



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Προσομοίωση λειτουργίας και παραμετρική μελέτη  
μονάδων μικρό-συμπαγωγής σε μονοκατοικία**

**Χρυσούλα Α. Παναγοπούλου**

Επιβλέπουσα: Φούντη Μαρία  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

*Αθήνα, 2019*





# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

## ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

### ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

#### **Προσομοίωση λειτουργίας και παραμετρική μελέτη μονάδων μικρό-συμπαγωγής σε μονοκατοικία**

Επιβλέπουσα: Φούντη Μαρία, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .....

.....

Φούντη Μαρία

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....

Κουλοχέρης Δημήτριος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Σπιτάς Βασίλειος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2019

.....

Χρυσούλα Α. Παναγοπούλου  
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Χρυσούλα Α. Παναγοπούλου , 2019  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

---

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

*Στους γονείς μου,  
Αποστόλη και Αντιγόνη*

*...Όσο ψηλά κι αν ανεβείς σε τούτη τη ζωή σου,  
να μην ξεχνάς πως τα φτερά στα δώσαν οι γονείς σου...*



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην καθηγήτρια Δρ. Μαρία Φούντη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την ανάθεση αυτού του ενδιαφέροντος θέματος. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στο διδάκτορα Ε.Μ.Π. Δημήτριο Γιαννόπουλο για την καθοριστική του βοήθεια, ο οποίος στάθηκε σημαντικός αρωγός στην προσπάθειά μου και με υποστήριξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής εργασίας. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές Δρ. Δημήτριο Κουλοχέρη και Δρ. Βασίλειο Σπιτά για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή της εξέτασης της μεταπτυχιακής εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στη φίλη μου και συνάδερφό μου Εύα, που μετά την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μας, ολοκληρώσαμε παράλληλα η μία με τη στήριξη και την παρακίνηση της άλλης το εν λόγω μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών.

Κλείνοντας δεν θα μπορούσα να παραλείψω τις ευχαριστίες στην οικογένεια μου για την υποστήριξή της. Ευχαριστώ τους γονείς μου Αποστόλη και Αντιγόνη, για την αγάπη τους, την υπομονή τους και την συμπαράσταση τους σε κάθε στάδιο της ζωής μου αλλά και τα αδέρφια μου, Ευδοκία, Αλέξη, Κωνσταντίνα, Παρασκευή και Ελένη, καθώς ο καθένας με το δικό του τρόπο με επηρέασε, με στήριξε και με βοήθησε να εκπληρώσω τους στόχους μου.





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Από τα σοβαρότερα σύγχρονα προβλήματα παγκοσμίως είναι η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η εξάντληση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Το ενεργειακό και περιβαλλοντικό πρόβλημα εντοπίζεται στην αναζήτηση επάρκειας πηγών ενέργειας καθώς και στη συνεχώς αυξανόμενη επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Για το λόγο αυτό, έχει ξεκινήσει μια 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 εκμετάλλευση φιλικών προς το περιβάλλον ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μέχρι σήμερα, ο τρόπος που παραγόταν η ενέργεια ήταν κυρίως μέσω της χρήσης ορυκτών καυσίμων. Οι συμβατικές μέθοδοι ηλεκτροπαραγωγής όμως, δε θεωρούνται πλέον αποδοτικές καθώς μετατρέπουν μόνο το ένα τρίτο της ενέργειας του καυσίμου σε ωφέλιμη ενέργεια. Η ολική κατανάλωση καυσίμων δύναται να μειωθεί σημαντικά εάν εφαρμοστεί η Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θέρμανσης (Σ.Η.Θ). Με τη μέθοδο της συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας σημαντικό μέρος της παραγόμενης θερμότητας ανακτάται και χρησιμοποιείται ωφέλιμα.

Ένας από τους τομείς όπου μπορούν να ενσωματωθούν αυτόνομα ενεργειακά συστήματα είναι ο τομέας των κτηρίων. Έτσι, η ανάγκη για χρήση των συστημάτων συμπαραγωγής στον οικιακό τομέα αυξάνεται ραγδαία, επειδή έχουν την ικανότητα ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από μία μόνο πηγή καυσίμων.

