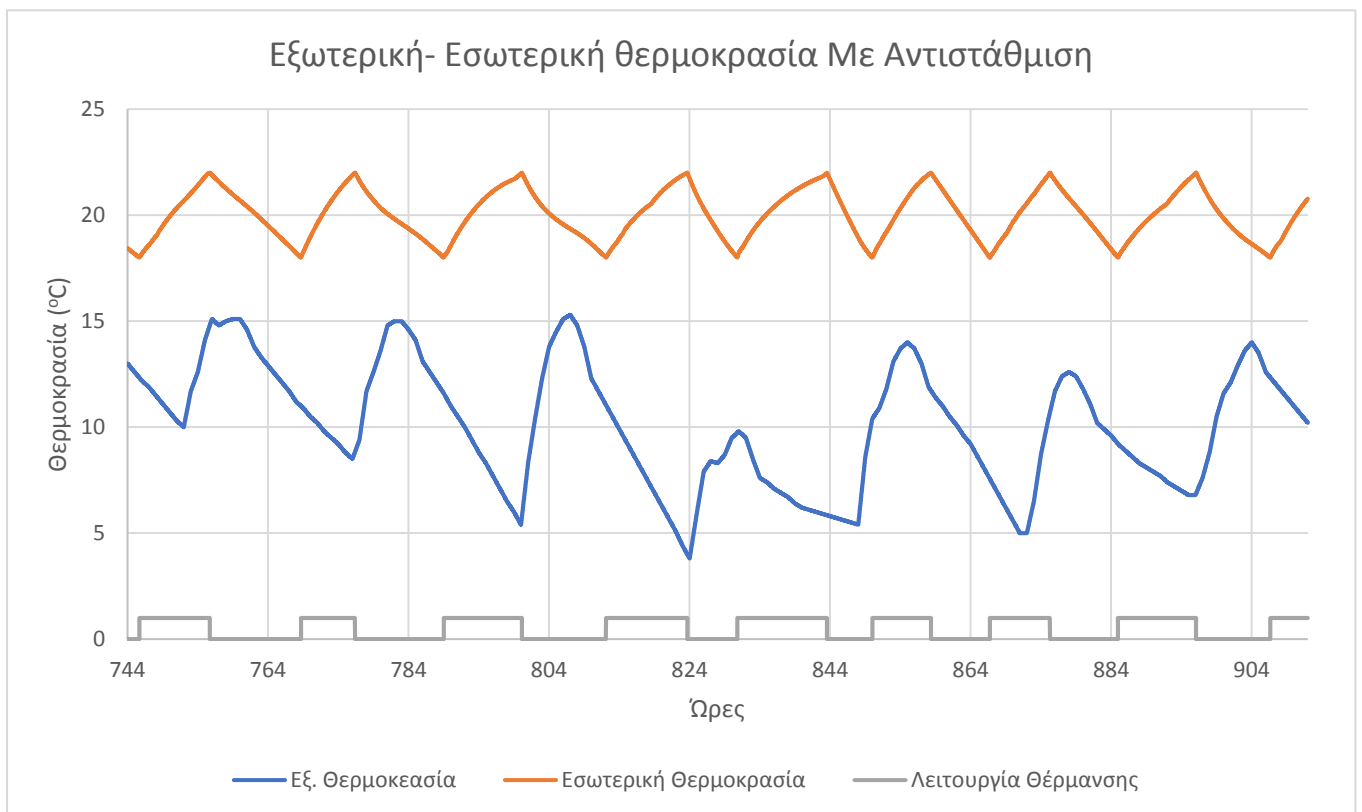
Εικόνα 39:: Αποτελέσματα Διάταξης 1 με Αντιστάθμιση

Πίνακας 14: Καταναλισκόμενη Ενέργεια Διάταξης 1 με Αντιστάθμιση

	Ηλιακή Ενέργεια (kWh)	Ενέργεια από Λέβητα (kWh)	Ηλεκτρική Ενέργεια (kWh)	Σύνολο (kWh)
Θέρμανση & ZNX	3158	9777	0	12934
Απώλειες	-	-	-	1041

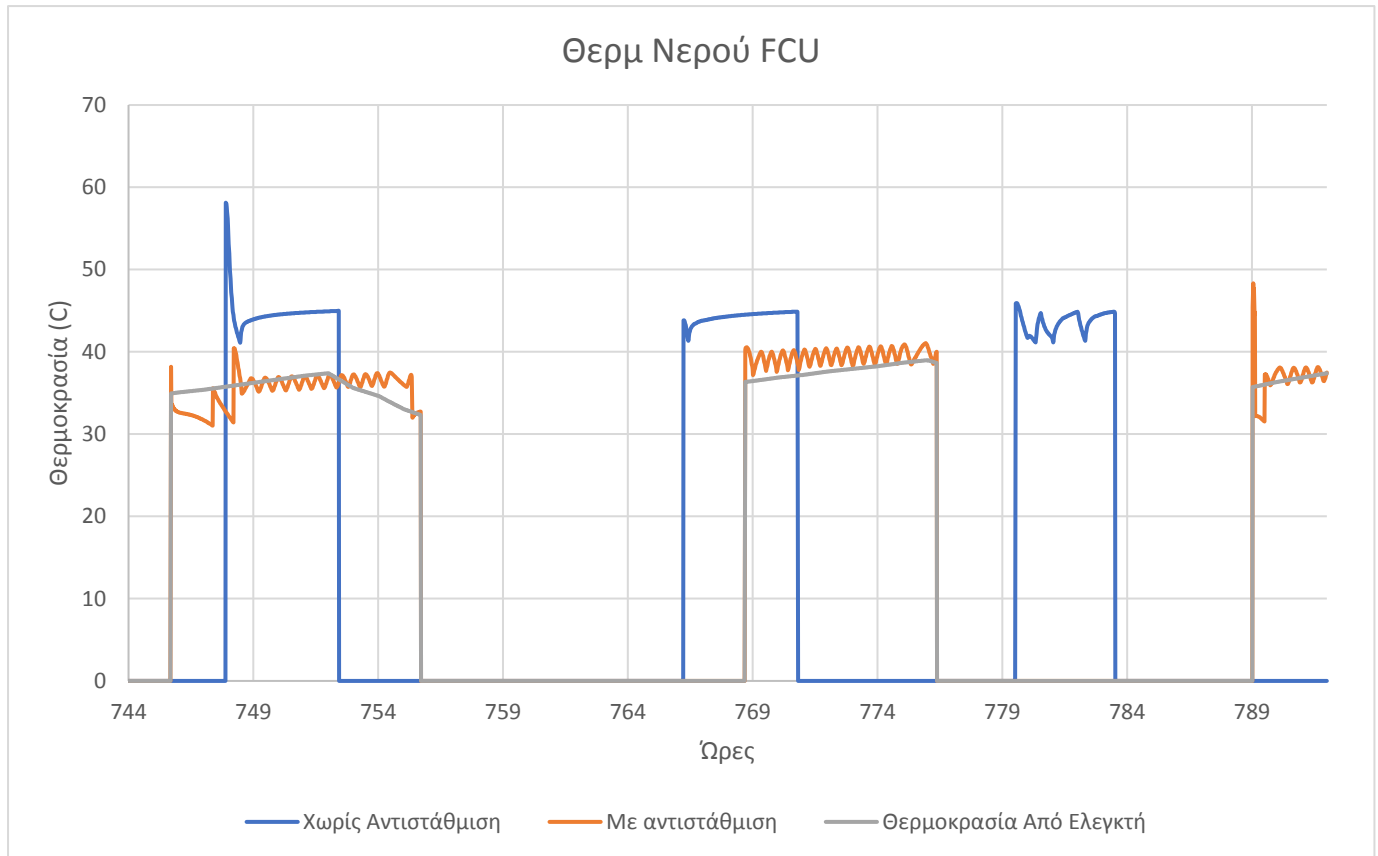
Από τις παραπάνω τιμές η απόκλιση που προκύπτει για αυτό το μοντέλο είναι 0.6 % , οπότε η λειτουργία του φαίνεται να είναι σωστή. Ακόμα, το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας σε σχέση με την ενέργεια που καταναλώνεται είναι **F=24.42 %**.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα διαγράμματα με τις θερμοκρασίες που προκύπτουν για τη Διάταξη 1 με αντιστάθμιση, για τη θερμοκρασία του χώρου, τη θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του FCU και τη θερμοκρασία του ΖΝΧ, για την ίδια περίοδο όπως και στην περίπτωση της παρουσίασης των αποτελεσμάτων της Διάταξης 1 χωρίς αντιστάθμιση, δηλαδή 1-7 Φεβρουαρίου. Στο διάγραμμα της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο των FCU, εκτός από αυτή τη θερμοκρασία φαίνεται και η τιμή από τον ελεγκτή, η οποία προκύπτει από τη γραμμή αντιστάθμισης. Ταυτόχρονα, στο ίδιο διάγραμμα παρουσιάζεται και η τιμή της αντίστοιχης θερμοκρασίας για την περίπτωση του μοντέλου χωρίς αντιστάθμιση.



