ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΜΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

Προσομοίωση λειτουργίας και παραμετρική μελέτη μονάδων μικρο-συμπαραγωγής στις Ελληνικές κλιματικές ζώνες

Διπλωματική Εργασία

Διαμαντόπουλος Άγγελος

Επιβλέπουσα : Φούντη Μαρία
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Ιούλιος 2012
ΑΘΗΝΑ

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία είναι αποτέλεσμα εκτενούς δουλειάς που έγινε το ακαδημαϊκό έτος 2011-2012 στο εργαστήριο Ετερογενών Μειγμάτων και Συστημάτων Καύσης της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και έχει αντικείμενο την αξιολόγηση του ενδεχομένου διείσδυσης συστημάτων μικροσυμπαραγωγής στον οικιακό τομέα για την κάλυψη των ενεργειακών φορτίων.

Για την ευκαιρία εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Μαρία Φούντη και για την άψογη συνεργασία τον υποψήφιο διδάκτορα Δημήτρη Γιαννόπουλο, χωρίς την βοήθεια του οποίου δεν θα ήταν δυνατή η διεκπεραίωσή της. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με στήριξαν σε αυτή την προσπάθεια.

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία που ακολουθεί έχει στόχο την αξιολόγηση της εφαρμογής συστημάτων μικροσυμπαραγωγής στον οικιακό τομέα. Μικροσυμπαραγωγή είναι η μικρής κλίμακας εκμετάλλευση καυσίμου για την ταυτόχρονη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, τεχνολογία που παρέχει υψηλότερο βαθμό απόδοσης σε σύγκριση με την μεμονωμένη παραγωγή των απαιτούμενων θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων. Ενδεχόμενη διείσδυση της τεχνολογίας εξασφαλίζει επιπλέον ενεργειακή εξοικονόμηση λόγω του αποκεντρωμένου χαρακτήρα της καθώς μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς.

Για να γίνει η εκτίμηση της ενεργειακής και οικονομικής βιωσιμότητας μιας τέτοιας επένδυσης πραγματοποιείται προσομοίωση της λειτουργίας τέτοιων μονάδων. Για την άντληση συνολικής εικόνας προσομοιώνονται συστήματα για διάφορες κατοικίες και για διαφορετικές παραμέτρους στην υλοποίηση της κατασκευής του συνόλου του συστήματος θέρμανσης. Συγκεκριμένα εξετάζονται εγκαταστάσεις σε διαφορετικής παλαιότητας κατασκευής κατοικίες και διαφορετικών κλιματικών ζωνών της Ελλάδας. Τα συστήματα που προσομοιώνονται, είναι δυο διαφορετικής εγκατεστημένης ισχύος μονάδες μικροσυμπαραγωγής, έχουν διαφόρων χωρητικοτήτων θερμοδοχεία για αποθήκευση θερμότητας, ακολουθούν διαφορετικές πρακτικές λειτουργίας, δηλαδή ετήσιας και διακοπτόμενης τους καλοκαιρινούς μήνες και διανέμουν με δυο εναλλακτικούς τρόπους την θερμότητα εντός της κατοικίας. Ακολουθεί παραμετρική ανάλυση όλων των αποτελεσμάτων και στοιχειοθετείται ένα βέλτιστο σενάριο εγκατάστασης, στο οποίο ορίζονται βασικές απαιτήσεις και πρακτικές για τη βιωσιμότερη επένδυση.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή και εξηγούνται οι έννοιες της συμπαραγωγής, της μικροσυμπαραγωγής και της τριπαραγωγής, ενώ αναφέρονται και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνολογίας. Το δεύτερο κεφάλαιο κάνει μια ανασκόπηση του νομικού περιβάλλοντος για τη συμπαραγωγή που ίσχυε στο παρελθόν και απεικονίζει αναλυτικότερα το νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες μικροσυμπαραγωγής αναλύονται στο τρίτο κεφάλαιο και συγκεκριμένα τα συστήματα που ενδείκνυνται για εφαρμογή σε κατοικίες 100 m^2. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για την εξεταζόμενη κατοικία, τις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας και τις κατηγορίες παλαιότητας κατασκευής κατοικιών. Στη συνέχεια αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθείται στην υλοποίηση της προσομοίωσης λειτουργίας. Αρχικά καταγράφεται ο προσδιορισμός των θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων της κατοικίας και το υπάρχον σύστημα θέρμανσης και ακολουθεί ο τρόπος που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση των επεμβάσεων στο σύστημα θέρμανσης ενώ στο τέλος παρουσιάζεται τα κριτήρια και η υλοποίηση της οικονομοτεχνικής ανάλυσης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο στοιχειοθετείται ένα βασικό σενάριο εγκατάστασης και δίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του. Ακολουθούν τα αποτελέσματα της παραμετρικής ανάλυσης και στη συνέχεια με βάση αυτά παρουσιάζεται το βέλτιστο σενάριο εγκατάστασης.

Στο τελευταίο κεφάλαιο καταθέτονται τα συμπεράσματα που αντλούνται από την πραγματοποιηθείσα προσομοίωση λειτουργίας και παραμετρική ανάλυση.

Abstract

The present thesis aims to evaluate the potential implementation of micro-cogeneration (m-CHP) systems in the Greek residential sector. The concept of m-CHP refers to the simultaneous micro-scale production of heat and power, providing higher efficiency compared to the separate coverage of the required thermal and electrical loads. The potential implementation of the m-CHP technology ensures additional energy savings due to its decentralized nature and reduced transmission losses.

In order to assess the energy and economic viability of the required investment, an operational simulation has been performed. Various house types and different parameters have been considered in the analysis of the entire heating system simulation. Specifically, installations in dwellings of varying construction ages and climatic zones in Greece have been compared. The simulated systems are two micro-cogeneration units with Internal Combustion Engine (ICE), but with different electric capacities, along with differing storage tank capacities. Different operating practices have been tested, i.e. annual operation and intermittent during the summer months and two alternative heat distribution means. A parametric analysis of the results follows, which identifies energy and cost saving requirements and practices.

The first chapter introduces the concepts of co-generation, micro-cogeneration and trigeneration, also outlining the advantages and disadvantages of the technology. The second chapter provides an overview of the relevant Greek legislative frame. The micro cogeneration technologies available in the market are presented in the third chapter, focusing on the systems suitable for application in 100 m^2 dwellings. The fourth chapter presents the basic characteristics of the examined house, the Greek climatic zones and the construction age categories. The thermal and electrical loads of the dwelling are calculated on the basis of previous relevant studies, while a benchmark conventional system is defined for each assessment case study. Following, the operational simulation methodology is described and the criteria and implementation of the techno economic analysis are outlined. In the next section a basic installation scenario is been setup and the simulation results are given. The results of the parametric analysis are presented and used as the basis for the definition of the best case scenario. In the last chapter, the conclusions from the operational simulation and parametric analysis are summarized.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες 2
Περίληψη 3
Abstract 4
Περιεχόμενα 5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο *Εισαγωγή* 8
1.1. Σκοπός εργασίας 8
1.2. Συμπαραγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού (Σ.Η.Θ.) 8
1.3. Μικροσυμπαραγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού (μ-Σ.Η.Θ.) 11
1.4. Τριπαραγωγή (Trigeneration) 13
1.5. Εναλλακτικοί τρόποι λειτουργίας συστημάτων συμπαραγωγής 15
1.6. Σύνοψη πλεονεκτημάτων - μειονεκτημάτων συμπαραγωγής 18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο *Νομοθετικό πλαίσιο* 20
2.1. Νομοθετική ανασκόπηση 20
2.2. Νόμος 3468/2006 23
2.3. Νόμος 3851/2010 25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο *Τεχνολογίες οικιακής μ-Σ.Η.Θ.* 27
3.1. Γενικά 27
3.2. Παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.) 28
3.2.1. Μηχανές Otto 28
3.2.2. Μηχανή Diesel 29
3.3. Μικροστρόβιλοι 30
3.4. Μηχανές Stirling 31
3.5. Κυψέλες καυσίμου στερεού οξιδείου (S.O.F.C.) 32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο *Περιγραφή εξεταζόμενης κατοικίας, συστημάτων και υπολογιστικής μεθοδολογίας* 35
4.1. Εξεταζόμενη κατοικία 35
4.2 Θερμικά φορτία εξεταζόμενου κτιρίου 36
4.2.1. Φορτία θέρμανσης χώρων 38
4.2.2. Φορτία θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.) 38
4.2. Ηλεκτρικά φορτία 40
4.3. Υπάρχον σύστημα θέρμανσης 41
4.3.1. Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση 42

4.4. Επεμβάσεις 42
4.4.1. Λέβητας φυσικού αερίου 43
4.4.2. Σύστημα μικροσυμπαραγωγής (Honda Ecowill 1.0) 44
4.4.3. Σύστημα μικροσυμπαραγωγής (Dachs HKA G5.0) 54
4.5. Οικονομοτεχνική ανάλυση 60
4.5.1. Ενεργειακές τιμές 60
4.5.2. Ετήσιο ενεργειακό κόστος 60
4.5.3. Απόσβεση κόστους επένδυσης 62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο *Αποτελέσματα – Αξιολόγηση* 64
5.1. Βασικό σενάριο 64
5.2. Ενεργειακά φορτία κατοικίας 65
5.2.1. Υπολογισμός ωριαίου θερμικού φορτίου για θέρμανση χώρων 65
5.2.2. Υπολογισμός ωριαίου φορτίου ζεστού νερού χρήσης 66
5.2.3. Υπολογισμός ωριαίου ηλεκτρικού φορτίου 67
5.3. Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας του βασικού σεναρίου 68
5.3.1. Θερμοκρασία νερού θερμοδοχείου 68
5.3.2. Ενεργειακά ισοζύγια 69
5.3.3. Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας 71
5.3.4. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους 72
5.4. Παραμετρική ανάλυση βασικού σεναρίου 73
5.4.1. Κλιματική ζώνη 73
5.4.2. Παλαιότητα κτιρίου 76
5.4.3. Ισχύς επιλεγμένου συστήματος μ-Σ.Η.Θ. 79
5.4.4. Χωρητικότητα θερμοδοχείου 82
5.4.5. Τρόπος διανομής θέρμανσης 86
5.4.6. Περίοδος λειτουργίας συστήματος 89
5.5. Αποτελέσματα βέλτιστου σεναρίου 92
5.5.1. Θερμοκρασία νερού θερμοδοχείου 92
5.5.2. Ενεργειακά ισοζύγια 93
5.5.3. Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας 95
5.5.4. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους 95
5.5.5. Απόσβεση κόστους εγκατάστασης 97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο *Συμπεράσματα*.....99
Βιβλιογραφία.....102
Παράρτημα.....104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο *Εισαγωγή*

1.1. Σκοπός εργασίας

Από τα σοβαρότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει μεταξύ άλλων ο πλανήτης, είναι η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η εξάντληση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Οι ρυθμοί επιδείνωσης αυτών των προβλημάτων είναι υψηλοί, καθιστώντας επιτακτική την γρήγορη και μεθοδική αντιμετώπισή τους.

Αυτά τα ζητήματα είναι στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος σε επίπεδα παγκοσμίων οργανισμών, κυβερνήσεων, ερευνητικών κέντρων αλλά και των άμεσων εμπλεκομένων παραγωγών και χρηστών της ενέργειας.

Το ενεργειακό και κατ' επέκταση περιβαλλοντικό πρόβλημα εντοπίζεται στην αναζήτηση επάρκειας πηγών ενέργειας, στην βέβαιη και ταχύρυθμη εξάντληση των ορυκτών (συμβατικών) πηγών της, στα οικονομικά, κοινωνικά και ηθικά προβλήματα που δημιουργούνται από την ανισοβαρή χρήση της, καθώς και στη συνεχώς αυξανόμενη επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τους μηχανισμούς και τα συστήματα μετατροπής και μεταφοράς της.

Για το λόγο αυτόν, έχει ξεκινήσει μια παγκόσμια προσπάθεια για τη μείωση των επιπτώσεων του προβλήματος με κύριους άξονες, την ορθολογική χρήση της ενέργειας και την εφαρμογή τεχνολογιών εξοικονόμησής της, καθώς και την προώθηση εκμετάλλευσης των φιλικών προς το περιβάλλον ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμβάλλοντας έτσι στην αειφόρο ανάπτυξη.

Η παρακάτω διπλωματική εργασία καταπιάνεται με την εφαρμογή τεχνολογίας ενεργειακής εξοικονόμησης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο σημείο κατανάλωσής της. Η εξεταζόμενη τεχνολογία καλείται μικροσυμπαραγωγή και σκοπός της εργασίας είναι η ενεργειακή και οικονομοτεχνική μελέτη του ενδεχομένου διείσδυσής της στον οικιακό τομέα.

1.2. Συμπαραγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού (Σ.Η.Θ.)

Η συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι από τη φύση της μη αποδοτική, αφού μετατρέπεται μόνο το ένα τρίτο της ενέργειας των καυσίμων σε ωφέλιμη ενέργεια. Το υπόλοιπο ποσοστό της ενέργειας, χάνεται με την μορφή θερμικών απωλειών. Εάν κανείς συνυπολογίσει και την καύση πρωτογενούς καυσίμου (πετρέλαιο, αέριο, κ.α.) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας με αποδόσεις από 70-90%, διαπιστώνονται σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Αν όμως, υπήρχε η δυνατότητα εκμετάλλευσης της θερμικής ενέργειας, που διαφεύγει ως απώλεια, για την κάλυψη των θερμικών αναγκών, τότε η απόδοση του συστήματος θα αυξανόταν, καθώς σε σύγκριση με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής θα μειώνονταν οι απώλειες, και η εξοικονόμηση του καυσίμου θα ήταν σημαντική, εφόσον η ίδια ποσότητα καυσίμου θα παρήγαγε περισσότερη ενέργεια.

Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και χρήσιμης θερμικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας, σε ένα ενιαίο, ολοκληρωμένο σύστημα επιτυγχάνεται μέσω της συμπαραγωγής (Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, Σ.Η.Θ. - Cogeneration ή Combined Heat and Power, C.H.P.). Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας δεν αποτελεί μια συγκεκριμένη

τεχνολογία αλλά περισσότερο μια εφαρμογή με συνδυασμό τεχνολογιών για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης ή/και ψύξης, καθώς και για μηχανική ή/και ηλεκτρική ενέργεια των τελικών καταναλωτών.

Η παραγόμενη μηχανική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση συμπιεστών και αντλιών, κάτι που επιτρέπει τον συνδυασμό της εγκατάστασης με άλλες τεχνολογίες παραγωγής θερμικής ενέργειας, όπως οι αντλίες θερμότητας. Σε περίπτωση που έχουμε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η τελευταία μπορεί να αξιοποιηθεί είτε άμεσα στο δίκτυο, είτε στις ιδιοκαταναλώσεις άλλων συστημάτων και εφαρμογών, επιτυγχάνοντας την αυτονομία του κτιρίου. Σε κάθε περίπτωση, η ενέργεια καταναλώνεται τοπικά μειώνοντας τις απώλειες μετάδοσης και διανομής. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση χώρων και ζεστού νερού χρήσης, όσο και στην κάλυψη των αναγκών σε ψύξη ή κλιματισμό. Με τον τρόπο αυτό το σύστημα είναι σε θέση να καλύπτει τις εποχιακές ανάγκες του κτιρίου[3].

Ένα σύστημα συμπαραγωγής αποτελείται κυρίως από τα εξής τέσσερα στοιχεία[4]:

- Τον κινητήρα (prime mover) : ατμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος, παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης, συνδυασμένου κύκλου, κυψέλες καυσίμου, μηχανή Stirling ή μικροστρόβιλος. Ο κινητήρας κινεί τη γεννήτρια.
- Το σύστημα ανάκτησης θερμότητας : σύστημα που ανακτά την απορριπτόμενη θερμότητα από τα ρευστά που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής (με εναλλάκτες ανάκτησης θερμότητας) και από τα καυσαέρια (με λέβητα ανάκτησης θερμότητας που αποκαλείται και λέβητας καυσαερίων).
- Τη γεννήτρια : σύγχρονη, ασύγχρονη ή αυτοδιεγειρόμενη ασύγχρονη, η οποία παράγει την ηλεκτρική ενέργεια.
- Το σύστημα ελέγχου : μέσου του οποίου διασφαλίζεται η ασφαλής και ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος συμπαραγωγής.

Ως πηγή ενέργειας σε μονάδες συμπαραγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε καύσιμο (ορυκτό ή ανανεώσιμο). Το καύσιμο που σήμερα κυριαρχεί είναι το φυσικό αέριο. Τεχνολογίες σαν τη συμπαραγωγή που εξοικονομούν πρωτογενές καύσιμο, το οποίο είναι εισαγόμενο, όπως το προαναφερθέν φυσικό αέριο, συμβάλλουν στην μείωση των εθνικών δαπανών[5].

Ο βαθμός απόδοσης στα συστήματα Σ.Η.Θ. φτάνει το 80-85%, με δυνατότητες να ξεπεράσει και το 90%, εξοικονομώντας ενέργεια κατά 15-40%, εν συγκρίσει με τους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής όπου ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 30-45%, λόγω της αξιοποίησης μεγάλων ποσών θερμότητας που διαφορετικά θα απορρίπτονταν στο περιβάλλον[1]. Στην εικόνα 1.1.[2] απεικονίζεται σχηματικά η εξοικονόμηση λόγω συμπαραγωγής.

(α) Συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

(β) Συμβατική παραγωγή θερμικής ενέργειας

Εικόνα 1.1. (γ) Παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από σύστημα Σ.Η.Θ.[2]

Η Σ.Η.Θ. πρωτοεμφανίστηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. στα τέλη του 19ου αιώνα. Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα, οι περισσότερες βιομηχανίες στις ΗΠΑ και την Ευρώπη είχαν δικές τους μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητα-στρόβιλο και άνθρακα, ως καύσιμο, όπου πολλές από τις μονάδες αυτές ήταν συμπαραγωγικές. Στην Ευρώπη, μεγάλη ανάπτυξη της ΣΗΘ αναφέρεται στη Δανία, τη Φιλανδία, την Ολλανδία κ.α., που παρουσιάζουν υψηλή ποσοστιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.[3]. Στις χώρες αυτές, εκτός των μονάδων Σ.Η.Θ. σε μεγάλες βιομηχανίες και σε μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την τηλεθέρμανση πόλεων, υπάρχουν σημαντικές εγκαταστάσεις Σ.Η.Θ. στον τριτογενή (νοσοκομεία, ξενοδοχεία, αθλητικά κέντρα, κα), αλλά και στον οικιακό τομέα. Η Σ.Η.Θ. στην Ελλάδα ξεκινά στις αρχές του 20ου αιώνα[2] (κεραμοποιεία Τσαλαπάτα, Βόλος, που λειτούργησε μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του 1970). Οι πρώτες σύγχρονες μονάδες Σ.Η.Θ. εγκαταστάθηκαν σε μεγάλες ελληνικές βιομηχανίες στις αρχές της δεκαετίας του ’70. Επίσης, ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες της ΔΕΗ τροποποιήθηκαν κατάλληλα, ώστε να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες αστικών περιοχών με δίκτυα τηλεθέρμανσης, όπως αυτά της Κοζάνης, της Πτολεμαΐδας, του Αμυνταίου και, τη δεκαετία του ’90, αυτό της Μεγαλόπολης. Οι πρώτες Ελληνικές βιομηχανίες που εγκατέστησαν μονάδες

Σ.Η.Θ. ήταν η βιομηχανία ζάχαρης, χαρτοποιίας, χαλυβουργίας, καθώς και βιομηχανίες στον τομέα του πετρελαίου. Την περίοδο 1970-1999 άλλαξε ουσιαστικά η κατάσταση των μονάδων Σ.Η.Θ. στις ελληνικές βιομηχανίες με ποιοτική αλλά και ποσοτική βελτίωση τους. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, με την άφιξη του φυσικού αερίου (Φ.Α.) στην Ελλάδα, αναδείχθηκαν οι δυνατότητες που προσφέρει η Σ.Η.Θ. με χρήση Φ.Α. Σήμερα, λειτουργούν μονάδες Σ.Η.Θ. στη βιομηχανία, στον τριτογενή τομέα (κύρια σε ιδιωτικά νοσοκομεία και ξενοδοχεία, κ.α.) και σε κατοικίες[2].

1.3. Μικροσυμπαραγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού (μ-Σ.Η.Θ.)

Μικροσυμπαραγωγή (μ-Σ.Η.Θ.) είναι η συμπαραγωγή μικρής (<= 1MW$_e$) και πολύ μικρής (<= 50 kW$_e$) κλίμακας με σκοπό την ικανοποίηση οικονομικά βιώσιμης, ταυτόχρονης ζήτησης για ηλεκτρισμό και θέρμανση. Οι ορισμοί προκύπτουν από την οδηγία της Ε.Ε. για τη συμπαραγωγή, 2004/8/EC και τον νόμο 3468/2006. Εφαρμόζεται κυρίως στον κτιριακό τομέα και οδηγεί σε εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και ταυτόχρονη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, καθιστώντας την ανταγωνιστική σε σχέση με τους λέβητες[5].

Η ανάπτυξη τυποποιημένων μονάδων συμπαραγωγής (πακέτων - packaged) μικρής ισχύος συνέβαλε στη διάδοση των συστημάτων μ-Σ.Η.Θ., λόγω της ευκολίας στην εγκατάσταση και την χρήση. Οι μονάδες «πακέτο» (εικόνα 1.2.) παραδίδονται έτοιμες για λειτουργία, μέσα σε ηχομονωτικό κέλυφος παραπλήσιου μεγέθους με ένα κοινό λέβητα, ενώ η μόνη απαίτηση για την ολοκλήρωση της εγκατάστασης είναι η σύνδεση του με τα δίκτυα ύδρευσης, ηλεκτρισμού και καυσίμου.

Εικόνα 1.2. Εμπορική μονάδα συμπαραγωγής Honda Ecowill[7]

Διάφορες συμβατικές και μη τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί, ώστε να εφαρμοσθούν στα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής, οι περισσότερες εκ των οποίων βασίζονται σε αυτές των συστημάτων συμπαραγωγής μεγαλύτερης κλίμακας. Τα παλινδρομικά συστήματα (Μ.Ε.Κ.) αποτελούν την πλέον διαδεδομένη

εμπορικά τεχνολογία, που εφαρμόζεται στη μ-Σ.Η.Θ. Πέραν όμως από τα παλινδρομικά συστήματα, ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι μηχανές Stirling, οι οποίες, αν και είναι ακόμα εξελισσόμενες, οι μέχρι τώρα εφαρμογές τους έχουν παρουσιάσει αξιοσημείωτα αποτελέσματα[2].

Άλλες τεχνολογίες που αναμένονται να είναι διαθέσιμες στο μέλλον[8] είναι οι μικροστρόβιλοι και τα συστήματα O.R.C. (Organic Rankine Cycle Systems), καθώς έχει σημειωθεί ένας σημαντικός αριθμός επιτυχημένων επιδεικτικών έργων εφαρμογής τους, σε διάφορες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως η Αυστρία[8]. Οι κυψέλες καυσίμου πολυμερούς ηλεκτρολύτη και στερεού οξειδίου καυσίμου είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο και έχει εφαρμοσθεί σε ορισμένο αριθμό πιλοτικών εγκαταστάσεων. Αν και θεωρείται μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, ο κύριος ανασταλτικός παράγοντας διάδοσής της είναι, μέχρι και σήμερα, το υψηλό κόστος εφαρμογής τους[9].

Οι μονάδες μικροσυμπαραγωγής χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη συμβατικά καύσιμα όπως πετρέλαιο, φυσικό αέριο και υγραέριο. Παράλληλα, γίνονται μελέτες[8] για την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων από βιοκαύσιμα στις μηχανές ντίζελ, τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετική βιοαποικοδομισιμότητα και χαμηλή τοξικότητα. Επίσης, επιχειρείται η κατασκευή κινητήρων από συσσωματώματα ξύλου (pellets) και από ηλιακούς συλλέκτες, η οποία όμως βρίσκεται σε πιλοτικό στάδιο.

Τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής τα οποία λειτουργούν σε σπίτια ή μικρές εμπορικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται βασικά για την κάλυψη θερμικών αναγκών έχοντας τον ηλεκτρισμό ως δεύτερο προϊόν. Αποτέλεσμα αυτού του μοντέλου λειτουργίας είναι να παράγεται συχνά μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας από αυτήν που στιγμιαία είναι απαραίτητη. Η πλεονάζουσα ενέργεια μπορεί να διοχετευθεί στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, αν η σύνδεση είναι εφικτή. Η σύνδεση και λειτουργία των συστημάτων Σ.Η.Θ. στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι οι ισχύουσες τιμές εμπορίας της ηλεκτρικής ενέργειας, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και οι τεχνικές απαιτήσεις της εγκατάστασης, τα επίπεδα ζήτησης του θερμικού φορτίου, η διαθεσιμότητα του καυσίμου και η ύπαρξη επαρκών εγκαταστάσεων για τη μεταφορά του, κλπ[2].

Σήμερα, ένα από τα πιο σημαντικά πιθανά εμπόδια της διάδοσης της τεχνολογίας της μικροσυμπαραγωγής αποτελεί η μη δυνατότητα σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Τα οικιακά ηλεκτρικά φορτία είναι εξαιρετικά ασταθή με βάση γύρω στα 100 W, μέσο όρο στα 400-600 W και φορτία αιχμής πάνω από 15-20kW[10]. Παρόλο που είναι δυνατό τα συστήματα Σ.Η.Θ. να λειτουργούν απομονωμένα, χρησιμοποιώντας κατάλληλο σύστημα αποθήκευσης και ελέγχου, κάτι τέτοιο θα ελαχιστοποιούσε τα οικονομικά πλεονεκτήματα. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, το σύστημα ρυθμίζεται ώστε να χρησιμοποιεί το δίκτυο ως σύστημα εξισορρόπησης, όπου θα εξάγεται η όποια περίσσεια ρεύματος και θα εισάγεται όποτε υπάρχει ανάγκη, η οποία είναι και η συνηθέστερη πρακτική.

Η μικρής κλίμακας συμπαραγωγή, για να είναι βιώσιμη σε οικιακές εφαρμογές, είναι απαραίτητο να είναι συμβατή με τις άλλες λειτουργικές παραμέτρους της κεντρικής θέρμανσης όπως τα επίπεδα ροής του νερού και τις θερμοκρασίες έτσι ώστε να μην απαιτείται η τοποθέτηση, για παράδειγμα μεγάλων δεξαμενών αποθήκευσης για θερμική απορρόφηση. Επιπλέον, ο ετεροχρονισμός

μεταξύ ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου στις κατοικίες, σε συνδυασμό με την μεταβαλλόμενη τιμή του ρεύματος κατά τη διάρκεια της ημέρας, επιβάλλει την ύπαρξη μέσου αποθήκευσης θερμότητας, για την οικονομική εκμετάλλευση του συστήματος συμπαραγωγής. Είναι επίσης σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη ότι, η μικροσυμπαραγωγή δεν ανταποκρίνεται καλά σε γρήγορους κύκλους έναυσης-σβέσης και ότι οι μηχανές είναι συνήθως σχεδιασμένες να καλύπτουν το 60% του φορτίου αιχμής. Αυτό μεγιστοποιεί τις χρήσιμες ώρες λειτουργίας κάτω από κατά μέσο όρο χειμερινές συνθήκες και κανονικά οδηγεί στην αύξηση των ετήσιων αναγκών που καλύπτονται από το βασικό σύστημα.

Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η διαστασιολόγηση του συστήματος Σ.Η.Θ. στο κτίριο, δηλαδή, η επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας για τη μονάδα Σ.Η.Θ. και συνεπώς ο σχεδιασμός όλου του συστήματος. Τα βασικά κριτήρια για τη βέλτιστη επιλογή του συστήματος Σ.Η.Θ.[4] αφορούν στην:

- οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης,
- εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας,
- αδιάλειπτη λειτουργία του συστήματος Σ.Η.Θ., προσφέροντας ηλεκτρική ενέργεια, ζεστό νερό χρήσης (Ζ.Ν.Χ.), ατμό, θερμική/ψυκτική ενέργεια στους ενοίκους του κτιρίου,
- περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα από τη χρήση της Σ.Η.Θ.

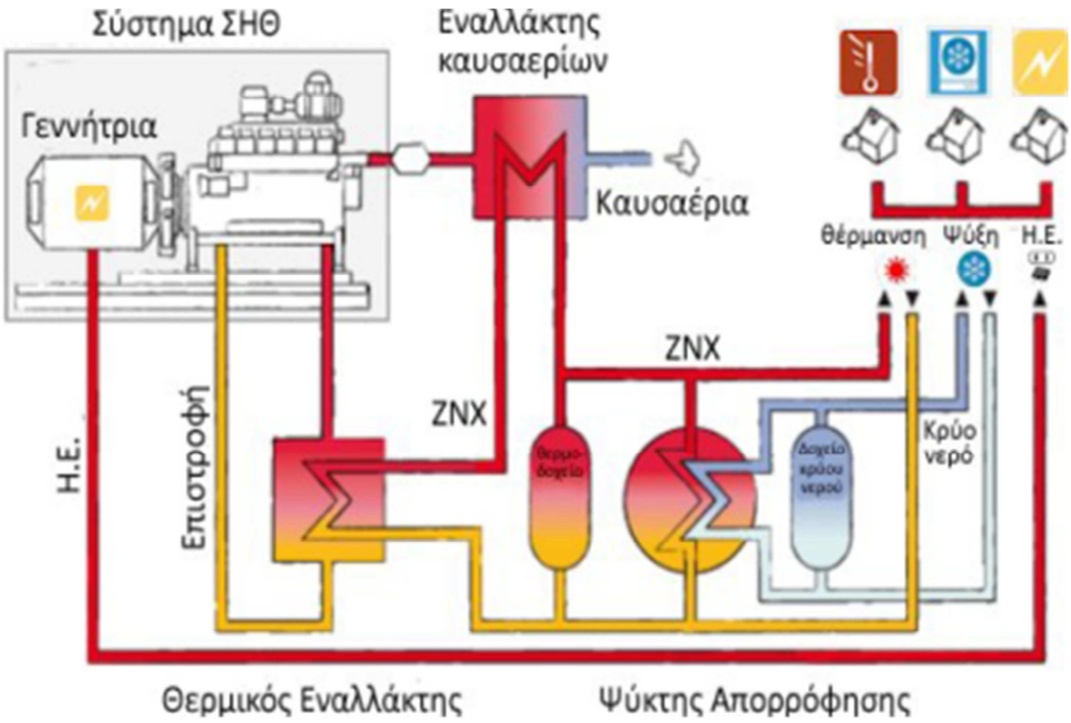
Επίσης, απαιτούνται γνώσεις του ισχύοντος νομοθετικού πλαισίου και των ρυθμιστικών διατάξεων που αφορούν την εγκατάσταση και λειτουργία της μονάδας Σ.Η.Θ. στο κτίριο. Είναι πιθανόν οι προαναφερόμενες διατάξεις να θέτουν όρια στο σχεδιασμό και στη λειτουργία της μονάδας Σ.Η.Θ. (π.χ. επίπεδα θορύβου, όριο εκπομπών αερίων ρύπων, κλπ)[3].

1.4. Τριπαραγωγή (Trigeneration)

Τα συστήματα Σ.Η.Θ. που αναφέρθηκαν θα πρέπει να λειτουργούν περισσότερο από 3500 ώρες ετησίως, ώστε να συμφέρει οικονομικά η λειτουργία τους[2]. Στις χώρες της νότιας Ευρώπης, όπως η Ελλάδα, λόγω του εύκρατου κλίματος που επικρατεί δεν είναι εύκολο να συμπληρωθούν πολλές ώρες λειτουργίας, καθώς η ανάγκη για θέρμανση περιορίζεται σε λίγους χειμερινούς μήνες. Αντίθετα, παρουσιάζουν εντονότερη ανάγκη για ψύξη κατά τη διάρκεια των θερμών καλοκαιρινών μηνών Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, τα συστήματα συμπαραγωγής θα πρέπει να λειτουργούν και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, για την παραγωγή ψυχρού νερού / ψυχρού αέρα για τον κλιματισμό χώρων. Στην περίπτωση αυτή, τα συστήματα ονομάζονται συστήματα τριπαραγωγής.

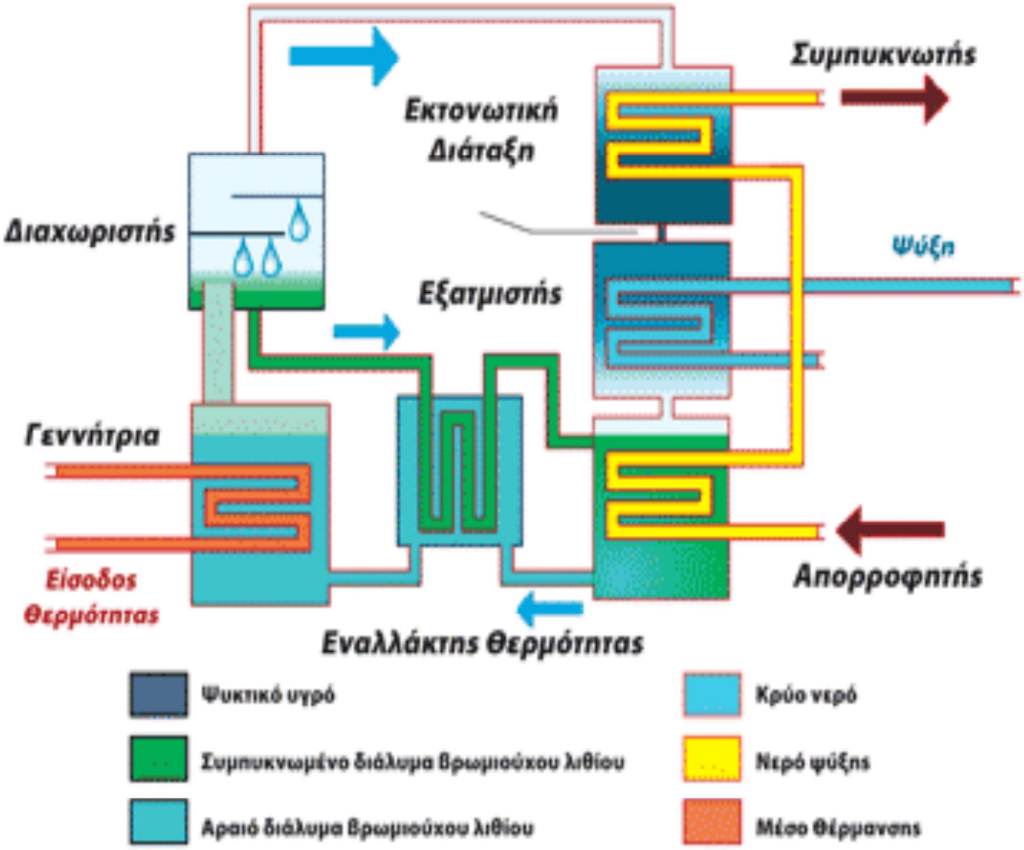
Η τριπαραγωγή (trigeneration) ή συνδυασμένη παραγωγή Ηλεκτρισμού, θερμότητας και Ψύξης (Σ.Η.Θ.Ψ. - Combined Heat Cooling and Power Generation, C.H.C.P.), αποτελεί επέκταση της έννοιας της συμπαραγωγής. Η διαφοροποίηση έγκειται στο γεγονός ότι εκτός από τη παραγωγή μηχανικής ενέργειας (που συχνά μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια) και της θερμότητας, έχουμε επιπλέον την παραγωγή ψύξης. Το σύστημα χρησιμοποιώντας κι εδώ μία και μόνη πηγή ενέργεια,

όπως αυτές των καυσίμων ή της ηλιακής ενέργειας, παράγει θερμότητα, από την οποία στη συνέχεια παράγεται ψύξη, μέσω ενός ψύκτη απορρόφησης[3].



Εικόνα 1.3. Σύστημα τριπαραγωγής[3]

Οι ψύκτες απορρόφησης χρησιμοποιούν τις διεργασίες της συμπύκνωσης-εξάτμισης, για την παραγωγή ψύξης. Διαθέτουν εξατμιστή και συμπυκνωτή, όπου εκτονώνεται το ψυκτικό μέσο. Ωστόσο, αντί του μηχανικού συμπιεστή, οι ψύκτες απορρόφησης χρησιμοποιούν θερμότητα σαν ενεργειακή πηγή. Η θερμότητα αυτή παράγεται είτε με άμεση καύση, με χρήση καυστήρα, είτε με έμμεση καύση, με χρήση ατμού, ζεστού νερού ή από περίσσεια/ανάκτηση θερμότητας. Οι μηχανές απορρόφησης, που είναι διαθέσιμες στο εμπόριο, τροφοδοτούνται με ατμό, ζεστό νερό ή τα αέρια καύσης, που μπορούν να παράγονται και από συστήματα Σ.Η.Θ. Στην πιο απλή σχεδίασή της, η μηχανή απορρόφησης αποτελείται από εξατμιστή, συμπυκνωτή, απορροφητή, μια γεννήτρια και μια αντλία διαλύματος. Στον κύκλο απορρόφησης, η συμπίεση ατμού του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται με συνδυασμό του απορροφητή, της αντλίας διαλύματος και της γεννήτριας[2]. Η βασική αρχή της μηχανής ψύξης με απορρόφηση φαίνεται στην εικόνα 1.4. που ακολουθεί.



Εικόνα 1.4. Αρχή λειτουργίας ψυκτικού συστήματος απορρόφησης[2]

Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι ψύκτες είναι αυτοί που χρησιμοποιούν το ζεύγος εργασίας αμμωνίας-νερού ή νερού-βρωμιούχου. Εκ των δυο αυτών το ζεύγος νερό/LiBr χρησιμοποιείται κυρίως για τις περιπτώσεις κλιματισμού, όπου δεν απαιτούνται θερμοκρασίες χαμηλότερες από 0°C. Ωστόσο ο κλιματισμός με τη μέθοδο αυτή δεν είναι τόσο αποτελεσματικός λόγω του χαμηλού συντελεστή συμπεριφοράς[2].

1.5. Εναλλακτικοί τρόποι λειτουργίας συστημάτων συμπαραγωγής

Ο τρόπος λειτουργίας χαρακτηρίζεται από το κριτήριο στο οποίο βασίζεται η ρύθμιση της παραγωγής του ηλεκτρισμού και της ωφέλιμης θερμότητας ενός συστήματος συμπαραγωγής. Οι πιθανοί τρόποι λειτουργίας αναλύονται ως εξής[4]:

- **Κάλυψη του θερμικού φορτίου** (“heat match” operation mode): Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, η ωφέλιμη παραγωγή θερμότητας του συστήματος συμπαραγωγής επιδιώκεται να είναι ίση με το θερμικό φορτίο (χωρίς υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος). Εάν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από το φορτίο η πλεονάζουσα ενέργεια πωλείται στο δίκτυο, ενώ εάν είναι μικρότερη η συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται από το δίκτυο.

- **Κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης**: Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα Σ.Η.Θ. διαστασιολογείται ώστε να παρέχει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμική ενέργεια για την εγκατάσταση. Εφεδρικοί λέβητες ή καυστήρες χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των περιόδων που η ζήτηση θερμότητας είναι υψηλότερη. Ο κύριος κινητήρας της μονάδας λειτουργεί πάντα υπό πλήρες φορτίο. Εάν η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια της εγκατάστασης υπερβαίνει αυτήν που μπορεί να παρέχει ο κύριος κινητήρας, τότε η υπόλοιπη ποσότητα μπορεί να αγοραστεί από το δίκτυο. Αντίστοιχα, εάν το επιτρέπουν οι ισχύοντες νόμοι, η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί στην ηλεκτρική εταιρεία.

- **Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου** ("electricity match" operation mode): Κάθε χρονική στιγμή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με το ηλεκτρικό φορτίο (χωρίς υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος Σ.Η.Θ.). Εάν η συμπαραγόμενη θερμότητα είναι μικρότερη από το θερμικό φορτίο ένας βοηθητικός λέβητας υποβοηθά στην κάλυψη των αναγκών, ενώ εάν είναι μεγαλύτερη η πλεονάζουσα θερμότητα απορρίπτεται στο περιβάλλον μέσω συσκευών ψύξης ή μέσω των καυσαερίων

- **Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης**: Σε αυτήν τη διάταξη, η μονάδα Σ.Η.Θ. διαστασιολογείται ώστε να ικανοποιεί την ελάχιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης, βάσει της καμπύλης των ιστορικών αναγκών. Οι υπόλοιπες ανάγκες σε ηλεκτρισμό καλύπτονται από το δίκτυο. Οι θερμικές ανάγκες της εγκατάστασης θα μπορούσαν να καλυφθούν από το σύστημα συμπαραγωγής μόνο ή με πρόσθετους λέβητες. Εάν η θερμική ενέργεια που παράγεται σύμφωνα με το ηλεκτρικό φορτίο βάσης υπερβαίνει τις απαιτήσεις της εγκατάστασης, και εάν το επιτρέπουν οι συνθήκες, η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να πωληθεί σε γειτονικούς πελάτες.

- **Μικτή κάλυψη**: Σε ορισμένες χρονικές περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του θερμικού φορτίου, ενώ σε άλλες περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου. Η απόφαση βασίζεται στην εκτίμηση παραμέτρων όπως είναι τα επίπεδα των φορτίων, η τιμή των καυσίμων και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την συγκεκριμένη ημέρα και ώρα.

- **Αυτόνομη λειτουργία**: Υφίσταται πλήρης κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή χωρίς σύνδεση με το δίκτυο. Αυτός ο τρόπος απαιτεί να διαθέτει το σύστημα ηλεκτρική και θερμική δυναμικότητα εφεδρείας, έτσι ώστε στην περίπτωση που μια μονάδα τεθεί εκτός λειτουργίας για οποιοδήποτε λόγο, οι υπόλοιπες μονάδες να είναι σε θέση να καλύψουν το ηλεκτρικό και το θερμικό φορτίο. Αυτή είναι και η πιο δαπανηρή στρατηγική, τουλάχιστον από την άποψη του αρχικού κόστους του συστήματος.

Γενικά, η λειτουργία κάλυψης του θερμικού φορτίου οδηγεί στον υψηλότερο βαθμό αξιοποίησης του καυσίμου (λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμων – F.E.S.R.) και ίσως στην καλύτερη οικονομική απόδοση της συμπαραγωγής, τόσο στο βιομηχανικό όσο και στον κτιριακό τομέα[2]. Στον τομέα των εταιριών ηλεκτροπαραγωγής, ο τρόπος λειτουργίας εξαρτάται από το συνολικό φορτίο του δικτύου, τη διαθεσιμότητα των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και τις υποχρεώσεις της εταιρίας προς τους πελάτες της, όσον αφορά την τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα.

Εντούτοις, εφαρμογή γενικών κανόνων δεν είναι η συνετότερη προσέγγιση για την περίπτωση της συμπαραγωγής. Κάθε εφαρμογή έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, υπάρχει μια πληθώρα συστημάτων Σ.Η.Θ. (ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας, το μέγεθος, τη διαμόρφωση), ενώ η σχεδίαση ενός συστήματος συμπαραγωγής μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες του χρήστη και έχει επιπτώσεις στους δυνατούς τρόπους λειτουργίας του, και το αντίστροφο. Εξάλλου, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος μπορεί να μεταβάλλονται οι διάφορες τεχνικές και οικονομικές παράμετροι με την ημέρα και τη χρονική στιγμή.

Όλες αυτές οι πτυχές καθιστούν αναγκαία τη λήψη αποφάσεων όχι βάσει γενικών κανόνων μόνο, αλλά με τη χρήση συστηματικών διαδικασιών βελτιστοποίησης που βασίζονται στο μαθηματικό προγραμματισμό, τόσο για το σχεδιασμό όσο και για τη λειτουργία του συστήματος. Για τη λειτουργία των συστημάτων συμπαραγωγής, ειδικότερα, διατίθενται συστήματα ελέγχου βασισμένα σε μικροεπεξεργαστές. Αυτά παρέχουν τη δυνατότητα τα διάφορα συστήματα Σ.Η.Θ. να λειτουργούν για την κάλυψη κάποιου φορτίου βάσης, να παρακολουθούν τα ηλεκτρικά ή τα θερμικά φορτία, είτε να λειτουργούν κατά ένα οικονομικοτεχνικά βέλτιστο τρόπο (τρόπος μικτής κάλυψης)[8].