Εικόνα 40:Θερμοκρασία περιβάλλοντος και Θερμοκρασία κατοικίας που προκύπτει για την Διάταξη 1 με αντιστάθμιση κατά την περίοδο 1-7 Φεβρουαρίου

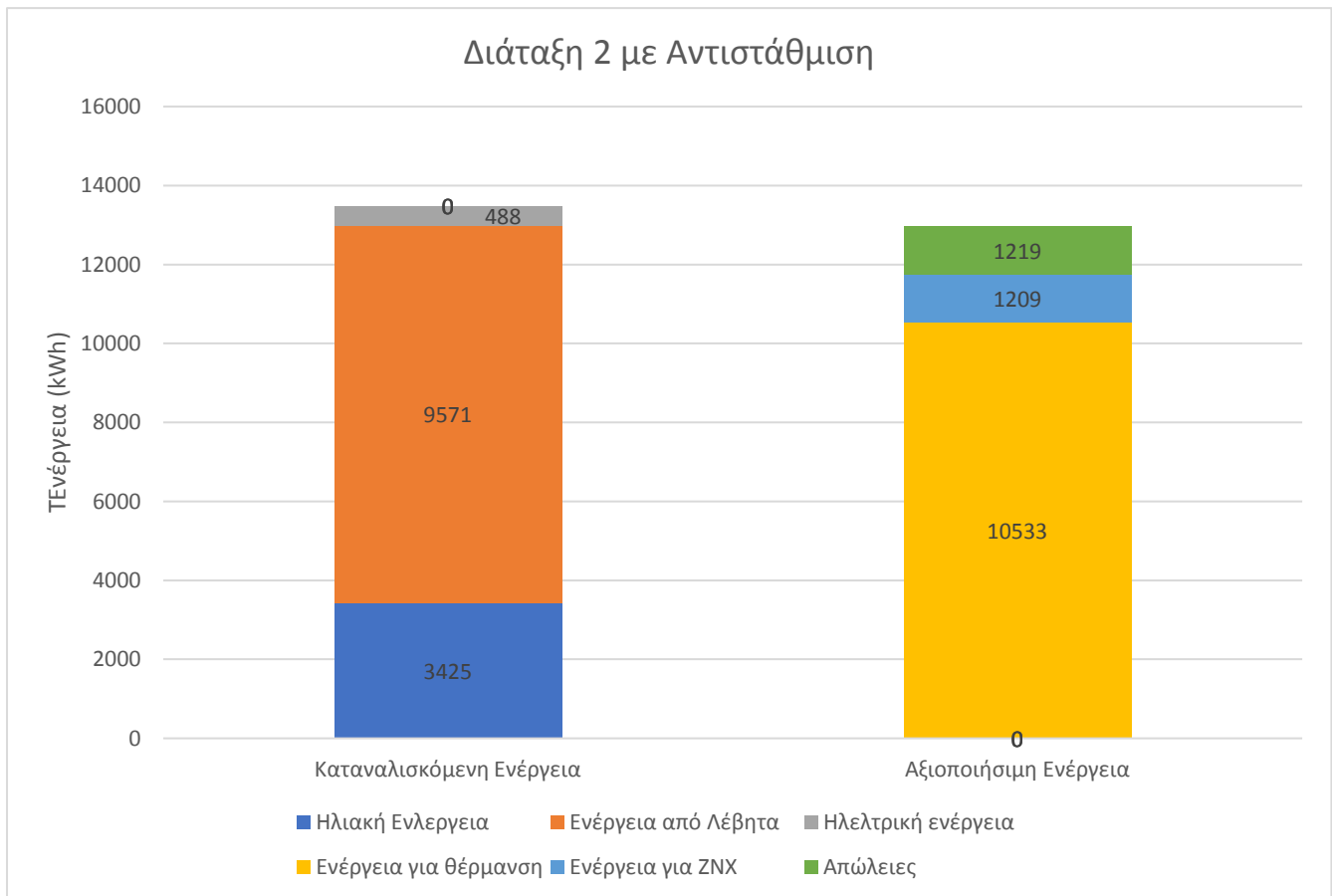
5. Αντιστάθμιση



Εικόνα 41:Θερμοκρασία νερού εισόδου και σήμα ελεγκτή που προκύπτει για την Διάταξη 1 με και χωρίς αντιστάθμιση κατά την περίοδο 1-2 Φεβρουαρίου

Όπως φαίνεται στο τελευταίο διάγραμμα, η αντιστάθμιση λειτουργεί σωστά, καθώς η θερμοκρασία εισόδου του νερού στα FCU ακολουθεί τη θερμοκρασία από τον ελεγκτή. Ακόμα είναι φανερό ότι η θερμοκρασία εισόδου του νερού είναι χαμηλότερη σε σχέση με την περίπτωση όπου δε χρησιμοποιείται η αντιστάθμιση. Παρόλα αυτά, ο χρόνος λειτουργίας της θέρμανσης είναι σημαντικά αυξημένος. Επιπροσθέτως, παρατηρείται ότι η χρονική στιγμή που ξεκινάει να λειτουργεί η θέρμανση είναι διαφορετική.

5.2.2 Διάταξη 2 με Αντιστάθμιση



Εικόνα 42: Αποτελέσματα Διάταξης 2 με Αντιστάθμιση

Πίνακας 15: Ενεργειακές καταναλώσεις Διάταξης 2 με Αντιστάθμιση

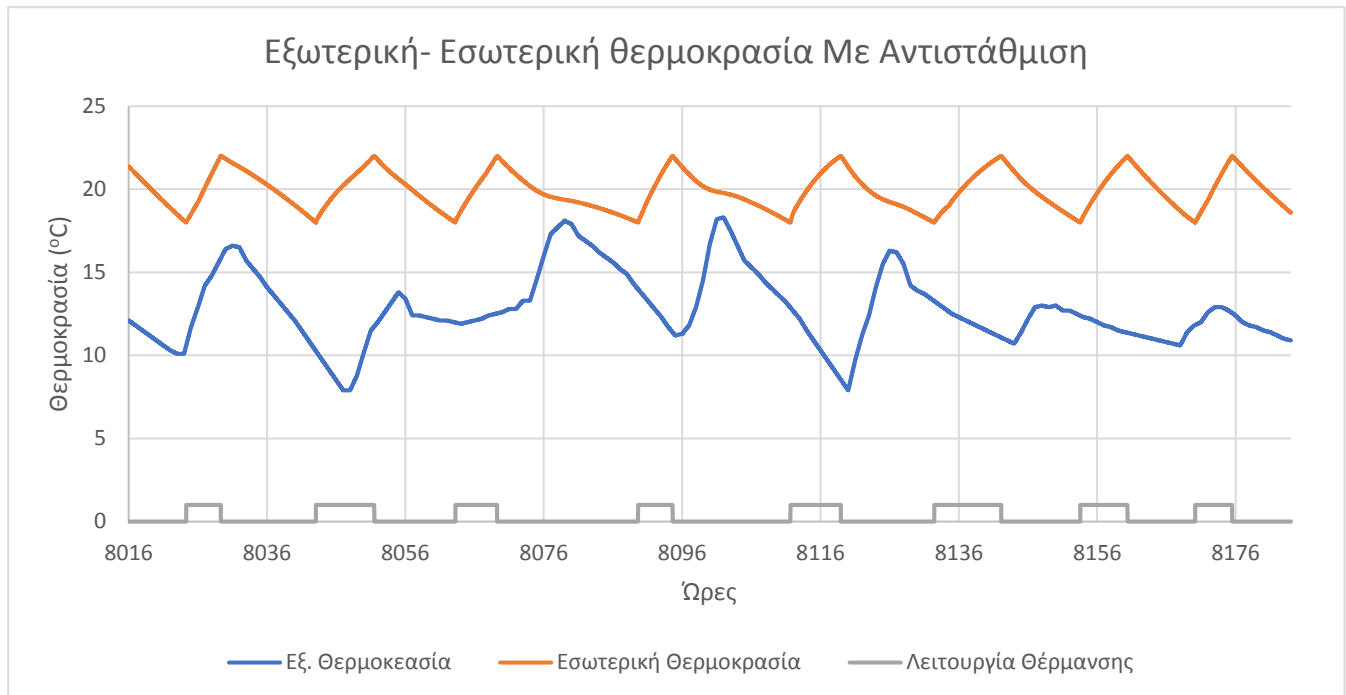
	Ηλιακή Ενέργεια (kWh)	Ενέργεια από Λέβητα (kWh)	Ηλεκτρική Ενέργεια (kWh)	Σύνολο (kWh)
Θέρμανση	2562	9571	0	12133
ΖΝΧ	863	0	488	1351

Σε αυτή τη διάταξη παρουσιάζονται παρόμοια αποτελέσματα όπως και στη διάταξη 2 χωρίς αντιστάθμιση. Η απόκλιση σε αυτή την περίπτωση έχει την τιμή 3,5 %. Το ποσοστό της

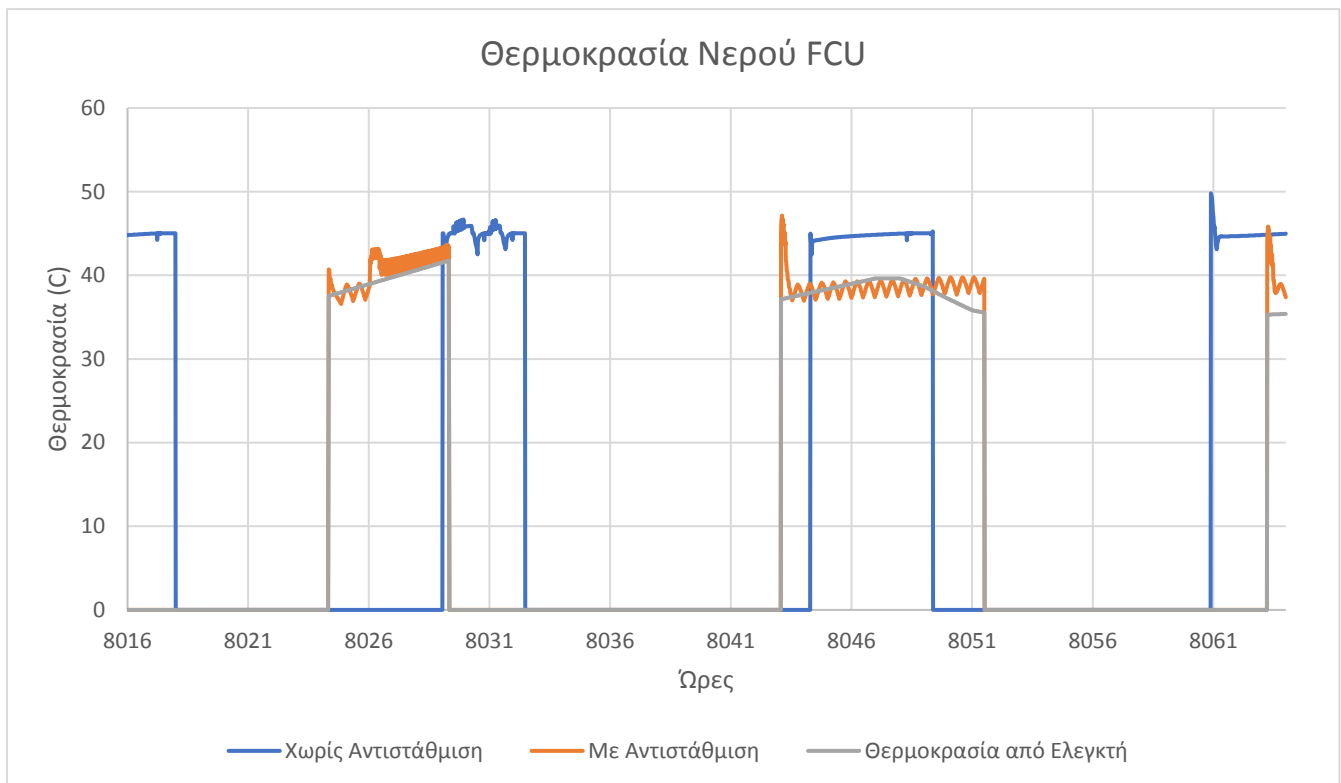
5. Αντιστάθμιση

καταναλισκόμενης ενέργειας το οποίο είναι ηλιακή είναι $F_{tot}=25.40\%$. Σε αυτό το μοντέλο είναι εφικτός και ο υπολογισμός του ποσοστού της ηλιακής ενέργειας στη θέρμανση και στην παραγωγή ΖΝΧ και προκύπτουν αντίστοιχα $F_{\theta\epsilon\rho\mu\alpha\nu\sigma\eta\varsigma}=21.12\%$, $F_{Z\text{N}\chi}=63.88\%$.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα διαγράμματα για τη θερμοκρασία του χώρου σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία και τη λειτουργία της θέρμανσης κατά την περίοδο 1-7 Δεκεμβρίου και για τη θερμοκρασία του ΖΝΧ και τη θερμοκρασία εισόδου του νερού στα FCU κατά την περίοδο 1-2 Δεκεμβρίου.



Εικόνα 43:Θερμοκρασία περιβάλλοντος και Θερμοκρασία κατοικίας που προκύπτει για την Διάταξη 2 με αντιστάθμιση κατά την περίοδο 1-7 Δεκεμβρίου

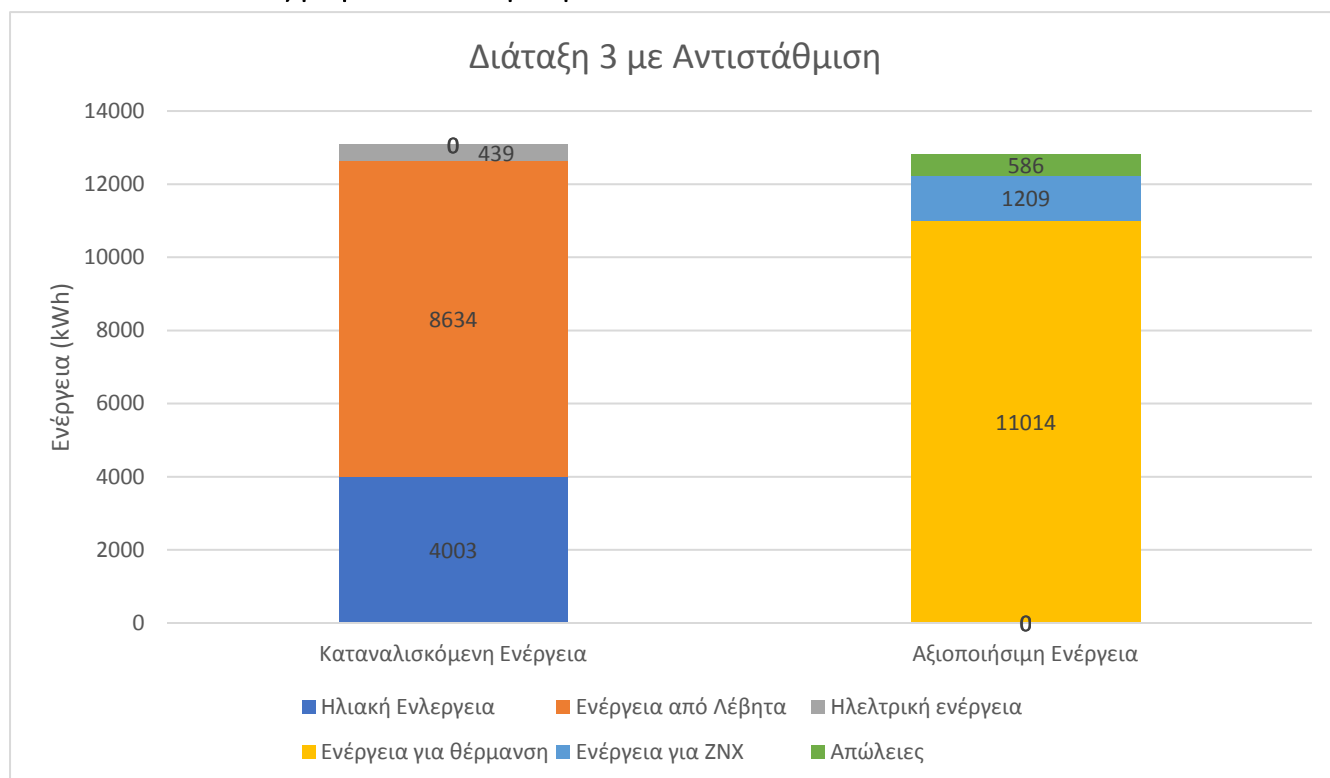


Εικόνα 44:Θερμοκρασία νερού Εισόδου και σήμα ελεγκτή που προκύπτει για την Διάταξη 2 με και χωρίς αντιστάθμιση κατά την περίοδο 1-2 Δεκεμβρίου

Και σε αυτή την περίπτωση φαίνεται ότι η θερμοκρασία εισόδου το νερού στα FCU ακολουθεί το σήμα από τον ελεγκτή. Ακόμα, παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στα τερματικά με την εφαρμογή της αντιστάθμισης, όπως είναι φυσικό. Στο ξεκίνημα της λειτουργίας της θέρμανσης παρατηρείται και εδώ ότι η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από την τιμή του ελεγκτή, γεγονός που οφείλεται και σε αυτή την περίπτωση στο ότι κατά το ξεκίνημα της θέρμανσης δεν υπάρχει νερό από την επιστροφή των FCU ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία.

5. Αντιστάθμιση

5.2.3 Διάταξη 3 με Αντιστάθμιση



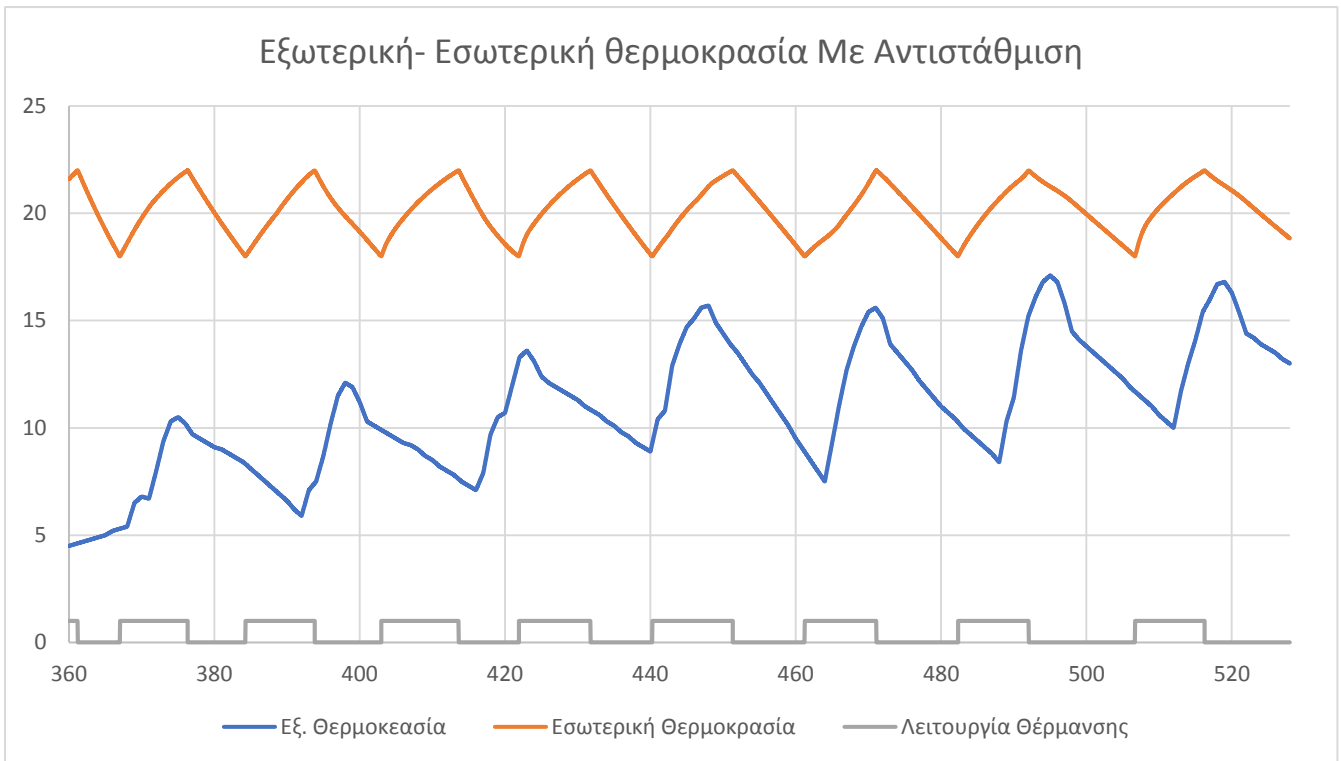
Εικόνα 45: Αποτελέσματα Διάταξης 3 με Αντιστάθμιση