Στην τελευταία περίπτωση, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίβλεψη της απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής, περιλαμβανομένων:

- του βαθμού απόδοσης του συστήματος και του ποσού της διαθέσιμης ωφέλιμης θερμότητας,
- των ηλεκτρικών και των θερμικών αναγκών του χρήστη, της ποσότητας της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποδοθεί στο δίκτυο και του ποσού της θερμότητας που πρέπει να απορριφθεί στο περιβάλλον,
- του κόστους της αγοραζόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και της αξίας των πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου ότι αυτά μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την ημέρα της εβδομάδας, ή την εποχή.

Με βάση τα δεδομένα αυτά, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να καθορίσει ποιος τρόπος λειτουργίας είναι ο πιο οικονομικός, ακόμη και το κατά πόσο η μονάδα πρέπει να διακόψει τη λειτουργία της. Επιπλέον, με την παρακολούθηση των παραμέτρων λειτουργίας, όπως είναι η αποδοτικότητα, οι ώρες λειτουργίας, η θερμοκρασία των καυσαερίων, οι θερμοκρασίες του νερού ψύξης, κλπ., ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να βοηθήσει στον προγραμματισμό της συντήρησης του

συστήματος. Εάν το σύστημα λειτουργεί χωρίς άμεση επίβλεψη, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να συνδεθεί μέσω τηλεφωνικής γραμμής με ένα κέντρο τηλεπαρακολούθησης, όπου η ανάλυση των δεδομένων μέσω Η/Υ μπορεί να προειδοποιήσει το εξειδικευμένο προσωπικό για μία επικείμενη ανάγκη προγραμματισμένης ή μη συντήρησης. Επιπλέον, ως τμήμα ενός συστήματος καταγραφής δεδομένων, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να συντάσσει εκθέσεις για την τεχνική και την οικονομική απόδοση του συστήματος[6].

1.6. Σύνοψη πλεονεκτημάτων - μειονεκτημάτων συμπαραγωγής

Ακολούθως συνοψίζονται τα βασικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Σ.Η.Θ.[2]:

- Αυξημένη απόδοση μετατροπής και χρήσης της ενέργειας. Η Σ.Η.Θ. είναι η πλέον αποτελεσματική και αποδοτική μορφή ηλεκτροπαραγωγής με την ταυτόχρονη παραγωγή θερμικής ενέργειας.
- Μικρότερες εκπομπές προς το περιβάλλον, ιδιαίτερα του CO2, του σημαντικότερου αερίου στο οποίο οφείλεται η κλιματική αλλαγή.
- Σημαντική εξοικονόμηση οικονομικών πόρων, παρέχοντας πρόσθετη ανταγωνιστικότητα στη βιομηχανία και στις εμπορικές επιχειρήσεις, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα παρέχονται σε προσιτές τιμές.
- Σημαντική ευκαιρία ώστε να προωθηθούν αποκεντρωμένες λύσεις ηλεκτροπαραγωγής, όπου οι σταθμοί Σ.Η.Θ. σχεδιάζονται να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, παρέχοντας υψηλή απόδοση, αποφεύγοντας απώλειες μεταφοράς και αυξάνοντας την ευελιξία στη χρήση του συστήματος. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όταν το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ως κύριο καύσιμο.
- Βελτιωμένη ασφάλεια παροχής, που μειώνει τις πιθανότητες οι καταναλωτές να μείνουν χωρίς ηλεκτρική ή/ και θερμική ενέργεια.
- Μειωμένη ανάγκη καυσίμων, σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγωγές.
- Αυξημένη απασχόληση, αφού η ανάπτυξη των συστημάτων ΣΗΘ δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.
- Η συμπαραγωγή μειώνει το σύνολο των δαπανών για εισαγόμενα καύσιμα, επιδρώντας θετικά στην εθνική οικονομία.

Αντίστοιχα, τα κυριότερα μειονεκτήματα καταγράφονται ως εξής[11]:

- Πιθανότητα δημιουργίας αστάθειας δικτύου λόγω διάθεσης σε αυτό τυχόν πλεονάσματος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας
- Στην περίπτωση ραγδαίας εξάπλωσης της χρήσης της μικροσυμπαραγωγής οι πολλές διάσπαρτες καπνοδόχοι των μονάδων προκαλούν μεγαλύτερη μόλυνση του περιβάλλοντος από μια μεγάλη καπνοδόχο κάποιας κεντρικής εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας που

βρίσκεται και εκτός αστικών κέντρων σε αντίθεση με τις μονάδες μικροσυμπαραγωγής

- Πρόκληση ρύπανσης εδάφους ή υδάτων από τη διακίνηση των καυσίμων και την απομάκρυνση των στερεών καταλοίπων της καύσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο *Νομοθετικό πλαίσιο*

Το παρόν κεφάλαιο επικεντρώνεται στην ανασκόπηση του νομοθετικού πλαισίου σε Ευρωπαϊκό και Εθνικό επίπεδο, σχετικού με τη Συμπαραγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού από το 1990 έως σήμερα. Αναλυτικότερα παρουσιάζονται οι νεότερες σχετικές εθνικές νομοθεσίες 3468/2006 και 3851/2010. Κύριες πηγές της σχετικής πληροφορίας αποτέλεσαν (α) η ιστοσελίδα του Ε.Σ.Σ.Η.Θ. [12] και (β) η τεχνική οδηγία του Τ.Ε.Ε. για την μικροσυμπαραγωγή[2].

2.1. Νομοθετική ανασκόπηση

1. **Ν.2244/1994** *«Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις»*

Ο Ν.2244/94 ουσιαστικά καθόρισε την απελευθέρωση, εν μέρει, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες παραγωγής ισχύος μέχρι 50 MW_e, οι οποίες αξιοποιούν Α.Π.Ε. ή είναι μονάδες Σ.Η.Θ. Δινόταν επίσης η δυνατότητα Σ.Η.Θ. με φυσικό αέριο. Για τους ανεξάρτητους παραγωγούς, ο Ν.2244/94 προέβλεπε τη δυνατότητα Σ.Η.Θ., με μονάδες συνδυασμένου κύκλου με καύσιμο το Φ.Α. και με ισχύ το πολύ ίση με τη θερμική και ψυκτική ισχύ των επιχειρήσεων που εξυπηρετούνται. Για τους αυτοπαραγωγούς, επιτρεπόταν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με παραγωγή θερμότητας/ψύξης με ισχύ σταθμού το πολύ ίση με τη θερμική και ψυκτική ισχύ των εγκαταστάσεων του αυτοπαραγωγού, εφόσον πρόκειται για Σ.Η.Θ. από συμβατικά καύσιμα, και αντίστοιχα χωρίς περιορισμό ισχύος, εφόσον πρόκειται για ενεργειακή αξιοποίηση υποπαραγώγων βιομηχανικού κυκλώματος ή από ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας. Στο νόμο επιδιώχθηκε η προώθηση της Σ.Η.Θ. με την απόδοση κινήτρων και την προσπάθεια απλούστευσης των διαδικασιών και ρυθμίζονταν θέματα σχετικά με τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας και τις άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας οριζόταν βάσει του αντίστοιχου τιμολογίου της Δ.Ε.Η. και προβλεπόταν ίση με το 60% του σκέλους ενέργειας. Στην περίπτωση της ανεξάρτητης ηλεκτροπαραγωγής με μονάδες Σ.Η.Θ. καύσης Φ.Α., η τιμή αγοράς καθοριζόταν βάσει του τιμολογίου της Δ.Ε.Η. και περιείχε σκέλος ενέργειας (70% του αντίστοιχου τιμολογίου της Δ.Ε.Η.) και σκέλος ισχύος (70% του αντίστοιχου τιμολογίου της Δ.Ε.Η.). Σχετικά με τις άδειες ο νόμος προέβλεπε τη γνωμοδότηση της Δ.Ε.Η. για την απορρόφηση της ηλεκτρικής ενέργειας και των προϋποθέσεων σύνδεσης στο Δίκτυο, διατάξεις του καταργήθηκαν με το Ν.2773/99.

2. **Ν.2273/1999** *«Για την Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας»*

Με το Ν.2273/1999 ρυθμίζονταν και θέματα Σ.Η.Θ., σύμφωνα με το πνεύμα της Οδηγίας 96/92/ΕΚ, την οποία ο νόμος ενσωμάτωνε στο εθνικό θεσμικό πλαίσιο. Με τον νόμο προβλεπόταν η δυνατότητα να δίνεται προτεραιότητα από την κατανομή για τη συμπαραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και καθορίζονταν τα ελάχιστα

κριτήρια απόδοσης για μονάδες Σ.Η.Θ. Επίσης, ο νόμος, εισήγαγε νέες ρυθμίσεις σχετικά με την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενης από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.

3. **Ν.3175/2003** *«Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις»*

Ο Ν.3175/2003 δημιούργησε τις προϋποθέσεις για την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού αλλά και για τη διανομή της θερμικής ενέργειας μέσα από δίκτυα θερμότητας, περιγράφοντας τη διαδικασία διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους και καθορίζοντας την αδειοδοτική διαδικασία για τη λειτουργία δικτύων διανομής θερμότητας και ειδικότερα αυτών που σχετίζονται με εγκαταστάσεις Σ.Η.Θ. Με την άδεια καθορίζονται ο χρόνος ισχύος της, η περιοχή κατασκευής του δικτύου θερμότητας, η τεχνολογία και οι όροι της διανομής θερμότητας στους καταναλωτές. Αν η θερμική ενέργεια παράγεται από εγκαταστάσεις Σ.Η.Θ., η Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας χορηγείται μαζί με την Άδεια Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

4. **Κ.Υ.Α. ΥΠΑΝ-ΥΠΕΧΩΔΕ (4 Νοεμβρίου 2004)** *«Τροποποίηση και συμπλήρωση της αντιστοίχησης των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία»*

Η Κ.Υ.Α. αυτή τροποποιεί και συμπληρώνει την αντιστοίχηση των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία. Η Κ.Υ.Α. έλυσε το χρόνιο πρόβλημα με την αδειοδότηση της Σ.Η.Θ. σε κτήρια, που προηγούμενα απαγορευόταν λόγω όχλησης.

5. **Κοινοτική Οδηγία 2004/8/ΕC** *«Προώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας και για την τροποποίηση της οδηγίας 92/42/ΕΟΚ»*

Η Κοινοτική Οδηγία 2004/8/ΕC δημιουργεί το πλαίσιο για την προώθηση συμπαραγωγής ενέργειας με βάση τη ζήτηση για χρήσιμη θερμότητα. Εισάγει την έννοια της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας (Σ.Η.Θ.Υ.Α.), κατηγοριοποιώντας τα συστήματα Σ.Η.Θ. ανάλογα με την ισχύ τους σε πολύ μικρή Σ.Η.Θ. (έως 50 kW_e), μικρή Σ.Η.Θ. (έως 1 MW_e) και Σ.Η.Θ. (>1 MW_e).

6. **Κοινοτική Οδηγία 2005/32/ΕC** *«Οικολογικός σχεδιασμός προϊόντων που καταναλώνουν Ενέργεια» (Eco-design of energy-using products)*

Η Κοινοτική Οδηγία 2005/32/ΕC δημιουργεί το πλαίσιο για τον οικολογικό σχεδιασμό προϊόντων που καταναλώνουν ενέργεια και αφορά τα συστήματα πολύ μικρής- και μικρής- Σ.Η.Θ.

7. **Ν. 3468/2006** *«Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και Σ.Η.Θ. Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.) και λοιπές διατάξεις»*

Ο Ν.3468/2006 εισήγαγε νέο πλαίσιο για τη χορήγηση άδειας, παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ. Υψηλής Αποδοτικότητας (Σ.Η.Θ.Υ.Α.). Ο νόμος αναφέρεται ρητά στη Σ.Η.Θ. Υψηλής Αποδοτικότητας, όπως αυτή ορίζεται από την Κ.Ο. 2004/8/ΕΚ, απλοποιείται η αδειοδοτική διαδικασία για επενδύσεις Σ.Η.Θ.Υ.Α. και τίθενται αποκλειστικές προθεσμίες για την έκδοση των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας για έργα Σ.Η.Θ.Υ.Α. Θεσμοθετείται Κανονισμός Αδειών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. Καθορίζεται η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Σ.Η.Θ.Υ.Α. και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, με σκοπό την απεξάρτηση από τα τιμολόγια της Δ.Ε.Η. και τη διασφάλιση των επενδύσεων. Ο νόμος έθεσε νέες βάσεις για την αδειοδότηση έργων Σ.Η.Θ.Υ.Α., ιδιαίτερα στην έγκριση των περιβαλλοντικών μελετών, θέτει αυστηρότερα κριτήρια για την έγκριση των Π.Π.Ε./Μ.Π.Ε. και συντομότερο χρόνο για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων από τις αρμόδιες κρατικές υπηρεσίες.

8. **Ν. 3734/09** *«Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το υδροηλεκτρικό έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις»*

Ο Ν. 3734/09 ενσωματώνει πλήρως την Κοινοτική Οδηγία 2004/8/ΕΚ. Βασικές τομές του νόμου είναι η μέθοδος υπολογισμού της ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ., ο υπολογισμός αποδοτικότητας της Σ.Η.Θ. Επίσης, σημαντικό σημείο είναι η κατηγοριοποίηση των συστημάτων Σ.Η.Θ.Υ.Α., ως προς το όριο του 1 MW_e (μικρή Σ.Η.Θ.), εγκρίνοντας ή όχι άπαξ, διάφορους τύπους μηχανών διαφόρων κατασκευαστών, για την περιβαλλοντική τους συμπεριφορά. Έτσι, ο κάθε επενδυτής θα υποβάλλει μόνο το έγγραφο έγκρισης της μηχανής Σ.Η.Θ.Υ.Α., σχετικά με την περιβαλλοντική έγκριση.

9. **Υ.Α. ΦΕΚ τ. Β, Αρ. Φύλλου 1420 / 15. 6. 2009** *«Καθορισμός εναρμονισμένων τιμών αναφοράς των βαθμών απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας»*

10. **Υ.Α. ΦΕΚ τ. Β, Αρ. Φύλλου 1420 / 15.6.2009** *«Καθορισμός λεπτομερειών της μεθόδου υπολογισμού της ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ. και της αποδοτικότητας Σ.Η.Θ.»*

Η Υπουργική Απόφαση (Υ.Α.)**,** Α/Α 8, καθορίζει τις εναρμονισμένες τιμές αναφοράς των βαθμών απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, τους απαιτούμενους διορθωτικούς συντελεστές για τις τιμές αυτές και η Υ.Α., Α/Α 9, καθορίζει αναλυτικά τον τρόπο υπολογισμού της ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. με βάση τις κατευθυντήριες οδηγίες της Κ.Ο. 2004/8.

11. **Ν. 3851/2010** *«Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Α.Π.Ε. για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις»*

Ο Ν. 3851/2010 ορίζει νέο τρόπο τιμολόγησης της συμπαραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, από σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α. έως 1 MW που κάνουν χρήση Φ.Α. Κύριο λόγο στην τιμολόγηση έχει η μέση μηνιαία τιμή Φ.Α. (Μ.Τ.Φ.Α.), καθώς και η απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος Σ.Η.Θ. Περισσότερες λεπτομέρειες του νόμου 3851 θα δοθούν στο εδάφιο 2.3.

12. **ΥΠΕΚΑ 2010 Σχέδιο διαβούλευσης ΥΑ (12/2010)** *«Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α.».*

Η Υπουργική Απόφαση καθορίζει, με αναλυτικό τρόπο, τη διαδικασία για την έκδοση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α.

13. **Κώδικες Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής ενέργειας**

Οι κώδικες μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εγκρίνονται από τη Ρ.Α.Ε. και είναι η βάση διασύνδεσης του συστήματος Σ.Η.Θ. με το Δίκτυο.

14. **ΡΑΕ Σχέδιο διαβούλευσης (12/2010**) «Εφαρμογή του Συστήματος Εγγυήσεων Προέλευσης ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. και μηχανισμού διασφάλισης του».

Η Υπουργική Απόφαση καθορίζει, με αναλυτικό τρόπο, το σύστημα Εγγυήσεων Προέλευσης ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. και μηχανισμού διασφάλισης του.

2.2. Νόμος 3468/2006

Σε αυτό το νόμο ορίστηκαν ρητά έννοιες που αφορούν άμεσα την παρούσα διπλωματική εργασία και κρίνεται απαραίτητο να αναλυθούν.

Συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.) ορίζεται η συμπαραγωγή που εξασφαλίζει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 10%, σε σχέση με τη θερμική και ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στο πλαίσιο διακριτών διαδικασιών, καθώς και η παραγωγή από μονάδες συμπαραγωγής μικρής και πολύ μικρής κλίμακας που εξασφαλίζει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, ανεξάρτητα από το ποσοστό της εξοικονόμησης. Ο υπολογισμός της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας, όπου αυτός απαιτείται, γίνεται σύμφωνα με τα οριζόμενα στην περίπτωση β΄ του Παραρτήματος ΙΙΙ της Οδηγίας 2004/8/ΕΚ (ΕΕ L 52) [12].

Με το νόμο 3468/2006[12] τροποποιήθηκαν επίσης οι έννοιες του παραγωγού, του αυτόνομου παραγωγού και του αυτοπαραγωγού Σ.Η.Θ.Υ.Α. από προηγούμενους ορισμούς από προγεννέστερους νόμους.

Παραγωγός από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. ονομάζεται όποιος παράγει ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) ή από μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας υψηλής απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.)

Αυτοπαραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. ορίζεται ο παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από μονάδες Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. κυρίως για δική του χρήση και διοχετεύει τυχόν πλεόνασμα της ενέργειας αυτής στο σύστημα ή στο δίκτυο.

Αυτόνομος Παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ορίζεται ο παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από Α.Π.Ε. και του οποίου ο σταθμός δεν είναι συνδεδεμένος με το Σύστημα ή το Δίκτυο.

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. απαιτείται σχετική άδεια από τον υπουργό ανάπτυξης, μετά από γνωμοδότηση της ρυθμιστικής αρχής ενέργειας (Ρ.Α.Ε.) με βάση τα κριτήρια:

- της εθνικής ασφάλειας
- της προστασίας της δημόσιας υγείας και ασφάλειας
- της εν γένει ασφάλειας των εγκαταστάσεων και του σχετικού εξοπλισμού του συστήματος και του δικτύου
- της ενεργειακής αποδοτικότητας του έργου για το οποίο υποβάλλεται η σχετική αίτηση
- της ωριμότητας της διαδικασίας υλοποίησης του έργου, όπως αυτή προκύπτει από μελέτες που έχουν εκπονηθεί, γνωμοδοτήσεις αρμόδιων υπηρεσιών καθώς και από άλλα συναφή στοιχεία
- της εξασφάλισης ή της δυνατότητας εξασφάλισης δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου
- της δυνατότητας του αιτούντος να υλοποιήσει το έργο με βάση την οικονομική, επιστημονική και τεχνική επάρκεια του
- της διασφάλισης παροχής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και προστασίας των πελατών
- της προστασίας του περιβάλλοντος σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία και το ειδικό πλαίσιο χωροταξικού σχεδιασμού και αειφόρου ανάπτυξης για τις Α.Π.Ε.

Η Ρ.Α.Ε. εξετάζει αν πληρούνται τα παραπάνω κριτήρια και πριν διατυπώσει τη γνώμη της, διαβιβάζει την προμελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Π.Π.Ε.), στις περιπτώσεις που αυτή απαιτείται, στην αρχή που είναι αρμόδια για την περιβαλλοντική αδειοδότηση. Η αρχή αυτή γνωμοδοτεί επί της προκαταρκτικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και αξιολόγησης (Π.Π.Ε.Α.) και διαβιβάζει τη γνωμοδότησή της στη Ρ.Α.Ε. εντός εξήντα ημερών από τη συμπλήρωση του φακέλου της Π.Π.Ε. Η Ρ.Α.Ε. μετά την έκδοση της γνωμοδότησης υποβάλλει τη γνώμη της στον υπουργό ανάπτυξης εντός τεσσάρων μηνών από τη γνωστοποίηση σε αυτήν της δημοσίευσης της αίτησης. Ο υπουργός ανάπτυξης εκδίδει τη σχετική απόφαση εντός δεκαπέντε ημερών από την υποβολή σε αυτόν της γνώμης της Ρ.Α.Ε.

Η άδεια παραγωγής χορηγείται για χρονικό διάστημα μέχρι εικοσιπέντε ετών και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρόνο. Εάν εντός είκοσι τεσσάρων μηνών από τη χορήγηση της άδειας παραγωγής δεν έχει χορηγηθεί άδεια εγκατάστασης, η άδεια παραγωγής ανακαλείται.

Εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής πρόσωπα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από Σ.Η.Θ.Υ.Α., με εγκατεστημένη ισχύ έως 20 kW_e, εκτός εάν πρόκειται για σταθμούς που εγκαθίστανται σε μη διασυνδεδεμένα νησιά όπου υφίσταται κορεσμός του δικτύου, ο οποίος διαπιστώνεται με απόφαση της Ρ.Α.Ε. Τα πρόσωπα που έχουν την ευθύνη της λειτουργίας των σταθμών αυτών υποχρεούνται, πριν εγκαταστήσουν τους σταθμούς, να ενημερώνουν τον αρμόδιο διαχειριστή για τη θέση, την ισχύ και την τεχνολογία των σταθμών αυτών. Αν παραλειφθεί η υποχρέωση ενημέρωσης, η λειτουργία των σταθμών αποβαίνει παράνομη. Ο αρμόδιος διαχειριστής ενημερώνει, στο τέλος κάθε διμήνου τον υπουργό ανάπτυξης και τη Ρ.Α.Ε. για την εγκατάσταση των ανωτέρω σταθμών.

Γενικότερα θεσμοθετείται κανονισμός αδειών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. Καθορίζεται η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Σ.Η.Θ.Υ.Α. και απορροφάται από το σύστημα ή το δίκτυο, με σκοπό την απεξάρτηση από τα τιμολόγια της Δ.Ε.Η. και τη διασφάλιση των επενδύσεων. Ο νόμος έθεσε νέες βάσεις για την αδειοδότηση έργων Σ.Η.Θ.Υ.Α., ιδιαίτερα στην έγκριση των περιβαλλοντικών μελετών, θέτει αυστηρότερα κριτήρια για την έγκριση των προμελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων/μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και συντομότερο χρόνο για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων από τις αρμόδιες κρατικές υπηρεσίες.

2.3. Νόμος 3851/2010

Ο πιο πρόσφατος νόμος που αφορά τις μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α. είναι ο νόμος 3851/2010. Σε αυτόν έγινε αλλαγή της τιμολόγησης της παραγόμενης από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α. ισχύει για είκοσι έτη και μπορεί να παρατείνεται, σύμφωνα με τους όρους της άδειας αυτής, μετά από έγγραφη συμφωνία των μερών, εφόσον ισχύει η σχετική άδεια παραγωγής. Η τιμολόγηση γίνεται με βάση την τιμή, σε ευρώ ανά μεγαβατώρα (MWh), της ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου και του Δικτύου Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών και γίνεται βάσει των τύπων του ακόλουθου πίνακα.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:	Τιμή ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένο σύστημα
(ιστ) Σ.Η.Θ.Υ.Α.	**87,85 * ΣΡ**	**99,45 * ΣΡ**

Πίνακας 2.1. Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α.[13]

Οι τιμές που αφορούν σε σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α. που κάνουν χρήση φυσικού αερίου προσαυξάνονται κατά ποσό ίσο με την τιμή επί το συντελεστή ρήτρας φυσικού αερίου ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$\Sigma.P. = 1 + \frac{(M.T.\Phi.A. - 26)}{100 * n_{el}}$$

όπου:

- Μ.Τ.Φ.Α.: η ανά τρίμηνο μέση μοναδιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου για συμπαραγωγή σε €/MWh ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) στους χρήστες Φ.Α. στην Ελλάδα, εξαιρουμένων των πελατών ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή αυτή ορίζεται με μέριμνα της Δ.Ε.Π.Α. Α.Ε. και κοινοποιείται ανά τρίμηνο στον Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε.
- η_{el} : ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της διάταξης Σ.Η.Θ.Υ.Α. επί ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) φυσικού αερίου, η οποία ορίζεται σε 0,33 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α. ≤1MW_e, και σε 0,35 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α.>1MW_e. Η τιμή του Σ.Ρ. δεν μπορεί να είναι μικρότερη της μονάδας.

Στην περίπτωση που οι ανωτέρω Σ.Η.Θ.Υ.Α. που κάνουν χρήση φυσικού αερίου αξιοποιούν τα καυσαέρια για γεωργικούς σκοπούς ο συντελεστής Σ.Ρ. μπορεί να προσαυξάνεται με απόφαση της Ρ.Α.Ε. μέχρι 20%. Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Παραγωγό ή Αυτοπαραγωγό μέσω σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. πραγματοποιείται ανά μήνα με βάση τη Μ.Τ.Φ.Α. του προηγούμενου τριμήνου.

Οι τιμές για τους Αυτοπαραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας ισχύουν μόνο για σταθμούς Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. με εγκατεστημένη ισχύ έως τριάντα πέντε (35) MW και για το πλεόνασμα της ηλεκτρικής ενέργειας που διατίθεται στο Σύστημα ή το Δίκτυο, το οποίο μπορεί να ανέλθει μέχρι ποσοστό 20% της συνολικά παραγόμενης, από τους σταθμούς αυτούς, ηλεκτρικής ενέργειας, σε ετήσια βάση. Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Παραγωγό ή Αυτοπαραγωγό μέσω σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. πραγματοποιείται ανά μήνα με βάση τη Μ.Τ.Φ.Α. του προηγούμενου τριμήνου.

Η παραγόμενη ενέργεια από σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α. εφόσον οι επενδύσεις υλοποιούνται χωρίς τη χρήση δημόσιας επιχορήγησης, τιμολογείται με βάση τις τιμές του ανωτέρω πίνακα τιμολόγησης, προσαυξημένες κατά ποσοστό 15%. Αυτή η προσαύξηση εφαρμόζεται μόνο στο σταθερό σκέλος της τιμολόγησης, εφόσον η επένδυση υλοποιείται χωρίς επιχορήγηση από οποιοδήποτε εθνικό, ευρωπαϊκό ή διεθνές πρόγραμμα ή αναπτυξιακό νόμο, για την κάλυψη τμήματος της σχετικής δαπάνης ούτε υπόκειται σε φοροαπαλλαγή οποιασδήποτε μορφής περιλαμβανομένου και του αφορολόγητου αποθεματικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο Τεχνολογίες οικιακής μ-Σ.Η.Θ.

3.1. Γενικά

Στα κτίρια χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες, ανάλογα με την κατηγορία του κτιρίου και τα διαθέσιμα καύσιμα για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Για να χαρακτηριστεί μια επένδυση βιώσιμη, λαμβάνονται υπόψη ως βασικά στοιχεία για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης/ψύξης/ηλεκτρικής ενέργειας προς εγκατάσταση, οι απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη, το κόστος αγοράς, εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος, καθώς και οι ώρες λειτουργίας του.

Οι συνηθέστερες μονάδες Σ.Η.Θ. για κτίρια, είναι οι ακόλουθες[2]:

- Μηχανή Otto (Αεριομηχανές)
- Μηχανή Diesel (Πετρελαιομηχανές)
- Αεριοστρόβιλος με λέβητα ανάκτησης θερμότητας
- Μικροστρόβιλος (microturbine)
- Μηχανή Stirling
- Κυψέλη καυσίμου
- Ατμοστρόβιλος απομάστευσης, σε ιδιαίτερες περιπτώσεις.

Α/Α	ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΣΧΥΟΣ kW_e	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
1	ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	5 – 50	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ ΜΗΧΑΝΗ STIRLING ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ
2	ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	50 – 250	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ ΜΗΧΑΝΗ DIESEL ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ
3	ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ	500 – 2000	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ ΜΗΧΑΝΗ DIESEL ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ (για μεγάλη ισχύ)
4	ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ	200 – 2000	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ ΜΗΧΑΝΗ DIESEL ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ (για μεγάλη ισχύ)
5	ΚΤΗΡΙΑ ΓΡΑΦΕΙΩΝ	200 – 500	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ ΜΗΧΑΝΗ DIESEL
6	ΑΘΛΗΤΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ – ΠΙΣΙΝΕΣ	100 – 300	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ ΜΗΧΑΝΗ DIESEL ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ
7	ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ	200 – 1000	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ ΜΗΧΑΝΗ DIESEL ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ
8	ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ	200 – 500	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ ΜΗΧΑΝΗ DIESEL ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ

Πίνακας 3.1. Προτεινόμενα συστήματα Σ.Η.Θ. για διάφορα είδη κτιρίων[2]

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα δοθούν λεπτομέρειες για τα συστήματα μικροσυμπαραγωγής με παλινδρομικές Μ.Ε.Κ., μικροστροβίλους, μηχανές Stirling και κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (S.O.F.C.), που σύμφωνα με τον πίνακα 3.1. ενδείκνυνται για εφαρμογή σε μονοκατοικία.

3.2. Παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.)

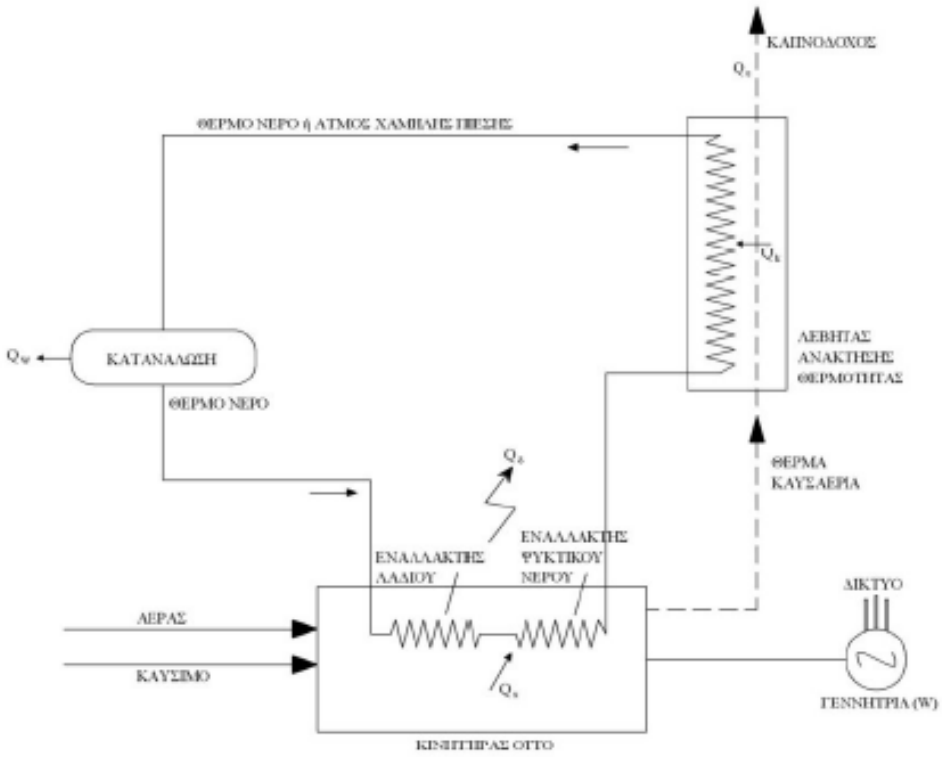
Οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.) είναι θερμικές μηχανές όπου τα προϊόντα της καύσης του αέρα με το καύσιμο αποτελούν απευθείας το εργαζόμενο μέσο για την παραγωγή της μηχανικής ισχύος. Η εμβολοφόρος Μ.Ε.Κ. είναι η πιο κοινή μορφή κινητηρίου μηχανής. Λόγω της απλής της κατασκευής και της δυνατότητας της να χρησιμοποιεί εργαζόμενο μέσο σε υψηλή θερμοκρασιακή στάθμη συνδυάζει καλό ολικό βαθμό απόδοσης και υψηλή συγκέντρωση ισχύος[1]. Χαρακτηριστικά των παλινδρομικών μηχανών είναι η αποδεδειγμένη αξιοπιστία τους, το μεγάλο εύρος ισχύος που μπορεί να επιτευχθεί, ξεκινώντας από μερικά κιλοβάτ και φτάνοντας μέχρι τα δέκα μεγαβάτ, αλλά και η ανάγκη τακτικής συντήρησης και επισκευής.

Οι παλινδρομικοί κινητήρες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, εκείνους που λειτουργούν με βάση τον θερμοδυναμικό κύκλο του Otto (επιβαλλόμενης ανάφλεξης) και εκείνους που λειτουργούν με βάση τον κύκλο Diesel (ανάφλεξη λόγω συμπίεσης). Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι σε εφαρμογές μικροσυμπαραγωγής είναι οι κινητήρες Otto[4].

3.2.1. Μηχανές Otto

Οι κινητήρες Otto για εφαρμογές μ-Σ.Η.Θ. χρησιμοποιούν συνήθως αέρια καύσιμα όπως το φυσικό αέριο, το υγραέριο και άλλα. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω γεννήτριας, ενώ συγχρόνως παράγεται και χρήσιμη θερμική ενέργεια από ανάκτηση θερμότητας στον εναλλάκτη των χιτωνίων και τα καυσαέρια, μέσω λέβητα ανάκτησης θερμότητας.

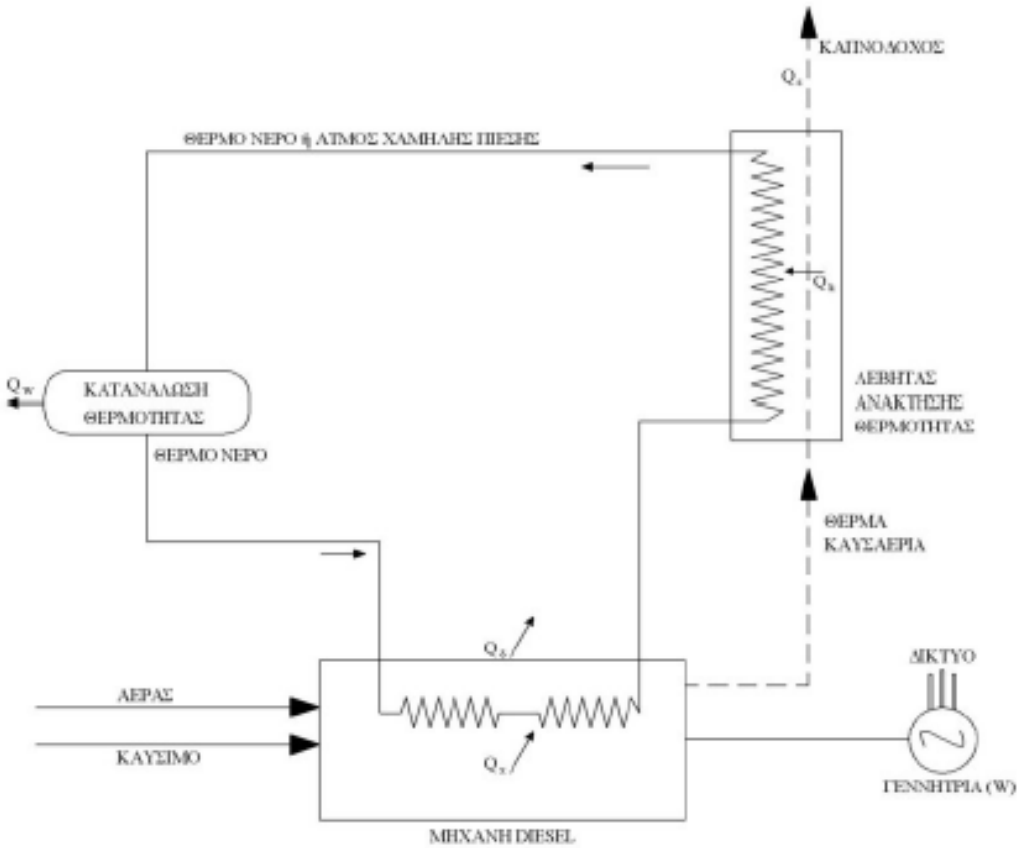
Οι εφαρμογές μ-Σ.Η.Θ. με κινητήρα Otto κατασκευάζονται για ισχύ από 15 kW έως 1,3 MW, παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης της τάξεως του 32-35% , θερμικό βαθμό απόδοσης 50-60% και λόγο συμπαραγόμενης ηλεκτρικής προς θερμική ενέργειας (C) από 0,5 έως 0,8[1]. Ο μέσος χρόνος ζωής εκτιμάται περίπου στα 10 έτη. Στην εικόνα 3.1. παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας ενός συστήματος μ-Σ.Η.Θ. με κινητήριο μηχανή μια παλινδρομική Μ.Ε.Κ. (Otto).



Εικόνα 3.1. Διάγραμμα λειτουργίας συστήματος μικροσυμπαραγωγής με κινητήρα Otto[2]

3.2.2. Μηχανή Diesel

Στην περίπτωση μικροσυμπαραγωγής με κινητήρα Diesel, αυτός κινεί την ηλεκτρογεννήτρια και συγχρόνως διατίθεται χρήσιμη θερμική ενέργεια από την ανάκτηση θερμότητας, από τον εναλλάκτη των χιτωνίων και από τα καυσαέρια μέσω του λέβητα ανάκτησης θερμότητας. Το καύσιμο είναι κυρίως πετρέλαιο. Το εύρος της ισχύος που μπορεί να επιτευχθεί κυμαίνεται από 0,1 έως 20 MW. Παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35-45%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-45% και λόγο συμπαραγόμενης ηλεκτρικής προς θερμική ενέργειας (C) 0,7 έως 0,9, ενώ ο μέσος όρος ζωής του είναι 15-20 χρόνια[4]. Στην εικόνα 3.2. παρουσιάζεται η λειτουργία ενός αντίστοιχου συστήματος.

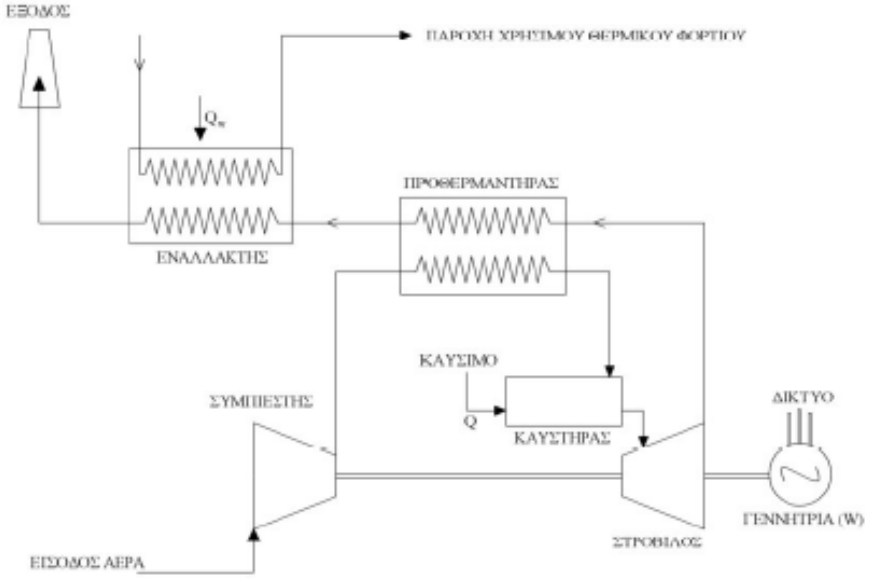


Εικόνα 3.2. Διάγραμμα λειτουργίας συστήματος μικροσυμπαραγωγής με κινητήρα Diesel[2]

3.3. Μικροστρόβιλοι

Το σύστημα Σ.Η.Θ. με μικροστρόβιλο είναι κατά κανόνα μονάδα μικρού μεγέθους, υψηλής ταχύτητας και συμπεριλαμβάνει τον αεριοστρόβιλο (gas turbine), το συμπιεστή (compressor), τη γεννήτρια και τα ηλεκτρονικά ισχύος για τη σύνδεσή τους με το δίκτυο. Τυπικά, λειτουργεί με καύσιμο το φυσικό αέριο, αλλά δέχεται για τη λειτουργία της και άλλα βιομηχανικά καύσιμα, όπως προπάνιο, ελαφρύ πετρέλαιο (diesel) και κηροζίνη[2]. Κατά τη λειτουργία της μηχανής, ο αέρας εισέρχεται στο συμπιεστή και μετά από τη συμπίεσή του διέρχεται από τον προθερμαντήρα, όπου η θερμοκρασία αυξάνεται από τα καυσαέρια εκτόνωσης. Στη συνέχεια, ο αέρας εισέρχεται στον καυστήρα, όπου αναμειγνύεται με το καύσιμο, το οποίο αναφλέγεται και καίγεται. Ο αναφλεκτήρας (ignitor) χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και κατόπιν η φλόγα είναι αυτοσυντηρούμενη. Τα αέρια μετά την καύση διέρχονται από το στρόβιλο μετατρέποντας τη θερμική ενέργεια σε μηχανική. Τα αέρια που εξέρχονται από το στρόβιλο διέρχονται από τον αναθερμαντήρα και στη συνέχεια στον εναλλάκτη θερμότητας (θερμαντική στήλη) για την πρόσδοση θερμότητας και τη θέρμανση νερού.

Στην εικόνα 3.3. απεικονίζεται η διάταξη και ο τρόπος λειτουργίας του μικροστροβίλου.



Εικόνα 3.3. Διάταξη και τρόπος λειτουργίας μικροστροβίλου[2]

Τα συστήματα ΣΗΘ με μικροστροβίλους[8]:

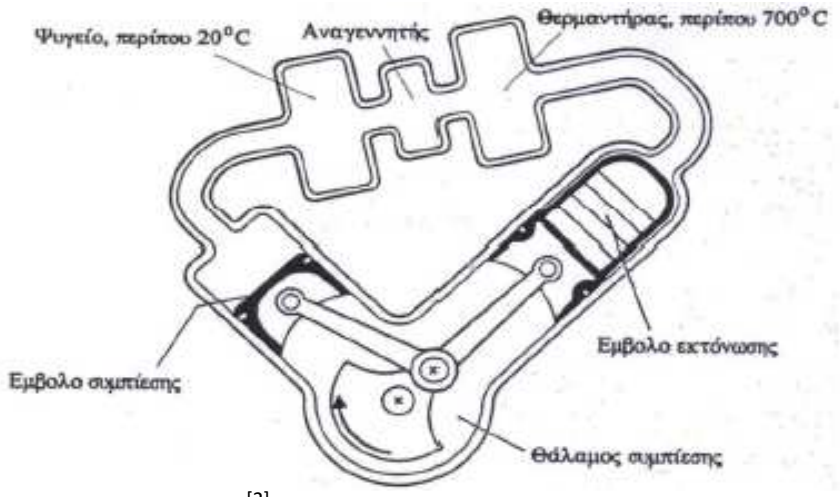
- κατασκευάζονται για ισχύ 25 έως 200 kW
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 25÷35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-50% (στην περίπτωση της εγκατάστασης συστήματος ανάκτησης θερμότητας έως και 65%) και ολικό βαθμό απόδοσης 70÷85%,
- ο λόγος συμπαραγόμενης ηλεκτρικής προς θερμική ενέργειας C είναι 0,6÷0,8 και
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 έτη

3.4. Μηχανές Stirling

Στις μηχανές Stirling η καύση του καυσίμου γίνεται εξωτερικά σε ξεχωριστό θάλαμο καύσης. Ονομάζονται και μηχανές εξωτερικής καύσης. Το εργαζόμενο μέσο (αδρανές αέριο) που μπορεί να είναι ήλιο ή άζωτο μεταφέρεται μεταξύ δυο θαλάμων (υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας) με τη βοήθεια εμβόλων. Κατά τη διαδρομή από το θερμό θάλαμο (θερμαντήρα) προς τον ψυχρό (ψυγείο) το εργαζόμενο μέσο περνάει από έναν αναγεννητή, που συνήθως είναι κατασκευασμένος από κεραμικό υλικό ή πορώδες μέταλλο, που δεσμεύει τη θερμότητα και την επιστρέφει στο αέριο κατά την διαδρομή από τον ψυχρό προς τον θερμό θάλαμο. Κατασκευάζονται σε διάφορες διατάξεις ανάλογα με τον αριθμό και τη θέση των εμβόλων και των κυλίνδρων και ανάλογα με τη μέθοδο οδήγησης (ελευθέρων εμβόλων[free piston] ή κινηματικής [cinematic])[4].

Στις μηχανές Stirling υπάρχει μεγάλη ευελιξία στο καύσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί (και χρησιμοποιούνται υγρά ή αέρια καύσιμα, άνθρακας, καύσιμα από βιομάζα ή απορρίμματα) λόγω της καύσης του σε ξεχωριστό θάλαμο. Η συνεχής φύση της καύσης οδηγεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα ρύπων[2].