Πίνακας 16: Ενεργειακές καταναλώσεις Διάταξης 3 με Αντιστάθμιση

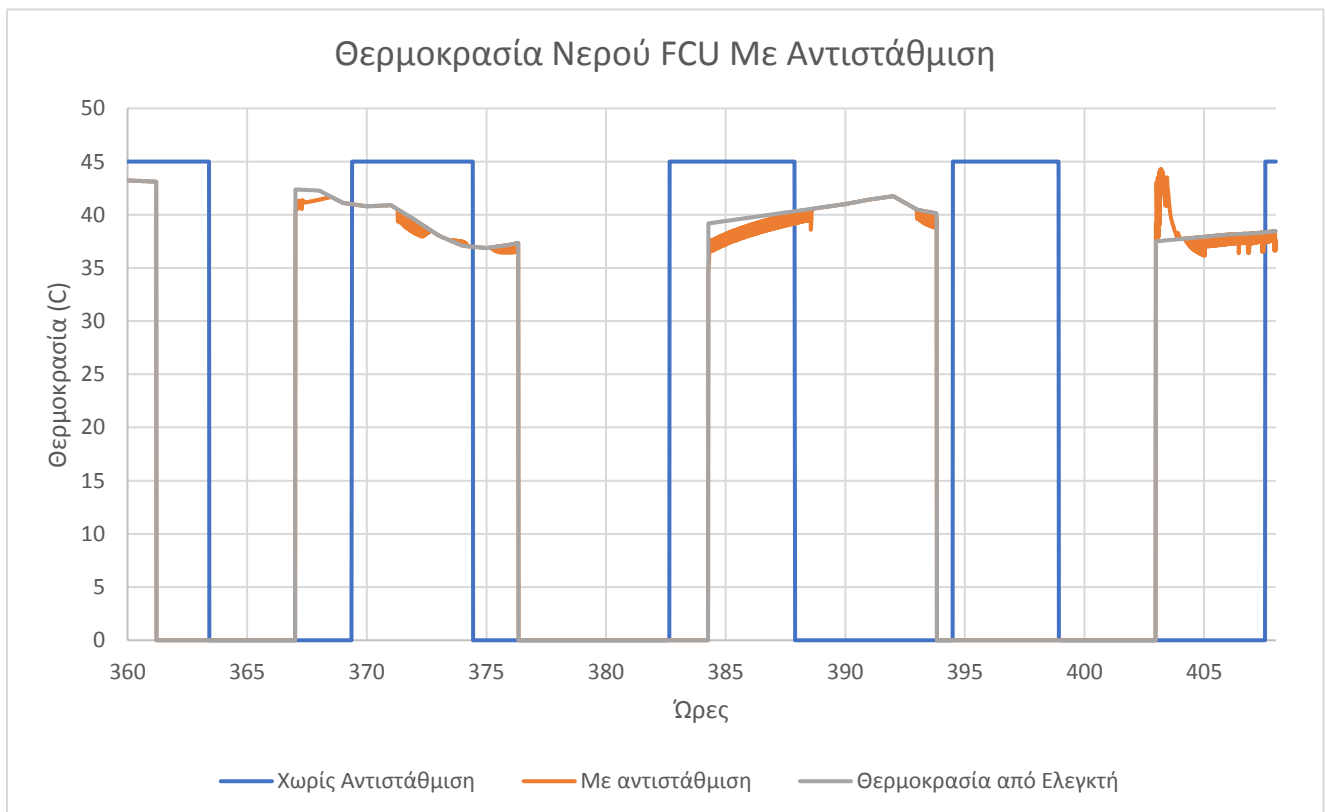
	Ηλιακή Ενέργεια (kWh)	Ενέργεια από Λέβητα (kWh)	Ηλεκτρική Ενέργεια (kWh)	Σύνολο (kWh)
Θέρμανση	3021	8634	0	11655
ZNX	982	0	439	1421

Εδώ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τη διάταξη 3 με αντιστάθμιση. Η απόκλιση σε αυτή την περίπτωση έχει την τιμή 1.54 %. Το ποσοστό της ηλιακής υποβοήθησης είναι $F_{tot}=30.61$ %. Σε αυτό το μοντέλο είναι εφικτός και ο υπολογισμός του ποσοστού της ηλιακής ενέργειας στη θέρμανση και στην παραγωγή ZNX και προκύπτουν αντίστοιχα $F_{\theta\epsilon\rho\mu\alpha\nu\sigma\eta\varsigma}=25.92\%$, $F_{ZNX}=61.11$ %.

Κατόπιν, παρουσιάζονται τα διαγράμματα για τη θερμοκρασία του χώρου σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία και τη λειτουργία της θέρμανσης κατά την περίοδο 15-21 Ιανουαρίου και για τη θερμοκρασία του ZNX και τη θερμοκρασία εισόδου του νερού στα FCU κατά την περίοδο 15-17 Ιανουαρίου.



Εικόνα 46:Θερμοκρασία περιβάλλοντος και Θερμοκρασία κατοικίας που προκύπτει για την Διάταξη 3 με αντιστάθμιση κατά την περίοδο 15-17 Ιανουαρίου



Εικόνα 47:Θερμοκρασία Νερού εισόδου και σήμα ελεγκτή που προκύπτει για την Διάταξη 3 με και χωρίς αντιστάθμιση κατά την περίοδο 15-17 Ιανουαρίου

5. Αντιστάθμιση

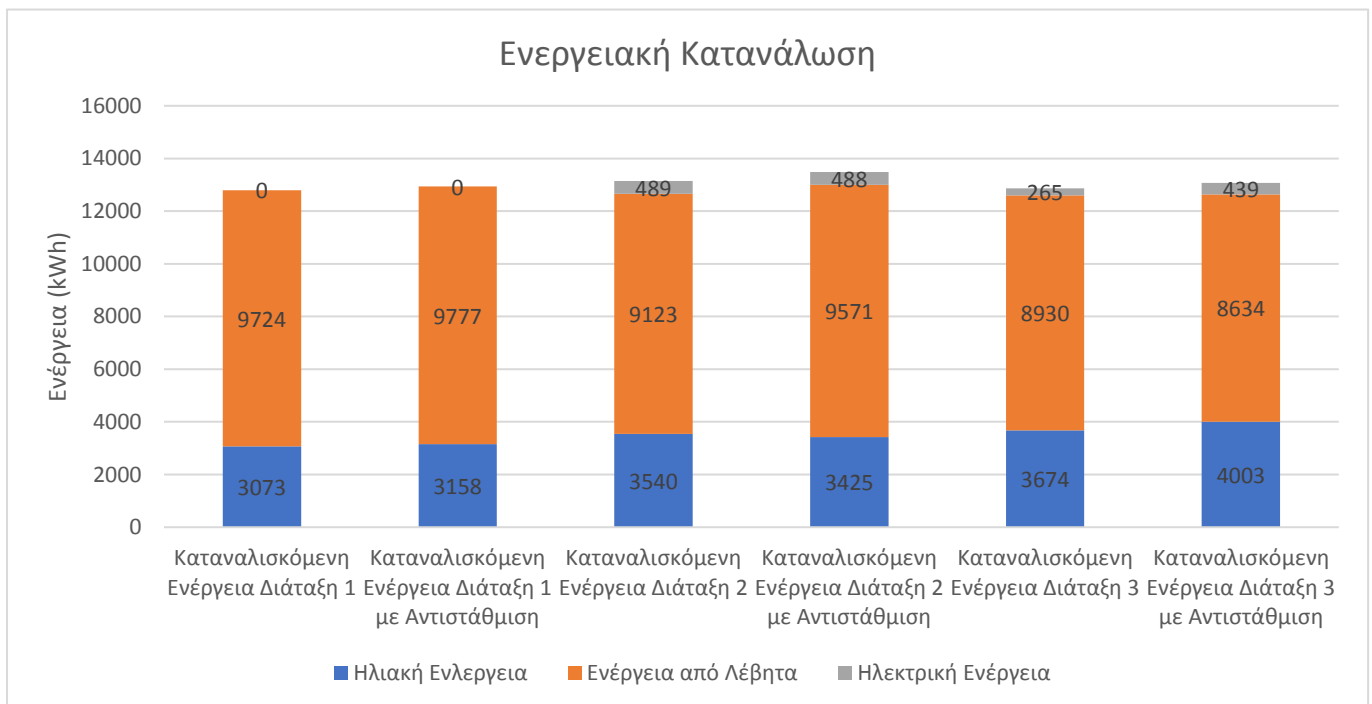
Όπως φαίνεται στα αποτελέσματα για αυτήν τη διάταξη με αντιστάθμιση, όπως και στην περίπτωση χωρίς αντιστάθμιση, η θερμοκρασία εισόδου του νερού στα FCU ακολουθεί το σήμα του ελεγκτή. Στην περίπτωση που φαίνεται ότι η θερμοκρασία ξεπερνά την τιμή του σήματος εισόδου, οφείλεται στη θερμοκρασία εξόδου του νερού από το δοχείο αποθήκευσης και τη ρύθμιση της θερμοκρασίας στην τρίοδη βάννα για την ανάμειξη των ροών από τα δύο ύψη του δοχείου. Παρόλα αυτά, μετά από λίγο χρόνο και αυτή η τιμή ακολουθεί την τιμή του ελεγκτή.