Η μηχανή Stirling εργάζεται με βάση θερμοδυναμικό κύκλο που αποτελείται από τέσσερις αντιστρεπτές μεταβολές (δύο ισόογκες και δύο ισοθερμοκρασιακές).



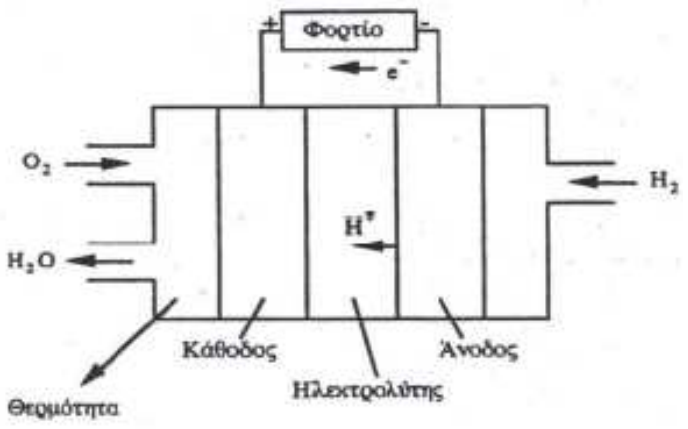
Εικόνα 3.4. Μηχανή Stirling[2]

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων Σ.Η.Θ. με μηχανές Stirling είναι[8]:

- κατασκευάζονται συνήθως για ισχύ από 3 έως 100 kW,
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35-45%, θερμικό βαθμό απόδοσης 50-60% και ολικό βαθμό απόδοσης 80-85%,
- ο λόγος συμπαραγόμενης ηλεκτρικής προς θερμική ενέργειας (C) είναι 0,5 ÷ 0,8,
- αν και ακριβότεροι από τις Μ.Ε.Κ. είναι λιγότερο ρυπογόνοι. Η ηχορύπανση και η χημική ρύπανση που προκαλούν είναι αισθητά μικρότερη και έτσι συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος,
- απαιτούν συντήρηση σε μεγάλα χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα να λειτουργούν αρκετές χιλιάδες ώρες συνεχώς.

3.5. Κυψέλες καυσίμου στερεού οξιδείου (S.O.F.C.)

Το σύστημα Σ.Η.Θ. με κυψέλη καυσίμου λειτουργεί κυρίως με τη χρήση υδρογόνου και αέρα, τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους, παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται ηλεκτρική τάση, η οποία προκαλεί ροή ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα) στο εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο)[3]. Δεδομένου ότι η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα. Στην εικόνα 3.5. παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας της κυψέλης καυσίμου.



Εικόνα 3.5. Σχηματική διάταξη κυψέλης καυσίμου[2]

Πιθανά καύσιμα της κυψέλης καυσίμου είναι το υδρογόνο, διάφοροι υδρογονάνθρακες και βιοκαύσιμα. Καθαρό υδρογόνο μπορεί επίσης να παραχθεί με την ηλεκτρόλυση νερού, όταν αυτή επιτυγχάνεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ηλιακή, αιολική και γεωθερμία. Σήμερα, το καταλληλότερο καύσιμο για τις κυψέλες καυσίμου είναι το φυσικό αέριο[8]. Οι διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου χαρακτηρίζονται από τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν και είναι:

Τύπος	**Θερμοκρασία λειτουργίας (^oC)**	**Ηλεκτρολύτης**	**Καύσιμο**	**Οξειδωτικό**
AFC	80	KOH	H_2	O_2/αέρας
PEM	80	στερεό πολυμερισμένο	H_2	O_2/αέρας
PAFC	200	H_3PO_4	Φυσικό αέριο (Εξωτερική αναμόρφωση)	Αέρας
MCFC	650	Li_2CO_3+K_2CO_3	Άνθρακας και Φυσικό αέριο (Εσωτερική αναμόρφωση)	Αέρας
SOFC	1000	ZrO_2	Άνθρακας και Φυσικό αέριο (Εσωτερική αναμόρφωση)	Αέρας

***AFC**: Alcaline Fuel Cells (αλκαλικές κυψέλες καυσίμου)*
***PEM**: Polymer Electrolyte Membranes (κυψέλες καυσίμου πολυμερικής μεμβράνης)*
***PAFC**: Phosphoric Acid Fuel Cells (κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέως)*
***MCFC**: Molten Carbonate Fuel Cells (κυψέλες καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων)*
***SOFC**: Solid Oxide Fuel Cells (κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου)*

Πίνακας 3.2. Τύποι χρησιμοποιούμενων καυσίμων[2]

Ως πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμου καταγράφονται[2] η αρθρωτή (modular) δομή για την επίτευξη μονάδων με επιθυμητή ισχύ, ο υψηλός βαθμός απόδοσης, η ευκολία αυτοματισμού, οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και η χαμηλή στάθμη θορύβου. Μειονέκτημα αποτελεί το υψηλό κόστος κατασκευής και η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής.

Τα κυριότερα λειτουργικά χαρακτηριστικά των συστημάτων μ-Σ.Η.Θ. με κυψέλες καυσίμου είναι[8]:

- Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης 30-35%, θερμικός βαθμός απόδοσης 40-50% και ολικός βαθμός απόδοσης συστήματος 70-85%
- Ο λόγος συμπαραγόμενης ηλεκτρικής προς θερμική ενέργειας (C) είναι 0,70-1,0

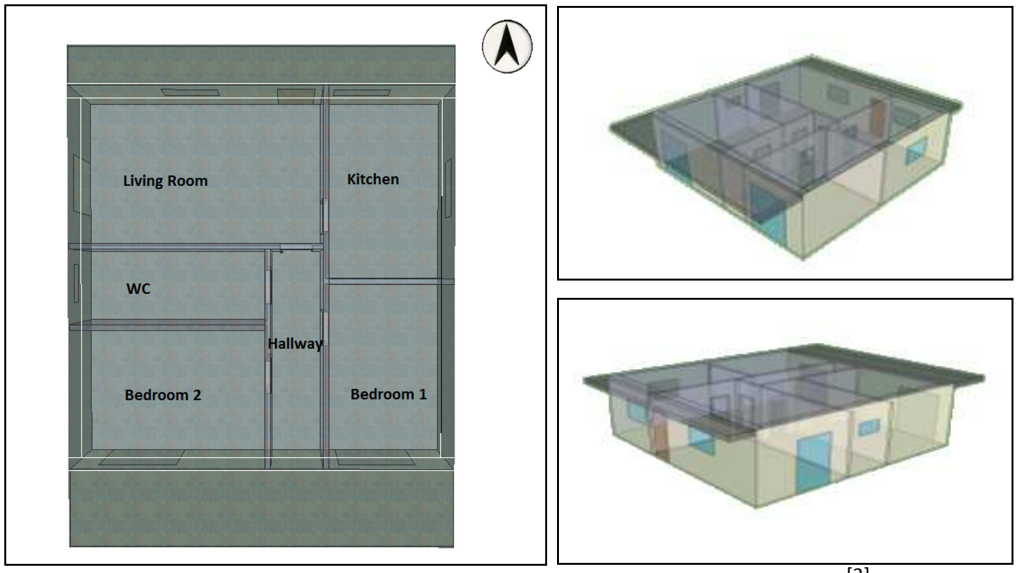
Επισημαίνεται ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία λειτουργίας τόσο μεγαλύτερο είναι και το ωφέλιμο θερμικό φορτίο το οποίο μπορεί να ανακτηθεί από τον εναλλάκτη και κατά συνέπεια κυψέλες καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας ($<80^{o}C$) δεν ενδείκνυνται για εφαρμογές Σ.Η.Θ[2].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο *Περιγραφή εξεταζόμενης κατοικίας, συστημάτων και υπολογιστικής μεθοδολογίας*

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος μικροσυμπαραγωγής. Στα δυο πρώτα εδάφια φαίνεται ο τρόπος προσέγγισης των θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων καθώς η κατοικία που εξετάζεται είναι θεωρητική και δεν υπάρχουν δεδομένα για τα φορτία της. Στη συνέχεια αναλύεται η επιλογή και η μεθοδολογία προσομοίωσης για το υπάρχον σύστημα θέρμανσης και τα συστήματα που επιλέχθησαν για τις ενδεχόμενες επεμβάσεις στο σύστημα θέρμανσης της κατοικίας. Στο τελευταίο εδάφιο περιγράφεται πως αναλύθηκαν οικονομοτεχνικά οι διάφορες επεμβάσεις.

4.1. Εξεταζόμενη κατοικία

Η εξεταζόμενη κατοικία είναι μονοκατοικία, επιφάνειας 100 τετραγωνικών μέτρων με μια κουζίνα, ένα σαλόνι, δυο υπνοδωμάτια και ένα μπάνιο. Όψεις του κτιρίου απεικονίζονται στην εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1. Κάτοψη και πλάγιες όψεις του εξεταζόμενου κτιρίου[3]

Οι συντελεστές θερμοπερατότητας ανά δομικό στοιχείο για την εξεταζόμενη κατοικία υπολογίζονται στη διπλωματική εργασία «Αξιολόγηση συστημάτων παραγωγής θερμικής ενέργειας στην ενεργειακή συμπεριφορά κτιρίου με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ»[3], σύμφωνα με την μεθοδολογία που ορίζεται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 και 2/2010. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρατίθενται στον πίνακα 4.1.:

Δομικό στοιχείο	Εξωτερική τοιχοποιία	Εξωτερική δοκός/υποστύλωμα	Δάπεδο	Βατό δώμα	Εξωτερική πόρτα	Διαφανή στοιχεία
U [W/(m^{2}K)]	1,26	3,13	3,42	3,34	1,83	1,7

Πίνακας 4.1. Συντελεστές θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων

4.2 Θερμικά φορτία εξεταζόμενου κτιρίου

Τα θερμικά φορτία διαχωρίζονται σε φορτία θέρμανσης χώρων και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.). Για τον υπολογισμό τους, εξετάζονται 12 διαφορετικές περιπτώσεις κατοικιών που έχουν τα χαρακτηριστικά της παραγράφου 4.1.:

- Τέσσερις κλιματικές ζώνες (Α, Β, Γ, Δ)

Με βάση τις βαθμοημέρες θέρμανσης χωρίζεται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες η ελληνική επικράτεια (Εικόνα 4.2.), σύμφωνα με την έγκριση κανονισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (Φ.Ε.Κ. Αρ. Φύλλου 407/2010).

Εικόνα 4.2. Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας[2]

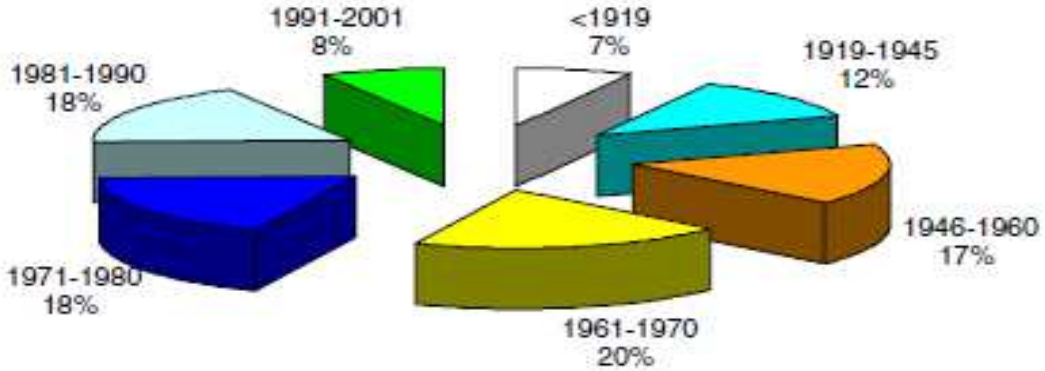
Στον πίνακα 4.2. κατατάσσονται όλοι οι νομοί της Ελλάδας σε κλιματικές ζώνες. Οι περιοχές με υψόμετρο άνω των 500 μέτρων εντάσσονται στην επόμενη κλιματική ζώνη από εκείνη του νομού στην οποία ανήκουν.

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

Πίνακας 4.2. Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη[2]

- Τρεις διαφορετικές χρονολογίες κατασκευής (1980, 2001, 2010):

Ο διαχωρισμός του συνόλου των ελληνικών κτιρίων σε χρονικές περιόδους κατασκευής φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Τα κτίρια που έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980 αντιστοιχούν στο 74,6% του συνόλου και αποτελούνται στην πλειονότητα τους από αμόνωτες κατασκευές με κακή ενεργειακή συμπεριφορά με πεπαλαιωμένο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό.



Διάγραμμα 4.1. Κατανομή των κτιρίων στην Ελλάδα με βάση την χρονική περίοδο κατασκευής[15]

Τα περισσότερα κτίρια στην Ελλάδα είναι κατοικίες, νοσοκομεία, ξενοδοχεία, σχολεία, κτίρια γραφείων και εμπορικά κτίρια. Οι κατοικίες είτε είναι μονοκατοικίες είτε πολυκατοικίες αποτελούν το 75% του συνόλου των κτισμάτων.
Σύμφωνα με την χρονική περίοδο που κατασκευάστηκαν, τα κτίρια χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από κτίρια που κατασκευάστηκαν πριν το 1980, τα οποία θεωρούνται αμόνωτα. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα κτίρια που κατασκευάστηκαν από το 1980 μέχρι το 2001, τα οποία θεωρούνται μερικώς ή πλήρως μονωμένα. Στην τρίτη κατηγορία εντάσσονται τα κτίρια που κατασκευάστηκαν από το 2001 μέχρι το 2010.

4.2.1. Φορτία θέρμανσης χώρων

Οι συνολικές ανηγμένες ανά κατοικήσιμο m^2 θερμικές καταναλώσεις για θέρμανση για την περίπτωση της μονοκατοικίας δίνονται στον πίνακα 4.3.[15]. Οι αντίστοιχες μέσες ειδικές ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση υπολογίστηκαν μέσω της υπόθεσης ενός βαθμού απόδοσης λέβητα της τάξης του 85% (ελάχιστη απόδοση συνήθων λεβήτων ισχύος 5-24 kW, σύμφωνα με το Π.Δ. 335/1993 ΦΕΚ 143Α). Προφανώς η εξεταζόμενη κατοικία που περιγράφηκε στην παράγραφο 4.1. αντιστοιχεί στις στήλες με τίτλο «Μονοκατοικία».

Με δεδομένο ότι η υπολογιστική μεθοδολογία που παρουσιάζεται σε επόμενη παράγραφο απαιτεί ωριαίες τιμές θερμικών φορτίων, αξιοποιήθηκε η ωριαία κατανομή που υπολογίστηκε για το συγκεκριμένο κτίριο στα πλαίσια σχετικής μελέτης του εργαστηρίου Ετερογενών Μειγμάτων και Συστημάτων Καύσης[14]. Προκειμένου να υπάρχει αντιστοιχία με τα δεδομένα του πίνακα 4.3, η ωριαία κατανομή των θερμικών φορτίων προσαρμόστηκε κατάλληλα, ώστε το ετήσιο εμβαδό να ισούται με τις μέσες ειδικές ενεργειακές απαιτήσεις που υπολογίστηκαν σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο.

Κλιματική Ζώνη	Μονοκατοικίες 1980	Πολυκατοικίες 1980	Μονοκατοικίες 2001	Πολυκατοικίες 2001	Μονοκατοικίες 2010 (Πρόβλεψη)	Πολυκατοικίες 2010 (Πρόβλεψη)
Μέση ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας kWh/m²						
Ελλάδα (Συνολικά)	140.1	96.2	122.9	94.5	92.4	75.2
ΖΩΝΗ Α	94.0	65.3	89.1	61.9	66.9	52.1
ΖΩΝΗ Β	134.0	93.7	115.2	91.4	88.3	70.5
ΖΩΝΗ Γ	159.4	110.8	145.1	109.0	107.7	90.4
ΖΩΝΗ Δ	186.9	129.8	175.7	124.5	129.2	114.9

Πίνακας 4.3. Ετήσιες θερμικές καταναλώσεις [kWh/m^2] για τις 12 εξεταζόμενες περιπτώσεις κατοικιών[15]

Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας αποτελεί η ετήσια κατανομή σε ωριαία βάση των θερμικών απαιτήσεων για θέρμανση χώρων σε καθεμία από τις 12 περιπτώσεις κατοικιών και τα γραφήματα που προκύπτουν για την κλιματική ζώνη C και χρονολογία κατασκευής μεταξύ του 1980 και του 2001 παρουσιάζονται στην παράγραφο 5.2.1.

4.2.2. Φορτία θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.)

Εκτός της θέρμανσης των χώρων απαιτείται και η θέρμανση του νερού για τις διάφορες χρήσεις του. Οι μηνιαίες θερμοκρασίες του νερού δικτύου ύδρευσης για κάθε κλιματική ζώνη δίνονται από τον πίνακα 4.4.[16]

Μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού δικτύου [°C]												
Κλιματική ζώνη	**Ι**	**Φ**	**Μ**	**Α**	**Μ**	**Ι**	**Ι**	**Α**	**Σ**	**Ο**	**Ν**	**Δ**
A	13	12,8	13,8	16,3	19,9	23,8	26,2	26,6	24,9	21,7	18,1	14,8
B	10,4	10,1	11,7	14,8	18,9	23,1	25,6	25,8	23,5	19,7	15,5	12,2
C	6,5	7,3	9,4	13,2	17,6	21,9	24,3	24,6	22	17,7	12,7	8,6
D	4,2	5	7,5	11,5	15,7	19,8	22,2	22,7	20,2	15,9	10,8	6,6

Πίνακας 4.4. Μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού δικτύου ύδρευσης ανά κλιματική ζώνη[16]

Το νερό του δικτύου ύδρευσης πρέπει από τη θερμοκρασία που βρίσκεται να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου του ζεστού νερού χρήσης των 50^oC[4]. Για τον υπολογισμό των θερμικών κιλοβατωρών που απαιτούνται γίνεται χρήση του εξής τύπου :

$$Q\ [kWh] = \frac{V * \rho * c_p * \Delta T}{3600}$$

,όπου

- V : ο όγκος του νερού που πρέπει να θερμανθεί [m^3]
- ρ : η πυκνότητα του νερού [kg/m^3]
- C_p : η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού [kJ/kg*K]

Ο όγκος του νερού που πρέπει να θερμανθεί ανά ημέρα και m^2 προσεγγίστηκε με τις παρακάτω θεωρήσεις. Σύμφωνα με την τεχνική οδηγία του Τ.Ε.Ε. [2], η ημερήσια ποσότητα ζεστού νερού χρήσης ανά άτομο είναι 50 λίτρα. Κάνοντας την υπόθεση ότι στην τυπική κατοικία που εξετάζεται, διαμένουν 4 άτομα μπορεί να προσεγγιστεί η ποσότητα νερού χρήσης που πρέπει να θερμανθεί ημερησίως ως εξής:

$$V\left[\frac{lt}{\eta\mu\acute{\varepsilon}\rho\alpha * m^2}\right] = \frac{50\left[\frac{lt}{\kappa\acute{\alpha}\tau o\iota\kappa o * \eta\mu\acute{\varepsilon}\rho\alpha}\right] * 4\ [\ \kappa\acute{\alpha}\tau o\iota\kappa o\iota\ ]}{100\ m^2}$$

Αφού προσεγγίστηκε η συνολική ενέργεια που απαιτείται, στη συνέχεια θα κατανεμηθεί και ωριαία σύμφωνα με την κατανομή που παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα 4.5.[7]

Ώρα	**Ποσοστό**	**Ώρα**	**Ποσοστό**
1	2,3%	13	3,6%
2	--	14	5,1%
3	--	15	2,7%
4	--	16	2,4%
5	--	17	2,1%
6	--	18	3,8%
7	1,5%	19	6,8%
8	4,7%	20	11,6%
9	7,3%	21	9,6%
10	8,5%	22	6,9%
11	6,9%	23	5,5%
12	4,5%	24	4,7%

Πίνακας 4.5. Ωριαία κατανομή για τις θερμικές καταναλώσεις ζεστού νερού χρήσης[7]

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για κάθε έναν από τους 12 τύπους κατοικίας που εξετάζονται υπολογίστηκε η ωριαία κατανομή του φορτίου για την θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης για ένα έτος. Συγκεντρωτικά, στον παρακάτω πίνακα 4.6. παρουσιάζονται οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ανηγμένες ανά τετραγωνικό μέτρο για την θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης.

Χρονολογία κατασκευής		**1980**	**2001**	**2010**
Κλιματική ζώνη	**A**	26,09	26,09	26,09
	B	27,55	27,55	27,55
	C	29,36	29,36	29,36
	D	31,04	31,04	31,04

Πίνακας 4.6. Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις [kWh/m^2] για ζεστό νερό χρήσης ανά κλιματική ζώνη και χρονολογία κατασκευής

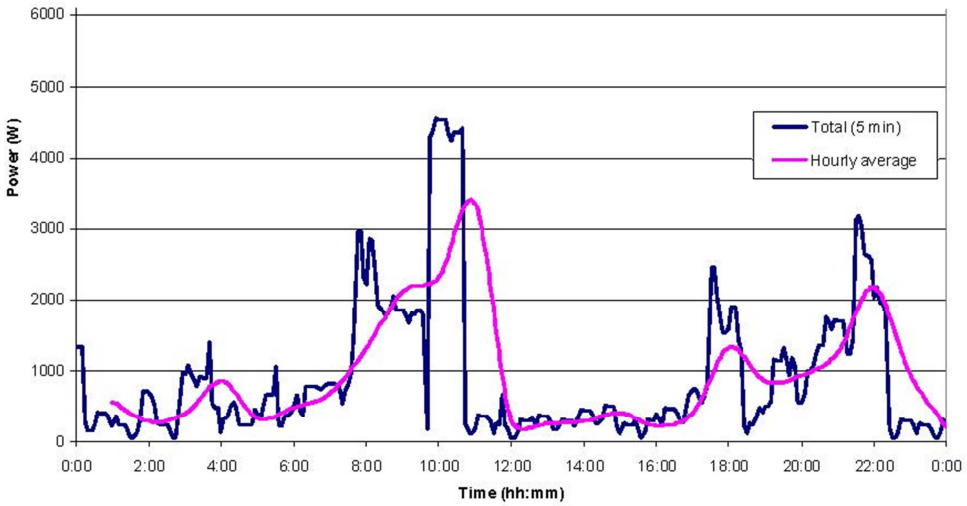
4.2. Ηλεκτρικά φορτία

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση ηλεκτρισμού ανηγμένη ανά τετραγωνικό μέτρο κατοικίας παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 4.7. Παρατηρείται ότι η ηλεκτρική απαίτηση δεν ακολουθεί τη θερμική, η οποία αυξάνεται από τη ζώνη Α στη Δ. Η ζώνη μέγιστης ηλεκτρικής απαίτησης είναι η Β, πιθανότατα λόγω καταχώρησης της Αθήνας στη συγκεκριμένη ζώνη, κάτι που υποδεικνύει την εξάρτηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης από το βιοτικό και κοινωνικό επίπεδο.

Κλιματική Ζώνη	Μονοκατοικίες 1980	Πολυκατοικίες 1980	Μονοκατοικίες 2001	Πολυκατοικίες 2001	Μονοκατοικίες 2010 (Πρόβλεψη)	Πολυκατοικίες 2010 (Πρόβλεψη)
Μέση ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας kWh/m^2						
Ελλάδα (Συνολικά)	26.61	28.13	38.68	40.63	37.45	39.20
ΖΩΝΗ Α	22.53	24.59	29.59	31.19	27.26	28.50
ΖΩΝΗ Β	28.28	31.45	42.33	46.76	41.75	45.84
ΖΩΝΗ Γ	24.08	25.77	34.99	36.99	33.74	35.45
ΖΩΝΗ Δ	25.35	28.13	34.63	36.63	32.65	34.21

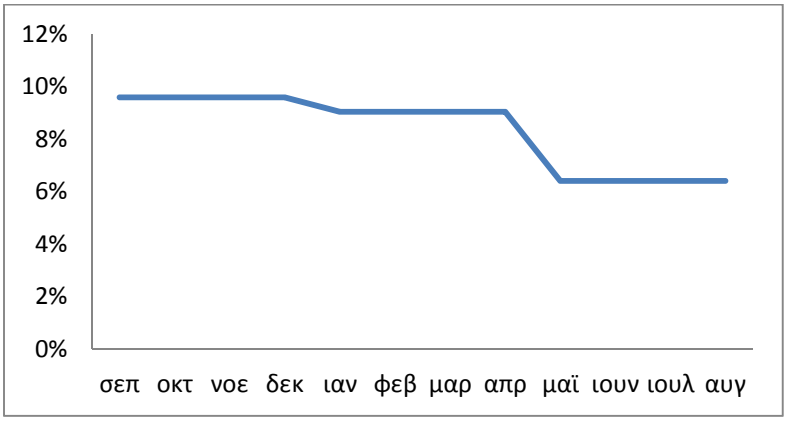
Πίνακας 4.7. Ηλεκτρικές καταναλώσεις ανά κλιματική ζώνη και χρονολογία κατασκευής[15]

Για να υπολογιστούν οι ωριαίες κατανομές για τις καταναλώσεις ηλεκτρισμού σε ετήσιο κύκλο θα χρησιμοποιηθούν δυο διαφορετικές κατανομές. Η πρώτη είναι ωριαία και παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα[17] με την ροζ γραμμή, για τη μέση ωριαία τιμή.



Διάγραμμα 4.2. Μέση ωριαία ηλεκτρική κατανάλωση[17]

Η δεύτερη κατανομή (διάγραμμα 4.3.) είναι μηνιαία και προσομοιώνει μια κλιμάκωση στην κατανάλωση ηλεκτρισμού μέσα στο έτος λόγω αλλαγής των εποχών και μαζί με αυτές και διαφόρων συνηθειών των ενοίκων. Τα στοιχεία του διαγράμματος 4.3. προέρχεται από οικιακά τιμολόγια Δ.Ε.Η. για περίπτωση κατοικίας αντίστοιχης με την εξεταζόμενη στην Αθήνα.



Διάγραμμα 4.3. Μέση μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση

Σε αντιστοιχία με τον υπολογισμό των ωριαίων φορτίων θέρμανσης, οι κατανομές αυτές προσαρμόστηκαν στα στοιχεία του Πίνακα 4.6, προκειμένου να υπολογιστούν τα ωριαία φορτία ηλεκτρισμού σε ετήσιο κύκλο.

4.3. Υπάρχον σύστημα θέρμανσης

Για τις κατοικίες που είναι κατασκευασμένες μέχρι το 2001 γίνεται η υπόθεση ότι διαθέτουν λέβητα πετρελαίου θέρμανσης με ολικό βαθμό απόδοσης 85%, όπως ορίζεται η ελάχιστη απόδοση από το σχετικό Π.Δ. 335/1993 ΦΕΚ 143Α . Για τις κατοικίες που κατασκευάστηκαν μετά το 2001, υποτίθεται επιτοίχιος λέβητας φυσικού αερίου με ολικό βαθμό απόδοσης 90%. Η κάλυψη του φορτίου για τη θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης θεωρείται ότι γίνεται από το σύστημα κεντρικής θέρμανσης της κατοικίας μέσω θερμοδοχείου.

4.3.1. Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση

Για τον υπολογισμό της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας θα χρησιμοποιηθούν οι εξής συντελεστές μετατροπής της καταναλισκόμενης ενέργειας σε πρωτογενή[18]:

- Για τη θερμική ενέργεια από καύση πετρελαίου, 1,1
- Για τη θερμική ενέργεια από καύση φυσικού αερίου, 1,05
- Για την ηλεκτρική ενέργεια, 2,9

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, υπολογίστηκαν :

- Ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο [kWh]
- Ετήσιο θερμικό φορτίο [kWh]
- Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh], στο εξής **Ε.Κ.Π.Ε.**

,εφαρμόζοντας τους παρακάτω τύπους :

- $$\textbf{ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο [kWh]} = \text{ηλ. φορτίο}\left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right] * \text{κατοικήσιμη επιφάνεια}\,[\text{m}^2]$$

- $$\textbf{ετήσιο θερμικό φορτίο [kWh]} = \frac{\text{φορτίο θέρμανσης χώρων [kWh]} + \text{φορτίο θέρμανσης ΖΝΧ [kWh]}}{\textit{βαθμός απόδοσης συστήματος θέρμανσης}}$$

Για τις κατοικίες με υπάρχον σύστημα λέβητα πετρελαίου (κατασκευασμένες πριν το 2001):

- $$\textbf{ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh]} = 1{,}1 * \text{ετήσιο θερμικό φορτίο [kWh]} + 2{,}9 * \text{ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο [kWh]}$$

Για τις κατοικίες με υπάρχον σύστημα λέβητα φυσικού αερίου (κατασκευασμένες μετά το 2001):

- $$\textbf{ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh]} = 1{,}05 * \text{ετήσιο θερμικό φορτίο [kWh]} + 2{,}9 * \text{ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο [kWh]}$$

4.4. Επεμβάσεις

Οι επεμβάσεις που θα δοκιμαστούν στους 12 τύπους κατοικίας είναι τρείς. Στις κατοικίες με χρονολογία κατασκευής πριν το 2001 (δηλαδή στις 2 πρώτες κατηγορίες κατοικιών με βάση τη χρονολογία κατασκευής τους), όπου έχει γίνει υπόθεση ότι το υπάρχον σύστημα θέρμανσης είναι λέβητας πετρελαίου θα εξεταστούν οι περιπτώσεις επέμβασης με λέβητα φυσικού αερίου και δυο

επεμβάσεων με 2 διαφορετικά συστήματα μικροσυμπαραγωγής. Στις κατοικίες με χρονολογία κατασκευής μετά το 2001 υποτίθεται υπάρχον σύστημα θέρμανσης λέβητας φυσικού αερίου οπότε οι επεμβάσεις που εξετάζονται περιορίζονται σε αυτές των δυο συστημάτων μ-Σ.Η.Θ.. Στο εξής θα κωδικοποιηθούν οι επεμβάσεις για την απλοποίηση της ονοματολογίας και της πρόσδοσης δεικτών στα διάφορα μεγέθη που θα υπολογιστούν, ως εξής:

- **Επέμβαση 1** : εγκατάσταση λέβητα φυσικού αερίου
- **Επέμβαση 2$^{\alpha}$** : εγκατάσταση μονάδας μ-Σ.Η.Θ. Honda Ecowill 1.0 (1 kW_{el})
- **Επέμβαση 2$^{\beta}$** : εγκατάσταση μονάδας μ-Σ.Η.Θ. Dachs HKA G5.0 (5 kW_{el})

4.4.1. Λέβητας φυσικού αερίου

4.4.1.1. Περιγραφή εξοπλισμού

Η διαστασιολόγηση του λέβητα φυσικού αερίου έγινε με την ακόλουθη διαδικασία. Αρχικά, για κάθε ώρα του έτους, προστέθηκαν τα ενεργειακά φορτία για την θέρμανση των χώρων και του ζεστού νερού χρήσης. Η μέγιστη τιμή μέσα στο εξεταζόμενο έτος που εντοπίστηκε για κάθε κλιματική ζώνη και χρονολογία κατασκευής πολλαπλασιάστηκε με ένα συντελεστή ασφαλείας 1,15. Σε όλες τις περιπτώσεις κατοικιών η απαιτούμενη ισχύς του συστήματος θέρμανσης κυμαινόταν μεταξύ των 9 και 18 kW.

Ο λέβητας φυσικού αερίου που επιλέχθηκε να αντικαταστήσει τον λέβητα πετρελαίου για τις 2 παλαιότερες κατηγορίες χρονολογίας κατασκευής είναι ο Buderus Logamax plus GB072K, θερμικής ισχύος 24 kW και μια όψη του φαίνεται στην εικόνα 4.3. ενώ μερικά χαρακτηριστικά μεγέθη της λειτουργίας του παρουσιάζονται στον πίνακα Π.1. του παραρτήματος. Ο ίδιος λέβητας θεωρείται πως είναι ήδη εγκατεστημένος στις κατοικίες της τρίτης κατηγορίας παλαιότητας.

Εικόνα 4.3. Επιτοίχιος λέβητας φυσικού αερίου Buderus Logamax plus GB072K[19]

4.4.1.2. Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση

Ο λέβητας συμπύκνωσης φυσικού αερίου εγκαθίσταται και λειτουργεί σε πλήρες φορτίο και πάντα με βήμα μιας ώρας. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του λέβητα συμπεριλαμβανομένων και των απωλειών από το boiler του ζεστού νερού χρήσης θεωρείται 90%. Επίσης, οι συντελεστές μετατροπής της καταναλισκόμενης ενέργειας σε πρωτογενή θεωρούνται:

- Για το φυσικό αέριο, 1,05
- Για την ηλεκτρική ενέργεια, 2,9

Σύμφωνα με αυτές τις παραδοχές, υπολογίστηκαν :

- Ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο [kWh]
- Ετήσιο θερμικό φορτίο [kWh]
- Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh]

,εφαρμόζοντας τους παρακάτω τύπους

- $\textbf{ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο [kWh]} =$
  $\text{ηλ. φορτίο} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right] * \text{κατοικήσιμη επιφάνεια} [\text{m}^2]$

- $\textbf{ετήσιο θερμικό φορτίο [kWh]} =$
  $$\frac{\text{φορτίο θέρμανσης χώρων [kWh]} + \text{φορτίο θέρμανσης ZNX[kWh]}}{\text{βαθμός απόδοσης λέβητα φυσικού αερίου}}$$

- $\textbf{ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh]} =$
  $1{,}05 * \text{ ετήσιο θερμικό φορτίο } [kWh] + 2{,}9 * \text{ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο [kWh]}$

4.4.2. Σύστημα μικροσυμπαραγωγής (Honda Ecowill 1.0)

4.4.2.1. Περιγραφή εξοπλισμού

Η μονάδα συμπαραγωγής που θα επιλεγεί σε αυτή την επέμβαση είναι η Honda Ecowill 1.0. Μια τομή της φαίνεται στην εικόνα 4.4. και τα κυριότερα χαρακτηριστικά της στον πίνακα Π.2. του παραρτήματος.

Εικόνα 4.4. Μονάδα μικροσυμπαραγωγής Honda Ecowill 1.0[20]

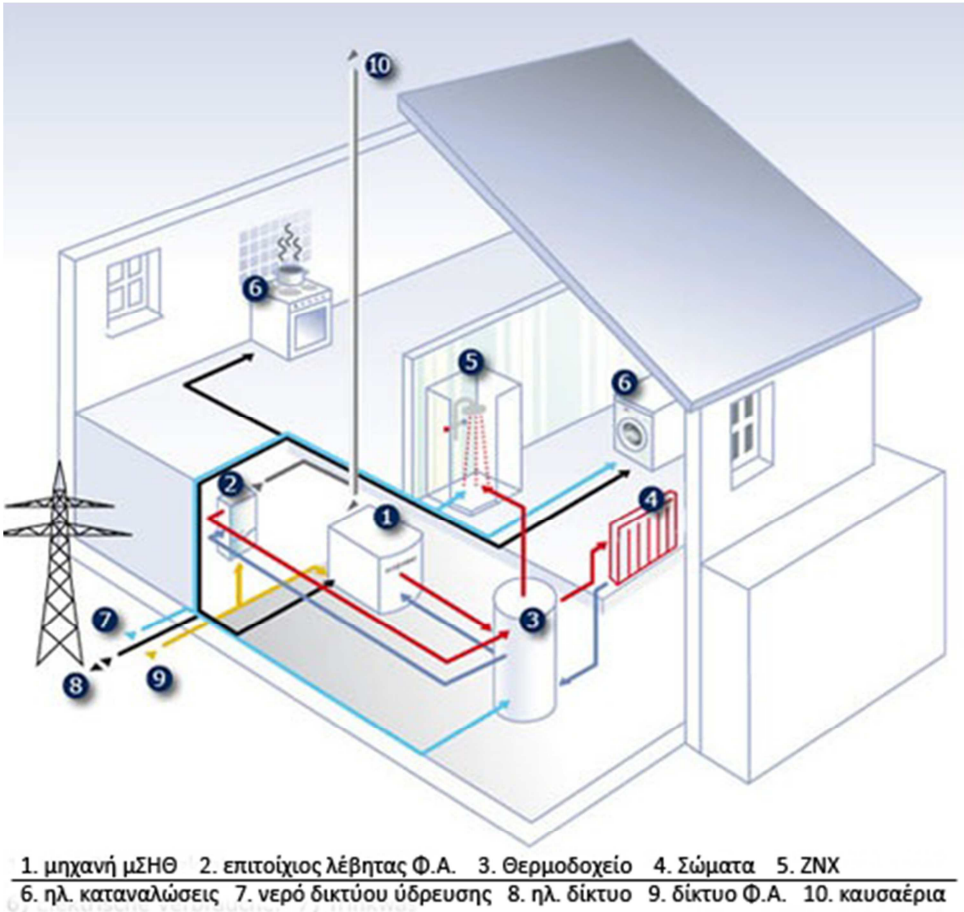
Η θερμική ισχύς που παρέχει η συγκεκριμένη μονάδα μ-Σ.Η.Θ. είναι 3,25 kW που κρίνεται ανεπαρκής για πλήρη κάλυψη των θερμικών αιχμών και για το λόγο αυτό, επιλέγεται η ύπαρξη πρόσθετου επιτοίχιου λέβητα Buderus Logamax plus GB072K για την εξυπηρέτηση των αντίστοιχων φορτίων. Τα χαρακτηριστικά αυτού του λέβητα έχουν παρουσιαστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Στο σύστημα υπάρχει και αποθήκευση θερμότητας από θερμοδοχείο. Έχει επιλεγεί η σειρά θερμαντήρων Logalux PL…/2S της Buderus. Αποτελούν θερμαντήρες συνδυασμένης λειτουργίας, για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και υποβοήθηση της θέρμανσης. Στο θερμοδοχείο συνδέεται το σύστημα μ-Σ.Η.Θ. και ο λέβητας φυσικού αερίου αιχμής και από αυτό αντλείται θερμότητα για την εξυπηρέτηση των αναγκών ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων. Όταν κατά την προηγούμενη ώρα λειτουργίας υπάρχει περίσσεια θερμότητας που αντί να απορριφθεί στο περιβάλλον, αποθηκεύεται στο θερμαντήρα. Το θερμοδοχείο αποτελείται από δυο ξεχωριστά δοχεία το ένα μέσα στο άλλο (tank in tank) με επένδυση από ειδικό γυαλί Duoclean MKT[21]. Η περίσσεια θερμότητας μεταφέρεται αρχικά στο εσωτερικό δοχείο και ζεσταίνει το νερό χρήσης, το οποίο μόλις φθάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία μεταφέρει επαγωγικά τη θερμότητα στο νερό του εξωτερικού δοχείου για την υποβοήθηση της θέρμανσης των χώρων. Επισημαίνεται σε αυτό το σημείο ότι στο θερμοδοχείο μπορούν να συνδεθούν και άλλες πηγές θερμότητας όπως για παράδειγμα ηλιακοί συλλέκτες. Κατά την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος δοκιμάστηκαν 4 διαφορετικές χωρητικότητες θερμαντήρα νερού, οι οποίες είναι:

- 750 lt (θερμαντήρας Buderus Logalux PL750/2S)
- 1000 lt (θερμαντήρας Buderus Logalux PL1000/2S)
- 2000 lt (δυο συνδεδεμένοι θερμαντήρες Buderus Logalux PL1000/2S)
- 5000 lt (πέντε συνδεδεμένοι θερμαντήρες Buderus Logalux PL1000/2S)

Εικόνα 4.5. Θερμοδοχείο Buderus Logalux PL.../2S[21]

Στην παρακάτω εικόνα 4.6. παρουσιάζεται σχηματικά η συνολική εγκατάσταση για το σύστημα που περιγράφηκε.



Εικόνα 4.6. Εγκατάσταση επέμβασης 2^{α} [22]

4.4.2.2. Προσομοίωση λειτουργίας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η προσομοίωση της λειτουργίας της εγκατάστασης που έγινε για την επέμβαση 2^{α}. Η περίοδος που εξετάστηκε είναι ένα έτος με βήμα μιας ώρας. Λόγω περιορισμών στο υπολογιστικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε (Excel), κρίθηκε επαρκής η ωριαία προσομοίωση της ετήσιας λειτουργίας. Συνεπώς θεωρήθηκε ότι το σύστημα ανεξαρτήτως του φορτίου που έχει να καλύψει θα λειτουργεί για μια ολόκληρη ώρα. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί το απαιτούμενο φορτίο για μια συγκεκριμένη ώρα να καλύπτεται από το σύστημα μέσα σε π.χ. 10 λεπτά αλλά αυτό θα εξακολουθεί να λειτουργεί για τα υπόλοιπα 50 λεπτά και η θερμότητα που θα παραχθεί θα αποθηκευτεί στο θερμοδοχείο της εγκατάστασης. Επίσης, το δίκτυο της θέρμανσης χώρων και του ζεστού νερού χρήσης θεωρήθηκε αδιάστατο και οι ισολογισμοί ενέργειας έγιναν με όρια συστήματος το θερμοδοχείο. Η θερμοκρασία εντός του συστήματος θέρμανσης για την ικανοποίηση του φορτίου θέρμανσης ανά πάσα στιγμή διατηρήθηκε μεταξύ 65 και 95°C (εξετάστηκε και περίπτωση όπου απαιτούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες).

Για κάθε ώρα λειτουργίας έγινε ισολογισμός ενέργειας και υπολογίστηκε μέσω του παρακάτω τύπου η συναλλαγή θερμικής ενέργειας εντός των ορίων του συστήματος (θερμοδοχείο) :

$$\mathbf{Q_{net}\ [kWh] = Q_{mCHP} + Q_{peak} - Q_{demand} - Q_{losses}}$$

, όπου:

- $\mathbf{Q_{mCHP}}$: προσδιδόμενη θερμική ενέργεια από τη μονάδα μ-Σ.Η.Θ. [kWh]
- $\mathbf{Q_{peak}}$: προσδιδόμενη θερ. ενέργεια από τον λέβητα Φ.Α. αιχμής [kWh]
- $\mathbf{Q_{demand}}$: καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια (φορτίο) [kWh]
- $\mathbf{Q_{losses}}$: θερμικές απώλειες θερμοδοχείου [kWh]

Το θερμικό φορτίο ανά ώρα αντλήθηκε από τους υπολογισμούς που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και οι θερμικές απώλειες του θερμοδοχείου υπολογίστηκαν από τον παρακάτω τύπο :

$$\mathbf{Q_{losses}[kWh] = U * A * \Delta T}$$

, όπου:

- U : ειδική θερμοπερατότητα θερμοδοχείου [W/(m^2*K)]
- A : εξωτερική επιφάνεια θερμοδοχείου [m^2]
- ΔT : διαφορά θερμοκρασίας νερού θερμοδοχείου και περιβάλλοντος, η οποία θερμοκρασία περιβάλλοντος θεωρήθηκε σταθερή για όλο το έτος και ίση με 18°C καθώς το θερμοδοχείο εγκαταστάθηκε σε υπόγειο χώρο [K]

Κάθε ώρα λειτουργίας του συστήματος η θερμοκρασία εντός αυτού μεταβάλλεται κατά ΔT, το οποίο υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\mathbf{\Delta T\ [K] = \frac{Q_{net} * 3600}{c_{p\ \nu\varepsilon\rho o\acute{\upsilon}} * \rho * V}}$$

, όπου:

- Q_{net} : συνολική συναλλαγή θερμικής ενέργειας όπως υπολογίστηκε παραπάνω [kWh]
- $C_{p\ \nu\epsilon\rho o\acute{\upsilon}}$: ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού [kJ/kg*K]
- ρ : πυκνότητα νερού [kg/m^3]
- V : όγκος νερού, που θεωρείται ίσος με τον όγκο του θερμοδοχείου [m^3]

Η θερμοκρασία του συστήματος κάθε ώρα αλλάζει κατά το ΔΤ, όπως αυτό υπολογίζεται παραπάνω, και συγκεκριμένα είναι :

$$\boldsymbol{T_{i+1} = T_i + \Delta T}$$

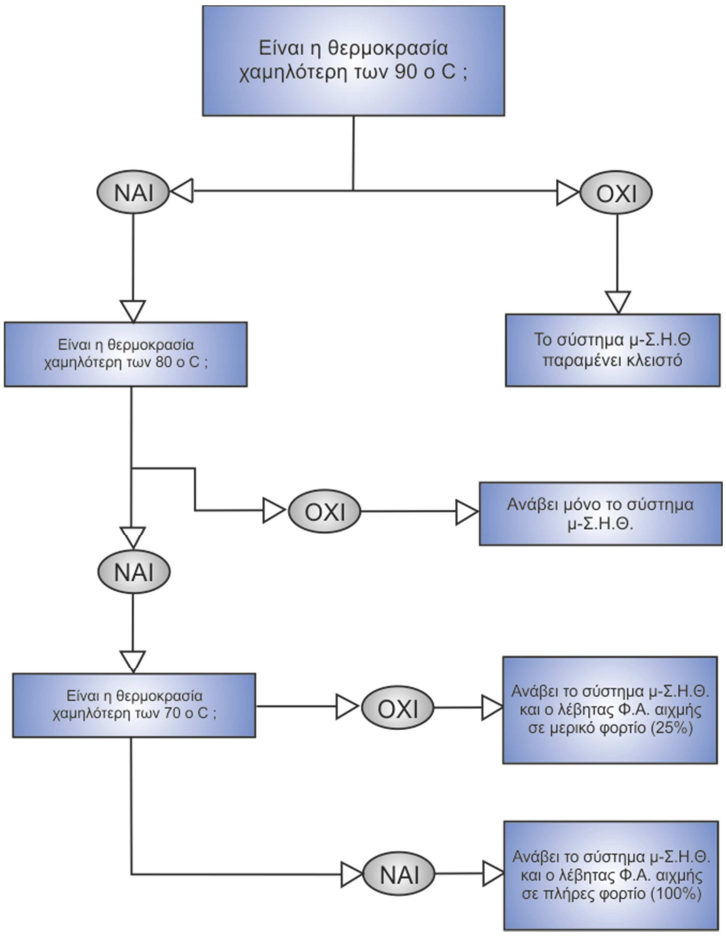
,όπου:

- T_{i+1} : θερμοκρασία συστήματος την ώρα i+1 [^{o}C]
- T_i : θερμοκρασία συστήματος την προηγούμενη ώρα i [^{o}C]

Κάθε ώρα λειτουργίας του συστήματος, η θερμοκρασία του νερού εντός αυτού αλλάζει όπως περιγράφηκε με τους παραπάνω τύπους, ωστόσο πρέπει να παραμένει μεταξύ 65 και 95°C, πράγμα που θα επιτευχθεί με τη ρύθμιση των θερμοκρασιών νερού εντός του θερμοδοχείου στις οποίες θα τίθονται σε λειτουργία η μονάδα μ-Σ.Η.Θ. και ο λέβητας φυσικού αερίου αιχμής.

Όπως προαναφέρθηκε, η προσομοίωση λειτουργίας γίνεται για 4 διαφορετικές χωρητικότητες θερμοδοχείου. Ανάλογα με την χωρητικότητα του θερμοδοχείου στο οποίο γίνεται η αποθήκευση της περίσσειας θερμότητας, μεταβάλλονται οι θερμοκρασίες του νερού στις οποίες τίθενται σε λειτουργία η μονάδα μ-Σ.Η.Θ. και ο λέβητας φυσικού αερίου αιχμής. Στην συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία για χωρητικότητα θερμοδοχείου 1000 lt.

Η μονάδα μ-Σ.Η.Θ. λαμβάνει εντολή και τίθεται σε λειτουργία για μια ώρα οποτεδήποτε η θερμοκρασία εντός του θερμοδοχείου βρίσκεται κάτω των 90°C. Εάν την επόμενη ώρα η θερμοκρασία είναι άνω των 90°C, σβήνει η μονάδα μ-Σ.Η.Θ, ενώ αν είναι μεταξύ 80°C και 90°C συνεχίζει να λειτουργεί μόνο αυτή. Ο λέβητας φυσικού αερίου αιχμής ρυθμίζεται έτσι ώστε, όταν η θερμοκρασία του νερού εντός του θερμοδοχείου μειωθεί κάτω των 80° C θα τίθεται σε λειτουργία αλλά σε μερικό φορτίο, 25% του ονομαστικού, δηλαδή με ισχύ 6,6 kW. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία μειωθεί περισσότερο και φτάσει στους 70°C, ο peak λέβητας φυσικού αερίου τίθεται σε λειτουργία στο ονομαστικό φορτίο και αποδίδει ισχύ 24 kW. Παρατηρείται ότι η μονάδα μ-Σ.Η.Θ. λειτουργεί πάντα παράλληλα όποτε λειτουργεί ο λέβητας φυσικού αερίου αιχμής. Στο ακόλουθο διάγραμμα ροής (Εικόνα 4.7.) δίδεται το διάγραμμα ροής που περιγράφει την παραπάνω αναλυθείσα διαδικασία.

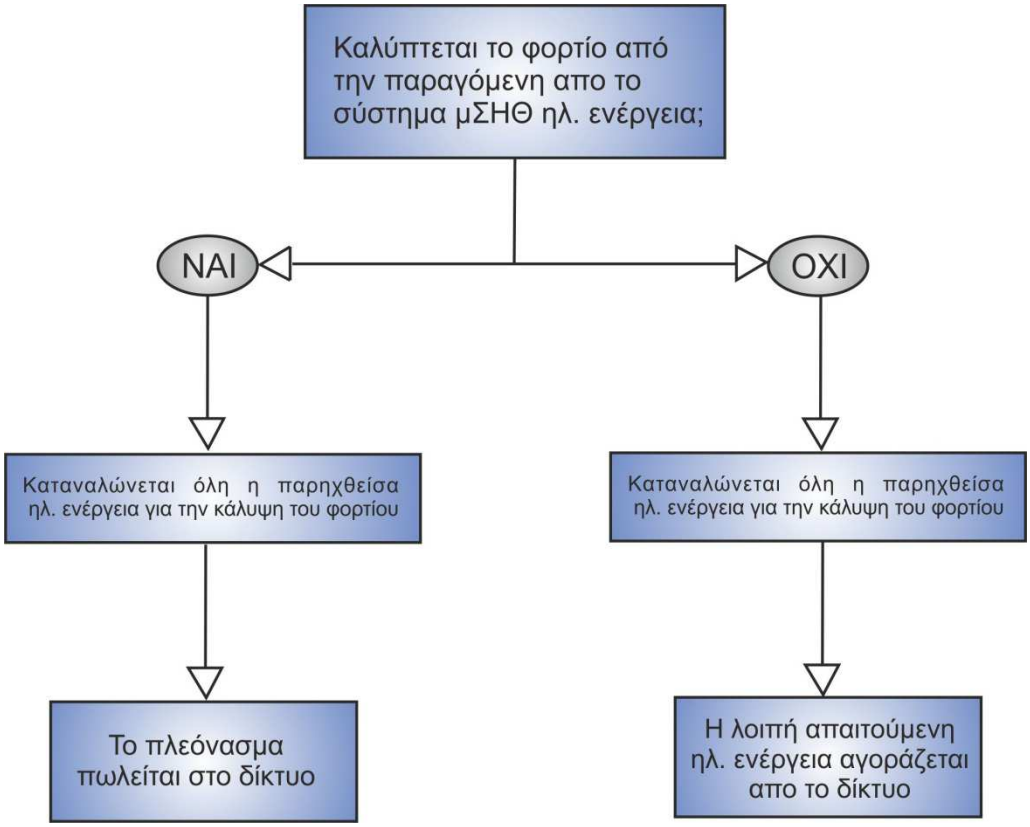


Εικόνα 4.7. Διάγραμμα ροής για την λειτουργία της εγκατάστασης για την επέμβαση 2^{α} με θερμοδοχείο 1000 lt

Η μονάδα μ-Σ.Η.Θ. ρυθμίστηκε να λειτουργεί όποτε υπάρχει θερμική απαίτηση (heat driven). Κάθε ώρα που λειτουργεί η μονάδα παράγεται η εξής ηλεκτρική ενέργεια:

$$\boldsymbol{Q_{el} = P_{el} * 1\ hr}$$

Στην συγκεκριμένη επέμβαση, η μονάδα μ-Σ.Η.Θ. που έχει επιλεγεί έχει ηλεκτρική ισχύ 1 kW, οπότε κάθε ώρα λειτουργίας της μονάδας παράγεται 1 kWh ηλεκτρισμού. Την συγκεκριμένη ώρα λειτουργίας όμως, η κατοικία έχει κάποιο ηλεκτρικό φορτίο. Εάν αυτό είναι μεγαλύτερο από την παρηγμένη από την μονάδα μ-Σ.Η.Θ. ηλεκτρική ενέργεια τότε καταναλώνεται όλη και η υπόλοιπη απαιτούμενη ενέργεια αγοράζεται από το δίκτυο. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου το φορτίο της κατοικίας την συγκεκριμένη ώρα είναι μικρότερο από την 1 kWh που παράγει η μονάδα μ-Σ.Η.Θ., καταναλώνεται από αυτή όση απαιτείται για την κάλυψη του φορτίου και το πλεόνασμα εξάγεται στο δίκτυο.



Εικόνα 4.8. Διάγραμμα ροής ηλεκτρισμού

4.4.2.3. Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση

Σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω, λειτουργεί το σύστημα που χρησιμοποιείται για να υλοποιηθεί η επέμβαση 2^{α}. Υπενθυμίζεται ότι ως θερμικές καταναλώσεις λαμβάνονται οι καταναλώσεις για τη θέρμανση των χώρων και του ζεστού νερού χρήσης. Οι θερμικές ενεργειακές καταναλώσεις και ο τρόπος που υπολογίζονται, είναι:

- **Ετήσια πρόσδοση θερμικής ενέργειας από τη μονάδα μ-Σ.Η.Θ.**
  Άθροιση όλων των ωριαίων τιμών Q_{mCHP} για το εξεταζόμενο έτος.
- **Ετήσια πρόσδοση θερμικής ενέργειας από τον λέβητα αιχμής**
  Άθροιση όλων των ωριαίων τιμών Q_{peak} για το εξεταζόμενο έτος.
- **Ετήσιες απώλειες θερμικής ενέργειας στο θερμοδοχείο**
  Άθροιση όλων των ωριαίων τιμών Q_{losses} για το εξεταζόμενο έτος.

- **Ετήσιες απώλειες θερμικής ενέργειας λόγω βαθμού απόδοσης μονάδας μ-Σ.Η.Θ.**
  Άθροιση όλων των ωριαίων τιμών της διαφοράς $Q_{καταν.Φ.Α\ (mCHP)}$ - $Q_{mCHP.}$

Η ετήσια κατανάλωση φυσικού αερίου σε kWh για τη λειτουργία της διάταξης μ-Σ.Η.Θ. είναι:

$$Q_{καταν.Φ.Α.\ (mCHP)} = \frac{Q_{mCHP}}{θερμικός\ βαθμός\ απόδοσης\ μονάδας\ μΣ.Η.Θ.}$$

- **Ετήσιες απώλειες θερμικής ενέργειας λόγω βαθμού απόδοσης λέβητα αιχμής**
  Αντιστοίχως για το λέβητα αιχμής η κατανάλωση φυσικού αερίου σε kWh είναι:

$$Q_{\kappa\alpha\tau\alpha\nu.\Phi.A.\ (peak)} = \frac{Q_{peak}}{\theta\varepsilon\rho\mu\iota\kappa\acute{o}\varsigma\ \beta\alpha\theta\mu\acute{o}\varsigma\ \alpha\pi\acute{o}\delta o\sigma\eta\varsigma\ \lambda\acute{\varepsilon}\beta\eta\tau\alpha\ \alpha\iota\chi\mu\acute{\eta}\varsigma}$$

- **Συνολική κατανάλωση θερμικής ενέργειας**
  Προκύπτει από την άθροιση όλων των παραπάνω υπολογισθέντων μεγεθών για ένα έτος.

Το ηλεκτρικό ισοζύγιο σε ετήσια βάση προσεγγίζεται με τα παρακάτω μεγέθη:

- **Ετήσια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη διάταξη μ-Σ.Η.Θ. και καταναλώνεται για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου της κατοικίας**
  Άθροιση των 8760 ωριαίων τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται και καταναλώνεται εντός της κατοικίας που υπολογίστηκαν με τη διαδικασία που περιγράφηκε και αποτυπώθηκε στο διάγραμμα ροής της εικόνας 4.8.
- **Ετήσια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το δίκτυο**
  Άθροιση των 8760 ωριαίων τιμών της αγορασμένης από το δίκτυο της ΔΕΗ ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη του συνολικού φορτίου της κατοικίας ανά ώρα.
- **Ετήσια ποσότητα πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας**
  Άθροιση των 8760 ωριαίων τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται και περισσεύει μετά και την κατανάλωση για την κάλυψη του φορτίου της κατοικίας τη συγκεκριμένη ώρα λειτουργίας.

Τα ενεργειακά μεγέθη που απαιτούνται για τον υπολογισμό της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τη διάταξη μ-Σ.Η.Θ. της 2^{α} επέμβασης είναι:

- **Ετήσια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση λόγω πρόσδοσης θερμότητας από τη μονάδα μ-Σ.Η.Θ.**

Άθροιση όλων των ωριαίων τιμών ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας λόγω λειτουργίας της διάταξης μ-Σ.Η.Θ. για την κάλυψη του θερμικού φορτίου της κατοικίας, που υπολογίζεται ως εξής:

$$E.K.\Pi.E._{\mu\Sigma H\Theta}\ [kWh] = 1{,}05 * Q_{mCHP}$$

- **Ετήσια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση λόγω απωλειών βαθμού απόδοσης μονάδας μ-Σ.Η.Θ.**

Άθροιση των ωριαίων τιμών ενός έτους για την πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση λόγω βαθμού απόδοσης της διάταξης μ-Σ.Η.Θ. που υπολογίζεται με τη βοήθεια του τύπου:

$$E.K.\Pi.E._{\beta.\alpha.\ \mu\Sigma H\Theta}\ [kWh] = 1{,}05 * (Q_{\kappa\alpha\tau\alpha\nu.\Phi.A.(CHP)} - Q_{mCHP})$$

- **Ετήσια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση λόγω πρόσδοσης θερμότητας από το λέβητα αιχμής**

Άθροιση όλων των τιμών για ένα έτος της θερμικής ενέργειας που παρέχεται από το λέβητα αιχμής πολλαπλασιασμένων με το συντελεστή 1,05, δηλαδή:

$$E.K.\Pi.E._{\lambda\acute{\varepsilon}\beta.\Phi.A.}\,[kWh] = 1{,}05 * Q_{peak}$$

- **Ετήσια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση λόγω απωλειών βαθμού απόδοσης λέβητα αιχμής**

Άθροιση όλων των τιμών των θερμικών απωλειών λόγω βαθμού απόδοσης του λέβητα αιχμής για ένα έτος πολλαπλασιασμένων με το συντελεστή 1,05.

$$E.K.\Pi.E._{\beta.\alpha.\ \lambda\varepsilon\beta.\Phi.A.}\,[kWh] = 1{,}05 * Q_{\kappa\alpha\tau\alpha\nu.\Phi.A.(peak)} - Q_{peak}$$

- **Ετήσια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση λόγω απωλειών θερμικής ενέργειας στο θερμοδοχείο**

Άθροιση των τιμών ενός έτους της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης λόγων θερμικών απωλειών στο θερμοδοχείο που προκύπτει από τον τύπο:

$$E.K.\Pi.E._{\alpha\pi\omega\lambda\varepsilon\iota\acute{\omega}\nu\ \theta\varepsilon\rho\mu o\delta o\chi\varepsilon\acute{\iota}o\upsilon}\,[kWh] = 1{,}05 * Q_{losses}$$

- **Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας λόγω αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο της Δ.Ε.Η.**

Άθροιση των τιμών πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια του εξεταζόμενου έτους λόγω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που έχει αγοραστεί από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$E.K.\Pi.E._{\alpha\gamma o\rho.\ \eta\lambda.\varepsilon\nu\acute{\varepsilon}\rho\gamma\varepsilon\iota\alpha\varsigma}\,[kWh] = 2{,}9 * Q_{\alpha\gamma o\rho.\ \eta\lambda.\varepsilon\nu\acute{\varepsilon}\rho\gamma\varepsilon\iota\alpha\varsigma}$$

- **Ετήσια αποφυγή κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη μονάδα μ-Σ.Η.Θ.**

Άθροιση όλων των ωριαίων τιμών της ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που πωλείται προς το δίκτυο της Δ.Ε.Η. πολλαπλασιασμένων με το συντελεστή μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη Δ.Ε.Η. σε πρωτογενή που θεωρήθηκε ίσος με 2,9. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία η ποσότητα προς πώληση είναι η πλεονασματική αρκεί αυτή να μην ξεπερνά το 20% της συνολικά παραγόμενης. Στην περίπτωση που το ξεπερνά, το δίκτυο αγοράζει μόνο το 20% του συνολικά παραγόμενου ηλεκτρισμού.

$$E.K.\Pi.E._{\pi\omega\lambda.\ \eta\lambda.\varepsilon\nu\acute{\varepsilon}\rho\gamma\varepsilon\iota\alpha\varsigma}\,[kWh] = 2{,}9 * Q_{\pi\omega\lambda.\ \eta\lambda.\varepsilon\nu\acute{\varepsilon}\rho\gamma\varepsilon\iota\alpha\varsigma}$$

- **Συνολική ετήσια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση**

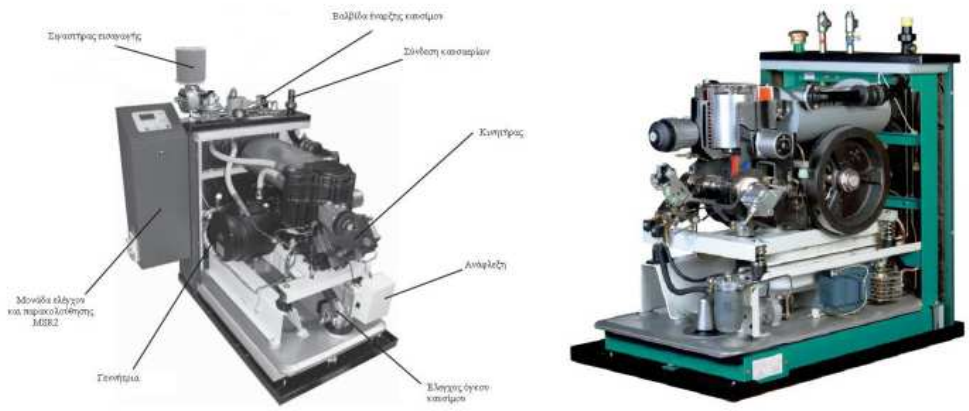
Άθροιση όλων των παραπάνω υπολογισθέντων μεγεθών και αφαίρεση της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας λόγω παραγωγής

ηλεκτρισμού από την καθαρότερη διάταξη μ-Σ.Η.Θ. και όχι από κάποια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής της Δ.Ε.Η.

4.4.3. Σύστημα μικροσυμπαραγωγής (Dachs HKA G5.0)

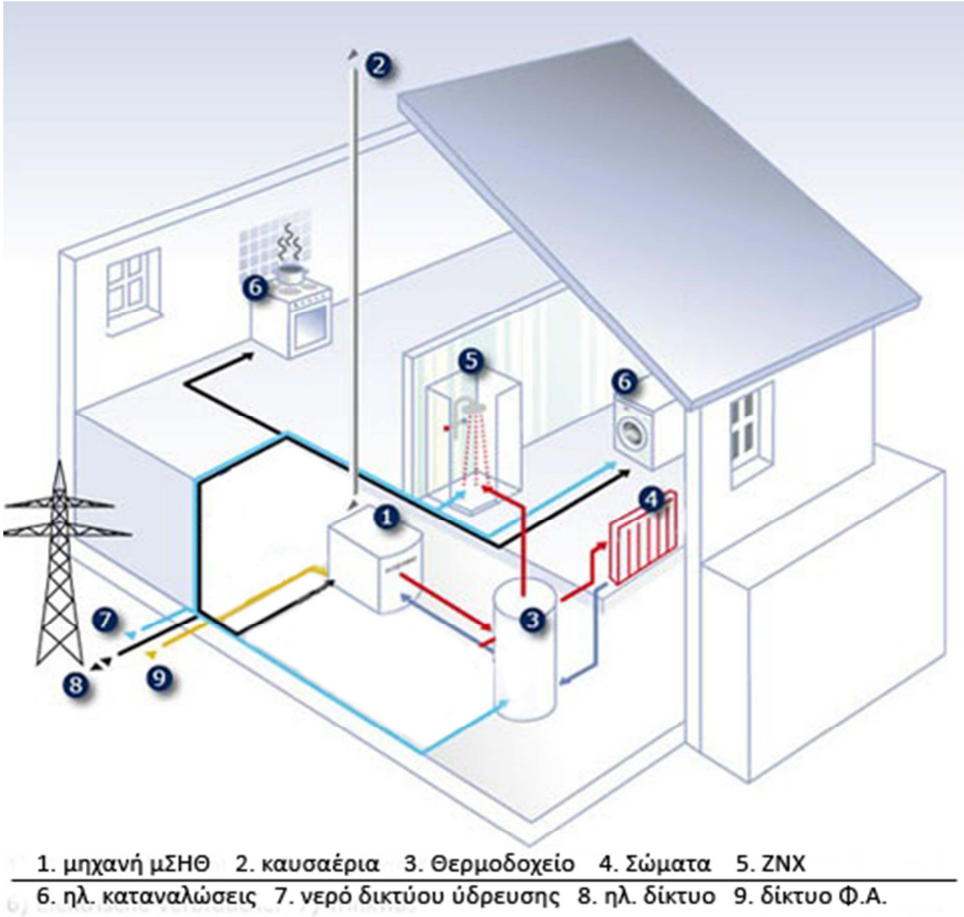
4.4.3.1. Περιγραφή εξοπλισμού

Η μονάδα συμπαραγωγής που θα επιλεγεί σε αυτή την επέμβαση είναι η Dachs HKA G5.0. Στην εικόνα 4.9. φαίνονται τα κυριότερα μέρη της και ορισμένα χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται στον πίνακα Π.3. του παραρτήματος.



Εικόνα 4.9. Μονάδα μ-Σ.Η.Θ. Dachs HKA G5.0.[25]

Η θερμική ισχύς του συστήματος μ-Σ.Η.Θ. για την επέμβαση 2^{β} είναι 12,3 kW και αποδείχθηκε επαρκής για την κάλυψη του φορτίου της κατοικίας για ολόκληρο το έτος και έτσι σε αυτή την επέμβαση δεν συμπεριλαμβάνεται άλλο σύστημα θέρμανσης για τα φορτία αιχμής. Η αποθήκευση θερμότητας υπάρχει και σε αυτή την περίπτωση και πραγματοποιήθηκε με τα ίδια θερμοδοχεία της Buderus, όπως και στην προηγουμένη επέμβαση. Μια σχηματική αναπαράσταση του εγκατεστημένου συστήματος φαίνεται στην επόμενη εικόνα 4.10.



Εικόνα 4.10. Εγκατάσταση επέμβασης 2[β][22]

4.4.3.2. Προσομοίωση λειτουργίας

Η περίοδος που εξετάστηκε είναι ένα έτος με βήμα μιας ώρας. Το δίκτυο της θέρμανσης χώρων και του ζεστού νερού χρήσης θεωρήθηκε αδιάστατο και οι ισολογισμοί ενέργειας έγιναν με όρια συστήματος το θερμοδοχείο. Η θερμοκρασία εντός του συστήματος θέρμανσης για την ικανοποίηση της θέρμανσης ανά πάσα στιγμή διατηρήθηκε μεταξύ 65° C και 95° C.

Για κάθε ώρα λειτουργίας έγινε ισολογισμός ενέργειας και υπολογίστηκε η συναλλαγή θερμικής ενέργειας εντός των ορίων του συστήματος :

$$\mathbf{Q_{net} = Q_{mCHP} - Q_{demand} - Q_{losses}}$$

, όπου:

- $\mathbf{Q_{mCHP}}$: προσδιδόμενη θερμική ενέργεια από τη μονάδα μ-Σ.Η.Θ. [kWh]
- $\mathbf{Q_{demand}}$: καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια (φορτίο) [kWh]
- $\mathbf{Q_{losses}}$: θερμικές απώλειες θερμοδοχείου [kWh]

Το θερμικό φορτίο ανά ώρα αντλήθηκε από τους υπολογισμούς που περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο ενώ οι θερμικές απώλειες του θερμοδοχείου υπολογίστηκαν από τον παρακάτω τύπο :

$$\mathbf{Q_{losses}[kWh] = U\left[\frac{W}{m^2 * K}\right] * A[m^2] * \Delta T\ [K]}$$

, όπου:

- U : ειδική θερμοπερατότητα θερμοδοχείου
- A : εξωτερική επιφάνεια θερμοδοχείου
- ΔT : διαφορά θερμοκρασίας νερού θερμοδοχείου και περιβάλλοντος, η οποία θερμοκρασία περιβάλλοντος θεωρήθηκε σταθερή για όλο το έτος και ίση με 18° C καθώς το θερμοδοχείο εγκαταστάθηκε σε υπόγειο χώρο

Κάθε ώρα λειτουργίας του συστήματος η θερμοκρασία εντός αυτού μεταβάλλεται κατά ΔT, το οποίο υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\mathbf{\Delta T = \frac{Q_{net} * 3600}{c_{p\ \nu\varepsilon\rho o\acute{\upsilon}} * \rho * V}}$$

, όπου:

- Q_{net} : συνολική συναλλαγή θερμικής ενέργειας όπως υπολογίστηκε παραπάνω [kWh]
- $C_{p\ \nu\varepsilon\rho o\acute{\upsilon}}$: ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού [kJ/kg*K]
- ρ : πυκνότητα νερού [kg/m^3]
- V : όγκος νερού, που θεωρείται ίσος με τον όγκο του θερμοδοχείου [m^3]

Η θερμοκρασία του συστήματος κάθε ώρα αλλάζει κατά το ΔT, όπως αυτό υπολογίζεται παραπάνω, και συγκεκριμένα είναι :

$$\boldsymbol{T_{i+1} = T_i + \Delta T}$$

,όπου:

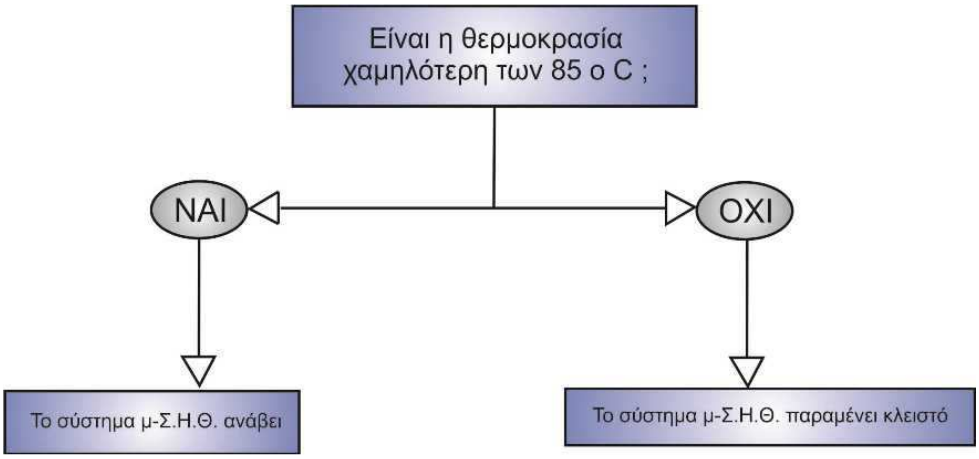
- T_{i+1} : θερμοκρασία συστήματος την ώρα i+1 [^{o}C]
- T_i : θερμοκρασία συστήματος την προηγούμενη ώρα I [^{o}C]

Κάθε ώρα λειτουργίας του συστήματος, η θερμοκρασία του νερού εντός αυτού αλλάζει όπως περιγράφηκε με τους παραπάνω τύπους, ωστόσο πρέπει να παραμένει μεταξύ 65 και 95°C, πράγμα που θα επιτευχθεί με τη ρύθμιση των θερμοκρασιών νερού εντός του θερμοδοχείου στις οποίες θα τίθεται σε λειτουργία η μονάδα μ-Σ.Η.Θ.

Η προσομοίωση λειτουργίας γίνεται για 4 διαφορετικές χωρητικότητες θερμοδοχείου. Ανάλογα με την χωρητικότητα του θερμοδοχείου στο οποίο γίνεται η αποθήκευση της περίσσειας θερμότητας, μεταβάλλεται η θερμοκρασία του νερού του θερμοδοχείου στην οποία τίθεται σε λειτουργία η μονάδα μ-Σ.Η.Θ. Στην συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία για χωρητικότητα θερμοδοχείου 1000 lt.

Η μονάδα μ-Σ.Η.Θ. λαμβάνει εντολή και τίθεται σε λειτουργία για μια ώρα οποτεδήποτε η θερμοκρασία εντός του θερμοδοχείου βρίσκεται κάτω των 85° C.

Εάν την επόμενη ώρα η θερμοκρασία είναι άνω των 85° C, σβήνει το σύστημα μ-Σ.Η.Θ. Στην εικόνα 4.11. δίδεται το διάγραμμα ροής που περιγράφει την διαδικασία.



Εικόνα 4.11. Διάγραμμα ροής για την λειτουργία της εγκατάστασης για την επέμβαση 2^{β} με θερμοδοχείο 1000 lt

Η μονάδα μ-Σ.Η.Θ. ρυθμίστηκε να λειτουργεί όποτε υπάρχει θερμική απαίτηση (heat driven). Κάθε ώρα που λειτουργεί η μονάδα παράγεται η εξής ηλεκτρική ενέργεια:

$$\boldsymbol{Q_{el} = P_{el} * 1\ hr}$$

Στην συγκεκριμένη επέμβαση, η μονάδα μ-Σ.Η.Θ. που έχει επιλεγεί έχει ηλεκτρική ισχύ 5 kW, οπότε κάθε ώρα λειτουργίας της μονάδας παράγονται 5 kWh ηλεκτρισμού. Την συγκεκριμένη ώρα λειτουργίας όμως, η κατοικία έχει κάποιο ηλεκτρικό φορτίο. Εάν αυτό είναι μεγαλύτερο από την παρηγμένη από την μονάδα μ-Σ.Η.Θ. ηλεκτρική ενέργεια τότε καταναλώνεται όλη και η υπόλοιπη απαιτούμενη ενέργεια αγοράζεται από το δίκτυο. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου το φορτίο της κατοικίας την συγκεκριμένη ώρα είναι μικρότερο από τις 5 kWh που παράγει η μονάδα μ-Σ.Η.Θ., καταναλώνεται από αυτή όση απαιτείται για την κάλυψη του φορτίου και το πλεόνασμα πωλείται στο δίκτυο. Το διάγραμμα ροής της εικόνας 4.8. αποτυπώνει την παραπάνω λειτουργία.

4.4.3.3. Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση

Για την επέμβαση 2^{β}, όπου εγκαταστάθηκε διάταξη μ-Σ.Η.Θ. μεγαλύτερης θερμικής και ηλεκτρικής ισχύος, πράγμα που οδήγησε στην επιλογή να μην εγκατασταθεί και λέβητας φυσικού αερίου για τα φορτία αιχμής, οι ετήσιες θερμικές καταναλώσεις υπολογίζονται ως εξής:

- **Ετήσια πρόσδοση θερμικής ενέργειας από τη μονάδα μ-Σ.Η.Θ.**
  Άθροιση όλων των ωριαίων τιμών Q_{mCHP} για το εξεταζόμενο έτος.
- **Ετήσιες απώλειες θερμικής ενέργειας στο θερμοδοχείο**
  Άθροιση όλων των ωριαίων τιμών Q_{losses} για το εξεταζόμενο έτος.

- **Ετήσιες απώλειες θερμικής ενέργειας λόγω βαθμού απόδοσης μονάδας μ-Σ.Η.Θ.**
  Άθροιση όλων των ωριαίων τιμών της διαφοράς $Q_{καταν.Φ.Α.(mCHP)}$-$Q_{mCHP.}$
  Η ετήσια κατανάλωση φυσικού αερίου σε kWh για τη λειτουργία της διάταξης μ-Σ.Η.Θ. είναι:

$$Q_{καταν.Φ.Α.(mCHP)}[kWh] = \frac{Q_{mCHP}}{θερμικός\ βαθμός\ απόδοσης\ μονάδας\ μΣΗΘ}$$

- **Συνολική κατανάλωση θερμικής ενέργειας**
  Προκύπτει από την άθροιση όλων των παραπάνω υπολογισθέντων μεγεθών για ένα έτος.

Το ηλεκτρικό ισοζύγιο σε ετήσια βάση προσεγγίζεται με τα παρακάτω μεγέθη:

- **Ετήσια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη διάταξη μ-Σ.Η.Θ. και καταναλώνεται για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου της κατοικίας**
  Άθροιση των 8760 ωριαίων τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται και καταναλώνεται εντός της κατοικίας που υπολογίστηκαν με τη διαδικασία που περιγράφηκε και αποτυπώθηκε στο διάγραμμα ροής της εικόνας 5.6.
- **Ετήσια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το δίκτυο**
  Άθροιση των 8760 ωριαίων τιμών της αγορασμένης από το δίκτυο της ΔΕΗ ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη του συνολικού φορτίου της κατοικίας ανά ώρα.
- **Ετήσια ποσότητα πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας**
  Άθροιση των 8760 ωριαίων τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται και περισσεύει μετά και την κατανάλωση για την κάλυψη του φορτίου της κατοικίας τη συγκεκριμένη ώρα λειτουργίας.

Τα ενεργειακά μεγέθη που απαιτούνται για τον υπολογισμό της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τη διάταξη μ-Σ.Η.Θ. της 2^{β} επέμβασης είναι:

- **Ετήσια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση λόγω πρόσδοσης θερμότητας από τη μονάδα μ-Σ.Η.Θ.**

Άθροιση όλων των ωριαίων τιμών ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας λόγω λειτουργίας της διάταξης μ-Σ.Η.Θ. για την κάλυψη του θερμικού φορτίου της κατοικίας, που υπολογίζεται ως εξής:

$$Ε.Κ.Π.Ε._{μΣΗΘ}\ [kWh] = 1{,}05 * Q_{mCHP}$$

- **Ετήσια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση λόγω απωλειών βαθμού απόδοσης μονάδας μ-Σ.Η.Θ.**

Άθροιση των ωριαίων τιμών ενός έτους για την πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση λόγω βαθμού απόδοσης της διάταξης μ-Σ.Η.Θ. που υπολογίζεται με τη βοήθεια του τύπου:

$$E.K.\Pi.E._{\beta.\alpha.\ \mu\Sigma H\Theta}\,[kWh] = 1{,}05 * (Q_{\kappa\alpha\tau\alpha\nu.\Phi.A.(CHP)} - Q_{mCHP})$$

- **Ετήσια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση λόγω απωλειών θερμικής ενέργειας στο θερμοδοχείο**

Άθροιση των τιμών ενός έτους της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης λόγων θερμικών απωλειών στο θερμοδοχείο που προκύπτει από τον τύπο:

$$E.K.\Pi.E._{\alpha\pi\omega\lambda\epsilon\iota\acute{\omega}\nu\ \theta\epsilon\rho\mu o\delta o\chi\epsilon\acute{\iota}o\upsilon}\,[kWh] = 1{,}05 * Q_{losses}$$

- **Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας λόγω αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο της ΔΕΗ**

Άθροιση των τιμών πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια του εξεταζόμενου έτους λόγω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που έχει αγοραστεί από το δίκτυο της ΔΕΗ και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$E.K.\Pi.E._{\alpha\gamma o\rho.\ \eta\lambda.\epsilon\nu\acute{\epsilon}\rho\gamma\epsilon\iota\alpha\varsigma}\,[kWh] = 2{,}9 * Q_{\alpha\gamma o\rho.\ \eta\lambda.\epsilon\nu\acute{\epsilon}\rho\gamma\epsilon\iota\alpha\varsigma}$$

- **Ετήσια αποφυγή κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη μονάδα μ-Σ.Η.Θ.**

Άθροιση όλων των ωριαίων τιμών της ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που πωλείται προς το δίκτυο της ΔΕΗ πολλαπλασιασμένων με το συντελεστή μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη ΔΕΗ και θεωρήθηκε ίσος με 2,9. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία η ποσότητα προς πώληση είναι η πλεονασματική αρκεί αυτή να μην ξεπερνά το 20% της συνολικά παραγόμενης. Στην περίπτωση που το ξεπερνά, το δίκτυο αγοράζει μόνο το 20% του συνολικά παραγόμενου ηλεκτρισμού.

$$E.K.\Pi.E._{\pi\omega\lambda.\ \eta\lambda.\epsilon\nu\acute{\epsilon}\rho\gamma\epsilon\iota\alpha\varsigma}\,[kWh] = 2{,}9 * Q_{\pi\omega\lambda.\ \eta\lambda.\epsilon\nu\acute{\epsilon}\rho\gamma\epsilon\iota\alpha\varsigma}$$

- **Συνολική ετήσια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση**

Άθροιση όλων των παραπάνω υπολογισθέντων μεγεθών και αφαίρεση της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας λόγω παραγωγής ηλεκτρισμού από την καθαρότερη διάταξη μ-Σ.Η.Θ. και όχι από κάποια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ.

4.5. Οικονομοτεχνική ανάλυση

4.5.1. Ενεργειακές τιμές

Αρχικά παρουσιάζονται τα ενεργειακά κόστη που λήφθησαν για την οικονομοτεχνική ανάλυση.

Η τιμή αγοράς ηλεκτρισμού από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας ήταν 0,0907 €/kWh[23]. Η μέση μοναδιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας ήταν 57,768 €/MWh (Α.Θ.Ι.)[24].

Από τον τύπο που δίνεται από τον ισχύοντα κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας νόμο[13], υπολογίζεται ο συντελεστής ρήτρας φυσικού αερίου, ως εξής :

$$\Sigma P = 1 + \frac{\text{Μ.Τ.Φ.Α.} - 26}{100 * n_{el}} = 1 + \frac{57{,}768 - 26}{100 * 0{,}33} = 1{,}962$$

,όπου n_{el} =0,33 για διατάξεις Σ.Η.Θ.Υ.Α. ισχύος μικρότερης από 1 MW_{el}.

Η τιμή αγοράς του παραγόμενου από τη διάταξη Σ.Η.Θ.Υ.Α. ηλεκτρισμού προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\textbf{τιμή αγοράς ηλεκτρισμού απο την ΔΕΗ} = 87{,}85 * \Sigma P = 87{,}85 * 1{,}962 = 172{,}4 \left[\frac{€}{\text{MWh}}\right] \text{ ή } 0{,}1724 \left[\frac{€}{\text{kWh}}\right]$$

Κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας η τιμή πώλησης του πετρελαίου θέρμανσης ήταν 1,05€/lt.

4.5.2. Ετήσιο ενεργειακό κόστος

Αρχικά υπολογίστηκαν τα ετήσια ενεργειακά κόστη (Ε.Ε.Κ.) για το υπάρχον σύστημα κάθε περίπτωσης κατοικίας και στη συνέχεια αυτά για τρεις επεμβάσεις που εξετάστηκαν.

Στην περίπτωση των δυο παλαιότερης χρονολογίας κατασκευής κατηγοριών κατοικιών που έγινε υπόθεση ότι διαθέτουν σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου, έχουμε:

$$\textbf{ΕΕΚ}_{\textbf{λεβ.πετρ.}}[€] = \text{κόστος πετρελαίου} \left[\frac{€}{\text{kWh}}\right] * \text{ετήσιο θερμικό φορτίο [kWh]}$$

,όπου το κόστος πετρελαίου υπολογίζεται ως εξής:

$$\textbf{κόστος πετρελαίου}\left[\frac{€}{\textbf{kWh}}\right] = \frac{\text{κόστος πετρελαίου}\left[\frac{€}{\text{lt}}\right]}{\text{Ανώτερη θερμογόνος ικανότητα πετρελαίου}\left[\frac{\text{kWh}}{\text{lt}}\right]}$$

Το ετήσιο ενεργειακό κόστος για τον ηλεκτρισμό που καταναλώνεται είναι:

$$\textbf{ΕΕΚ}_{\textbf{ηλεκτρισμού}}[€] = \text{κόστος ηλεκτρισμού}\left[\frac{€}{\text{kWh}}\right] * \text{ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο}[\text{kWh}]$$

Για την περίπτωση των κατοικιών που κατασκευάστηκαν πρόσφατα και για την πρώτη επέμβαση στις δυο προηγούμενες κατηγορίες κατοικιών, ο υπολογισμός της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος θέρμανσης (λέβητας φυσικού αερίου) έγινε ως εξής:

$$\textbf{ΕΕΚ}_{\textbf{λεβ.φυσ.αερίου}}[€] = \text{κόστος φυσικού αερίου}\left[\frac{€}{\text{kWh}}\right] * \text{ετήσιο θερμικό φορτίο}\ [\text{kWh}]$$

, ενώ το κόστος ηλεκτρισμού καθώς αγοράζεται εξ' ολοκλήρου από το δίκτυο υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο, όπως παραπάνω.

Για τις δυο κατηγορίες κατοικιών που κατασκευάστηκαν πριν το 2001, η επιλογή για σύστημα θέρμανσης ενός λέβητα φυσικού αερίου αποτελεί την επέμβαση 1 και η εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους που επιτυγχάνεται είναι:

$$\textbf{Εξοικονόμηση ΕΕΚ}_{\textbf{επέμβ.1}}[€] = (\text{ΕΕΚ}_{\text{λεβ.πετρ.}} + \text{ΕΕΚ}_{\text{ηλ.}}) - (\text{ΕΕΚ}_{\text{λεβ.φυσ.αερίου}} + \text{ΕΕΚ}_{\text{ηλ.}})$$

Στην επέμβαση 2^{α}, όπου γίνεται εγκατάσταση της διάταξης μ-Σ.Η.Θ. Honda Ecowill 1.0, το ετήσιο ενεργειακό κόστος από την καύση φυσικού αερίου είναι όπως παραπάνω:

$$\textbf{ΕΕΚ}_{\boldsymbol{\mu\Sigma H\Theta\ 2\alpha}}[€] = \text{κόστος φυσικού αερίου}\left[\frac{€}{\text{kWh}}\right] * \text{ετήσιο θερμικό φορτίο}\ [\text{kWh}]$$

Το ετήσιο κόστος για την ηλεκτρική ενέργεια διαμορφώνεται ως εξής:

$$\textbf{ΕΕΚ}_{\textbf{ηλ.μΣΗΘ 2α}}[€] = \left(\text{τιμή αγοράς ηλεκτρισμού}\left[\frac{€}{\text{kWh}}\right] * \text{ποσότητα αγοράς}[\text{kWh}]\right) - \left(\text{τιμή πώλησης ηλεκτρισμού}\left[\frac{€}{\text{kWh}}\right] * \text{ποσότητα πώλησης}[\text{kWh}]\right)$$

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει για τις διατάξεις Σ.Η.Θ.Υ.Α., όπως αναφέρεται και

στο αντίστοιχο κεφάλαιο, η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει η διάταξη και αγοράζεται από τη Δ.Ε.Η. δεν μπορεί να ξεπερνά το 20% της συνολικά παραγόμενης. Λόγω της κρισιμότητας του ποσοστού της πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το δίκτυο στον καθορισμό της βιωσιμότητας μιας επένδυσης στην μικροσυμπαραγωγή, εξετάστηκε εκτός από την περίπτωση που ισχύει και μια υποθετική, κατά την οποία η Δ.Ε.Η. θα αγόραζε το 100% της πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους που επιτυγχάνεται με την επέμβαση 2^{α} για τις δυο παλαιότερης κατασκευής κατηγορίες κατοικιών είναι:

$$\textbf{Εξοικονόμηση ΕΕΚ}_{\textbf{επέμβ. 2α}}[€] = (\text{ΕΕΚ}_{\text{λεβ.πετρ.}} + \text{ΕΕΚ}_{\text{ηλ.}}) - (\text{ΕΕΚ}_{\text{μ−Σ.Η.Θ.2α}} + \text{ΕΕΚ}_{\text{ηλ.μΣΗΘ 2α}})$$

, ενώ για τις κατοικίες με χρονολογία κατασκευής μετά το 2001, είναι:

$$\textbf{Εξοικονόμηση ΕΕΚ}_{\textbf{επέμβ. 2α}}[€] = (\text{ΕΕΚ}_{\text{λεβ.φυσ.αερίου}} + \text{ΕΕΚ}_{\text{ηλ.}}) - (\text{ΕΕΚ}_{\text{μ−Σ.Η.Θ.2α}} + \text{ΕΕΚ}_{\text{ηλ.μΣΗΘ 2α}})$$

Στην επέμβαση 2^{β} γίνεται εγκατάσταση της διάταξης μ-Σ.Η.Θ. Dachs HKA G5.0. και το ετήσιο ενεργειακό κόστος από την καύση φυσικού αερίου είναι όπως παραπάνω:

$$\textbf{ΕΕΚ}_{\textbf{μΣΗΘ 2β}}[€] = \text{κόστος φυσικού αερίου}\left[\frac{€}{\text{kWh}}\right] * \text{ετήσιο θερμικό φορτίο [kWh]}$$

Το ετήσιο κόστος για την ηλεκτρική ενέργεια διαμορφώνεται ως εξής:

$$\textbf{ΕΕΚ}_{\textbf{ηλ.μΣΗΘ 2β}}[€] = \left(\text{τιμή αγοράς ηλεκτρισμού}\left[\frac{€}{\text{kWh}}\right] * \text{ποσότητα αγοράς[kWh]}\right) - \left(\text{τιμή πώλησης ηλεκτρισμού}\left[\frac{€}{\text{kWh}}\right] * \text{ποσότητα πώλησης[kWh]}\right)$$

Η εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους που επιτυγχάνεται με την επέμβαση 2^{β} για τις δυο παλαιότερης κατασκευής κατηγορίες κατοικιών είναι:

$$\textbf{Εξοικονόμηση ΕΕΚ}_{\textbf{επέμβ. 2β}}[€] = (\text{ΕΕΚ}_{\text{λεβ.πετρ.}} + \text{ΕΕΚ}_{\text{ηλ.}}) - (\text{ΕΕΚ}_{\text{μΣΗΘ 2β}} + \text{ΕΕΚ}_{\text{ηλ.μΣΗΘ 2β}})$$

, ενώ για τις κατοικίες με χρονολογία κατασκευής μετά το 2001, είναι:

$$\textbf{Εξοικονόμηση ΕΕΚ}_{\textbf{επέμβ.2β}}[€] = (\text{ΕΕΚ}_{\text{λεβ.φυσ.αερίου}} + \text{ΕΕΚ}_{\text{ηλ.}}) - (\text{ΕΕΚ}_{\text{μΣΗΘ 2β}} + \text{ΕΕΚ}_{\text{ηλ.μΣΗΘ 2β}})$$

4.5.3. Απόσβεση κόστους επένδυσης

Για να υπολογιστεί ο χρόνος απόσβεσης οποιασδήποτε επένδυσης πρέπει πρώτα να υπολογιστεί το κόστος εγκατάστασης του εξοπλισμού. Στο παράρτημα δίνεται ο πίνακας Π.4. στον οποίο παρουσιάζονται οι τιμές του εμπορίου για όλα τα συστήματα που εξετάζονται.