5.3 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Μοντέλων Με Αντιστάθμιση

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι οι τελικές καταναλώσεις ενέργειας είναι παρόμοιες με αυτές στην περίπτωση χωρίς αντιστάθμιση. Δηλαδή η αξιοποιήσιμη ενέργεια για θέρμανση έχει την τιμή 10500 kWh για τις διατάξεις 1 και 2 και 11000 kWh για τη διάταξη 3, ενώ στην περίπτωση χωρίς αντιστάθμιση η αξιοποιήσιμη ενέργεια για τη θέρμανση είχε την τιμή 10400 kWh. Για την περίπτωση του ZNX, η αξιοποιήσιμη ενέργεια έχει και εδώ την τιμή των 1210 kWh καθώς δεν επηρεάζεται από την αντιστάθμιση, με αποτέλεσμα να έχει σταθερή τιμή και στις 2 περιπτώσεις.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται μια πολύ μικρή αύξηση, της τάξης του 2 %, της ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης του κτηρίου παρά τη χρήση αντιστάθμισης. Αυτό το αποτέλεσμα δεν είναι ρεαλιστικό καθώς με τη χρήση της αντιστάθμισης στην πραγματικότητα επιτυγχάνεται σημαντική ελάττωση της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση. Στα παραπάνω μοντέλα δεν παρατηρείται αυτή η ελάττωση καθώς δεν λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες στο δίκτυο των σωληνώσεων των συστημάτων. Οι απώλειες αυτές παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο καθώς, όταν με τη χρήση της αντιστάθμισης μειώνεται η θερμοκρασία του νερού, μειώνονται και οι απώλειες των σωληνώσεων. Η πολύ μικρή αύξηση της ενέργειας για θέρμανση οφείλεται και στο ότι στην περίπτωση της χρήσης της αντιστάθμισης η λειτουργία της θέρμανσης πραγματοποιείται για πολύ μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, με χαμηλότερη βέβαια ισχύ.

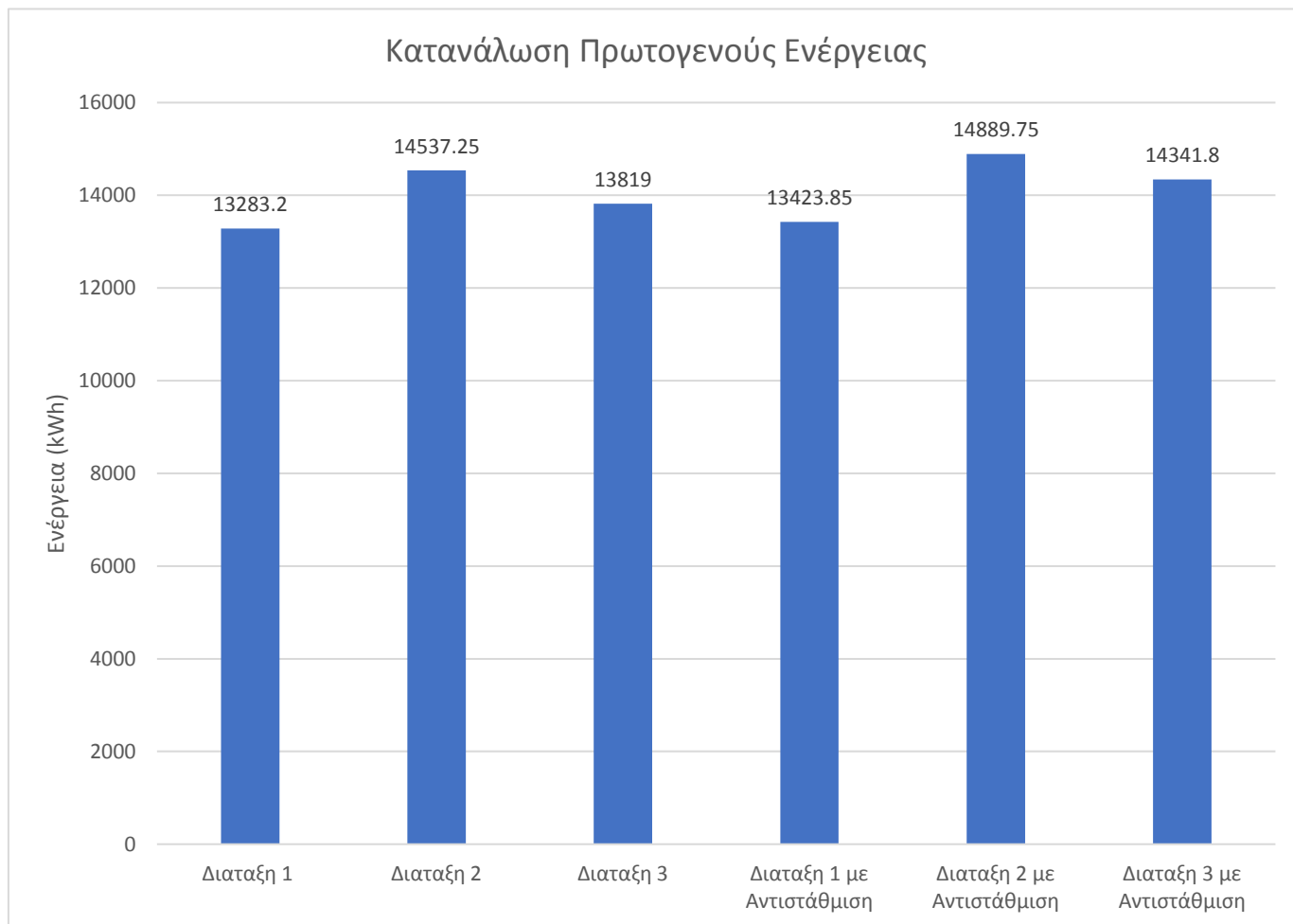
Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν συγκριτικά οι καταναλώσεις ενέργειας για κάθε διάταξη με και χωρίς αντιστάθμιση ώστε να εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα για την κατανάλωση ενέργειας.



Εικόνα 48: Κατανάλωση Ενέργειας για κάθε Διάταξη

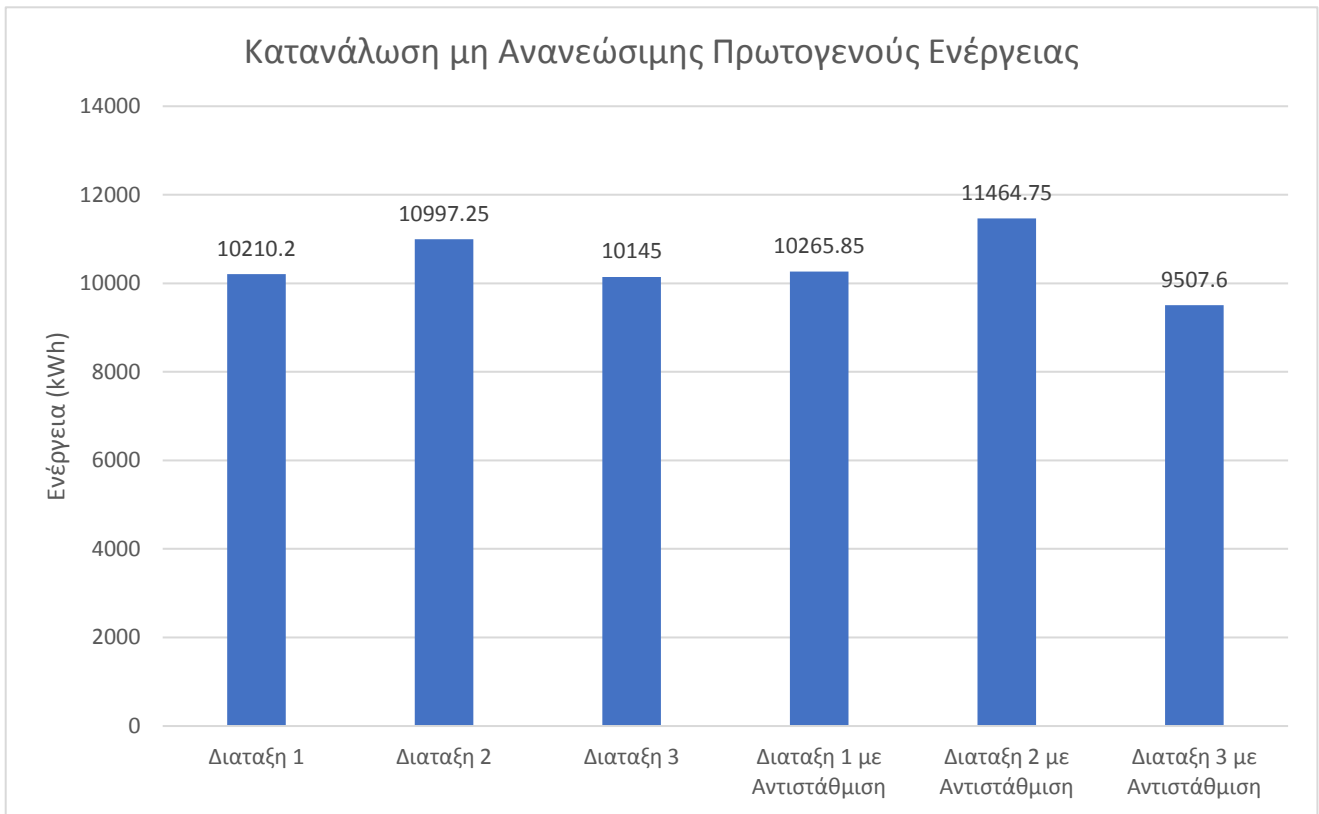
5. Αντιστάθμιση

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι στις διατάξεις με αντιστάθμιση καταναλώνεται περισσότερη ηλιακή ενέργεια, το οποίο θα φανεί αναλυτικότερα και στη συνέχεια στην παρουσίαση της πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνεται. Η πρωτογενής ενέργεια υπολογίστηκε με τον ίδιο τρόπο όπως και στην περίπτωση των διατάξεων χωρίς αντιστάθμιση.