Στη συνέχεια για να υπολογιστεί ο χρόνος απόσβεσης κάθε επέμβασης υλοποιήθηκε ο εξής τύπος:

$$\textbf{Χρόνος απόσβεσης } [\textbf{έτη}] = \frac{\text{Κόστος εγκατάστασης } [€]}{\text{Ετήσια εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους } [\frac{€}{\text{έτος}}]},$$

όπου η ετήσια εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους έχει υπολογιστεί όπως περιγράφεται στο προηγούμενο εδάφιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο *Αποτελέσματα – Αξιολόγηση*

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και καταγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο για την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος μικροσυμπαραγωγής. Αρχικά θα καταγραφούν παραδοχές για διάφορα χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης κατοικίας και του συστήματος προς εγκατάσταση, που θα διαμορφώνουν το βασικό σενάριο. Έτσι θα αποφευχθεί η παρουσίαση όλων των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, που δεν κρίνεται σκόπιμο να γίνει. Στο εδάφιο 5.2. παρουσιάζονται τα ενεργειακά φορτία της κατοικίας του βασικού σεναρίου, ενώ στο 5.3. παρουσιάζονται κατά σειρά, η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας, το ετήσιο θερμικό και το ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο, η ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και η εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους. Στην παραμετρική ανάλυση του εδαφίου 5.4. εξετάζεται η επίδραση που έχει σε αυτά τα αποτελέσματα καθεμία από τις εξεταζόμενες παραμέτρους και με βάση τα συμπεράσματα από αυτήν, στοιχειοθετείται το βέλτιστο σενάριο του οποίου τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο τελευταίο εδάφιο 5.5.

5.1. Βασικό σενάριο

Η προσομοίωση λειτουργίας των εναλλακτικών συστημάτων μικροσυμπαραγωγής έγινε για όλες τις περιπτώσεις, ωστόσο για οικονομία χώρου δεν κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν όλα, παρά μόνο αυτά ενός βασικού σεναρίου. Το βασικό σενάριο κατοικίας, για το οποίο θα παρουσιαστούν στη συνέχεια αποτελέσματα, έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

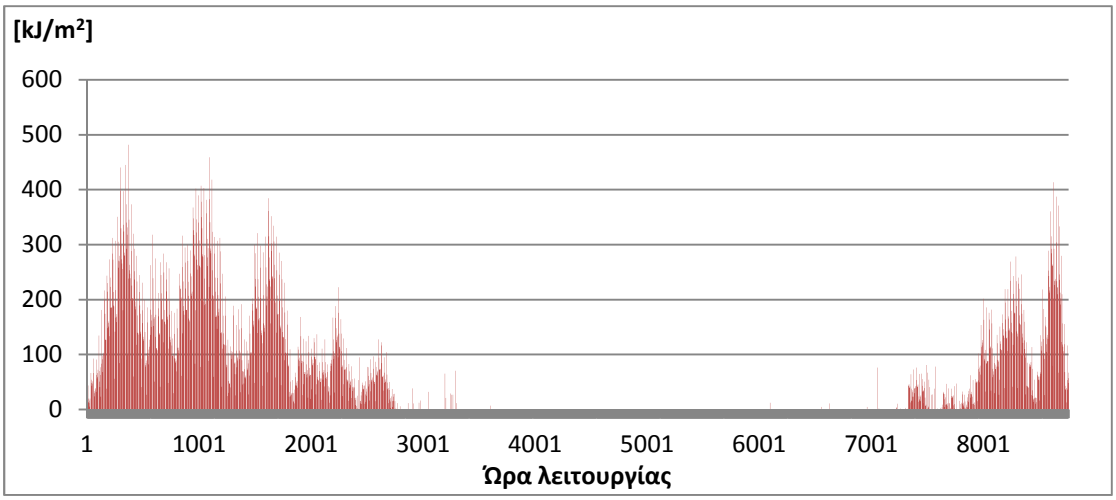
- Βρίσκεται στην κλιματική ζώνη Β
- Η παλαιότητα του κτιρίου είναι μεσαία δηλαδή έχει κατασκευαστεί μεταξύ του 1980 και του 2001
- Η επέμβαση που γίνεται είναι η 2^{α}, δηλαδή εγκαθίσταται η μονάδα μ-Σ.Η.Θ. Honda Ecowill 1.0. μαζί με λέβητα φυσικού αερίου αιχμής
- Το θερμοδοχείο που έχει επιλεγεί έχει χωρητικότητα 750 lt
- Για τη διανομή της θερμότητας στην κατοικία έχουν επιλεγεί τα υπάρχοντα συμβατικά θερμαντικά σώματα
- Το σύστημα μ-Σ.Η.Θ. λειτουργεί κατά τη διάρκεια όλου του έτους
- Στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. πωλείται το πλεόνασμα της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας αρκεί να μην ξεπερνά το 20% της συνολικά παραγόμενης, όπως επιβάλλει η σχετική νομοθεσία.

5.2. Ενεργειακά φορτία κατοικίας

Στο εδάφιο 5.2. θα καταγραφούν μέσω διαγραμμάτων, τα φορτία της κατοικίας που χρησιμοποιήθηκαν σαν δεδομένα, για την περαιτέρω προσομοίωση της λειτουργίας των συστημάτων μικροσυμπαραγωγής που προτάθηκαν σαν εναλλακτικά για την κάλυψη τους.

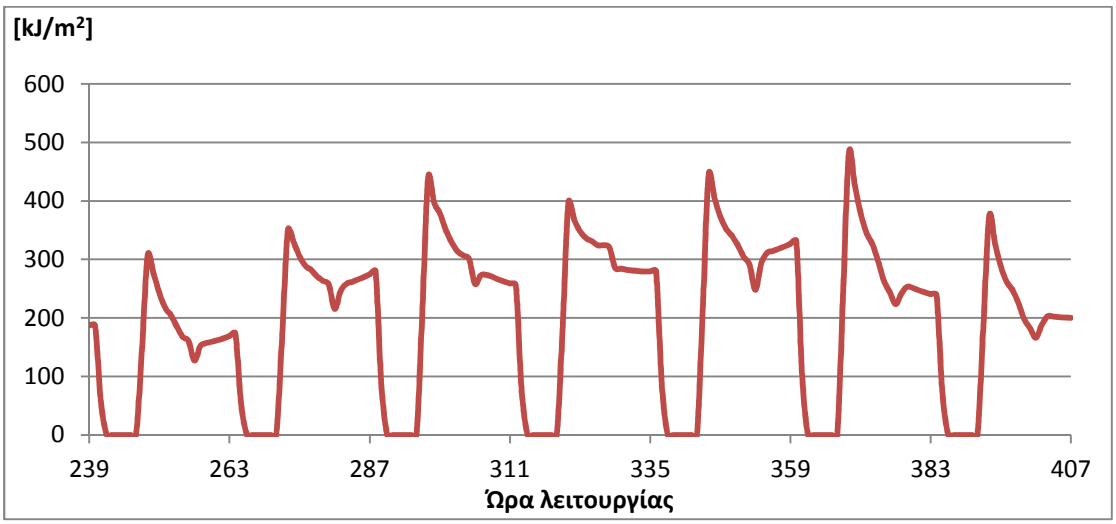
5.2.1. Υπολογισμός ωριαίου θερμικού φορτίου για θέρμανση χώρων

Στο διάγραμμα 5.1. φαίνεται η ωριαία διακύμανση εντός του εξεταζόμενου έτους (t=0: αρχή έτους) του θερμικού φορτίου σε kJ/m^2. Σε αυτό διακρίνεται ξεκάθαρα ο μηδενισμός του φορτίου τους θερμούς καλοκαιρινούς μήνες με ελάχιστες μόνο εξαιρέσεις.



Διάγραμμα 5.1. Ετήσια κατανομή θερμικού φορτίου του βασικού σεναρίου

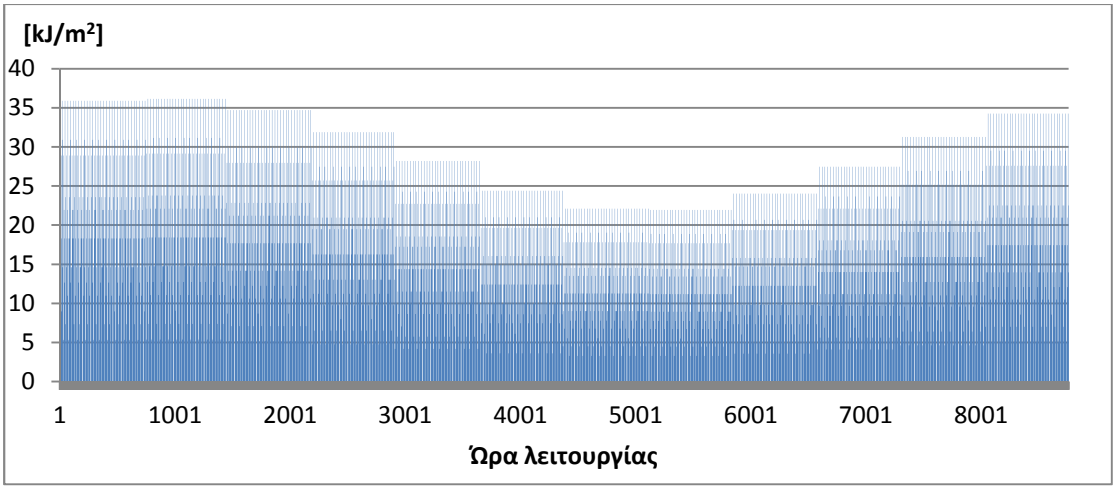
Στο διάγραμμα 5.2. φαίνεται μια εβδομάδα του Ιανουαρίου της παραπάνω κατανομής.



Διάγραμμα 5.2. Κατανομή θερμικού φορτίου του βασικού σεναρίου για μια εβδομάδα του Ιανουαρίου

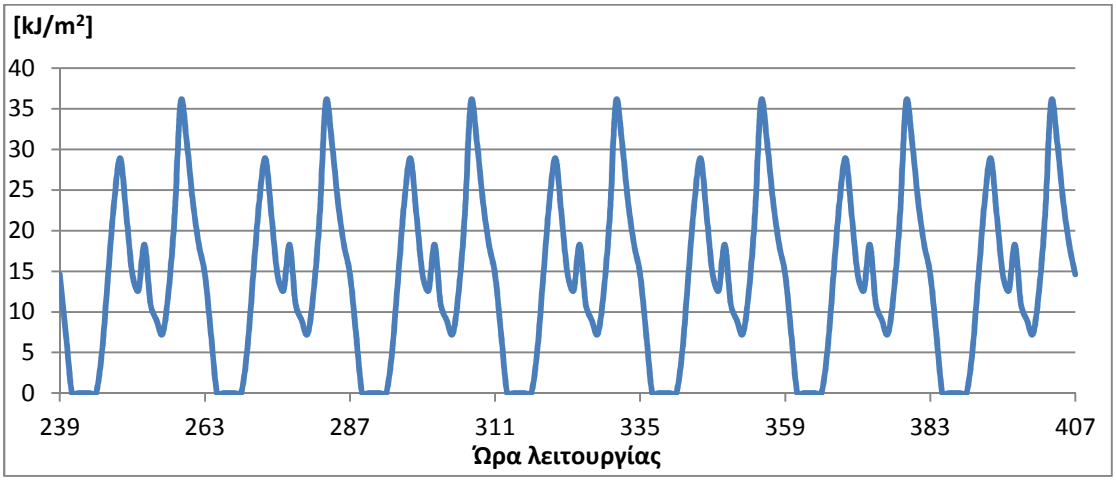
5.2.2. Υπολογισμός ωριαίου φορτίου ζεστού νερού χρήσης

Στο ακόλουθο διάγραμμα 5.3. φαίνεται η ετήσια κατανομή του φορτίου ζεστού νερού χρήσης και παρατηρείται μια μείωση του φορτίου τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω αύξησης της θερμοκρασίας του νερού δικτύου.



Διάγραμμα 5.3. Κατανομή φορτίου ζεστού νερού χρήσης του βασικού σεναρίου

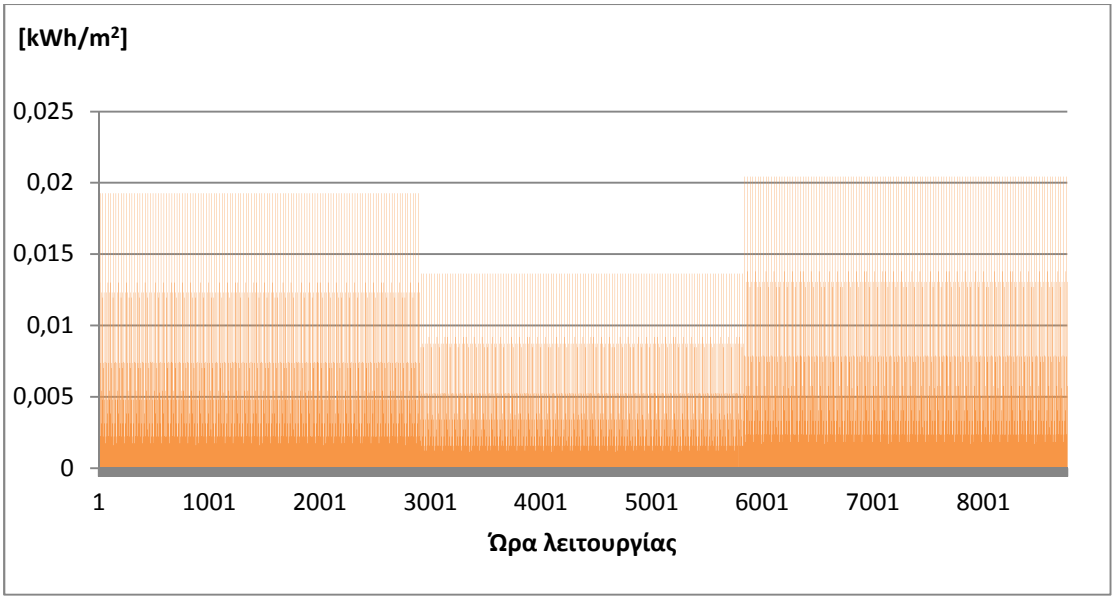
Στο διάγραμμα 5.4. φαίνεται η κατανομή του φορτίου Ζ.Ν.Χ. για μια εβδομάδα του Ιανουαρίου ώστε να αποτυπωθεί η λεπτομέρεια στα δεδομένα που δεν διακρίνεται στο παραπάνω ετήσιο διάγραμμα 5.3.



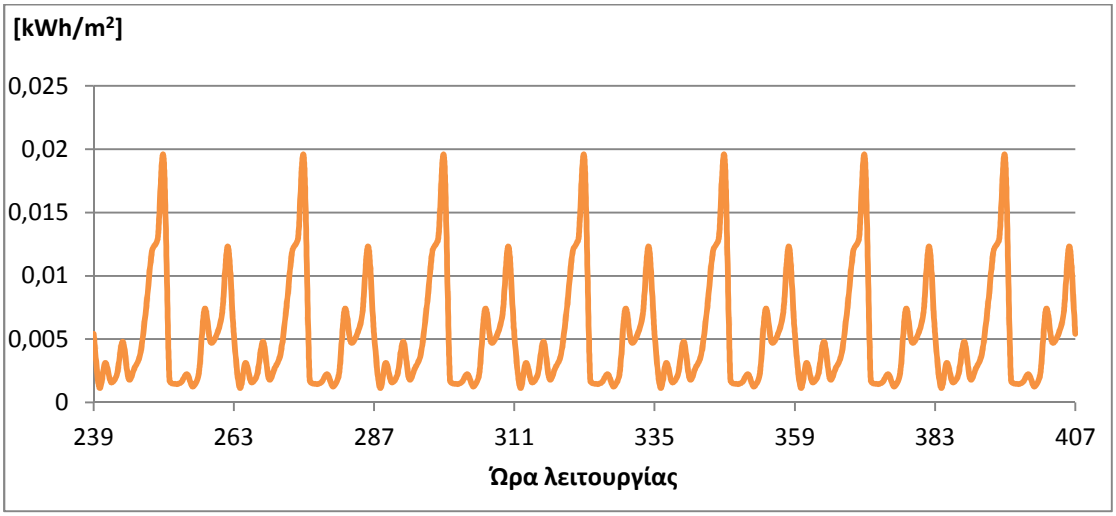
Διάγραμμα 5.4. Κατανομή φορτίου ζεστού νερού χρήσης του βασικού σεναρίου για μια εβδομάδα του Ιανουαρίου

5.2.3. Υπολογισμός ωριαίου ηλεκτρικού φορτίου

Η κατανομή του ηλεκτρικού φορτίου της εξεταζόμενης κατοικίας αποτυπώνεται στα διαγράμματα 5.5. και 5.6., με το πρώτο να είναι για όλο το εξεταζόμενο έτος και το δεύτερο για μια εβδομάδα του Ιανουαρίου.



Διάγραμμα 5.5. Ετήσια κατανομή ηλεκτρικού φορτίου του βασικού σεναρίου



Διάγραμμα 5.6. Κατανομή ηλεκτρικού φορτίου για μια εβδομάδα του Ιανουαρίου

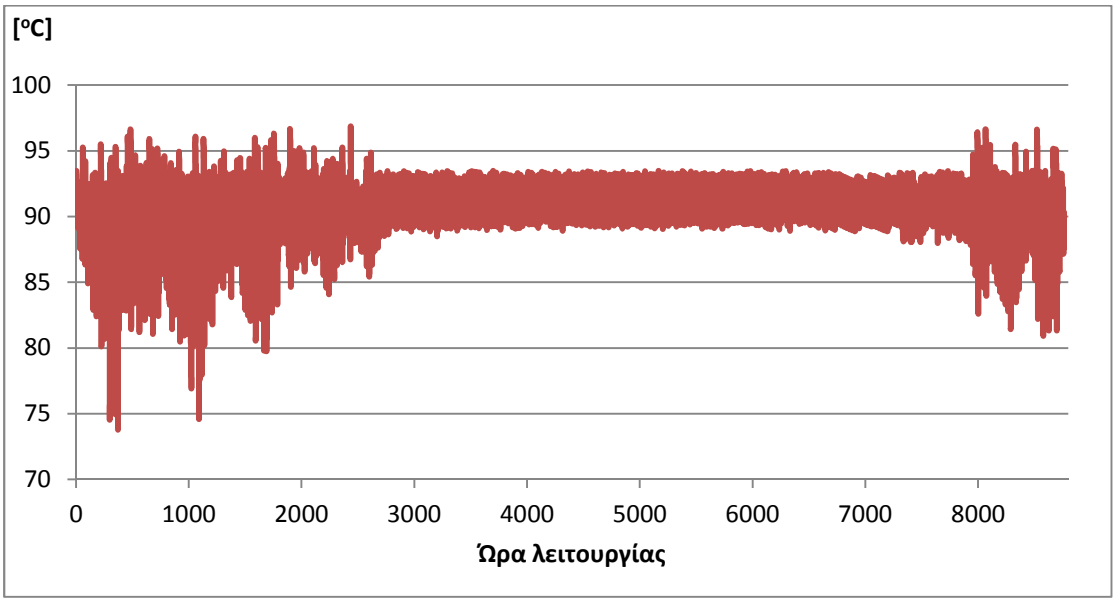
Παρατηρείται ότι η κατανομή των ηλεκτρικών φορτίων, με τις υποθέσεις και τα δεδομένα που υπολογίστηκε (παράγραφος 4.2.) αποδίδει ιδιαίτερα χαμηλές αιχμές (1.6 kWh_{el}/h). Το παραπάνω αποδίδεται στο ότι η κατανομή που χρησιμοποιήθηκε (διάγραμμα 4.1.) αφορά μέσες ωριαίες τιμές, των οποίων η διαφορά με αντίστοιχες πεντάλεπτες είναι εμφανής. Τα εμβαδά (ενέργεια) της ωριαίας και της πεντάλεπτης κατανομής του διαγράμματος 4.1 είναι μεν ίδια, αλλά η ωριαία αναπόφευκτα υποεκτιμά την αιχμή ισχύος.

5.3. Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας του βασικού σεναρίου

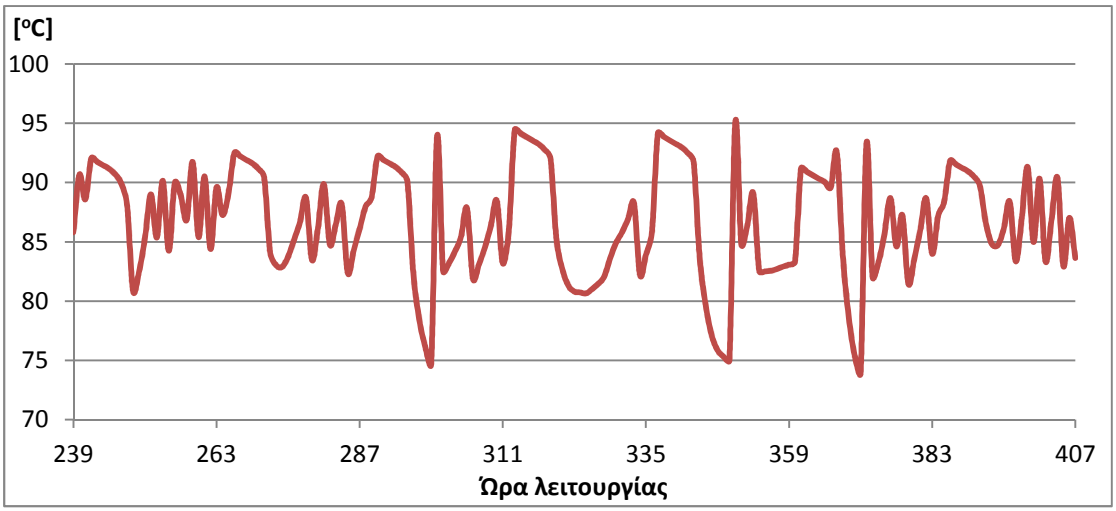
Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος με τις παραδοχές που έχουν καταγραφεί στο εδάφιο 5.1. και στοιχειοθετούν το βασικό σενάριο.

5.3.1. Θερμοκρασία νερού θερμοδοχείου

Εντός του θερμοδοχείου η διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού φαίνεται στο διάγραμμα 5.7. για το εξεταζόμενο έτος και για μια εβδομάδα του Ιανουαρίου στο διάγραμμα 5.8.



Διάγραμμα 5.7. Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας νερού εντός θερμοδοχείου

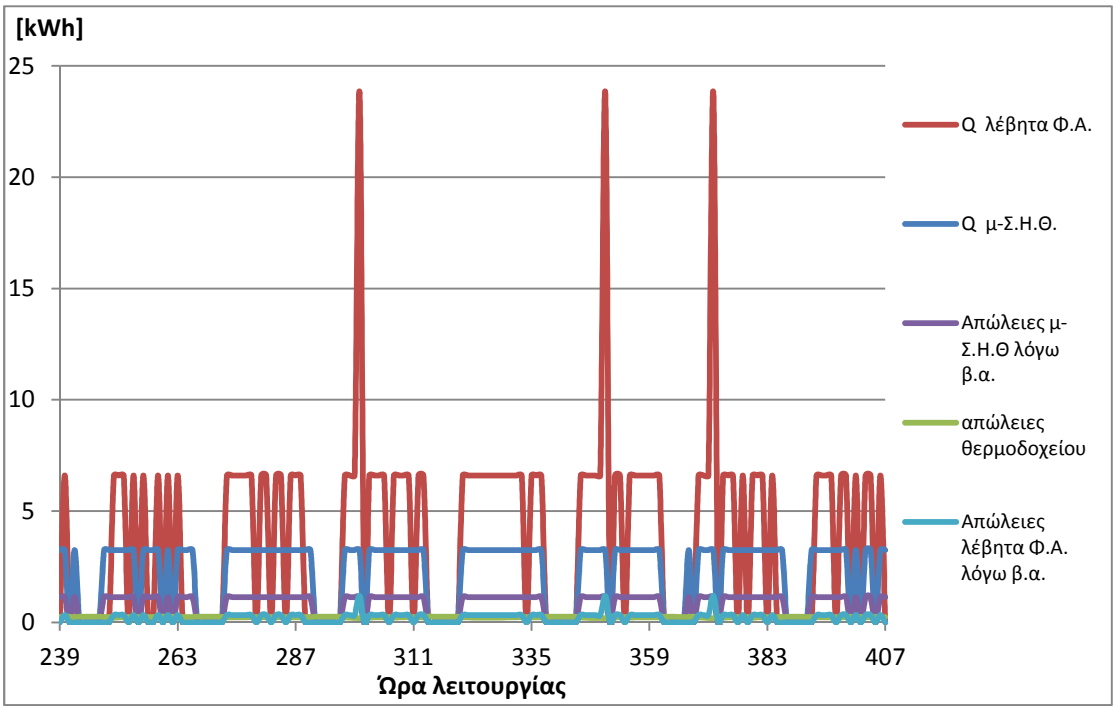


Διάγραμμα 5.8. Διακύμανση της θερμοκρασίας νερού εντός θερμοδοχείου για μια εβδομάδα του Ιανουαρίου

Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του νερού εντός του θερμοδοχείου κυμαίνεται μεταξύ 75 και 95°C καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με τη διακύμανση αυτή να λαμβάνει χώρα σε πλήρες πλάτος τους χειμερινούς μήνες. Τους θερινούς μήνες η θερμοκρασία μεταβάλλεται λιγότερο όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.7.

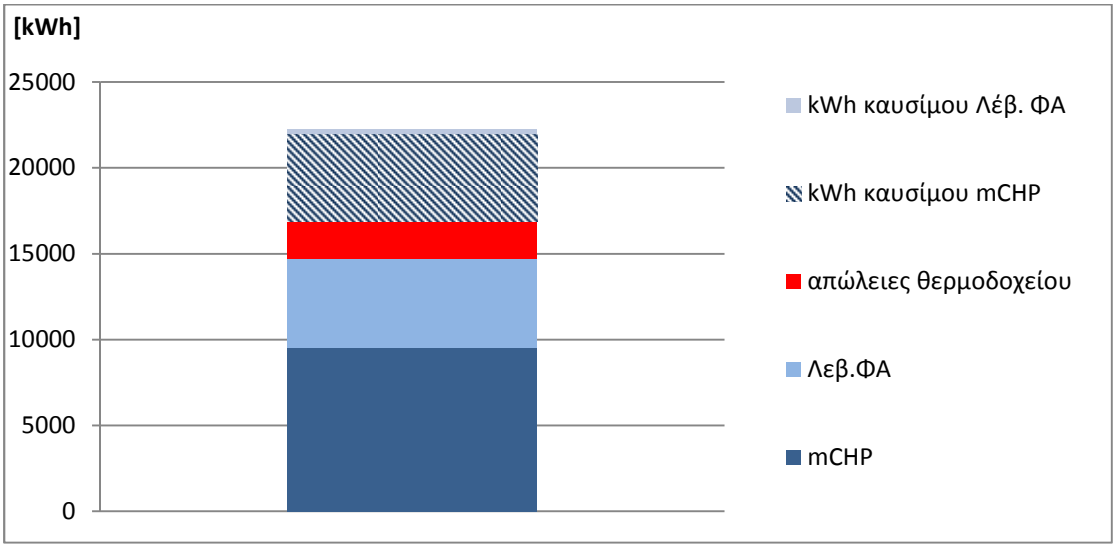
5.3.2. Ενεργειακά ισοζύγια

Στο διάγραμμα 5.9. παρουσιάζεται από την προσομοίωση λειτουργίας του βασικού σεναρίου, για μια εβδομάδα του Ιανουαρίου, η θερμική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα θέρμανσης και οι διάφορες απώλειες που υπάρχουν.



Διάγραμμα 5.9. Θερμική παραγωγή του συστήματος για μια εβδομάδα του Ιανουαρίου

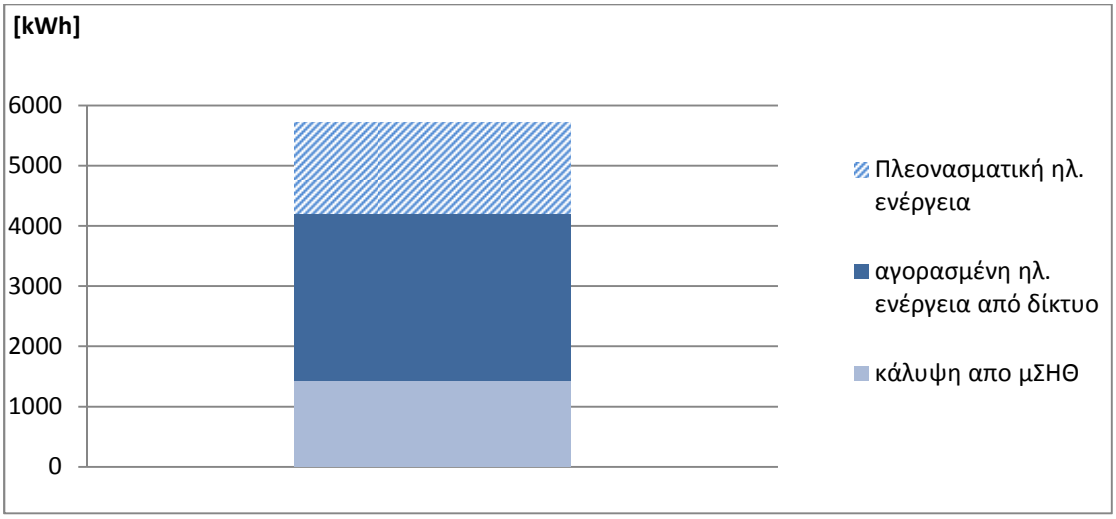
Το ετήσιο θερμικό ισοζύγιο της λειτουργίας του συστήματος του βασικού σεναρίου φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 5.10. Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο του βασικού σεναρίου

Παρατηρούμε ότι η ωφέλιμη θερμική ενέργεια από το σύστημα θέρμανσης είναι περίπου 14720 kWh και η υπόλοιπη θερμική ενέργεια, αποτελείται από τις απώλειες στο θερμοδοχείο (κόκκινο χρώμα) και λόγω βαθμού απόδοσης της μονάδας μικροσυμπαραγωγής (διαγράμμιση) και του λέβητα φυσικού αερίου αιχμής (διαγράμμιση). Επισημαίνεται ότι το διάγραμμα 5.10 δεν λαμβάνει υπόψη τον συμπαραγόμενο ηλεκτρισμό, κάτι που σημαίνει ότι εντός του ποσού ενέργειας «kWh καυσίμου mCHP» περιέχονται οι αντίστοιχες ηλεκτρικές KWh που παράγονται από τη μονάδα μ-Σ.Η.Θ.

Στο διάγραμμα 5.11. απεικονίζεται το ηλεκτρικό ισοζύγιο της λειτουργίας του συστήματος. Συγκεκριμένα φαίνονται η ετήσια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα μ-Σ.Η.Θ. και καλύπτει φορτία της κατοικίας, η ποσότητα που αγοράζεται από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. και η πλεονασματική, δηλαδή η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα μικροσυμπαραγωγής αλλά δεν καταναλώνεται στην κατοικία.

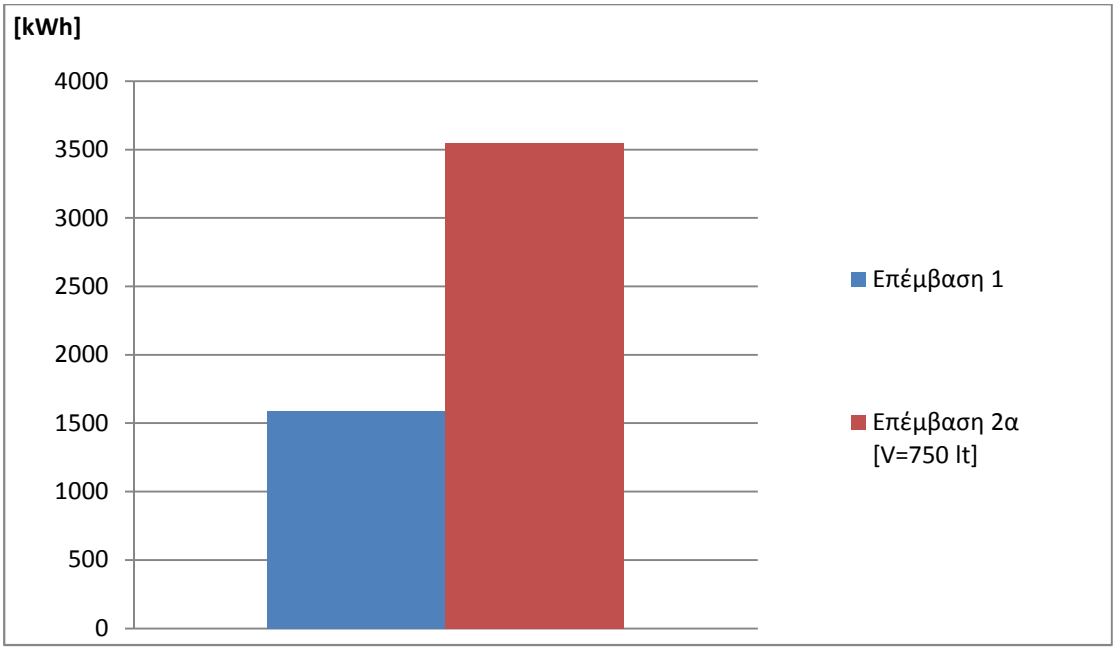


Διάγραμμα 5.11. Ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο για το βασικό σενάριο

Το φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας που καλύπτεται από τη μονάδα μικροσυμπαραγωγής είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με την πλεονασματική ποσότητα, ενώ η αγοραζόμενη από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. είναι μεγαλύτερη. Συγκεκριμένα, η πλεονασματική ηλεκτρική ενέργεια είναι 1495 kWh από τις οποίες, σύμφωνα με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο, θα πωληθούν στο δίκτυο οι 568 kWh.

5.3.3. Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας

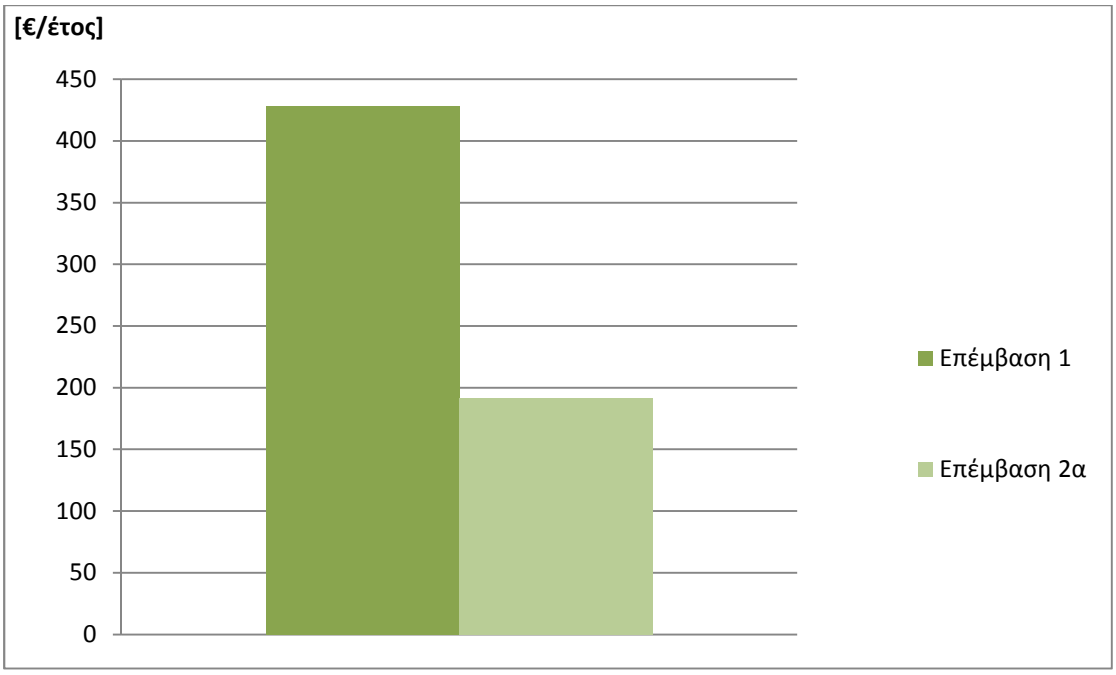
Στο ακόλουθο διάγραμμα 5.12. φαίνονται οι εξοικονομήσεις πρωτογενούς ενέργειας που επιτυγχάνονται με τις δυο επεμβάσεις που προσομοιώθηκαν. Παρατηρείται ότι η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με την επέμβαση 2^{α}, του συστήματος μικροσυμπαραγωγής, είναι κατά πολύ μεγαλύτερη της επέμβασης με αντικατάσταση του λέβητα πετρελαίου με λέβητα φυσικού αερίου και οφείλεται κυρίως στην ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη μονάδα μ-Σ.Η.Θ. και αποτρέπεται η παραγωγή της από την Δ.Ε.Η.



Διάγραμμα 5.12. Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας για το βασικό σενάριο

5.3.4. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους

Η εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους για τις δυο εξεταζόμενες επεμβάσεις παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.13. Η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με το λέβητα φυσικού αερίου είναι διπλάσια από αυτήν με το σύστημα μικροσυμπαραγωγής. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι από την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται μόνο ένα μικρό μέρος της και συγκεκριμένα το 20% της συνολικά παραγόμενης.



Διάγραμμα 5.13. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους

5.4. Παραμετρική ανάλυση βασικού σεναρίου

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει παραμετρική ανάλυση και συγκεκριμένα θα συγκριθούν τα αποτελέσματα ανάλογα:

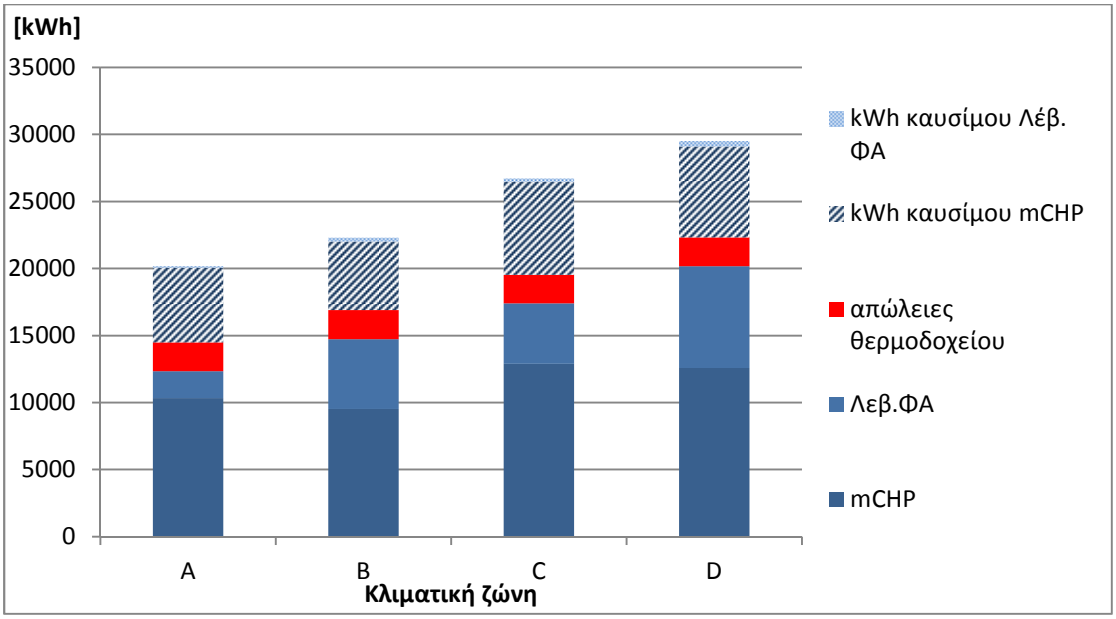
1. Με την κλιματική ζώνη του κτιρίου (A,B,C,D)
2. Με την παλαιότητα του κτιρίου (κατασκευή ως το 1980, κατασκευή από 1980 έως 2001, κατασκευή από το 2001 έως το 2010)
3. Με την ισχύ του εγκατεστημένου συστήματος μικροσυμπαραγωγής, η οποία καθορίζει και την θερμική αυτονομία ή μη του κτιρίου με τη μονάδα μ-Σ.Η.Θ., δηλαδή εγκατάσταση της μονάδας Honda Ecowill, ισχύος 1kW σε συνδυασμό με λέβητα φυσικού αερίου αιχμής, ή της μονάδας Dachs HKA G5.0, ισχύος 5 kW που καλύπτει το σύνολο των θερμικών αναγκών χωρίς να απαιτείται εγκατάσταση λέβητα αιχμής
4. Με τη χωρητικότητα του θερμοδοχείου (750lt, 1000lt, 2000lt, 5000lt)
5. Με τον τρόπο διανομής της θέρμανσης εντός της κατοικίας, δηλαδή με συμβατικά θερμαντικά σώματα ή ενδοδαπέδια θέρμανση
6. Με την περίοδο λειτουργίας του συστήματος μικροσυμπαραγωγής, δηλαδή με λειτουργία του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ή με διακοπή λειτουργίας τους καλοκαιρινούς μήνες και κάλυψη των φορτίων Ζ.Ν.Χ. από ηλιακούς συλλέκτες

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που ακολουθεί γίνεται για κάθε παράμετρο με τον ίδιο τρόπο και σειρά όπως στο βασικό σενάριο.

5.4.1. Κλιματική ζώνη

Ανάλογα με την κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκεται το εξεταζόμενο κτίριο αλλάζουν τα θερμικά φορτία και το βιοτικό επίπεδο έως ένα σημείο. Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί πως μεταβάλλονται τα αποτελέσματα λόγω αυτής της διαφοροποίησης.