Εικόνα 49: Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας για κάθε Διάταξη

Και η πρωτογενής ενέργεια που καταναλώνεται σε κάθε διάταξη παρουσιάζει μία μικρή αύξηση, παρόμοια με αυτή της καταναλισκόμενης ενέργειας.



Εικόνα 50: Κατανάλωση μη Πρωτογενούς Ανανεώσιμης Ενέργειας για κάθε Διάταξη

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η διάταξη με την οποία καταναλώνεται η ελάχιστη δυνατή μη ανανεώσιμη πρωτογενής ενέργεια είναι η Διάταξη 3 με τη χρήση της αντιστάθμισης. Αυτό γίνεται καθώς η ζητούμενη θερμοκρασία του νερού για τη θέρμανση του χώρου είναι πιο χαμηλή με αποτέλεσμα το νερό του δοχείου αποθήκευσης της θέρμανσης να βρίσκεται σε ικανή θερμοκρασία να ζεστάνει το χώρο χωρίς τη λειτουργία του λέβητα. Ακόμα, το δοχείο αποθήκευσης του νερού για τη θέρμανση του χώρου βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία με αποτέλεσμα την απορρόφηση περισσότερης ηλιακής ενέργειας από τον εναλλάκτη.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρότερη στις διατάξεις χωρίς αντιστάθμιση. Αυτό το αποτέλεσμα δεν είναι ρεαλιστικό για τους λόγους που αναλύθηκαν παραπάνω, οπότε, από την μελέτη της αντιστάθμισης εξετάζεται μόνο η μοντελοποίηση της, η οποία έγινε επιτυχώς. Στη συνέχεια, ως ενεργειακά μεγέθη θα χρησιμοποιηθούν μόνο αυτά των διατάξεων χωρίς αντιστάθμιση.

6. Οικονομική Αξιολόγηση

Αφού μελετήθηκαν τα ενεργειακά αποτελέσματα από τη μοντελοποίηση των παραπάνω διατάξεων, σε αυτό το κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί μια οικονομική αξιολόγηση. Τα σενάρια που εξετάζονται είναι η αγορά ενός από τα συστήματα εξ αρχής σε ένα σπίτι και η οικονομική σύγκριση μεταξύ τους και η αντικατάσταση ενός συστήματος θέρμανσης σε μία υπάρχουσα κατοικία η οποία είναι εξοπλισμένη ήδη με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης, όπως αυτό εξετάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Αρχικά, θα υπολογιστεί το κόστος για κάθε εξάρτημα που χρησιμοποιείται σύμφωνα με το [3]. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το αρχικό κόστος για κάθε διάταξη ανάλογα με το συνδυασμό των εξαρτημάτων που χρησιμοποιείται. Στην περίπτωση που εξετάζεται η αντικατάσταση του συμβατικού συστήματος, υπολογίζεται το χρηματικό όφελος που θα προκύψει από τη χρήση της κάθε διάταξης και τέλος γίνεται η οικονομική αξιολόγηση του κάθε μοντέλου.

6.1 Υπολογισμός Κόστους κάθε Διάταξης

Παρακάτω, παρουσιάζεται το κόστος για κάθε αντικείμενο, από όπου θα προκύψει και το τελικό κόστος κάθε διάταξης. Οι τιμές για τα δοχεία αποθήκευσης και για τους ηλιακούς συλλέκτες επιλέχθηκαν σύμφωνα με τις τρέχουσες τιμές της αγοράς.

Πίνακας 17: Κόστος κάθε Συσκευής

Συσκευή	Τιμή (€)
Δοχείο Αποθήκευσης 1 m ³ με 2 Εναλλάκτες	1300
ηλιακοί Συλλέκτες 15 m ²	(80 €/m ²) 1200
Δοχείο Αποθήκευσης 0.8 m ³ με 1 Εναλλάκτη	800
Δοχείο Αποθήκευσης 0.2 m ³ με Ηλεκτρική Αντίσταση	400
Λέβητας	900
FCU 12 kW	(200€/kW _{θερμικό}) 2400
Τρίοδη βαλβίδα	300
Κυκλοφορητής	350
Ελεγκτής PID	110
Διαφορικός Θερμοστάτης	80
Θερμοστάτης Χώρου	50

Το κόστος για κάθε διάταξη διαμορφώνεται από το άθροισμα των τιμών κάθε συσκευής με την οποία είναι εξοπλισμένο και από το κόστος εργασίας και σωληνώσεων το οποίο έχει θεωρηθεί ίσο με 3200 €. Οι ηλιακοί συλλέκτες, ο λέβητας, τα FCU και ο θερμοστάτης χώρου υπάρχουν και στις τρεις διατάξεις.

Εκτός από τα παραπάνω, η Διάταξη 1 αποτελείται από ένα μεγάλο δοχείο αποθήκευσης, μία τρίοδη βαλβίδα, 3 κυκλοφορητές, 1 ελεγκτή PID και 2 διαφορικούς θερμοστάτες, από τα οποία το αρχικό κόστος που προκύπτει ανέρχεται στα **10670 €**.

Για την Διάταξη 2, το αρχικό κόστος υπολογίζεται στα **11030 €**, καθώς αποτελείται από δύο δοχεία αποθήκευσης νερού, 2 τρίοδες βαλβίδες, 3 κυκλοφορητές, ένα ελεγκτή PID και 4 διαφορικούς θερμοστάτες.

6. Οικονομική Αξιολόγηση

Και στη Διάταξη 2, χρησιμοποιούνται δύο δοχεία αποθήκευσης νερού, δύο τρίοδες βαλβίδες, δύο κυκλοφορητές, ένα ελεγκτή PID και τρεις διαφορικούς θερμοστάτες που απαιτούν για την απόκτηση τους ένα αρχικό κόστος ίσο με **10600 €**.

Πίνακας 18: Αρχικό Κόστος Κάθε Διάταξης

Διάταξη	Διάταξη 1	Διάταξη 2	Διάταξη 3
Αρχικό Κόστος (€)	10670	11030	10600

6.2 Οικονομική Αξιολόγηση Αγοράς Νέου Συστήματος

Σε αυτή την περίπτωση θα γίνει η οικονομική αξιολόγηση του σεναρίου να αγοραστεί μια καινούργια διάταξη θέρμανσης στην εξεταζόμενη κατοικία.

Για το υπολογισμό του ετήσιου του κόστους λειτουργίας, για κάθε διάταξη παραγωγής ΖΝΧ και θέρμανσης του χώρου θεωρούνται τα παρακάτω κόστη ανά kWh για το ηλεκτρικό ρεύμα και το φυσικό αέριο. Η τιμή για το φυσικό αέριο αναφέρεται για την **κατώτερη θερμογόνο ικανότητα** του καυσίμου.

Πίνακας 19:Κόστος Ενεργειακών Πηγών

Τιμή Ηλ. Ρεύματος €/ kWh	0.21064
τιμή Φ.Α €/kWh	0.07514

Για τον υπολογισμό του ετήσιου κόστους της κάθε διάταξης πολλαπλασιάζεται η απαιτούμενη ενέργεια από κάθε πηγή (ενέργεια από λέβητα και ηλεκτρική ενέργεια) με το αντίστοιχο κόστος. Ακόμα έχει θεωρηθεί ένα ετήσιο κόστος συντήρησης των διατάξεων ηλιακής υποβοήθησης ίσο με 230 €. Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας.

Πίνακας 20:Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας κάθε Διάταξης

Διάταξη	Ετήσιο Κόστος (€)
Διάταξη 1	960.66
Διάταξη 2	1018.50
Διάταξη 3	956.81

Η διάρκεια ζωής της κάθε διάταξης θεωρήθηκε ίση με 20 χρόνια. Οπότε, για να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός της καθαρής παρούσας αξίας, το ετήσιο κόστος για κάθε διάταξη πρέπει να αναχθεί για κάθε έτος στο παρόν.

$$\text{Παρούσα Αξία} = \text{Ετήσιο Κόστος} * \left(\frac{1}{(1+r)^n}\right) \quad (7.1)$$

Όπου:

- n: το κάθε έτος (0-20)
- r: επιτόκιο, το οποίο λήφθηκε ίσο με 7%

6. Οικονομική Αξιολόγηση

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει η καθαρή παρούσα αξία για κάθε διάταξη, ως το άθροισμα του αρχικού κόστους της εγκατάστασης και του κόστους για κάθε έτος ανηγμένο στο παρόν.

Πίνακας 21:Καθαρή Παρούσα Αξία

Διάταξη	Καθαρή Παρούσα Αξία (€)
Διάταξη 1	-20847.3
Διάταξη 2	-21820.1
Διάταξη 3	-20736.6

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνεται ότι η πιο οικονομικά συμφέρουσα διάταξη είναι η Διάταξη 3, καθώς έχει το μικρότερο κόστος. Η λιγότερο οικονομικά συμφέρουσα διάταξη είναι η Διάταξη 2.

Πίνακας 22:Αποτελέσματα Οικονομικής Αξιολόγησης

Διάταξη	Αρχικό Κόστος (€)	Ετήσιο Κόστος (€)	Καθαρή Παρούσα Αξία (€)
Διάταξη 1	10670	960.66	-20847.3
Διάταξη 2	11030	1018.50	-21820.1
Διάταξη 3	10600	956.81	-20736.6

6.3 Οικονομική Αξιολόγηση Αναβάθμισης Υπάρχοντος Συστήματος

Σε αυτή την περίπτωση θα εξεταστεί το σενάριο αναβάθμισης ενός υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης με ηλιακή υποβοήθηση. Το υπάρχον σύστημα θέρμανσης θα είναι, όπως περιεγράφηκε στη συμβατική διάταξη, δηλαδή με ένα λέβητα συμπύκνωσης φυσικού αερίου με τερματικά FCU για τη θέρμανση της κατοικίας και ένα θερμοσίφωνο για την παραγωγή ΖΝΧ.

Στο σενάριο αυτό, το αρχικό κόστος θα είναι πολύ μικρότερο, καθώς αρκετές συσκευές υπάρχουν ήδη στην συμβατική διάταξη. Αναλυτικότερα, για την Διάταξη 2 και 3 δεν θα χρειαστεί η επιπλέον αγορά δοχείου αποθήκευσης νερού για το ΖΝΧ, καθώς υπάρχει ήδη στη διάταξη. Επίσης δεν απαιτείται η αγορά λέβητα και του κυκλοφορητή του, η αγορά FCU και η αγορά θερμοστάτη χώρου και για τις τρεις διατάξεις. Το κόστος εργασίας για την εγκατάσταση των συστημάτων και των σωληνώσεων του θεωρείται σταθερό. Έτσι το αρχικό κόστος για την αναβάθμιση του κάθε συστήματος προκύπτει όπως φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 23: Αρχικό Κόστος για κάθε εγκατάσταση (δεύτερο σενάριο)

Διάταξη	Διάταξη 1	Διάταξη 2	Διάταξη 3
Αρχικό Κόστος (€)	6970	6930	6500

Για την ολοκλήρωση της οικονομικής αξιολόγησης αυτού του σεναρίου απαιτείται και ο υπολογισμός του ετήσιου κέρδους από κάθε διάταξη. Το κέρδος προκύπτει από τη διαφορά του ετήσιου κόστους λειτουργίας της συμβατικής διάταξης με το κόστος λειτουργίας της κάθε διάταξης με ηλιακή υποβοήθηση.

$$\text{Ετήσιο Κέρδος} = \text{Ετήσιο Κόστος Συμβατικής Διάταξης} \\ - \text{Ετήσιο Κόστος Διάταξης} \quad (7.2)$$

Το ετήσιο κόστος λειτουργίας της συμβατικής διάταξης, σύμφωνα με τις ενεργειακές της απαιτήσεις, τις τιμές των ενεργειακών πηγών αλλά και το κόστος συντήρησης, όπως αυτά παρουσιάστηκαν παραπάνω, προκύπτει ίσο με **1318.4 € ανά έτος**.

Το ετήσιο κέρδος από τη λειτουργία της κάθε διάταξης προκύπτει σύμφωνα με τα παραπάνω:

6. Οικονομική Αξιολόγηση

Πίνακας 24:Ετήσιο Κέρδος

Διάταξη	Ετήσιο Κέρδος (€)
Διάταξη 1	357.7
Διάταξη 2	299.9
Διάταξη 3	361.5

Με παρόμοιο τρόπο όπως και στη παραπάνω περίπτωση υπολογίζεται η καθαρή παρούσα αξία για κάθε διάταξη. Η χρηματική ροή αποτελείται από το αρχικό κόστος που απαιτείται για την εγκατάσταση της ηλιακής υποβοήθησης και από το ετήσιο κέρδος το οποία ανάγεται στο παρόν.

Πίνακας 25:Καθαρή Παρούσα Αξία

Διάταξη	Καθαρή Παρούσα Αξία (€)
Διάταξη 1	-3180.4
Διάταξη 2	-3753.2
Διάταξη 3	-2669.7

Ακόμα σε αυτό το σενάριο υπολογίζεται και η περίοδος αποπληρωμής για την κάθε διάταξη.

Πίνακας 26:Αποτελέσματα Οικονομικής Αξιολόγησης

Διάταξη	Αρχικό Κόστος (€)	Ετήσιο Κέρδος (€)	Περίοδος Αποπληρωμής (Ετη)	Καθαρή Παρούσα Αξία (€)
Διάταξη 1	6970	357.7	20	-3180.4
Διάταξη 2	6930	299.9	23.1	-3753.2
Διάταξη 3	6500	361.5	18	-2669.7

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή της ηλιακής υποβοήθησης σε ένα υπάρχον σύστημα θέρμανσης δεν είναι οικονομικά βιώσιμη επένδυση. Η διάταξη 3 φαίνεται να είναι η λιγότερο ζημιογόνα διάταξη, καθώς έχει τη λιγότερο αρνητική καθαρή παρούσα αξία και η περίοδος αποπληρωμής είναι μικρότερη από τα 20 έτη.

7. Συμπεράσματα και Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

7.1 Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν από την παραπάνω μελέτη ηλιακής υποβοήθησης για τη θέρμανση και την παραγωγή ZNX για μία τυπική κατοικία.

Αρχικά, φάνηκε ότι το λογισμικό TRNSYS είναι κατάλληλο για τη μοντελοποίηση ενός συστήματος θέρμανσης και παραγωγής ZNX. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν σε κάθε διάταξη, κάθε μία από αυτές φαίνεται να λειτουργεί φυσιολογικά και να κλείνουν τα ισοζύγια ενέργειας με ελάχιστη απόκλιση. Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί ότι ο υπολογιστικός χρόνος που απαιτήθηκε ήταν περίπου 10 λεπτά.

Επίσης από ενεργειακής άποψης, η διάταξη με τη λιγότερη κατανάλωση ενέργειας αλλά και με το μικρότερο ποσοστό ηλιακής κάλυψης είναι η Διάταξη 1, ενώ η Διάταξη 2 απαιτεί για τη λειτουργία της την περισσότερη ενέργεια. Παράλληλα, τη μικρότερη και τη μεγαλύτερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας έχει η Διάταξη 1 και η Διάταξη 2 αντίστοιχα. Τη μεγαλύτερη ηλιακή κάλυψη εξασφαλίζει η Διάταξη 3 και για αυτό το λόγο αυτή η διάταξη παρουσιάζει τη μικρότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από μη ανανεώσιμες πηγές. Αναλυτικότερα, με την Διάταξη 3 γίνεται εφικτή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε ποσοστό **28.55 %** από τον ήλιο και μείωση της κατανάλωσης της μη ανανεώσιμης πρωτογενούς ενέργειας σε ποσοστό **39 %**.

Ταυτόχρονα, η Διάταξη 3 φαίνεται να είναι και η πιο οικονομικά συμφέρουσα επιλογή. Αυτό οφείλεται σε δύο βασικούς λόγους, στο μικρότερο κόστος της εγκατάστασης και για τα δύο σενάρια (αγορά καινούργιου συστήματος θέρμανσης και αναβάθμιση υπάρχοντος συστήματος) αλλά και στο μικρότερο ετήσιο κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης. Βέβαια, από την οικονομική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι η αντικατάσταση ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης με ένα σύστημα ηλιακής υποβοήθησης δεν φαίνεται να είναι οικονομικά βιώσιμη.

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την αντιστάθμιση φαίνεται να λειτουργεί σωστά καθώς η θερμοκρασία εισόδου στα FCU ακολουθεί τη τιμή από τον ελεγκτή σε κάθε διάταξη. Βέβαια δεν παρατηρείται μείωση στην κατανάλωση ενέργειας καθώς, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, δεν μοντελοποιούνται οι θερμικές απώλειες στο δίκτυο σωληνώσεων, ούτε και η περισσότερη ενέργεια που απαιτείται για την εκκίνηση λειτουργίας του λέβητα. Παρόλα αυτά, το μοντέλο αποδίδει, καθώς η λειτουργία του λέβητα και της θέρμανσης γίνεται πιο ομαλή, με λιγότερες διακοπές και εκκινήσεις.

Συνολικά, από την παραπάνω μελέτη γίνεται σαφής η αναγκαιότητα ελάττωσης της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτήρια για περιβαλλοντικούς λόγους, αλλά και εξαιτίας των ευρωπαϊκών και εθνικών κανονισμών που το επιβάλλουν. Προέκυψε ότι η ηλιακή υποβοήθηση είναι δυνατόν να προσφέρει σημαντική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας, οπότε αξίζει η περεταίρω μελέτη της αλλά και η δημιουργία προγραμμάτων για τη χρηματοδότηση τέτοιων διατάξεων ώστε οι παραπάνω διατάξεις να γίνουν οικονομικά βιώσιμες.

7.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Με βάση τα αποτελέσματα και τις παρατηρήσεις για την παραπάνω μελέτη ηλιακής υποβοήθησης στη θέρμανση και την παραγωγή ΖΝΧ θα μπορούσαν τα παρακάτω σημεία να αποτελέσουν αντικείμενα περαιτέρω μελέτης για την εξαγωγή ακριβέστερων και περισσότερων συμπερασμάτων.