Περνώντας από τη θερμότερη προς την ψυχρότερη κλιματική ζώνη αυξάνεται το θερμικό φορτίο που πρέπει να καλυφθεί από το σύστημα μικροσυμπαραγωγής και το λέβητα φυσικού αερίου αιχμής, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.14. Ωστόσο, το σύστημα μ-Σ.Η.Θ. λειτουργεί λιγότερες ώρες στη ζώνη Β από τη ζώνη Α, καθώς τα αυξημένα φορτία απαιτούν συχνότερη λειτουργία του λέβητα Φ.Α., ο οποίος συχνά θερμαίνει το νερό σε σημείο (>90°C) όπου απαιτείται σπανιότερη λειτουργία της μονάδας μ-Σ.Η.Θ. Κάτι αντίστοιχο παρατηρείται και κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των ζωνών C και D.



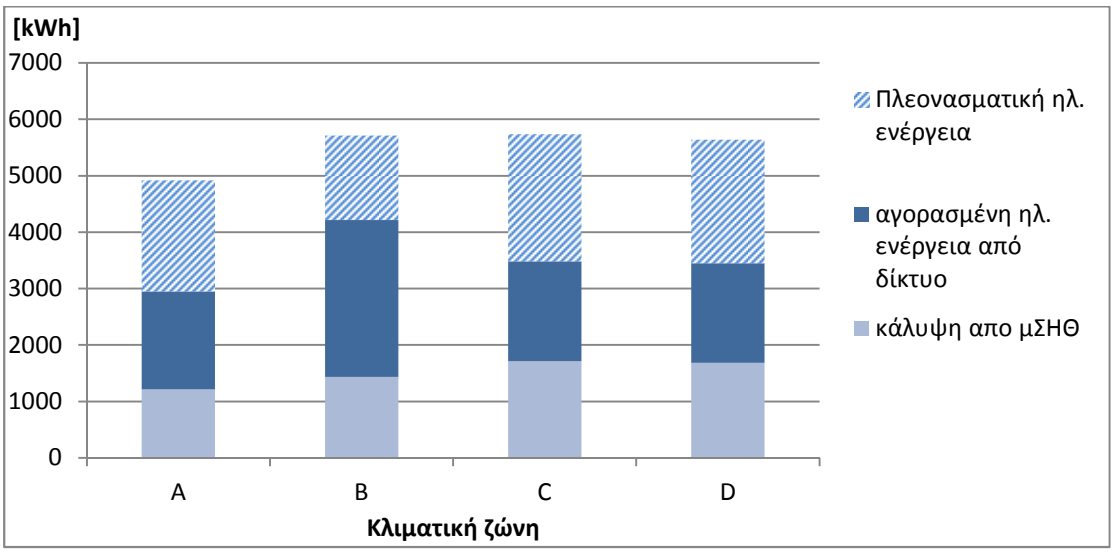
Διάγραμμα 5.14. Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο ανά κλιματική ζώνη

Στο διάγραμμα του ηλεκτρικού ισοζυγίου παρατηρούμε τα εξής:

α) Στην συνολικά παραγόμενη ηλεκτρική ποσότητα υπάρχει μια αύξηση από τη θερμότερη κλιματική ζώνη Α προς την ψυχρότερη D που οφείλεται στην αυξανόμενη θερμική απαίτηση στις αντίστοιχες κλιματικές ζώνες, η οποία οδηγεί στην ίδια συμπεριφορά για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια καθώς το σύστημα μ-Σ.Η.Θ. λειτουργεί με γνώμονα την κάλυψη του θερμικού φορτίου.

β) Στην κλιματική ζώνη Β, το βιοτικό επίπεδο είναι αυξημένο σε σύγκριση με τις άλλες, πράγμα που συνεπάγεται μεγαλύτερη ηλεκτρική κατανάλωση, η οποία αποτυπώνεται στην αυξημένη ποσότητα που αγοράζεται από το δίκτυο της Δ.Ε.Η.

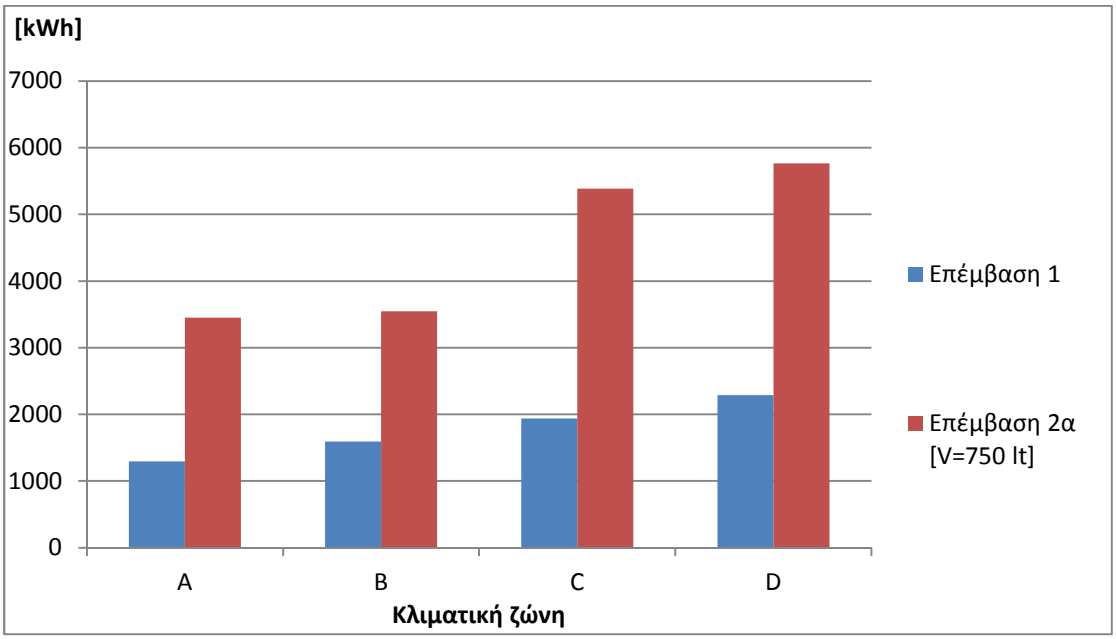
γ) Η μονάδα μ-Σ.Η.Θ. καλύπτει από 35% έως 50% του ετήσιου ηλεκτρικού φορτίου. Η μισή και παραπάνω ηλεκτροπαραγωγή αποτελεί πλεόνασμα, καθώς τη στιγμή που παράγεται, δεν υπάρχει αντίστοιχη απαίτηση.



Διάγραμμα 5.15. Ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο ανά κλιματική ζώνη

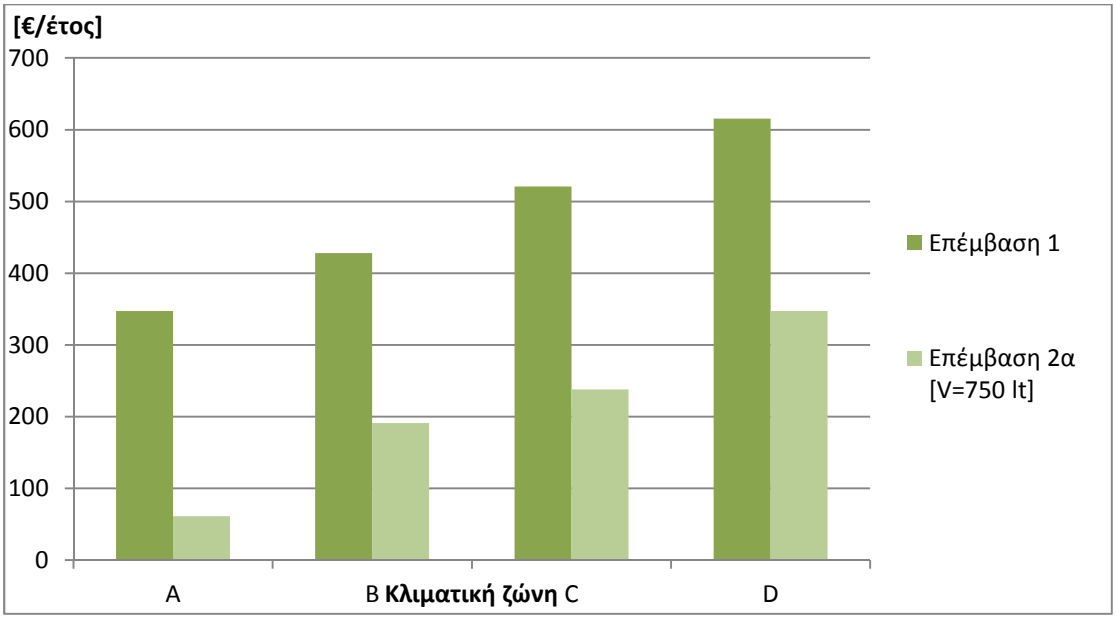
Στην εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας παρατηρείται η ίδια αυξητική τάση καθώς περνάμε από τις θερμότερες προς τις ψυχρότερες κλιματικές ζώνες, με την πρωτογενή ενέργεια που εξοικονομείται από το σύστημα θέρμανσης με τη μονάδα μικροσυμπαραγωγής να είναι σε όλες τις ζώνες τουλάχιστον διπλάσια σε σχέση με αυτό της επέμβασης 1, με το λέβητα φυσικού αερίου.

Η διαφορά υπέρ της μ-Σ.Η.Θ. αυξάνεται σε μεγαλύτερες θερμικές απαιτήσεις (ζώνη D), λόγω αυξημένων ωρών λειτουργίας, που συνεπάγονται μεγαλύτερη ηλεκτροπαραγωγή και αντίστοιχη εξοικονόμηση.



Διάγραμμα 5.16. Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ανά κλιματική ζώνη

Στην εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους παρατηρούμε την ίδια με τα ενεργειακά διαγράμματα αυξητική τάση όσο κατευθυνόμαστε προς ψυχρότερες κλιματικές ζώνες. Στην σύγκριση μεταξύ της εξοικονόμησης που επιτυγχάνεται με την επέμβαση 1 και 2^{α} υπάρχει μεγάλη διαφορά, με αυτήν της επέμβασης με το λέβητα φυσικού αερίου να υπερισχύει κατά πολύ και να εμφανίζεται μέχρι και τετραπλάσια στην κλιματική ζώνη Α λόγω της πώλησης στο δίκτυο μόνο του 20% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.



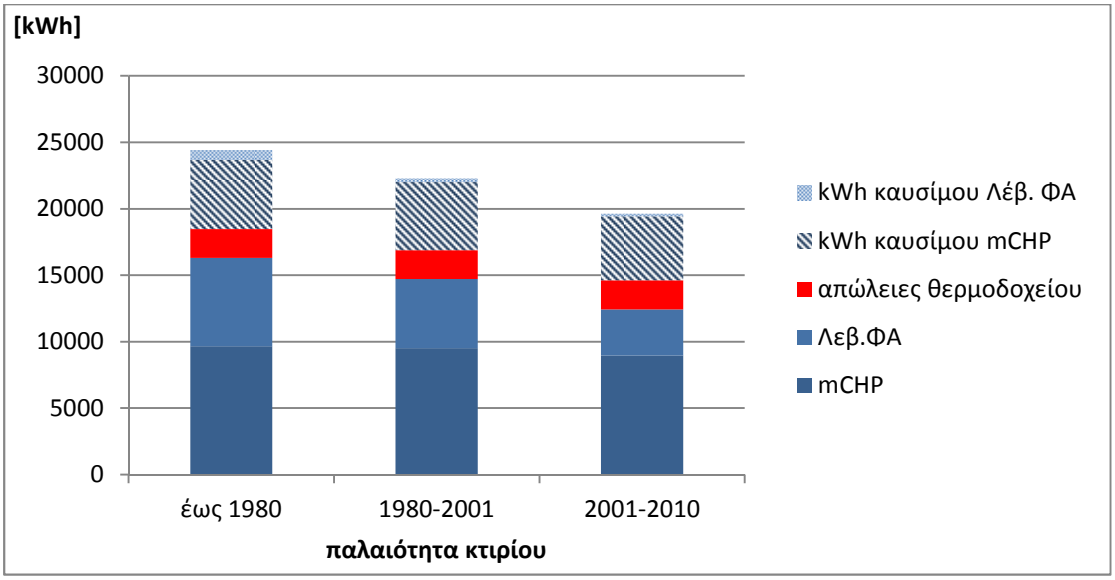
Διάγραμμα 5.17. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους ανά κλιματική ζώνη

Συμπερασματικά, αναφέρεται ότι, ενεργειακά και οικονομικά, οποιαδήποτε επέμβαση στο υπάρχον σύστημα θέρμανσης, είτε είναι λέβητας φυσικού αερίου είτε σύστημα μικροσυμπαραγωγής, είναι πιο συμφέρουσα στην ψυχρότερη κλιματική ζώνη D.

5.4.2. Παλαιότητα κτιρίου

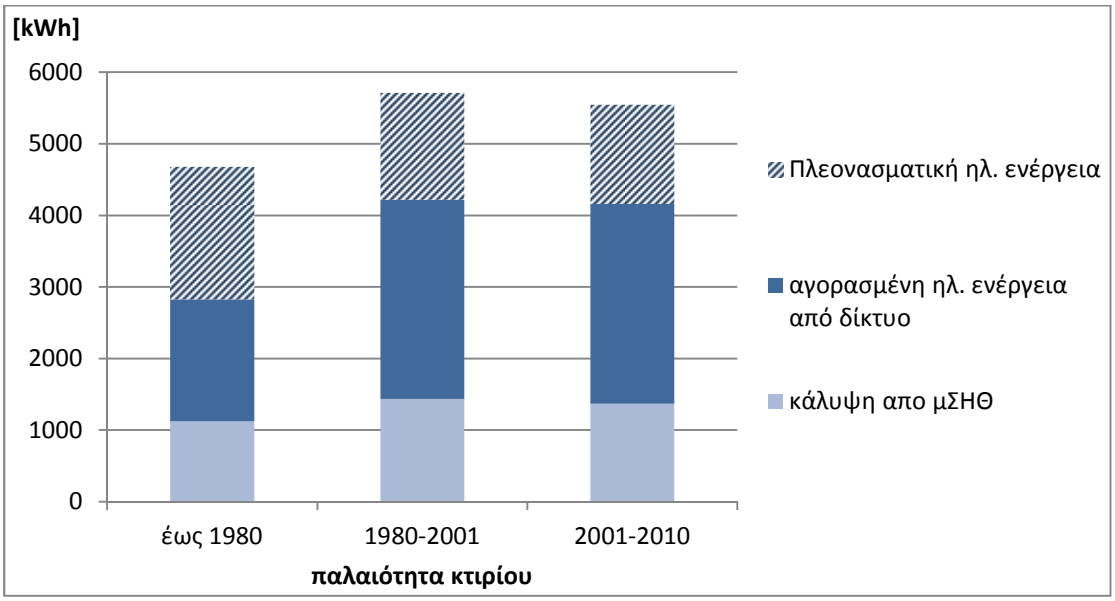
Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η διαφοροποίηση στα αποτελέσματα ανάλογα με την χρονολογία κατασκευής του εξεταζόμενου κτιρίου. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα σημεία της εργασίας, τα κτίρια χωρίζονται σε τρείς κατηγορίες. Αυτά που έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980, μεταξύ 1980 και 2001 και από το 2001 έως το 2010.

Στο διάγραμμα 5.18. του ετήσιου θερμικού ισοζυγίου φαίνεται ότι όσο παλαιότερης κατασκευής είναι το κτίριο, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμική κατανάλωση καθώς, μπορεί να υποτεθεί ότι οι παλαιότερες κατοικίες χαρακτηρίζονται από μειωμένης ποιότητας μόνωση. Επίσης παρατηρείται μικρή σχετικά αλλαγή στις ώρες λειτουργίας της μονάδας μ-Σ.Η.Θ., καθώς τις αιχμές αναλαμβάνει ο λέβητας Φ.Α.



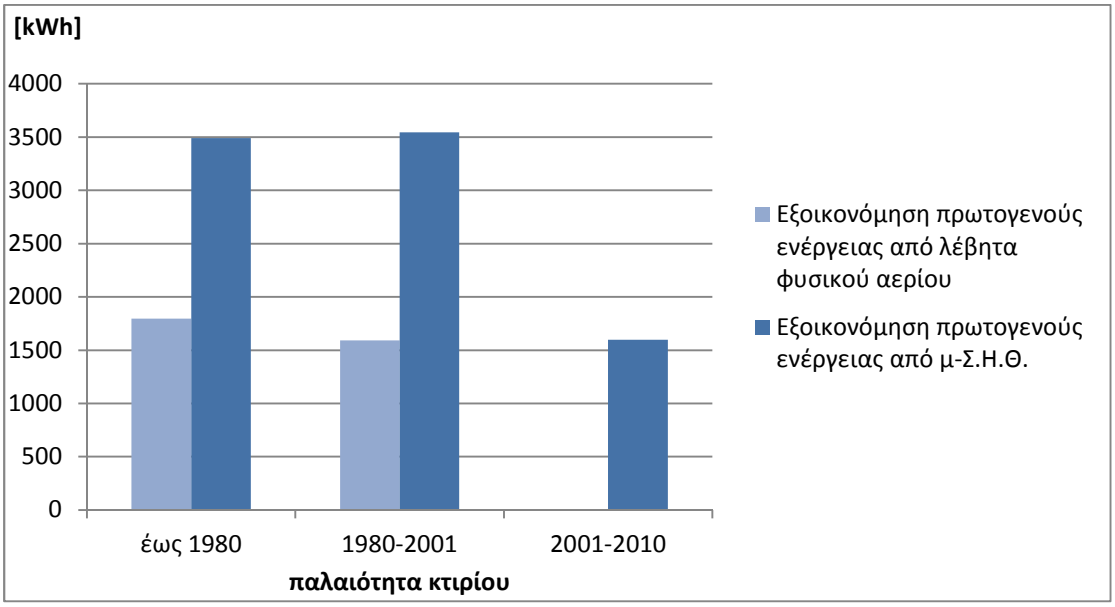
Διάγραμμα 5.18. Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο ανά παλαιότητα κτιρίου

Στο διάγραμμα 5.19. του ηλεκτρικού ισοζυγίου παρατηρείται μια αύξηση στην ηλεκτρική κατανάλωση από τις παλαιές κατοικίες που έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980 σε σχέση με τις υπόλοιπες δυο κατηγορίες πιο σύγχρονων κατοικιών. Ωστόσο, η ηλεκτρική ενέργεια που καλύπτεται από το σύστημα μικροσυμπαραγωγής δεν διαφέρει κατά πολύ μεταξύ των τριών κατηγοριών παλαιότητας των κατοικιών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.18. του θερμικού ισοζυγίου, η παραγωγή θερμότητας από το σύστημα μ-Σ.Η.Θ. και στις τρεις κατηγορίες είναι σχεδόν ίδια, οπότε και η ηλεκτροπαραγωγή, ενώ αυτό που αλλάζει είναι το φορτίο που καλύπτεται από το λέβητα αιχμών.



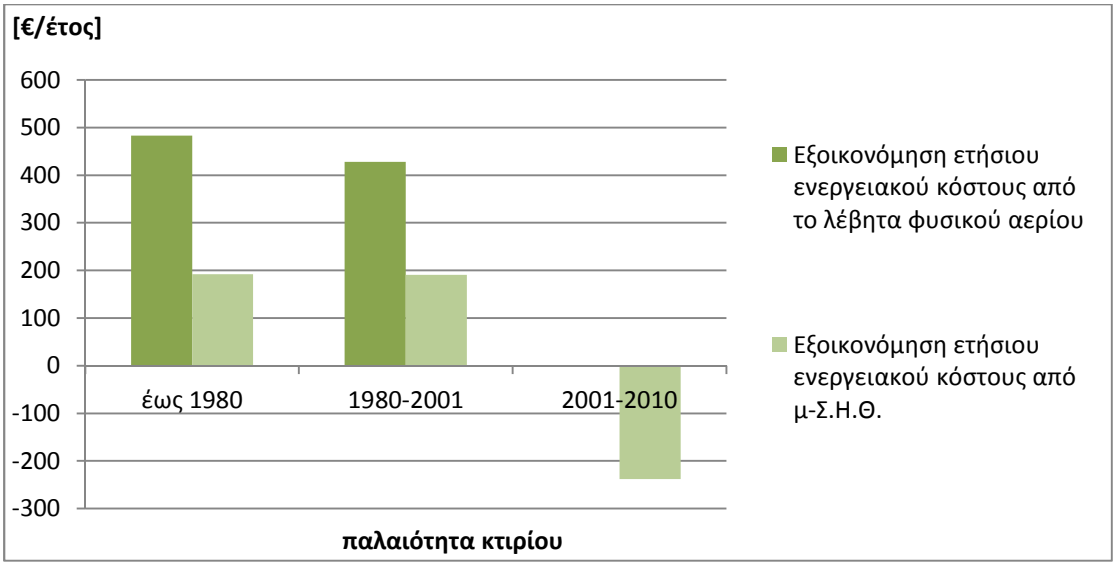
Διάγραμμα 5.19. Ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο ανά παλαιότητα κτιρίου

Στο διάγραμμα 5.20. της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας παρατηρείται ότι στις κατοικίες που είναι κατασκευασμένες πριν το 1980 έως και το 2001 η επέμβαση με μονάδα μικροσυμπαραγωγής εξασφαλίζει μεγάλη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας. Οι πιο σύγχρονες κατοικίες στις οποίες είναι εγκατεστημένος λέβητας φυσικού αερίου, η εξοικονόμηση εμφανίζεται μειωμένη ακριβώς επειδή η επέμβαση με μονάδα μικροσυμπαραγωγής συγκρίνεται με σύστημα θέρμανσης καλού βαθμού απόδοσης. Διευκρινίζεται ότι στην τρίτη κατηγορία παλαιότητας, φαίνεται να λείπει η στήλη της εξοικονόμησης από το λέβητα φυσικού αερίου γιατί αποτελεί το υπάρχον εγκατεστημένο σύστημα θέρμανσης και ουσιαστικά η τιμή είναι μηδενική.



Διάγραμμα 5.20. Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ανά παλαιότητα κτιρίου

Στο διάγραμμα 5.21. της εξοικονόμησης ετήσιου ενεργειακού κόστους παρατηρούμε για την επέμβαση 1, με λέβητα φυσικού αερίου για τις 2 παλαιότερης κατασκευής κατοικίες ότι εξασφαλίζουν παρόμοια εξοικονόμηση. Η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται από την εγκατάσταση λέβητα φυσικού αερίου είναι μεγαλύτερη από αυτήν με την επέμβαση με σύστημα μικροσυμπαραγωγής. Παρατηρούνται σχεδόν ίσες εξοικονομήσεις ετησίου ενεργειακού κόστους στις κατοικίες μεγάλης και μέσης παλαιότητας από τη λειτουργία της μονάδας μ-Σ.Η.Θ. Στην τρίτη κατηγορία παλαιότητας κτιρίων, τις πιο πρόσφατα κατασκευασμένες κατοικίες, η εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους είναι στα αρνητικά του οριζόντιου άξονα, ουσιαστικά δεν επιτυγχάνεται εξοικονόμηση αλλά κάθε έτος πρέπει να δαπανούνται 240 ευρώ παραπάνω από το λέβητα φυσικού αερίου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Επίσης δεν φαίνεται στήλη για την εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους από επέμβαση με λέβητα φυσικού αερίου γιατί εξ' αρχής αυτό είναι το εγκατεστημένο σύστημα θέρμανσης της κατοικίας.



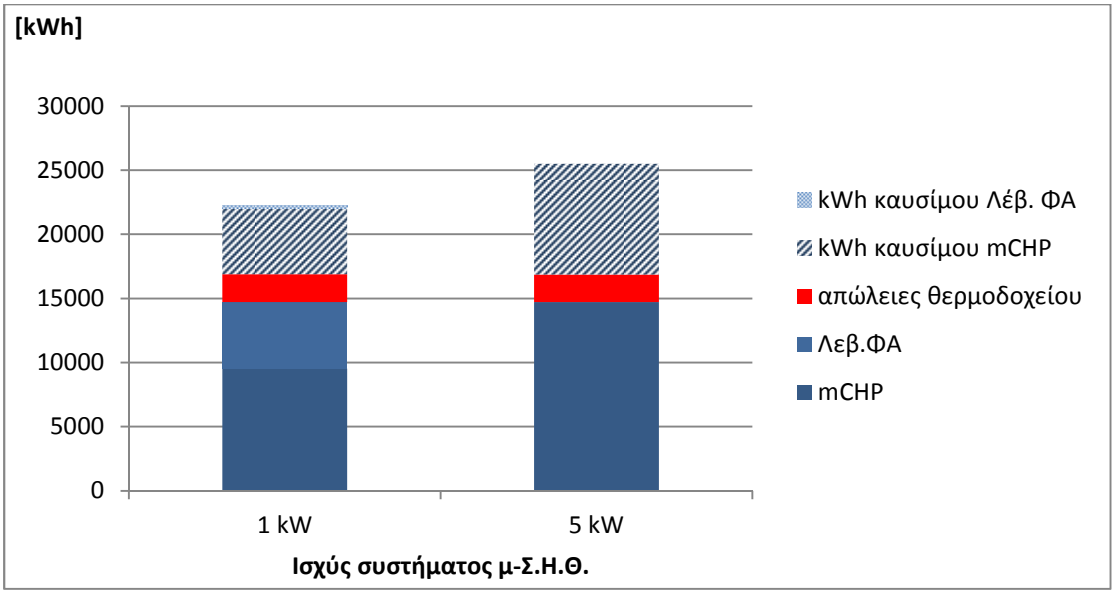
Διάγραμμα 5.21. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους ανά παλαιότητα κτιρίου

Τελικά, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προηγούμενα ενεργειακά και οικονομικά διαγράμματα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους από το σύστημα μ-Σ.Η.Θ. εξαρτάται λίγο από την παλαιότητα της κατοικίας (λόγω μικρής μεταβολής στις ετήσιες ώρες λειτουργίας) και είναι πιθανότερο να μειώσει το ενεργειακό κόστος όταν συγκρίνεται με λέβητες πετρελαίου μικρότερης απόδοσης από αντίστοιχους με φυσικό αέριο.

5.4.3. Ισχύς επιλεγμένου συστήματος μ-Σ.Η.Θ.

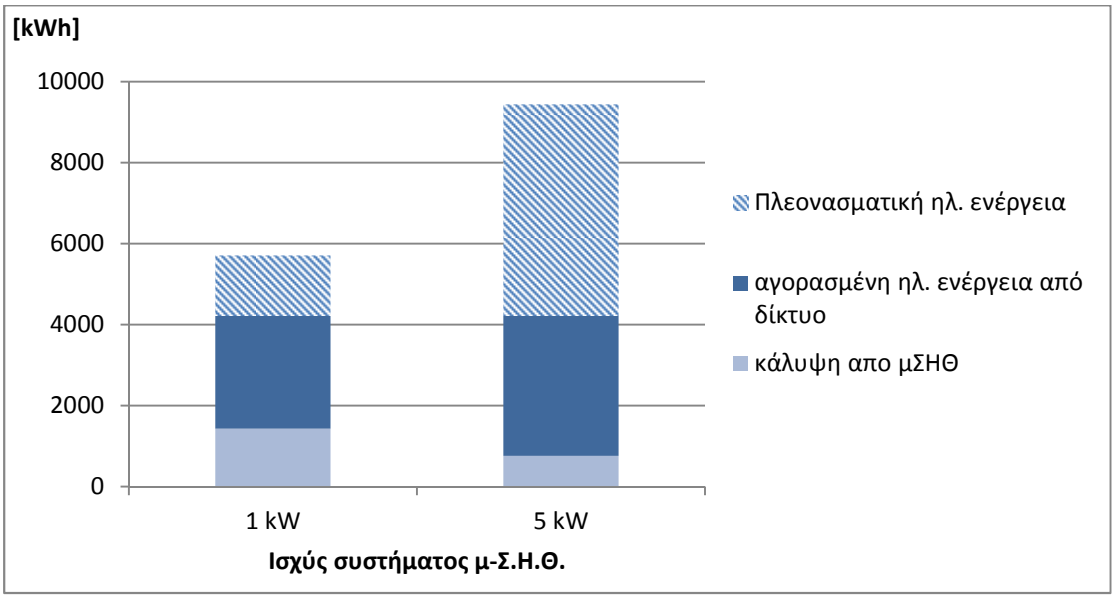
Σε αυτό το σημείο θα εξεταστεί η διαφοροποίηση στα αποτελέσματα ανάλογα με την επιλογή, οσαναφορά την ισχύ, του συστήματος μικροσυμπαραγωγής προς εγκατάσταση. Όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 4, οι δυο μονάδες που επιλέχθηκαν είναι η Honda Ecowill ηλεκτρικής ισχύος 1 kW και η Dachs HKA G5.0 ηλεκτρικής ισχύος 5 kW.

Η μεγαλύτερης εγκατεστημένης ισχύος μηχανή μικροσυμπαραγωγής παρατηρούμε ότι έχει μεγαλύτερες απώλειες καυσίμου λόγω του χαμηλού θερμικού βαθμού απόδοσης. Στο σύστημα με την μονάδα μ-Σ.Η.Θ. Honda Ecowill 1.0, ο λέβητας φυσικού αερίου αιχμής παράγει το 1/3 της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας και καθώς έχει πολύ μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από τον θερμικό βαθμό απόδοσης των μηχανών μικροσυμπαραγωγής, οι απώλειες καυσίμου είναι μικρότερες.



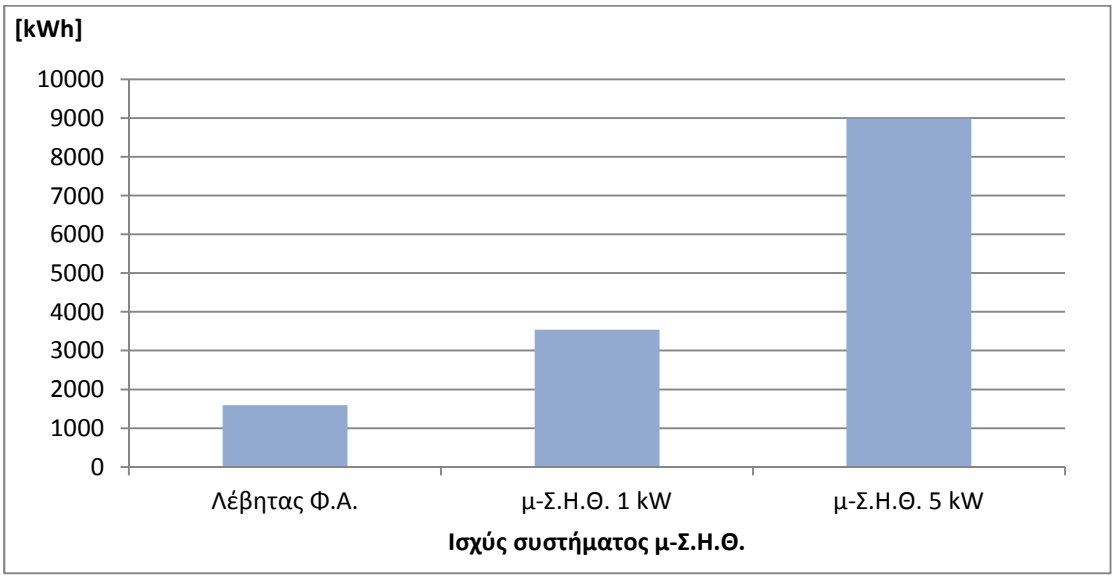
Διάγραμμα 5.22. Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο ανά ισχύ εγκατεστημένου συστήματος μικροσυμπαραγωγής

Το σύστημα με τη μονάδα Dachs HKA G5.0 παράγει πολύ περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από αυτό με την Honda Ecowill και το μεγαλύτερο τμήμα αυτής είναι πλεονασματική. Αυτό συμβαίνει γιατί η ωριαία ηλεκτρική απαίτηση της κατοικίας είναι μικρότερη των 5 kWh που παράγονται κατά την συγκεκριμένη ώρα, σε σημείο ακόμα και η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για κάλυψη φορτίων της κατοικίας να είναι μικρότερη από αυτήν της επέμβασης 2^{α}, με εγκατάσταση της μονάδας Honda Ecowill. Στο παραπάνω συνεισφέρει και το γεγονός ότι οι ώρες λειτουργίας της μεγάλης μονάδας μ-Σ.Η.Θ. είναι λιγότερες (λόγω μεγαλύτερης θερμικής ισχύος).



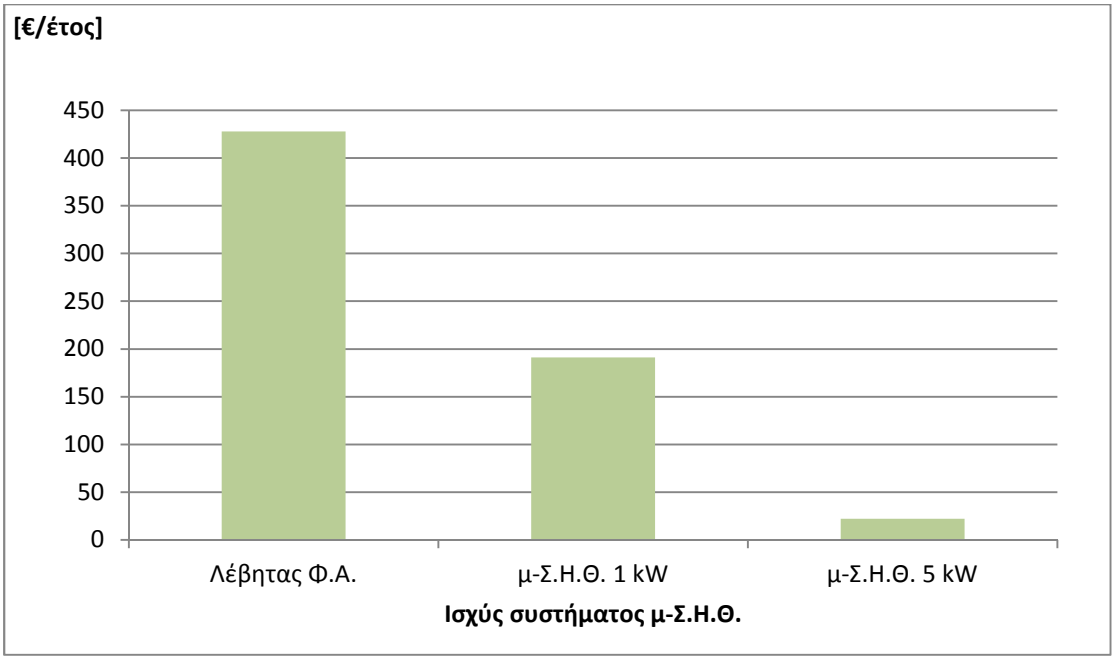
Διάγραμμα 5.23. Ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο ανά ισχύ εγκατεστημένου συστήματος μικροσυμπαραγωγής

Όσον αφορά την πρωτογενή ενέργεια, με την επέμβαση 1 όπου εγκαθίσταται λέβητας φυσικού αερίου επιτυγχάνεται εξοικονόμηση σχεδόν 1600 kWh, με την εγκατάσταση της μονάδας μικροσυμπαραγωγής ισχύος 1 kW, 3500 kWh και με την επέμβαση με την μεγαλύτερης εγκατεστημένης ισχύος μονάδα μ-Σ.Η.Θ. εξοικονομούνται 9000 kWh.



Διάγραμμα 5.24. Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ανά ισχύ εγκατεστημένου συστήματος μικροσυμπαραγωγής

Αντίθετη εικόνα παρουσιάζει η εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους ανά εγκατεστημένο σύστημα. Με την εγκατάσταση λέβητα φυσικού αερίου εξοικονομούνται 430 ευρώ κάθε έτος λειτουργίας, με την επέμβαση 2^{α} με την εγκατάσταση της μονάδας μικροσυμπαραγωγής της Honda εξοικονομούνται 190 ευρώ, ενώ με την επέμβαση 2^{β}, με τη μηχανή Dachs HKA G5.0, εξοικονομούνται μόλις 22 ευρώ ανά έτος. Η χαμηλή εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με την μεγαλύτερης ισχύος μηχανή μικροσυμπαραγωγής οφείλεται στον χαμηλό θερμικό βαθμό απόδοσής της και την μη εκμετάλλευση μεγάλου μέρους της πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται.



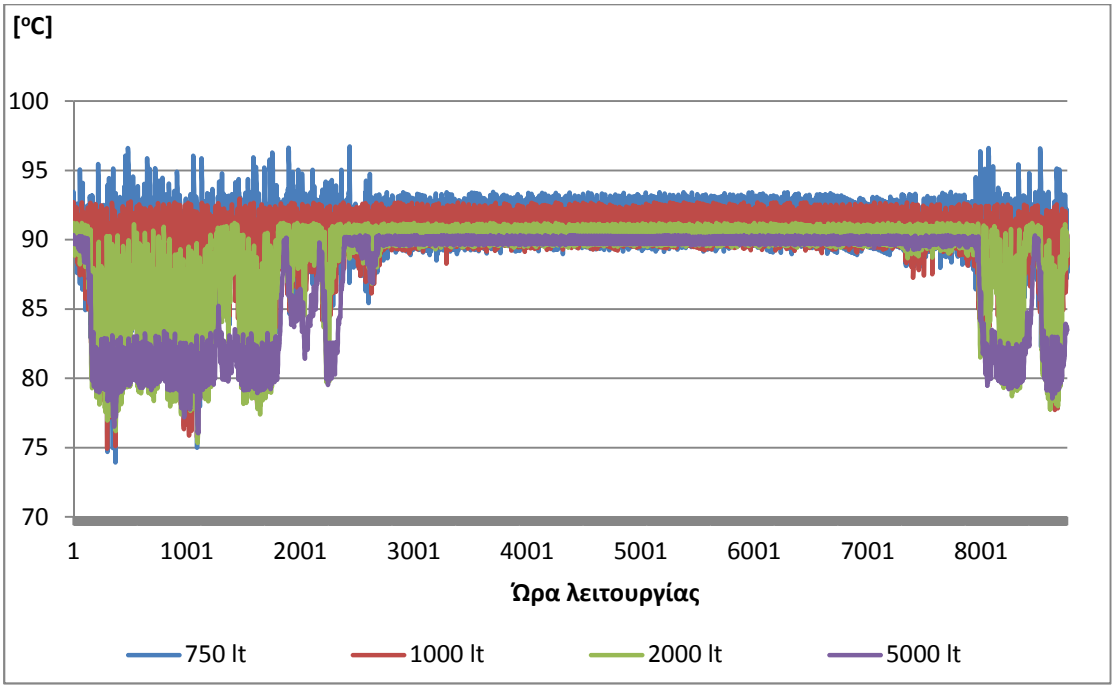
Διάγραμμα 5.25. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους ανά ισχύ εγκατεστημένου συστήματος μικροσυμπαραγωγής

Συμπερασματικά αναφέρεται ότι η επέμβαση 2^{β} με τη μεγαλύτερης ισχύος εγκατεστημένη μονάδα μικροσυμπαραγωγής, με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο που περιορίζει την ποσότητα της αγοραζόμενης από το δίκτυο πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας στο 20% της συνολικά παραγόμενης, αποδίδει ελάχιστη ετήσια εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους.

5.4.4. Χωρητικότητα θερμοδοχείου

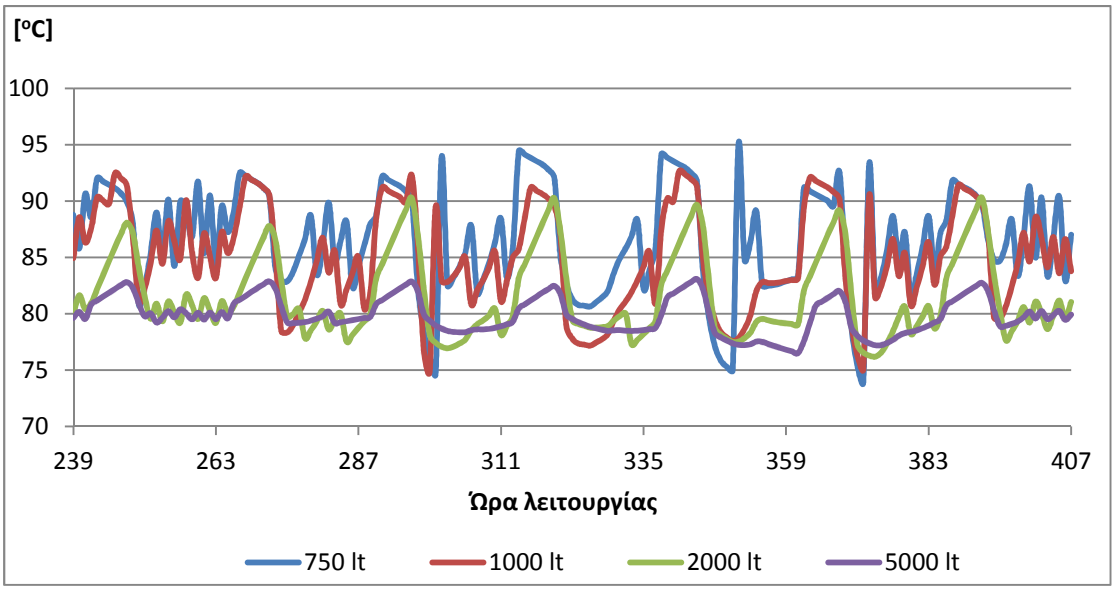
Στη συνέχεια θα εξεταστεί η επίδραση της επιλογής διαφόρων χωρητικοτήτων θερμοδοχείων. Τα θερμοδοχεία που έχουν επιλεγεί, έχουν παρουσιαστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και είναι χωρητικότητας 750, 1000, 2000 και 5000 λίτρων.

Στο διάγραμμα 5.26. φαίνεται με διαφορετικούς χρωματισμούς η διακύμανση σε ένα έτος λειτουργίας της θερμοκρασίας του νερού εντός του εξεταζόμενου θερμοδοχείου. Παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη η χωρητικότητα του θερμοδοχείου και αντίστοιχα η ποσότητα του νερού εντός αυτού, η θερμοκρασία παραμένει εντός στενότερων ορίων λόγω της μεγαλύτερης θερμικής αδράνειας.



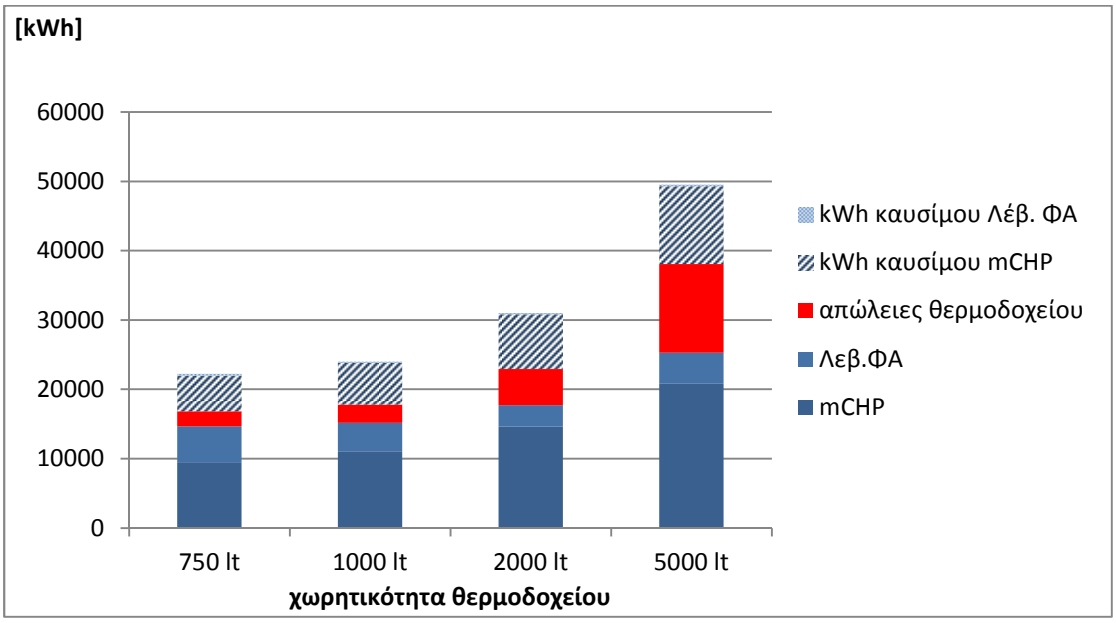
Διάγραμμα 5.26. Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας νερού εντός θερμοδοχείου για διαφορετικές χωρητικότητες θερμοδοχείων

Ακολουθεί στο διάγραμμα 5.27. η διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού θερμοδοχείου για μια εβδομάδα του Ιανουαρίου για τα τέσσερα διαφορετικά θερμοδοχεία που εξετάζονται.