Μοντελοποίηση Θερμικών Απωλειών στις Σωληνώσεις

Με αυτόν τον τρόπο, θα είναι εφικτός ο ακριβέστερος υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών αλλά και ο υπολογισμός της εξοικονόμησης ενέργειας με τη χρήση της αντιστάθμισης, η οποία θα οδηγήσει και στην οικονομική αξιολόγηση των διατάξεων με αντιστάθμιση, οι οποίες, το πιθανότερο, θα είναι οικονομικά αποδοτικότερες.

Μελέτη Διατάξεων Ηλιακά Υποβοηθούμενης Αντλίας Θερμότητας για τη Θέρμανση και την Παραγωγή ΖΝΧ

Θα ήταν δυνατόν να μοντελοποιηθούν στο λογισμικό TRNSYS διατάξεις που η παραγωγή θερμότητας θα γινόταν με τη χρήση αντλίας θερμότητας. Η αντλία θερμότητας, είτε θα αντλούσε θερμότητα από το περιβάλλον και θα ζεσταίνο το νερό στα δοχεία αποθήκευσης, τα οποία θα τροφοδοτούνται με θερμότητα και από ηλιακούς συλλέκτες, όπως και στις παραπάνω διατάξεις, είτε ο ατμοποιητής της αντλίας θερμότητας θα έρχεται σε επαφή με το νερό των ηλιακών συλλεκτών.

Οικονομική Αξιολόγηση για Διαφορετικούς Τύπους Λέβητα

Ο λέβητας που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω θα ήταν δυνατόν να αντικατασταθεί από λέβητα πετρελαίου ή λέβητα πετρελαίου συμπύκνωσης. Με αυτόν τον τρόπο θα μελετηθούν οι διαφορές, τόσο στη λειτουργία του κάθε τύπου λέβητα αλλά και στην οικονομική αποδοτικότητά του.

Χρήση Αναλυτικότερου Μοντέλου για το Κτήριο

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για λόγους απλότητας και μείωσης του χρόνου υπολογισμού του κάθε μοντέλου θα μπορούσε να αντικατασταθεί με το μοντέλο Type 56 που προσφέρει αναλυτικότερο υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών με λειτουργίες όπως η δυνατότητα μοντελοποίησης κτηρίου με περισσότερες από μία θερμοκρασιακές ζώνες ή αναλυτικότερο τρόπο υπολογισμού ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας.

Αναφορές

- [1] European Commission & Eurostat, *Energy, transport and environment indicators*. 2011.
- [2] A. G. Gaglia *et al.*, “Energy performance of European residential buildings: Energy use, technical and environmental characteristics of the Greek residential sector – energy conservation and CO₂ reduction,” *Energy Build.*, vol. 183, pp. 86–104, 2019.
- [3] P. Pallis *et al.*, “Cost effectiveness assessment and beyond: A study on energy efficiency interventions in Greek residential building stock,” *Energy Build.*, vol. 182, pp. 1–18, 2019.
- [4] T. S. Ge *et al.*, “Solar heating and cooling: Present and future development,” *Renew. Energy*, vol. 126, pp. 1126–1140, Oct. 2018.
- [5] A. Arcipowska *et al.*, *Monitor Progress Towards Climate Targets in European Housing Stocks*, no. April 2013. 2016.
- [6] N. D. T. Loga, C. Balaras, E. Dascalaki, M. Šijanec Zavrl, A. Rakušček, V. Corrado, S. Corgnati, H. Despretz, C. Roarty, M. Hanratty, B. Sheldrick, W. Cyx, M. Popiolek, J. Kwiatkowski, M. Groß, C. Spitzbart, Z. Georgiev, S. Iakimova, T. Vimmr, K. B. Wittchen, J. , “Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks. Existent Experiences in European Countries and Common Approach.”
- [7] “Οδηγία 2010/31/Εε Του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου,” pp. 13–35, 2010.
- [8] D. D. Agostino, *Synthesis Report on the National Plans for Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) Progress of Member States towards NZEBs*. 2016.
- [9] E. Bellos and C. Tzivanidis, “Energetic and financial sustainability of solar assisted heat pump heating systems in Europe,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 33, no. April, pp. 70–84, 2017.
- [10] E. G. Dascalaki, K. G. Droutsas, C. A. Balaras, and S. Kontoyiannidis, “Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock,” *Energy Build.*, vol. 43, no. 12, pp. 3400–3409, 2011.
- [11] B. Wang, L. D. Cot, L. Adolphe, and S. Geo, “Estimation of wind energy of a building with canopy roof,” vol. 35, no. August, pp. 402–416, 2017.
- [12] S. Hassanli, K. Chauhan, M. Zhao, and K. C. S. Kwok, “Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics Application of through-building openings for wind energy harvesting in built environment,” *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 184, no. December 2018, pp. 445–455, 2019.
- [13] F. M. Kashkooli *et al.*, “A comprehensive study of geothermal heating and cooling systems,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 44, no. October 2018, pp. 793–818, 2020.
- [14] R. Febrianto, I. Thain, and S. J. Zarrouk, “Geothermics The geothermal heating

- system at Taupo Hospital , New Zealand,” vol. 59, pp. 347–356, 2016.
- [15] C. Tzivanidis, E. Bellos, G. Mitsopoulos, K. A. Antonopoulos, and A. Delis, “Energetic and financial evaluation of a solar assisted heat pump heating system with other usual heating systems in Athens,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 106, pp. 87–97, 2016.
- [16] X. Liu, P. Zhang, A. Pimm, D. Feng, and M. Zheng, “Optimal design and operation of PV-battery systems considering the interdependency of heat pumps,” *J. Energy Storage*, vol. 23, no. January, pp. 526–536, 2019.
- [17] S. Chatzinikolaou, N. Ventikos, L. Bilgili, and U. B. Celebi, “Energy, Transportation and Global Warming,” *Energy, Transportation Glob. Warm.*, pp. 883–895, 2016.
- [18] K. Antonopoulos, *Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα*. Athens, 2015.
- [19] “<https://www.e-education.psu.edu/eme811/node/685>.” .
- [20] S. Radiation, S. Pond, and S. Collector, “Learn more about Evacuated Tube Solar Collector Nontracking solar collection technologies for solar heating and cooling systems,” vol. 13, 2016.
- [21] “Solar Thermal Technology.” [Online]. Available: <https://cleanleap.com/7-solar-technology-assessment-and-appropriate-technology-options/71-solar-thermal-technology>.
- [22] TRSYSTeam, “Mathematical Reference,” vol. 4.
- [23] M. Taher, N. Bouchahm, B. Guerira, and C. Bensaci, “On the thermal stratification inside a spherical water storage tank during dynamic mode,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 159, no. April, p. 113821, 2019.
- [24] P. Armstrong, D. Ager, I. Thompson, and M. McCulloch, “Improving the energy storage capability of hot water tanks through wall material specification,” *Energy*, vol. 78, pp. 128–140, 2014.
- [25] I. D. Marc A. Rosen, Raymond Tang, “Effect of stratification on energy and exergy capacities in thermal storage systems.”
- [26] D. Erdemir and N. Altuntop, “Improved thermal stratification with obstacles placed inside the vertical mantled hot water tanks,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 100, pp. 20–29, 2016.
- [27] V. Cylindrical, S. Tank, W. Immersed, and H. Exchanger, “Type 534: vertically cylindrical storage tank with immersed heat exchanger,” pp. 1–16.
- [28] D.- Teodor and T. Bălănescu, “ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect Study Study on on condensing condensing boiler boiler technology technology potential potential accounting various fuels accounting various Spain Costing models for capacity optimization in Industry 4 . 0 : Trade-off between used capacity and operational efficiency,” *Procedia Manuf.*, vol. 32, pp. 504–512, 2019.

Αναφορές

- [29] “Επίτοιχοι λέβητες συμπύκνωσης αερίου.” [Online]. Available: https://www.daikin.gr/el_gr/product-group/gas-condensing-boilers/daikin-gas-condensing-boiler.html.
- [30] TRSYSTeam, “TYPE 700: SIMPLE BOILER WITH EFFICIENCY INPUTS General,” pp. 1–3.
- [31] A. J. Werner-juszczuk, “Energy & Buildings Experimental and numerical investigation of lightweight floor heating with metallised polyethylene radiant sheet,” *Energy Build.*, vol. 177, pp. 23–32, 2018.
- [32] A. Ploskić, Q. Wang, and S. Sadrizadeh, “A holistic performance evaluation of ventilation radiators – An assessment according to EN 442-2 using numerical simulations,” *J. Build. Eng.*, vol. 25, no. June, p. 100818, 2019.
- [33] A. Martinčević, M. Vašak, and V. Lešić, “Control Engineering Practice Identification of a control-oriented energy model for a system of fan coil units,” *Control Eng. Pract.*, vol. 91, no. July 2018, p. 104100, 2019.
- [34] “DAIKIN FCU,” 2017. [Online]. Available: [https://www.daikin.gr/content/dam/document-library/catalogues/as/fan-coil-units/fwd-at/Fan coil units - EPCR04-25A \(.pdf\)_Catalogues_Greek.pdf](https://www.daikin.gr/content/dam/document-library/catalogues/as/fan-coil-units/fwd-at/Fan%20coil%20units%20-%20EPCR04-25A%20(.pdf)_Catalogues_Greek.pdf).
- [35] ΤεχνικόΕπιμελητήριο, “Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010,” vol. 2014, 2014.
- [36] E. Standard, “EUROPÄISCHE NORM Heating systems and water based cooling systems in buildings - hot water systems heat load and characterisation of needs,” 2014.
- [37] Γ. Βαρβαγιάννης, “Η φιλοσοφία και η ρύθμιση της αντιστάθμισης.” [Online]. Available: <http://www.gvarv.gr/Antistathmisi/Antistatmisi.htm>.