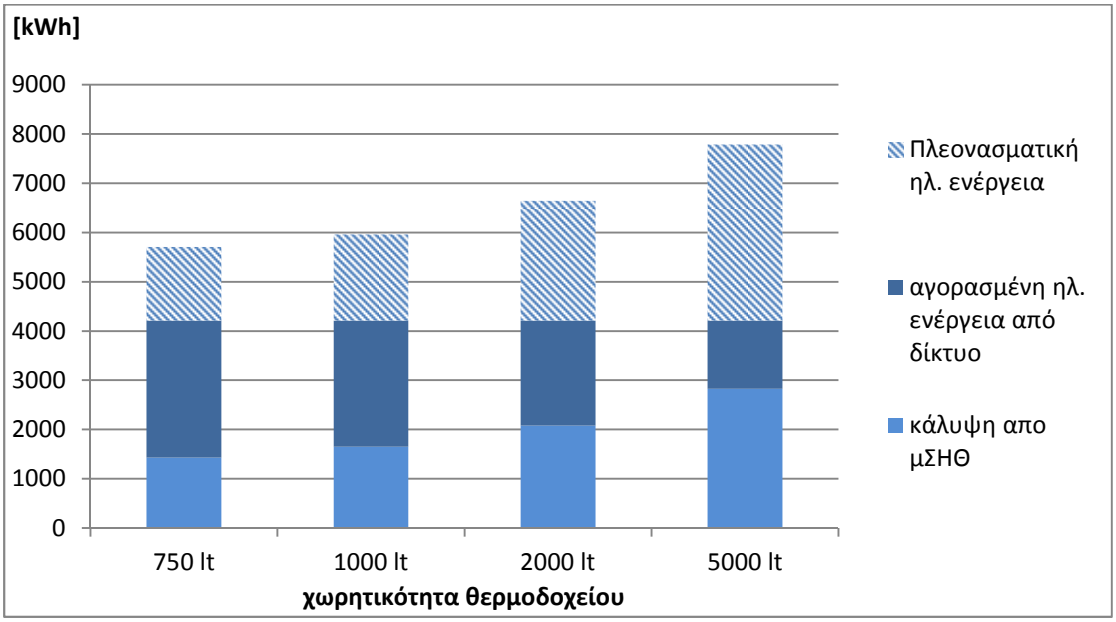
Διάγραμμα 5.27. Διακύμανση της θερμοκρασίας νερού εντός θερμοδοχείου για διαφορετικές χωρητικότητες θερμοδοχείων για μια εβδομάδα του Ιανουαρίου

Στο θερμικό ισοζύγιο του διαγράμματος 5.28. αποτυπώνεται μια αυξητική τάση στην παραγόμενη θερμική ενέργεια αυξανόμενης της χωρητικότητας του. Αυτό συμβαίνει καθώς όσο αυξάνεται η ποσότητα του νερού που θερμαίνεται αφού αυξάνεται η χωρητικότητα του εκάστοτε θερμοδοχείου, καταναλώνεται όλο και μικρότερο ποσοστό της θερμότητας που έχει παραχθεί και αυξάνονται αισθητά οι απώλειες θερμοδοχείου.



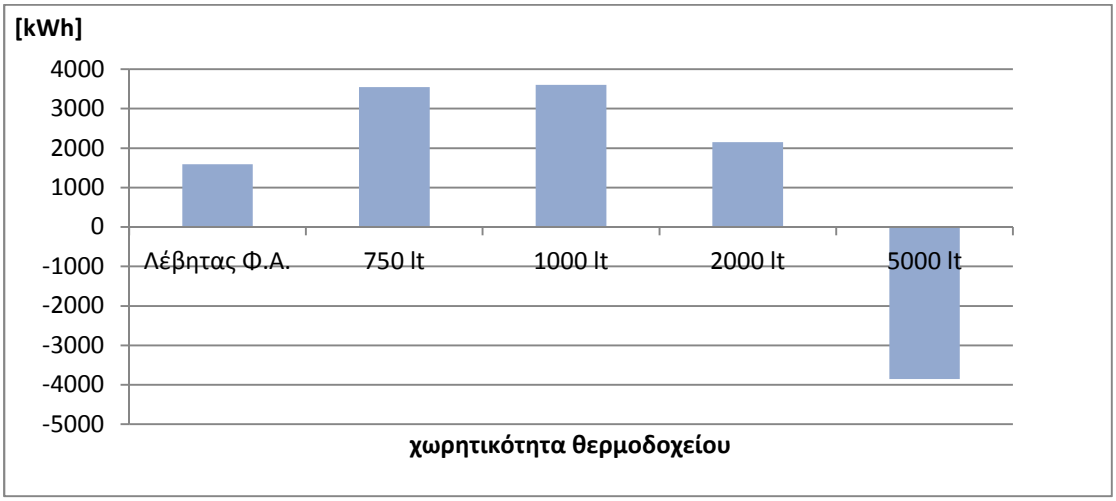
Διάγραμμα 5.28. Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο ανά χωρητικότητα θερμοδοχείου

Η ίδια συμπεριφορά, όσο μεγαλώνει η χωρητικότητα του θερμοδοχείου, παρατηρείται και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς το σύστημα μικροσυμπαραγωγής έχει επιλεγεί να λειτουργεί με το σενάριο κάλυψης των θερμικών αναγκών.



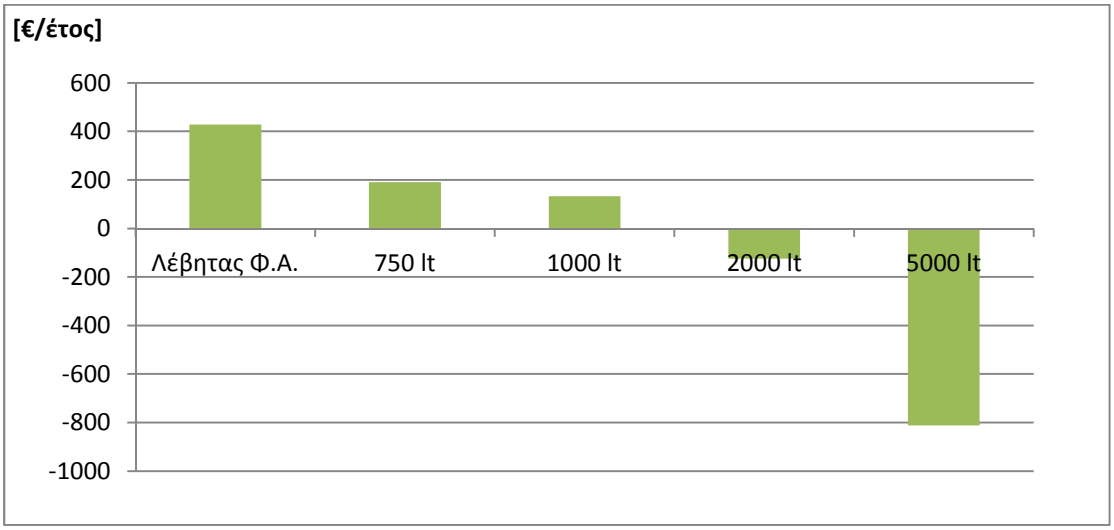
Διάγραμμα 5.29. Ηλεκτρικό ισοζύγιο ανά χωρητικότητα θερμοδοχείου

Η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας που επιτυγχάνεται, με τα συστήματα θέρμανσης με μονάδα συμπαραγωγής και θερμοδοχεία 750, 1000 και 2000 λίτρων είναι μεγαλύτερη από την επέμβαση με λέβητα φυσικού αερίου, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.30. Αντίθετα, η εγκατάσταση συστήματος με θερμοδοχείο 5 m^3, δεν επιτυγχάνει εξοικονόμηση αλλά καταναλώνει περισσότερη πρωτογενή ενέργεια από το ήδη εγκατεστημένο σύστημα καθιστώντας το ενεργειακά μη βιώσιμο.



Διάγραμμα 5.30. Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ανά χωρητικότητα θερμοδοχείου

Στο διάγραμμα 5.31. αποτυπώνεται η εξοικονόμηση του ετήσιου ενεργειακού κόστους σε ευρώ ανά έτος που επιτυγχάνεται για τις διάφορες χωρητικότητες θερμοδοχείου. Η εγκατάσταση των θερμοδοχείων χωρητικότητας 2 και 5 m^3 είναι οικονομικά ασύμφορη, όπως γίνεται φανερό στο διάγραμμα, αφού για να λειτουργεί το σύστημα εντός των ορίων θερμοκρασίας που τέθηκαν, πρέπει να δαπανούνται σε ετήσια βάση 120 και 800 ευρώ αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.31. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους ανά χωρητικότητα θερμοδοχείου

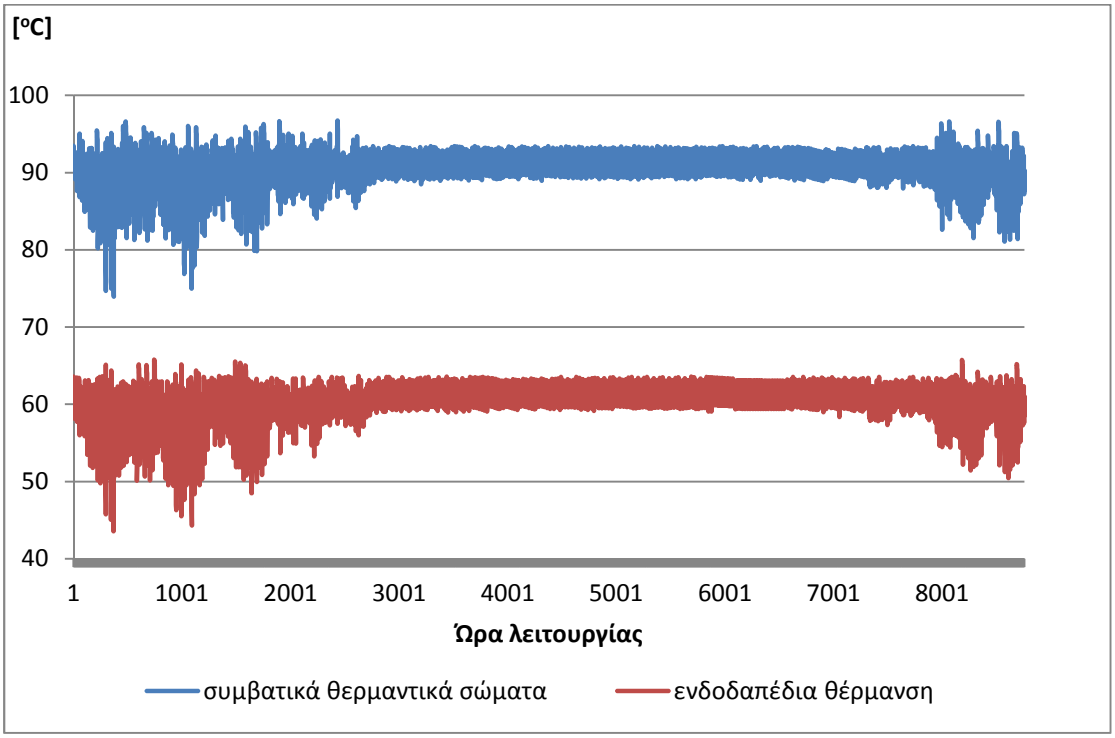
Συμπερασματικά, απορρίπτονται για ενεργειακούς και οικονομικούς λόγους οι εξετασθείσες περιπτώσεις εγκατάστασης των δυο μεγάλης χωρητικότητας θερμοδοχείων.

5.4.5. Τρόπος διανομής θέρμανσης

Σε αυτό το τμήμα της παραμετρικής ανάλυσης θα εξετασθεί η επίδραση του τρόπου διάθεσης στους χώρους της κατοικίας, της παραγόμενης θερμότητας. Συγκεκριμένα θα εξετασθούν τα συμβατικά θερμαντικά σώματα και η ενδοδαπέδια θέρμανση.

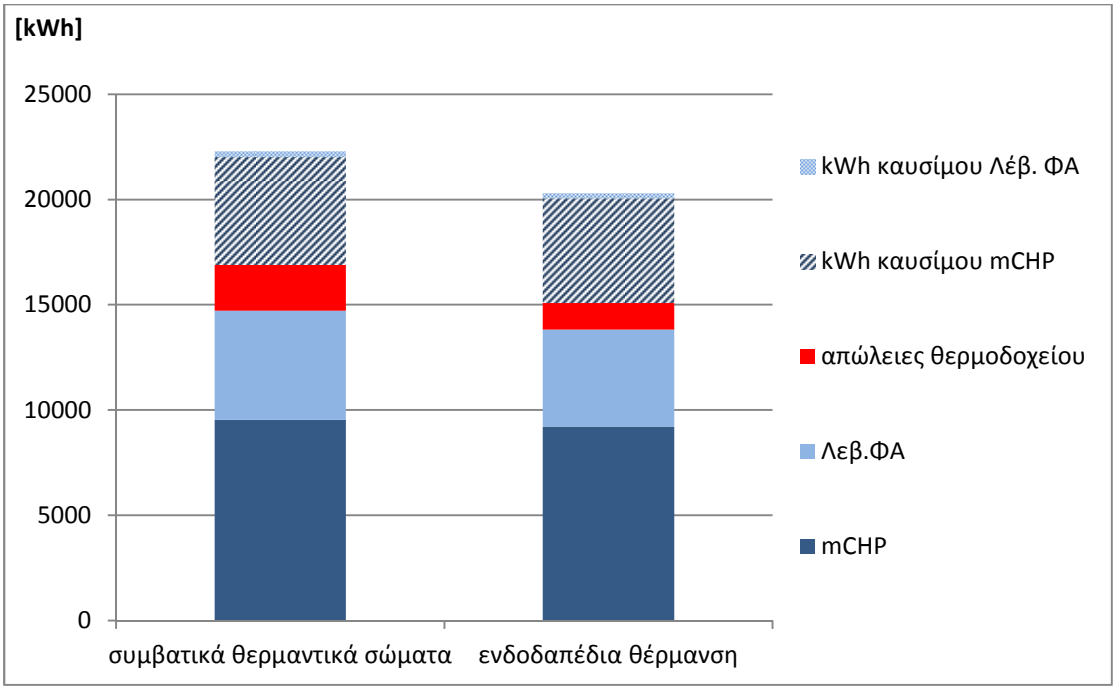
Στο διάγραμμα της διακύμανσης της θερμοκρασίας του νερού θερμοδοχείου που ακολουθεί η καμπύλη με το κόκκινο χρώμα είναι αυτή για την επιλογή της ενδοδαπέδιας διανομής της θερμότητας, ενώ με το μπλε χρώμα, αυτή για τα συμβατικά θερμαντικά σώματα. Τα όρια εντός των οποίων κυμαίνονται οι θερμοκρασίες για κάθε επιλογή έχουν τεθεί από τις προδιαγραφές ομαλής λειτουργίας των δυο εξεταζομένων συστημάτων διανομής θερμότητας και είναι:

- Συμβατικά θερμαντικά σώματα : $70^{o}C – 100^{o}C$
- Ενδοδαπέδια θέρμανση : $40^{o}C – 70^{o}C$



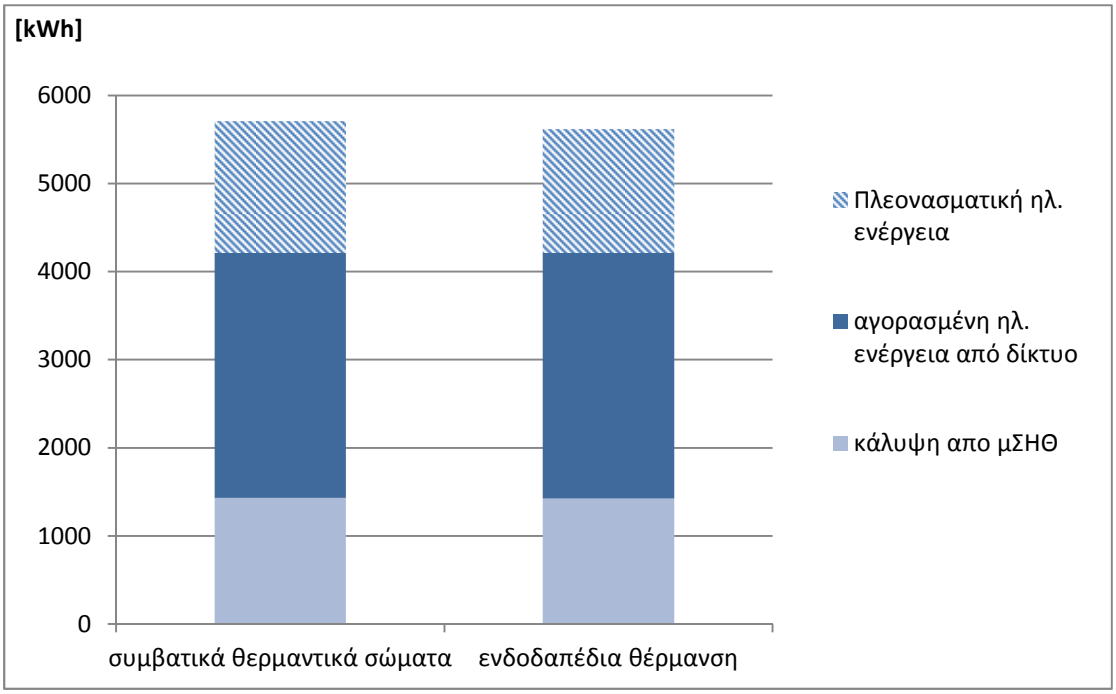
Διάγραμμα 5.32. Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας νερού εντός θερμοδοχείου για διαφορετικούς τρόπους διάθεσης της θερμότητας στο κτίριο

Στο θερμικό ισοζύγιο φαίνεται ότι με την ενδοδαπέδια διανομή της θερμότητας υπάρχει μειωμένη παραγωγή θερμικής ενέργειας λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών λειτουργίας του συστήματος που συνεπάγεται λιγότερες ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης και μικρότερες απώλειες.



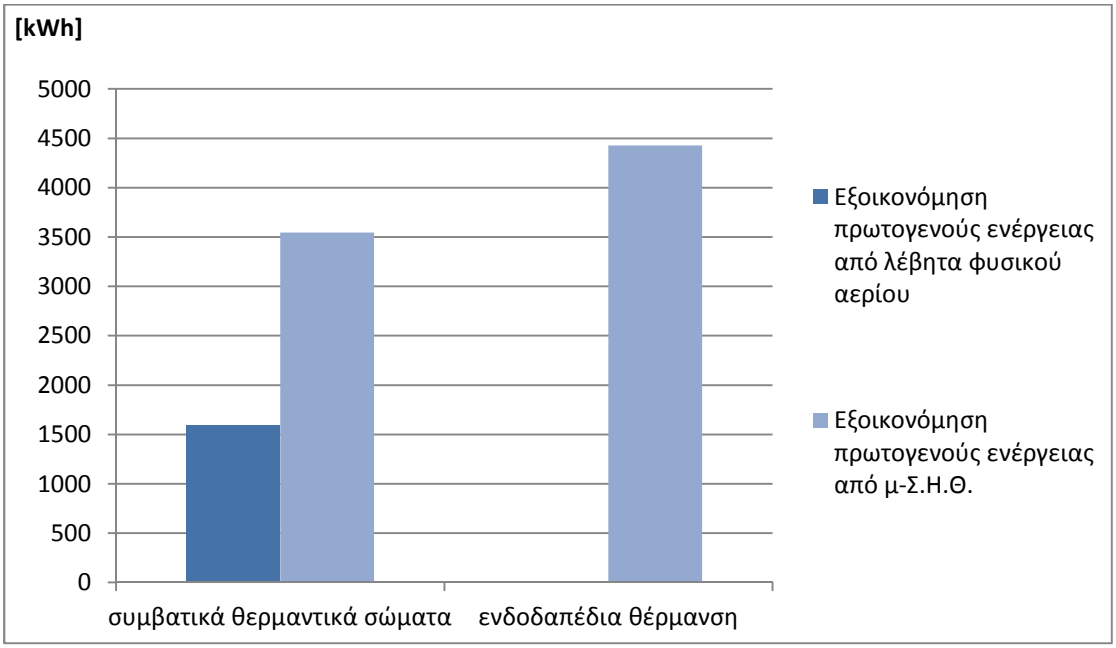
Διάγραμμα 5.33. Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο ανά τρόπο διάθεσης της θερμότητας

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για τα δυο διαφορετικά συστήματα είναι παρόμοια. Αυτό συμβαίνει γιατί, όπως φαίνεται και στο προηγούμενο διάγραμμα της θερμικής παραγωγής, η θερμότητα που παράγεται από το σύστημα μικροσυμπαραγωγής είναι σχεδόν ίδια για τις δύο περιπτώσεις διανομής της θερμότητας και η όποια διαφοροποίηση στην τελική θερμική παραγωγή γίνεται από το λέβητα αιχμής.



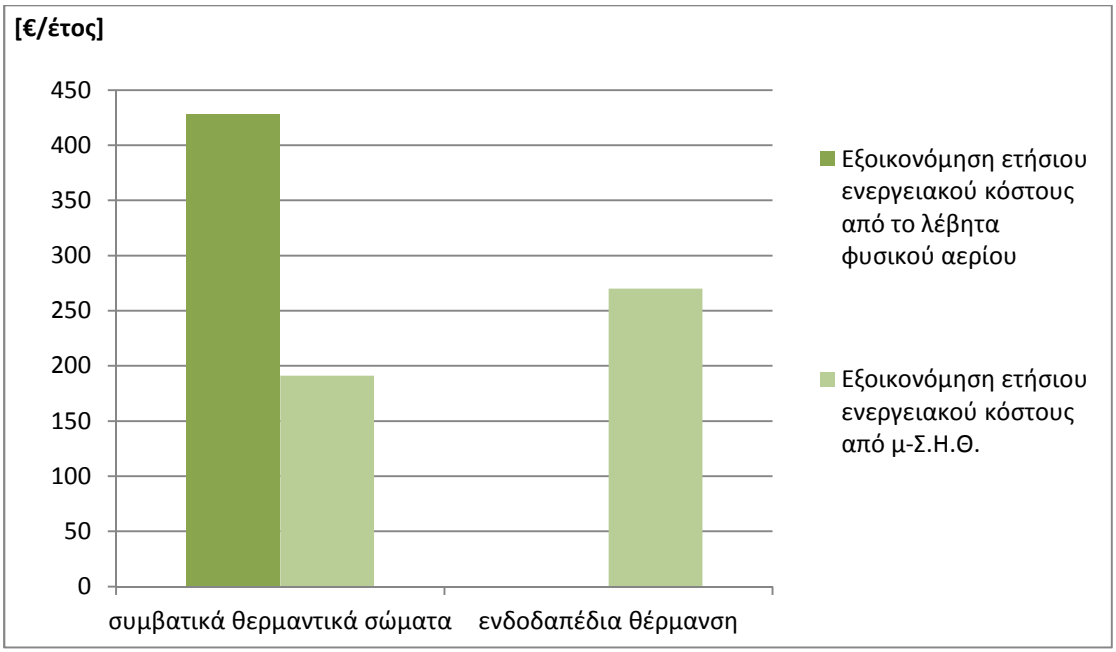
Διάγραμμα 5.34. Ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο ανά τρόπο διάθεσης της θερμότητας

Στο διάγραμμα 5.35. φαίνεται διαφορά στην εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, με την εφαρμογή ενδοδαπέδιας θέρμανσης να εξοικονομεί περίπου 1000 kWh περισσότερης πρωτογενούς ενέργειας.



Διάγραμμα 5.35. Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ανά τρόπο διάθεσης της θερμότητας

Η επιλογή της ενδοδαπέδιας θέρμανσης εξοικονομεί επίσης περισσότερο ετήσιο ενεργειακό κόστος σε σχέση με τα συμβατικά θερμαντικά σώματα σε ποσοστό 40% όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 5.36.



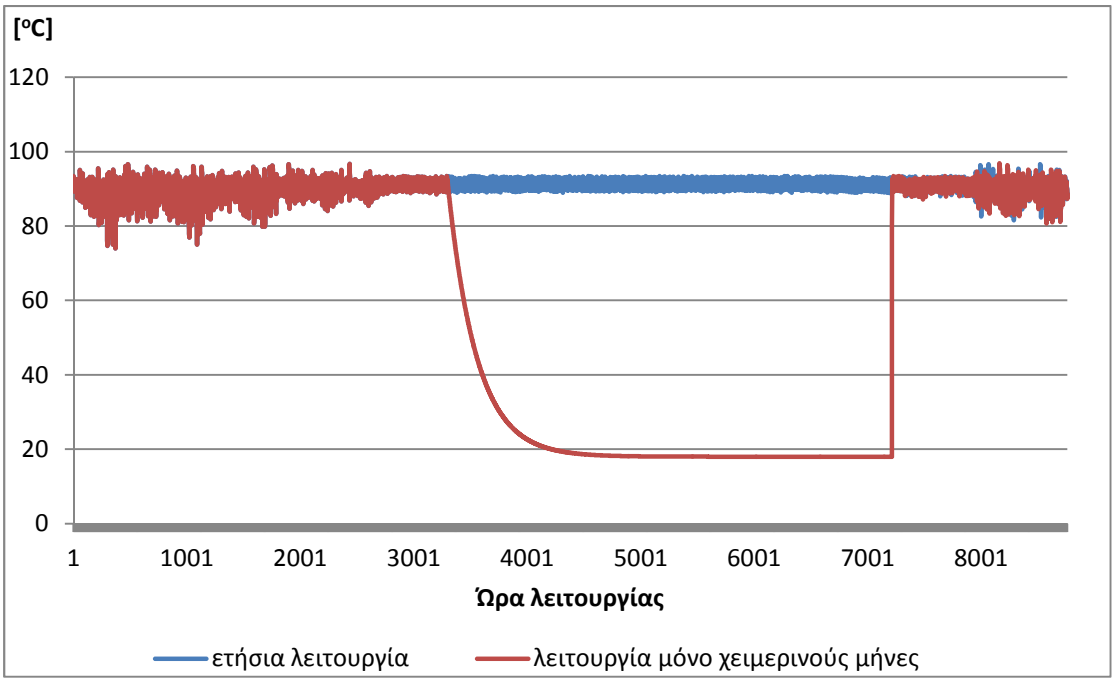
Διάγραμμα 5.36. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους για τους δυο διαφορετικούς τρόπους διάθεσης της θερμότητας

Σαν συμπέρασμα, η επιλογή της ενδοδαπέδιας θέρμανσης είναι ενεργειακά πιο συμφέρουσα από αυτή των συμβατικών θερμαντικών σωμάτων. Από οικονομοτεχνικής άποψης, παρατηρούμε ότι με την επένδυση σε ενδοδαπέδια διανομή της θερμότητας επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους. Πρέπει ωστόσο να ληφθεί υπόψη και το κόστος της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, προκειμένου να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα για την απόσβεση της αντίστοιχης επένδυσης (βλ. Παράγραφο 5.5).

5.4.6. Περίοδος λειτουργίας συστήματος

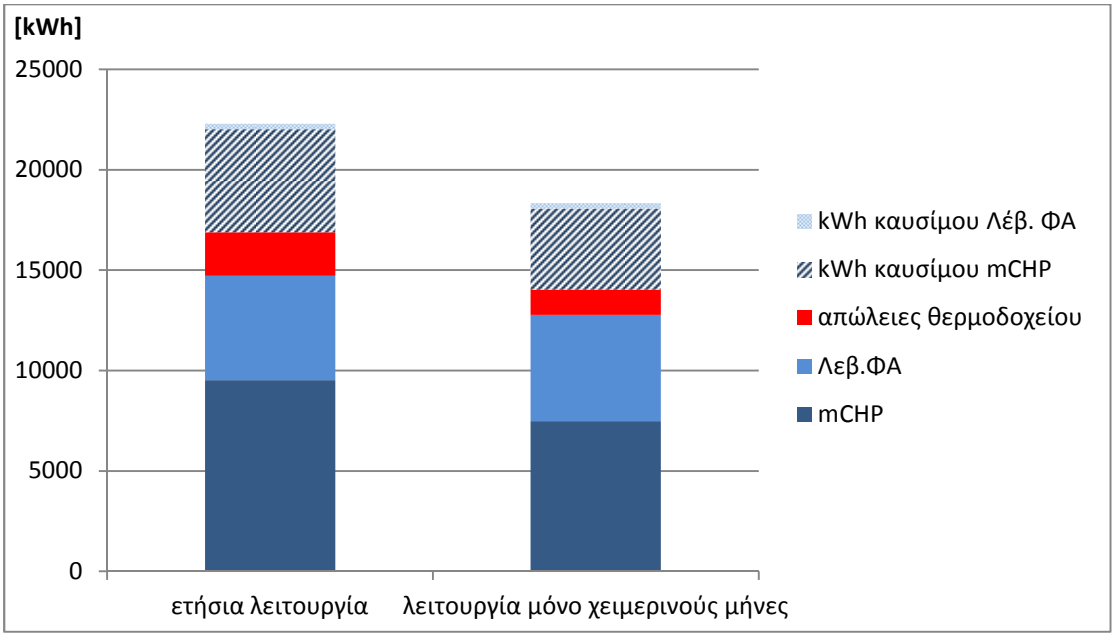
Σε αυτό το τμήμα θα εξετασθεί η επίδραση στα αποτελέσματα της υπόθεσης να σταματά η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης τους καλοκαιρινούς μήνες και να εξυπηρετούνται τα φορτία για τη θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης από ηλιακούς συλλέκτες, οι οποίοι υποτίθεται ότι είναι ήδη εγκατεστημένοι (δεν εξετάζεται η εγκατάσταση τους).

Στο διάγραμμα 5.37. φαίνεται η διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού εντός του θερμοδοχείου. Παρατηρούμε ότι στην επιλογή να σταματά η λειτουργία του συστήματος μικροσυμπαραγωγής κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η θερμοκρασία του νερού μειώνεται και μένει σταθερή στη θερμοκρασία του υπογείου στο οποίο βρίσκεται το θερμοδοχείο, στους 18°C.



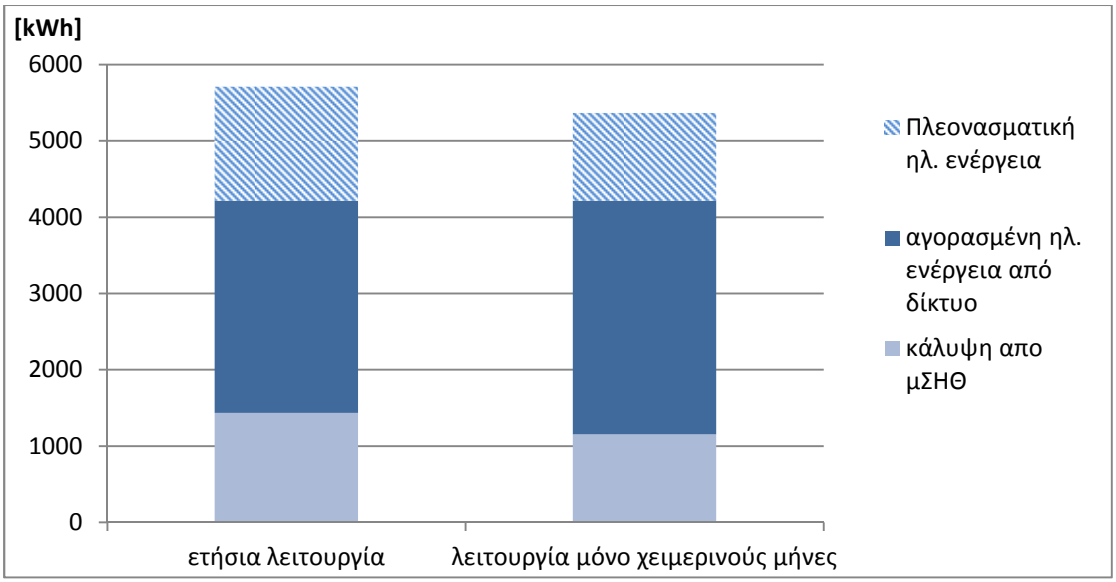
Διάγραμμα 5.37. Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας νερού εντός θερμοδοχείου για ετήσια και διακοπτόμενη λειτουργία

Στο διάγραμμα 5.38. παρατηρείται μείωση κατά 15% της παραγωγής θερμικής ενέργειας όταν σταματά η λειτουργία του συστήματος μικροσυμπαραγωγής τους καλοκαιρινούς μήνες.



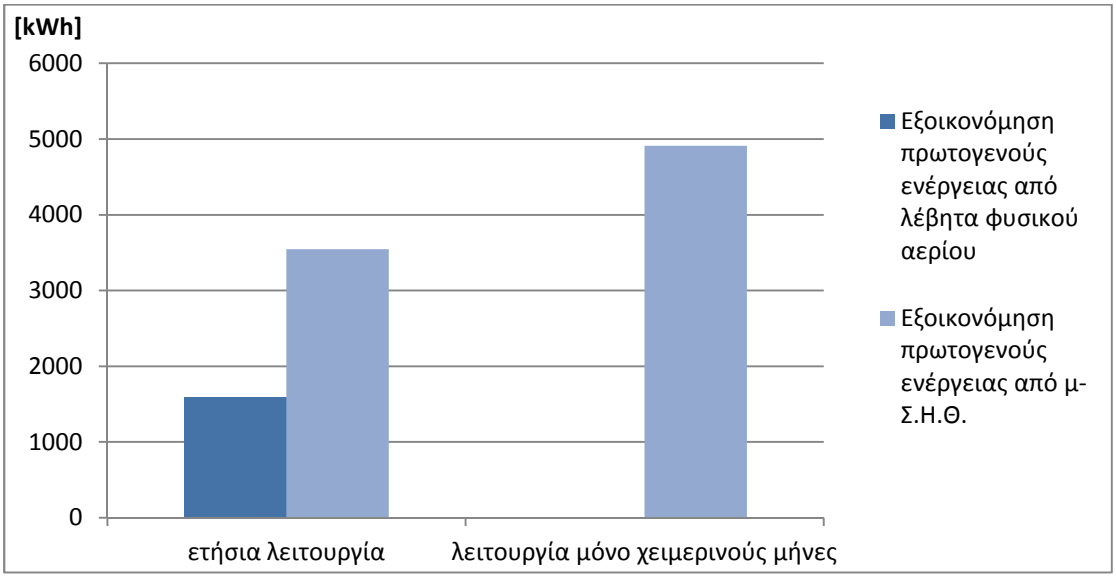
Διάγραμμα 5.38. Θερμικό ισοζύγιο για ετήσια και διακοπτόμενη λειτουργία

Εάν επιλεγεί η λειτουργία μόνο τους χειμερινούς μήνες, η πλεονασματική ηλεκτρική ενέργεια μειώνεται, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 5.39. Όπως είναι αναμενόμενο, η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας δεν μεταβάλλεται, παραμένει και στις δυο περιπτώσεις ίση με 4216 kWh, αλλά η ποσότητα που αγοράζεται από το δίκτυο είναι μεγαλύτερη λόγω μειωμένων ωρών λειτουργίας.



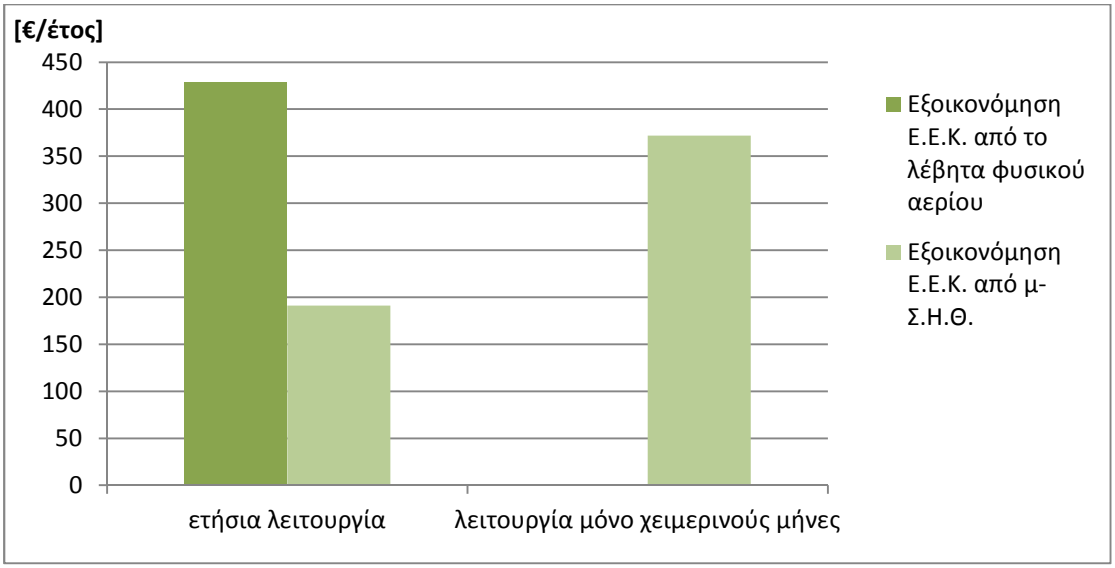
Διάγραμμα 5.39. Ηλεκτρικό ισοζύγιο για ετήσια και διακοπτόμενη λειτουργία

Η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας που επιτυγχάνεται διακόπτοντας τη λειτουργία του συστήματος μικροσυμπαραγωγής τους καλοκαιρινούς μήνες, σε σύγκριση με την ετήσια λειτουργία αυτού, είναι σημαντικά αυξημένη, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.40.



Διάγραμμα 5.40. Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας για ετήσια και διακοπτόμενη λειτουργία

Η εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους που επιτυγχάνεται με τη διακοπή της λειτουργίας του συστήματος της μικροσυμπαραγωγής τους καλοκαιρινούς μήνες είναι και αυτή αισθητά αυξημένη σε σχέση με αυτή της συνεχούς λειτουργίας.



Διάγραμμα 5.41. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους για ετήσια και διακοπτόμενη λειτουργία

Συμπερασματικά αναφέρεται ότι η διακοπή της λειτουργίας του συστήματος της συμπαραγωγής τους καλοκαιρινούς μήνες είναι από κάθε άποψη συμφέρουσα, αρκεί να είναι εγκατεστημένοι στο κτίριο ηλιακοί συλλέκτες για τη θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης.

5.5. Αποτελέσματα βέλτιστου σεναρίου

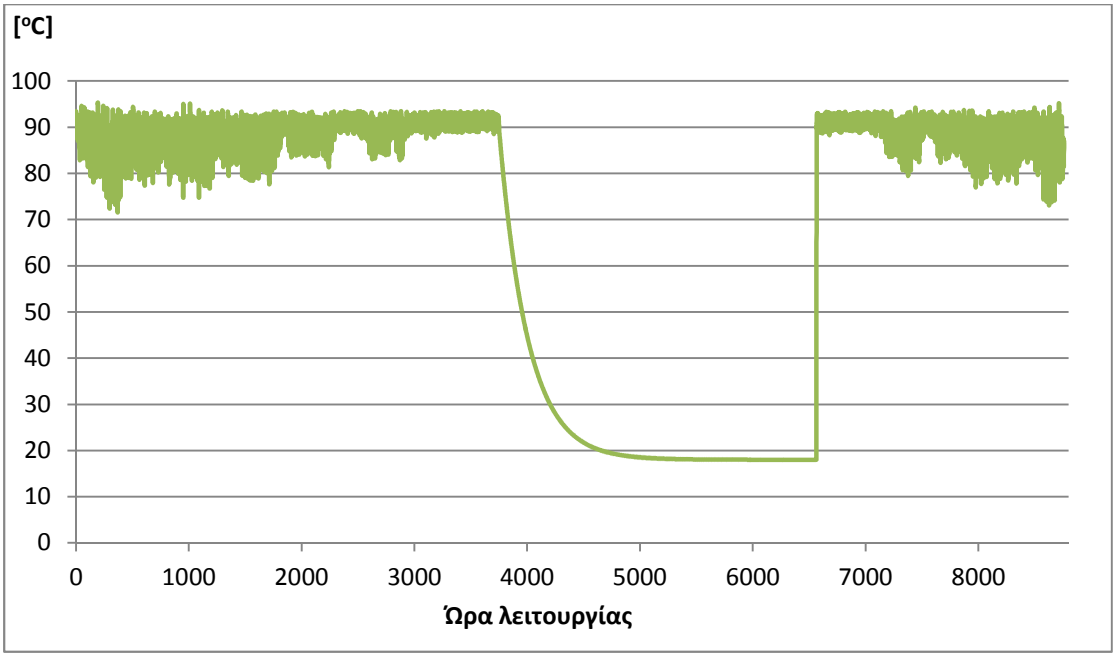
Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του βέλτιστου σεναρίου που προκύπτει από την προηγούμενη παραμετρική ανάλυση. Ως βέλτιστη λύση ορίζεται αυτή της οποίας οι παράμετροι αποδίδουν την ελάχιστη απόσβεση. Για κάθε παράμετρο που εξετάσθηκε παραπάνω επιλέγουμε τη βέλτιστη περίπτωση και συγκεκριμένα:

- Κλιματική ζώνη : D
- Παλαιότητα κτιρίου : κατασκευή πριν το 1980
- Χωρητικότητα θερμοδοχείου : 750 lt
- Τρόπος διανομής θερμότητας : συμβατικά θερμαντικά σώματα. Σχετικά με τη συγκεκριμένη επιλογή, μπορεί μεν η ενδοδαπέδια να εξοικονομεί περισσότερο ετήσιο κόστος, αλλά με τα στοιχεία κόστους εγκατάστασης που υποτέθηκαν (πίνακας Π.4.), η απόσβεση του σεναρίου με ενδοδαπέδια ήταν μεγαλύτερη από το σενάριο με τα συμβατικά σώματα.
- Περίοδος λειτουργίας συστήματος : λειτουργία μόνο κατά τους χειμερινούς μήνες

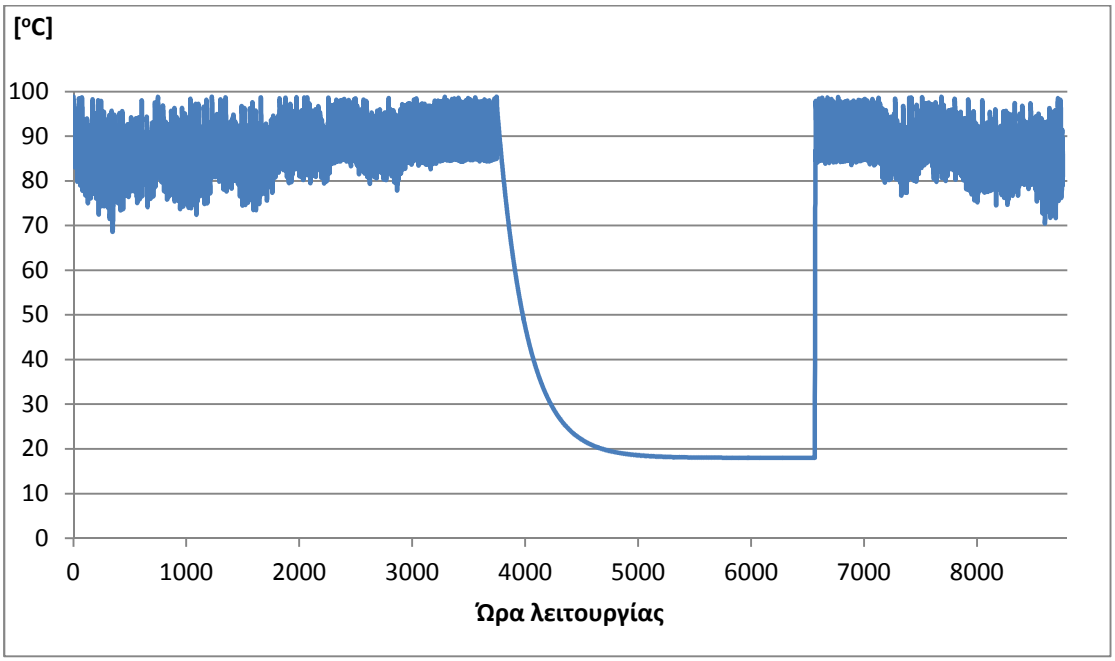
Τέλος σχετικά με την ισχύ του επιλεχθέντος συστήματος μικροσυμπαραγωγής θα εξεταστούν και οι δυο εναλλακτικές. Το σύστημα με την Honda Ecowill 1.0, όπως θα προκύψει, προκρίνεται για το σενάριο πώλησης του 20% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο και η Dachs HKA G5.0 για ένα υποθετικό σενάριο όπου θα πωλείται στο δίκτυο το σύνολο της πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας (το οποίο είναι σαφώς μεγαλύτερο από το αντίστοιχο 20%). Επιλέγεται να παρουσιαστεί και το υποθετικό σενάριο για να αποσαφηνιστεί η κρισιμότητα του ποσοστού πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στον καθορισμό της οικονομικής ελκυστικότητας της επένδυσης.

5.5.1. Θερμοκρασία νερού θερμοδοχείου

Στα διαγράμματα 5.42. και 5.43. παρουσιάζεται η διακύμανση κατά τη διάρκεια του εξεταζόμενου έτους με το πρώτο να αντιστοιχεί στην επέμβαση 2^{α} με εγκατάσταση της μηχανής συμπαραγωγής Honda Ecowill 1.0 και το δεύτερο στην επέμβαση 2^{β} με εγκατάσταση της Dachs HKA G5.0. Παρατηρούμε το πλάτος της διακύμανσης στην επέμβαση 2^{α} να είναι μικρότερο και η θερμοκρασία του νερού θερμοδοχείου να συγκρατείται εντός των ορίων 40 και 70°C, σε αντίθεση με την επέμβαση 2^{β} όπου η ανώτερη θερμοκρασία πλησιάζει τους 80°C. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη θερμική ισχύ της μηχανής και την μη ύπαρξη λέβητα αιχμής, που καθιστά το σύστημα της συγκεκριμένης επέμβασης λιγότερο ευέλικτο.



Διάγραμμα 5.42. Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας νερού εντός θερμοδοχείου βέλτιστου σεναρίου επέμβασης $2^{α}$

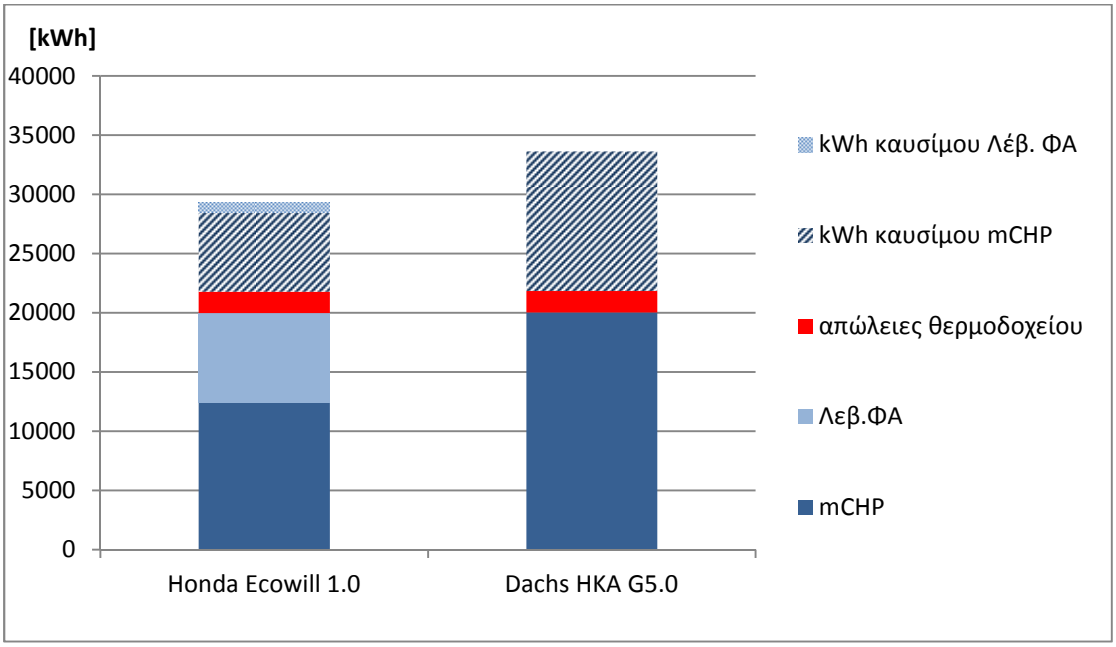


Διάγραμμα 5.43. Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας νερού εντός θερμοδοχείου βέλτιστου σεναρίου επέμβασης $2^{β}$

5.5.2. Ενεργειακά ισοζύγια

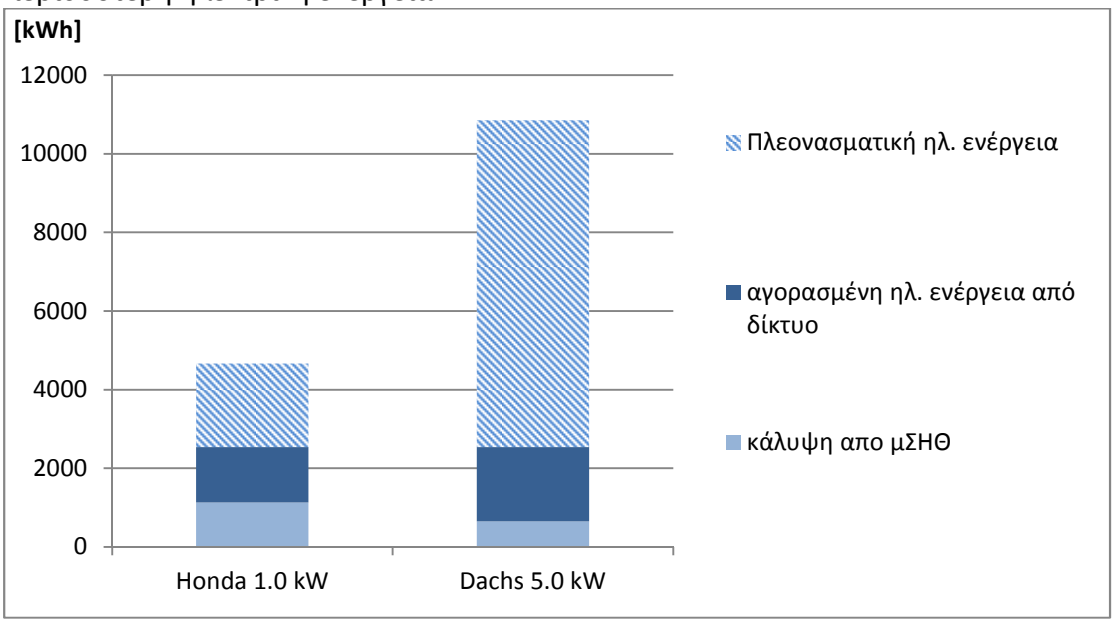
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η παραγωγή θερμικής ενέργειας ανα εγκατεστημένο σύστημα. Παρατηρείται ότι συνολικά με το σύστημα της επέμβασης $2^{β}$ παράγεται περισσότερη θερμική ενέργεια λόγω του χαμηλότερου θερμικού βαθμού απόδοσης της μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος μονάδας μ-Σ.Η.Θ. σε

σύγκριση με αυτόν του συνδιασμένου σύστηματος της μικρής μονάδας μ-Σ.Η.Θ. και του λέβητα φυσικού αερίου αιχμής.



Διάγραμμα 5.44. Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο ανά μονάδα μικροσυμπαραγωγής του βέλτιστου σεναρίου

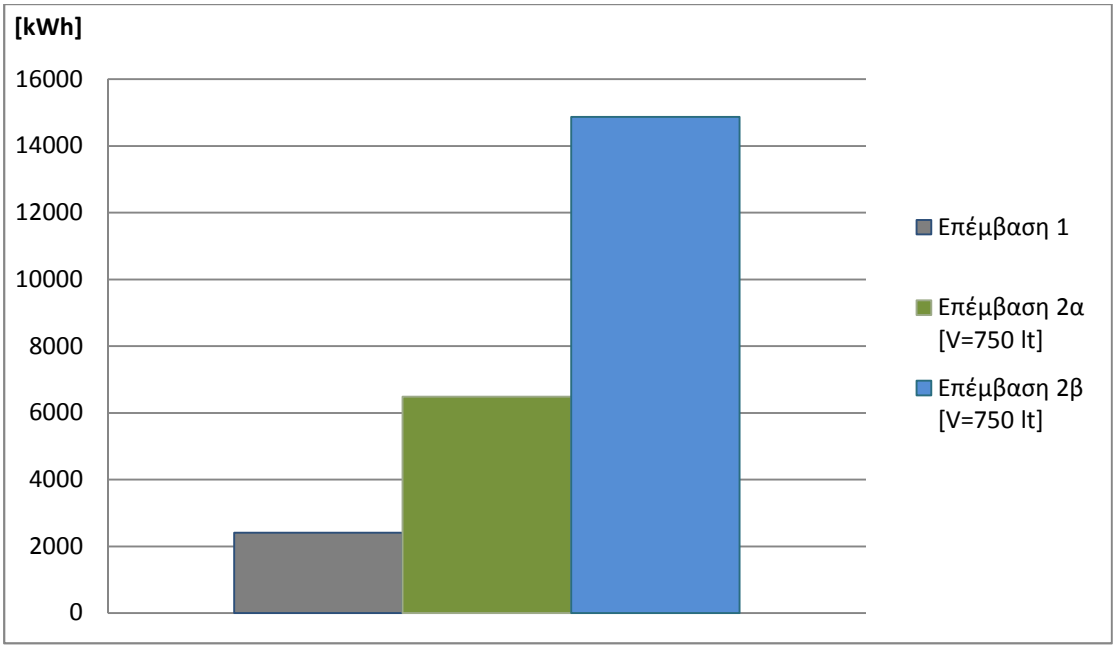
Στο διάγραμμα 5.45. του ηλεκτρικού ισοζυγίου που ακολουθεί, φαίνεται η μεγάλη διαφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που επιτυγχάνει η μεγαλύτερης εγκατεστημένης ισχύος μονάδα μικροσυμπαραγωγής αφενός λόγω της μεγαλύτερης εγκατεστημένης της ισχύος και αφετέρου λόγω της μη ύπαρξης επιπλέον λέβητα για την εξυπηρέτηση των φορτίων αιχμής που έχει σαν αποτέλεσμα να λειτουργεί περισσότερες ώρες και συνεπακόλουθα να παράγει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια.



Διάγραμμα 5.45. Ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο ανά σύστημα μικροσυμπαραγωγής για το βέλτιστο σενάριο

5.5.3. Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας

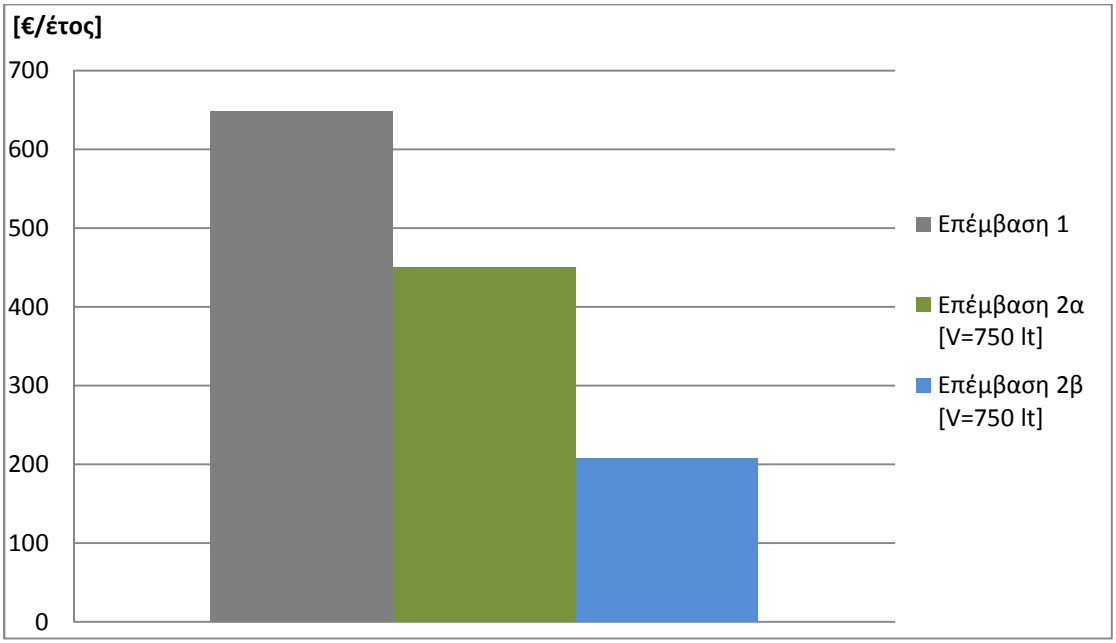
Στο διάγραμμα 5.46. της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας για το βέλτιστο σενάριο παρατηρούμε την υπερδιπλάσια εξοικονόμηση του συστήματος της επέμβασης 2^{β} σε σχέση με αυτό της επέμβασης 2^{α}, κυρίως λόγω της μεγαλύτερης εγκατεστημένης ισχύος και την συνεπαγόμενη μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η επέμβαση 1 πετυχαίνει την μικρότερη δυνατή εξοικονόμηση.



Διάγραμμα 5.46. Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας βέλτιστου σεναρίου

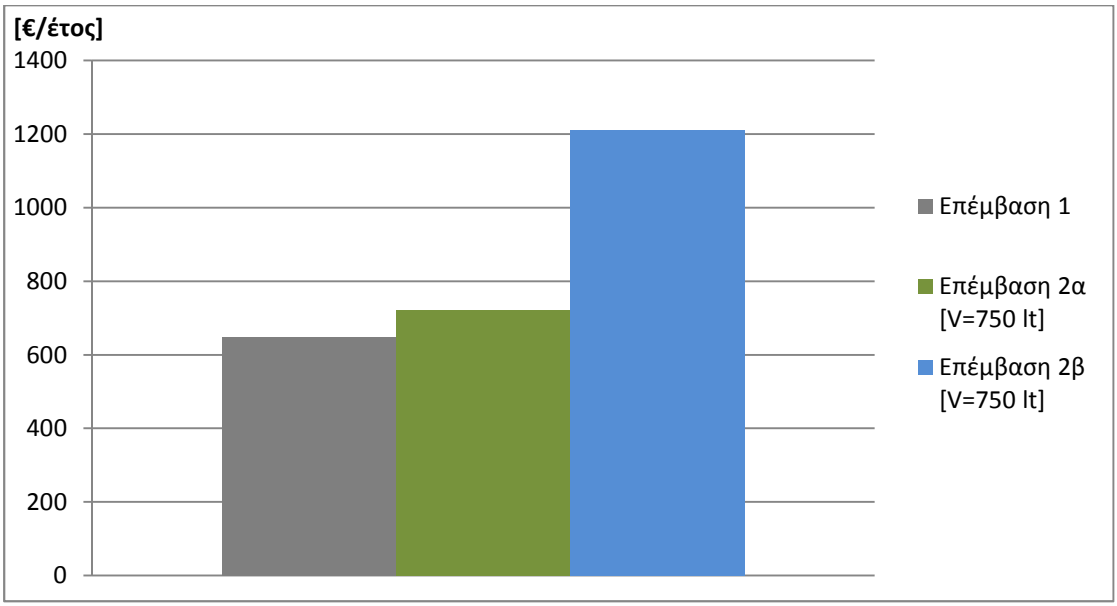
5.5.4. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους

Στο διάγραμμα 5.47. της εξοικονόμησης ετήσιου ενεργειακού κόστους βλέπουμε τα αποτελέσματα του βέλτιστου σεναρίου για πώληση στο δίκτυο της πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει το εκάστοτε σύστημα μικροσυμπαραγωγής αρκεί να μην ξεπερνά το 20% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Παρατηρείται η ανώτερη εξοικονόμηση, της επέμβασης 2^{α} σε βάρος της 2^{β}, με την μεγαλύτερη εξοικονόμηση να την πετυχαίνει πάραυτα η επέμβαση 1 με το λέβητα φυσικού αερίου.



Διάγραμμα 5.47. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους βέλτιστου σεναρίου για πώληση στο δίκτυο του 20% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

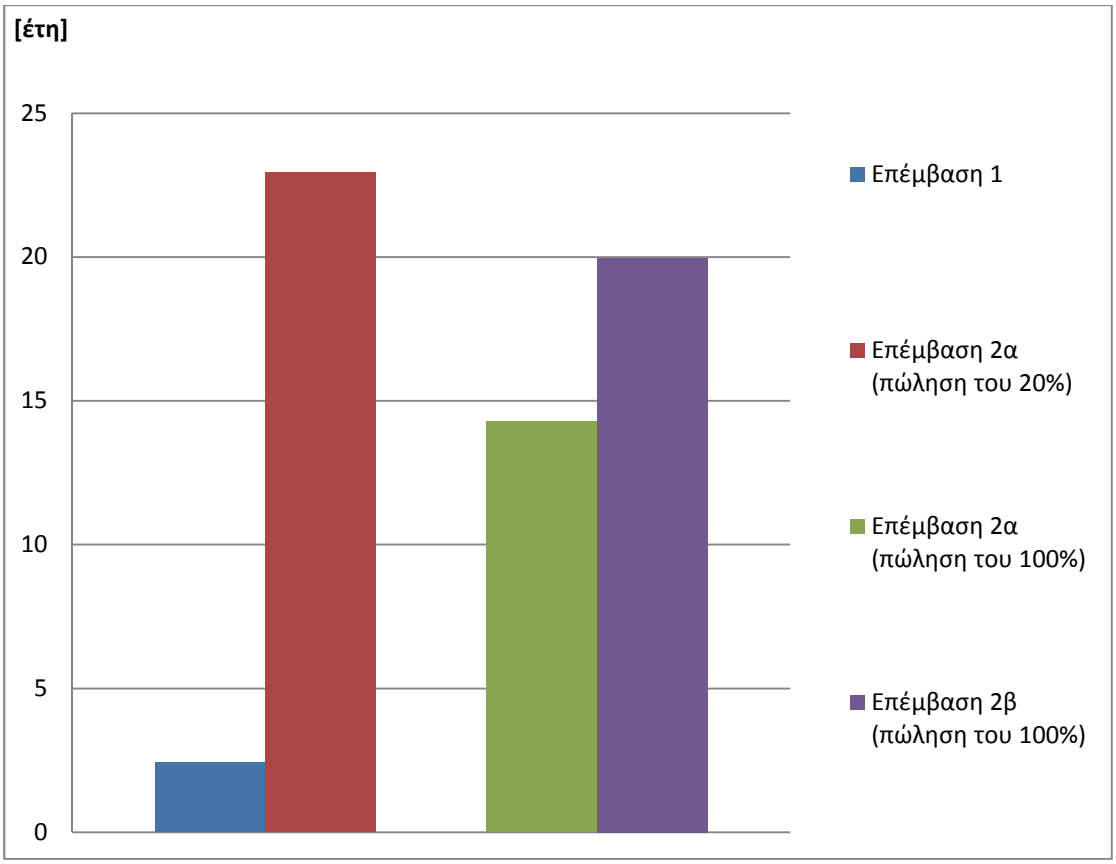
Στο επόμενο διάγραμμα 5.48. αποτυπώνεται η εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους στην περίπτωση όπου το δίκτυο αγοράζει το σύνολο της πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει η εκάστοτε μονάδα μικροσυμπαραγωγής. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ότι η ετήσια εξοικονόμηση αυξάνεται και ξεπερνά και για τις δυο περιπτώσεις εγκατάστασης μονάδων μ-Σ.Η.Θ. την αντίστοιχη της επέμβασης 1. Επιπλέον φαίνεται ότι η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται από τη μονάδα της επέμβασης 2^{β} λόγω της αυξημένης ηλεκτρικής παραγωγής ξεπερνά κατά πολύ σε αυτό το ενδεχόμενο αυτή της μονάδας της επέμβασης 2^{α}.



Διάγραμμα 5.48. Εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους βέλτιστου σεναρίου για πώληση στο δίκτυο του συνόλου της πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας

5.5.5. Απόσβεση κόστους εγκατάστασης

Στο διάγραμμα 5.49. παρουσιάζονται οι χρόνοι απόσβεσης του κόστους εγκατάστασης για κάθε μια από τις προτεινόμενες επεμβάσεις. Επίσης όσον αφορά τις επεμβάσεις με συστήματα μικροσυμπαραγωγής παρουσιάζονται οι χρόνοι απόσβεσης που προκύπτουν και για τα δυο διαφορετικά ενδεχόμενα αγοράς από το δίκτυο της πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως έχουν αναλυθεί παραπάνω.

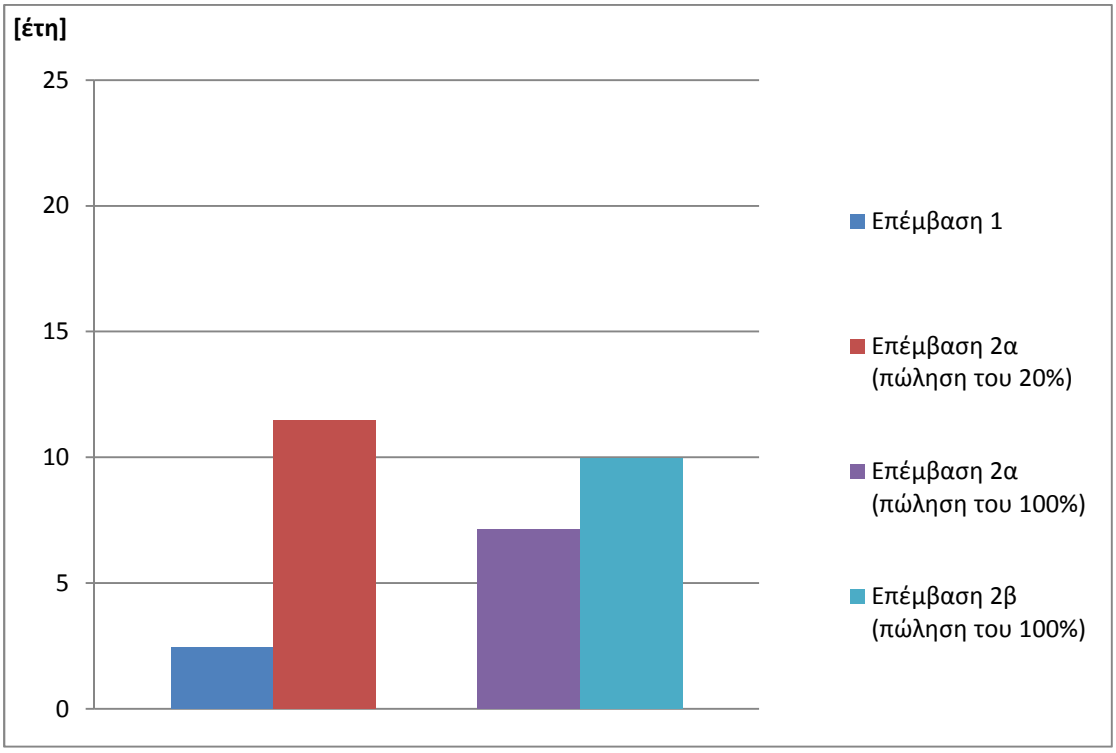


Διάγραμμα 5.49. Απόσβεση κόστους εγκατάστασης βέλτιστου σεναρίου

Παρατηρούμε ότι απόσβεση του κόστους εγκατάστασης σε μικρότερο χρονικό διάστημα επιτυγχάνεται από την επέμβαση με λέβητα φυσικού αερίου και συγκεκριμένα 2,4 χρόνια. Στη συνέχεια, γρηγορότερη απόσβεση πετυχαίνεται με την επένδυση σε επέμβαση με σύστημα μικροσυμπαραγωγής ηλεκτρικής ισχύος 1 kW και για το ενδεχόμενο της πώλησης του συνόλου της πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο με 14,3 χρόνια. Στα 20 χρόνια υπολογίζεται η απόσβεση για το σύστημα της επέμβασης 2^{β} με το υποθετικό σενάριο της πώλησης στο δίκτυο του συνόλου της πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τελευταία και τελείως εκτός οικονομοτεχνικής πραγματικότητας φαίνεται να είναι η επένδυση με σύστημα της επέμβασης 2^{β} με βάση το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο που υποδεικνύει ότι το δίκτυο θα αγοράζει την πλεονασματική ηλεκτρική ενέργεια χωρίς αυτή να ξεπερνά το 20% της συνολικά παραγόμενης. Ακολουθεί η ίδια επέμβαση 2^{α} στο υπάρχον νομοθετικό περιβάλλον, στο οποίο αγοράζεται όση πλεονασματική ηλεκτρική ενέργεια παράγεται αρκεί να μην ξεπερνά το 20% της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής με χρόνο απόσβεσης του κόστους εγκατάστασης σε 22,9

χρόνια. Αυτό συμβαίνει λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης του συστήματος της επέμβασης 2^{β} σε συνδυασμό με την απόρριψη ουσιαστικά μεγάλου μέρους της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τη μονάδα. Τέλος αναφέρεται ότι τα χρόνια απόσβεσης για την επέμβαση 2^{β} δεν εμφανίζονται στο διάγραμμα καθώς είναι εκτός του χρόνου ζωής της μονάδας.

Στο διάγραμμα 5.50. που ακολουθεί, φαίνονται οι χρόνοι απόσβεσης στην περίπτωση που η πολιτεία παρείχε επιδότηση του κόστους εγκατάστασης κατά 50%. Παρατηρούμε ότι μειώνονται στο μισό τα χρόνια που απαιτούνται για την απόσβεση του κόστους εγκατάστασης και καθιστούν τις επενδύσεις ελκυστικότερες και εντός ορίων οικονομικότητας.



Διάγραμμα 5.50. Απόσβεση κόστους εγκατάστασης βέλτιστου σεναρίου με επιδότηση του 50% του κόστους εγκατάστασης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο Συμπεράσματα

Σε αυτό το σημείο θα επισημανθούν τα σημαντικότερα από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση και την παραμετρική ανάλυση της λειτουργίας του συστήματος μικροσυμπαραγωγής. Η εγκατάσταση συστήματος μικροσυμπαραγωγής ευνοείται σε περιοχές με ψυχρό κλίμα λόγω του αυξημένου θερμικού φορτίου και σε περιοχές όπου το βιοτικό επίπεδο, άρα και η ηλεκτρική κατανάλωση, είναι αυξημένη, όπως είναι τα αστικά κέντρα. Ενεργειακά αλλά και οικονομοτεχνικά, η επιλογή επέμβασης στο σύστημα θέρμανσης μιας κατοικίας γίνεται όλο και πιο ελκυστική όσο ψυχρότερες είναι οι συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που βρίσκεται καθώς αυξάνονται οι ώρες λειτουργίας της μονάδας μικροσυμπαραγωγής. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το συμπέρασμα αναφέρεται ότι η επέκταση ενός συστήματος μικροσυμπαραγωγής σε τριπαραγωγής για την κάλυψη φορτίων ψύξης τους καλοκαιρινούς μήνες μπορεί να κάνει το ίδιο ή και περισσότερο ανταγωνιστικές, εγκαταστάσεις συστημάτων σε θερμότερες περιοχές.

Η παλαιότητα κατασκευής του κτιρίου υποδεικνύει την ποιότητα μόνωσης και το υπάρχον σύστημα που χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση των θερμικών φορτίων. Θεωρώντας προτεραιότητα στην οποιαδήποτε επέμβαση σε κατοικίες παλαιότερης κατασκευής την βελτίωση της θερμομόνωσης, μπορεί να αναφερθεί ότι αντικατάσταση του παλαιότερης τεχνολογίας και μικρότερης απόδοσης λέβητα πετρελαίου με μονάδα μικροσυμπαραγωγής μειώνει την ενεργειακή κατανάλωση της κατοικίας αλλά και το ενεργειακό κόστος της. Τελικά, αναφορικά με την παράμετρο της παλαιότητας κατασκευής της εξεταζόμενης κατοικίας, μπορεί να συμπληρωθεί ότι όσο παλαιότερης κατασκευής είναι και το σύστημα θέρμανσης τόσο κάνει ενεργειακά και οικονομοτεχνικά βιωσιμότερη μια ενδεχόμενη αντικατάστασή του.

Στην παραμετρική ανάλυση αξιολογήθηκε και η εγκατεστημένη ισχύς της εξεταζόμενης μονάδας μικροσυμπαραγωγής. Προσομοιώθηκε η λειτουργία δύο συστημάτων, ενός με μονάδα μ-Σ.Η.Θ. 1 kW_{el} σε συνδυασμό με λέβητα συμπυκνώσεως φυσικού αερίου για την κάλυψη των φορτίων αιχμής και ονομάστηκε επέμβαση 2^{α} και ενός με μονάδα μ-Σ.Η.Θ. 5 kW_{el} χωρίς λέβητα αιχμής που ονομάστηκε επέμβαση 2^{β}. Λόγω του χαμηλού θερμικού βαθμού απόδοσης της μονάδας μικροσυμπαραγωγής της επέμβασης 2^{β}, παρουσιάζει αυξημένες απώλειες θερμότητας σε σύγκριση με την λειτουργία του συστήματος της επέμβασης 2^{α}, εξαιτίας της διαφοροποίησης που υπάρχει στην εξυπηρέτηση των φορτίων αιχμής , η οποία σε αυτή την περίπτωση γίνεται από λέβητα φυσικού αερίου που έχει υψηλότερο βαθμό απόδοσης. Λόγω των περισσότερων ωρών λειτουργίας της μονάδας μικροσυμπαραγωγής της επέμβασης 2^{β}, καθώς αναλαμβάνει και τις αιχμές του φορτίου, παρουσιάζει κατά πολύ αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε περίπτωση αύξησης του ποσοστού αγοράς του πλεονάσματος της παραγωγής από το διαχειριστή του δικτύου, η συγκεκριμένη επέμβαση θα αύξανε κατά πολύ την ετήσια εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους, σε σημείο να ξεπεραστεί ακόμα και το μειονέκτημα του αυξημένου κόστους αγοράς της και να παρουσιάσει απόσβεση κόστους εγκατάστασης συγκρίσιμη με το σύστημα της επέμβασης 2^{α}. Τελικά αναφέρεται ότι η επιλογή της εγκατεστημένης ισχύος του συστήματος μικροσυμπαραγωγής είναι ιδιαίτερα κρίσιμη και καθορίζει σε μεγάλο ποσοστό την

βιωσιμότητα της επένδυσης και για κατοικίες των 100 m^2 προτιμότερη είναι η εγκατάσταση ενός συστήματος μικροσυμπαραγωγής στα επίπεδα του 1 kW ηλεκτρικής ισχύος σε συνδυασμό με λέβητα φυσικού αερίου αιχμής.

Για την αποθήκευση της θερμότητας προσομοιώθηκαν οι εγκαταστάσεις διαφορετικής χωρητικότητας θερμοδοχείων και πιο συγκεκριμένα εξετάστηκαν θερμοδοχεία χωρητικότητας 750, 1000, 2000 και 5000 λίτρων. Παρατηρήθηκε ότι στα μεγαλύτερης χωρητικότητας θερμοδοχεία αυξάνεται η θερμική παραγωγή και οι απώλειες καθώς για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του νερού εντός του θερμοδοχείου στα απαραίτητα όρια για την ομαλή λειτουργία, λειτουργεί περισσότερες ώρες το σύστημα μικροσυμπαραγωγής. Αυξανόμενης της χωρητικότητας του θερμοδοχείου, αυξάνεται και η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και το ενεργειακό κόστος, καθιστώντας τις επεμβάσεις με θερμοδοχεία άνω των 1000 λίτρων, για κατοικίες των 100 m^2, οικονομικά ασύμφορες, καθώς δεν κρίνεται απαραίτητη η διατήρηση τόσο μεγάλης θερμικής αδράνειας για την εξυπηρέτηση θερμικών φορτίων αυτής της κλίμακας.

Ο τρόπος διανομής της θερμότητας στην κατοικία προσομοιώθηκε με συμβατικά θερμαντικά σώματα και με ενδοδαπέδια θέρμανση. Τα θερμοκρασιακά όρια ομαλής λειτουργίας της πρώτης περίπτωσης είναι υψηλότερα σε σύγκριση με τη δεύτερη, οδηγώντας τη λύση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης να απαιτεί μικρότερη παραγωγή θερμικής ενέργειας. Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και το ενεργειακό κόστος είναι εξίσου χαμηλότερα. Το κόστος εγκατάστασης της ενδοδαπέδιας τελικά, εξετάζοντας οικονομοτεχνικά την επέμβαση μέσω του καθορισμού των ετών απόσβεσης του, καθιστά την επιλογή της λιγότερο βιώσιμη έναντι των συμβατικών θερμαντικών σωμάτων παρά την αυξημένη εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους που παρουσιάζει.

Τελευταία παράμετρος που εξετάσθηκε, αφορά την περίοδο λειτουργίας του συστήματος και συγκεκριμένα προσομοιώθηκε η ετήσια και η διακοπτόμενη, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λειτουργία. Βασική προϋπόθεση για την υιοθέτηση της διακοπτόμενης λειτουργίας είναι η ύπαρξη ηλιακών συλλεκτών για την εξυπηρέτηση των φορτίων ζεστού νερού χρήσης. Παρατηρήθηκε μείωση της θερμικής απαίτησης και συνεπακόλουθα αυξημένη εξοικονόμηση σε πρωτογενή ενέργεια και ενεργειακό κόστος. Συμπερασματικά, εάν είναι ήδη εγκατεστημένοι ηλιακοί συλλέκτες στην κατοικία είναι αισθητή η βελτίωση στην ενεργειακή και οικονομοτεχνική βιωσιμότητα της επένδυσης, διακόπτοντας τη λειτουργία του συστήματος τους καλοκαιρινούς μήνες.

Κατά την στοιχειοθέτηση του βέλτιστου σεναρίου εγκατάστασης εξετάστηκε και η επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης δύο ενδεχομένων. Εξετάστηκε το ενδεχόμενο αλλαγής του ποσοστού αγοράς της πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας από το διαχειριστή του δικτύου, από το 20% στο 100% και προέκυψε ότι αυτή η διαφοροποίηση επιδρά πολύ σημαντικά την οικονομικότητα των επεμβάσεων. Το δεύτερο ενδεχόμενο είναι η επιδότηση του 50% του κόστους εγκατάστασης του εξοπλισμού, όπως συμβαίνει π.χ. στην Ιαπωνία. Στο πρώιμο στάδιο που βρίσκεται η τεχνολογία της μικροσυμπαραγωγής έχει υψηλό κόστος εγκατάστασης που αποτελεί το σημαντικότερο ανασταλτικό παράγοντα για ενδεχόμενη επένδυση και μια επιδότηση θα έκανε την καθιστούσε βιωσιμότερη.

Τέλος, μερικές προτάσεις για μελλοντική επέκταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορούν να είναι:

- Ο καθορισμός εναλλακτικού τρόπου λειτουργίας του συστήματος μικροσυμπαραγωγής, προσαρμοσμένος στο νομοθετικό πλαίσιο (ενδεχόμενο διακοπής λειτουργίας του συστήματος μικροσυμπαραγωγής όταν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια υπερβαίνει το νομοθετημένο όριο)
- Προσομοίωση με μικρότερο χρονικό βήμα δεδομένων (αντιπροσωπευτικότερα στοιχεία αιχμών)
- Ενσωμάτωση των ψυκτικών φορτίων της κατοικίας και ενεργειακή/οικονομοτεχνική αξιολόγηση κλιματιστικών διαιρούμενου τύπου για ψύξη/θέρμανση, τριπαραγωγής και αντλίας θερμότητας για ψύξη/θέρμανση/Ζ.Ν.Χ.

Βιβλιογραφία

[1] Χ. Φραγκόπουλος, Η. Καρυδογιάννης, Γ. Καραλής, 'Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας', Έκδοση από Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας ΕΛΚΕΠΑ, 1994

[2] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, "Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε κτήρια", Α' έκδοση, Δεκέμβριος 2010

[3] Αλ Φάντελ Μαγδαληνή, 'Αξιολόγηση συστημάτων παραγωγής θερμικής ενέργειας στην ενεργειακή συμπεριφορά κτιρίου με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ', Ε.Μ.Π., 2011

[4] Νταβέλου Ελένη, 'Κάλυψη ενεργειακών αναγκών οικιστικού συγκροτήματος με μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας', Ε.Μ.Π., 2009

[5] Παναγιώτου Βασίλειος, Τεχνοοικονομική μελέτη συστημάτων μικρο-συμπαραγωγής στον οικιακό τομέα, ΕΜΠ, 2011

[6] Κ.Α.Π.Ε., 'Οδηγός συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας'

[7] Mutch J., „Residential water heating : Fuel conservation, economics and public policy", Rand publications, Santa Monica, May 1974

[8] Simader G., Kranwinkler R., Trnka G., 'Micro CHP Systems: state-of-the-art', Final report, Deliverable 8 of Green Lodges Project (EIE/04/252/S07.38608), Vienna, March 2006

[9] Martin Pehnt, 'Micro Cogeneration', 2006

[10] Intelligent Energy Europe, Έργο PERCH: "Παραγωγή ηλεκτρισμού με μικρά συστήματα ΑΠΕ & ΣΗΘ για κατοικίες και μικρές επιχειρήσεις"

[11] EDUCOGEN, 'The European Education Tool on Cogeneration', Δεκέμβριος 2001

[12] ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟ, Αριθμός φύλλου 129, ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3468, 'Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις', 27 Ιουνίου 2006

[13] ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟ, Αριθμός φύλλου 85, ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3851, 'Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής', 4 Ιουνίου 2010

[14] Founti M.A, Kolaitis D.I, Katsourinis D.I., Kontogeorgos D., Malliotakis E., Mandilaras I. "Assessment of Internal and External Thermal Insulation Systems for

Energy Efficient Retrofitting of Residential Apartment Envelopes.”. Laboratory of Heterogeneous Mixtures and Combustion Systems, National Technical University of Athens. 2011

[15] C. A. Balaras et al., “European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings”, Building and Environment 2007

[16] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, “Διευκρινήσεις – προσθήκες τεχνικής οδηγίας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010”, 21 Φεβρουαρίου 2011

[17] Annex 42 of the International Energy Agency, “European and Canadian non-HVAC Electric and DHW Load Profiles for Use in Simulationg the Performance of Residential Cogeneration Systems”, May 2007

[18] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, 20701-1/2010, «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης», Αθήνα, 2010

[19] Τιμοκατάλογος επιτοίχιου λέβητα συμπύκνωσης αερίου 24kW Buderus Logamax plus GB072K, 2011

[20] www.honda.com/cogeneration

[21] www.buderus.gr

[22]http://www.vaillant.de/Heizung-finden/Technik-verstehen/Kraft-Waerme-Kopplung/article/Wie_funktioniert_ein_BHKW.html

[23] www.deh.gr

[24] www.depa.gr

[25] www.senertec.de

Παράρτημα

Στον παρακάτω πίνακα αποτυπώνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά μεγέθη του επίτοιχου λέβητα φυσικού αερίου συμπύκνωσης Buderus Logamax plus GB072K[6].

Logamax plus		GB072-24K
Μέγ. ονομαστική θερμική ισχύς (Pmax) 40/30 °C	kW	23,8
Μέγ. ονομαστική θερμική ισχύς (Pmax) 80/60 °C	kW	22,5
Ελάχ. ονομαστική θερμική ισχύς (Pmin) 40/30 °C	kW	7,3
Ελάχ. ονομαστική θερμική ισχύς (Pmin) 80/60 °C	kW	6,6
Μέγιστη ονομαστική θερμική ισχύς (QnW) ZNX	kW	30
Βαθμός απόδοσης με μερικό φορτίο 40/30°C	%	1,09
Θερμικές απώλειες σε κατάσταση αναμονής		
(συμπεριλ. ηλεκτρικών απωλειών)	%	0,3
Χαρακτηριστικά παροχής αερίου		
Φυσικό αέριο H (Hi(15 °C) = 9,5 kWh/m^3)	m^3/h	0,72 -3,18
Υγραέριο (Hi = 12,9 kWh/kg)	kg/h	0,56 -2,27
Δοχείο διαστολής		
Πίεση στην προσαγωγή	bar	0,75
Συνολικός όγκος	l	12
Ζεστό νερό		
Μέγιστη ποσότητα ζεστού νερού	l/min	12
Θερμοκρασία στην έξοδο	°C	40 -60
Μέγιστη θερμοκρασία προσαγωγής κρύου νερού	°C	60
Μέγιστη επιτρεπτή πίεση ζεστού νερού	bar	10
Ελάχιστη πίεση ροής	bar	0,2
Ελάχιστη πίεση ροής σύμφωνα με EN 625 (D)	l/min	14,1
Τιμές υπολογισμού για τον υπολογισμό διατομής κατά EN 13384		
Ροή μάζας καυσαερίων max/min νμ. τιμή	g/s	13,1/3,2
Ροή μάζας καυσαερίων 40/30 °C max/min νμ. τιμή	°C	60/32
Πρότυπος συντελεστής εκπομπής CO	mg/kWh	≤ 15
Πρότυπος συντελεστής εκπομπής NOX	mg/kWh	≤ 35
Κατηγορία NOX	-	5
Συμπύκνωμα		
Μέγ. ποσότητα συμπυκνώματος (tR = 30 °C)	l/h	1,7
Τιμή pH περ.	-	4,8
Γενικά		
Ηλεκτρική τάση	AC ... V	230
Συχνότητα	Hz	50
Μέγιστη απορροφούμενη ισχύς (λειτουργίας θέρμανσης)	W	120
Στάθμη θορύβου	dB (A)	≤ 36

Κατηγορία προστασίας	IP	X4D
Μέγιστη θερμοκρασία προσαγωγής	°C	82
Μέγ. επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας (PMS) θέρμανση	bar	3
Βάρος (χωρίς συσκευασία)	kg	44
Διαστάσεις Π x Υ x Β	mm	440 X 840 X 350

Πίνακας Π.1. Χαρακτηριστικά μεγέθη επιτοίχιου λέβητα Buderus Logamax plus GB072K[19]

Στον πίνακα Π.2. παρουσιάζονται μερικά χαρακτηριστικά μεγέθη της μονάδας μικροσυμπαραγωγής που χρησιμοποιήθηκε για την επέμβαση 2^{α}.

Honda Ecowill 1.0	
Ηλεκτρική ισχύς	1 kW
Θερμική ισχύς	3,25 kW
Ηλεκτρικός β.α.	20%
Θερμικός β.α.	65%
Συνολικός β.α.	85%
Ηλεκτρική έξοδος	200V 50Hz
Διαστάσεις (Υ*Π*Μ)	88 x 58 x 38 cm
Βάρος	81 kg
Στάθμη θορύβου	47 db (A)
Συντήρηση	6000 ώρες λειτουργίας

Πίνακας Π.2. Χαρακτηριστικά μηχανής μ-Σ.Η.Θ. Honda Ecowill 1.0[7]

Στον πίνακα Π.3. φαίνονται τα κυριότερα μεγέθη της μονάδας μικροσυμπαραγωγής Dachs HKA G5.0, που χρησιμοποιήθηκε στην επέμβαση 2^{β}.

Type DACHS	**HKA G 5,0 Low NOx**
Electrical output [kW]	5
Thermal output [kW]	12,3
Fuel input [kW]	19,6
Max. water flow temp.	83
Max. water return temp.	70
Voltage / frequency	3 ~ 230 V / 400 V
Efficiency	
- electrical	0,26
- thermal	0,63
-Fuel efficiency	0,89
CHP coefficient	0,41
Noise level at 1 m dB(A)	54 - 58
Emissions < TA-Luft	
Emissions < 1/2TA-Luft	X
Service intervals [running hours]	3,5
Minimum methane number	35

Πίνακας Π.3. Χαρακτηριστικά μονάδας μ-Σ.Η.Θ. Dachs HKA G5.0[25]

Στον πίνακα Π.4. δίνεται το κόστος εγκατάστασης του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε στις διάφορες εξετασθείσες επεμβάσεις που προσομοιώθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Α/Α	**Εξοπλισμός**	**Κόστος (χωρίς Φ.Π.Α.)**
1	Λέβητας συμπυκνώσεως φυσικού αερίου Buderus Logalux G072-24K	1640 €
2	Λοιπός απαιτούμενος εξοπλισμός για το σύστημα 1 (σύνδεση Φ.Α., καπνοδόχος, ηλεκτρονικά κ.α.)	330€
3	Μονάδα μικροσυμπαραγωγής Honda Ecowill 1.0.	6000€
4	Λοιπός απαιτούμενος εξοπλισμός για το σύστημα 3	800€
5	Μονάδα μικροσυμπαραγωγής Dachs HKA G5.0.	23410€
6	Λοιπός απαιτούμενος εξοπλισμός για το σύστημα 5	2300€
7	Θερμοδοχείο 750 lt Buderus Logalux PL750/2S	4500€
8	Θερμοδοχείο 1000 lt Buderus Logalux PL1000/2S	5100€
9	Θερμοδοχείο 2000 lt Buderus Logalux PL2000/2S	10200€
10	Θερμοδοχείο 5000 lt Buderus Logalux PL5000/2S	25500€
11	Δίκτυο ενδοδαπέδιας θέρμανσης	5400€

Πίνακας Π.4. Κόστος εγκατάστασης εξοπλισμού