Στα πλαίσια των απαιτήσεων αυτών κινείται η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, σκοπός της οποίας είναι η αξιολόγηση της εφαρμογής συστημάτων μικρό-συμπαραγωγής στον οικιακό τομέα. Για να γίνει η εκτίμηση της ενεργειακής και οικονομικής βιωσιμότητας μιας τέτοιας επένδυσης πραγματοποιείται προσομοίωση της λειτουργίας τέτοιων μονάδων. Για την άντληση συνολικής εικόνας προσομοιώνεται αρχικά η λειτουργία συμβατικών συστημάτων θέρμανσης (λέβητας πετρελαίου, λέβητας φυσικού αερίου). Στη συνέχεια προσομοιώνεται η λειτουργία μονάδων μικρό-συμπαραγωγής, εξετάζοντας δύο διαφορετικές περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση η υπό εξέταση μονάδα έχει θερμική ισχύ μεταξύ 100% και 120% της μέγιστης θερμικής απαίτησης της κατοικίας, ενώ στη δεύτερη η θερμική ισχύς της μονάδας είναι μεταξύ 30% και 50% της μέγιστης θερμικής απαίτησης, με ταυτόχρονη χρήση θερμοδοχείου για αποθήκευση θερμότητας. Ακολουθεί οικονομοτεχνική ανάλυση όλων των περιπτώσεων που μελετήθηκαν, υπολογίζοντας τα ετήσια ενεργειακά κόστη για τη λειτουργία των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης και των μονάδων μικρό-συμπαραγωγής καθώς και της απόσβεσης του επιπλέον κόστους επένδυσης που απαιτείται για την εγκατάσταση των μονάδων μ-ΣΗΘ. Τέλος, γίνεται παραμετρική ανάλυση όλων των αποτελεσμάτων και στοιχειοθετείται ένα βέλτιστο σενάριο εγκατάστασης στο οποίο ορίζονται βασικές απαιτήσεις και πρακτικές για τη βιωσιμότερη επένδυση.

**Λέξεις Κλειδιά:** απόσβεση, ετήσια ενεργειακά κόστη, θερμική ισχύς, θερμοδοχείο, λέβητας πετρελαίου, λέβητας φυσικού αερίου, οικονομοτεχνική ανάλυση, παραμετρική ανάλυση, συμπαραγωγή, Σ.Η.Θ.



## ABSTRACT

Nowadays, one of the most serious problems worldwide is the degradation of the environment and the conventional fossil fuels depletion. The energy and environmental problem lies in the search for energy resource capacities and the ever-increasing environmental burden.

For this reason, there is a global focus on reducing the impact of the problem with key axes, the rational use of energy, the implementation of energy-saving technologies and the use of environmentally friendly renewable energy sources. To date, the way energy was produced was mainly through the use of fossil fuels. Conventional power generation methods, however, are no longer considered efficient as they convert only the 30% of the fuel energy into beneficial energy. Total fuel consumption can be greatly reduced in case Combined Heat and Power systems (CHP) are applied. Taking advantage of the CHP method, a significant part of the heat generated is recovered and can be used advantageously.

One of the sectors in which autonomous energy facilities can be integrated is the building sector. Thus, the need of using CHP systems in the domestic industry is increasing rapidly, following the fact that it provides the opportunity to simultaneously generate electricity and heat from a single fuel source.

Therefore, the current thesis concerns the framework of these requirements, with the purpose of evaluating the application of CHP systems into dwellings. In order to assess the energy and economic viability of such an investment, a simulation of the operation of such systems is carried out. For the purpose of capturing an overall picture, the operation of conventional heating systems (gas and oil boiler) is first simulated. Afterwards, a simulation of the operation of small production systems is performed, examining two different cases. In the first case, the unit under consideration possesses a thermal power between 100% and 120% of the maximum thermal efficiency of the dwelling, while in the second case, the thermal power of the system varies between 30% and 50% of the maximum thermal demand with the simultaneous use of a heat storage heater. An economical analysis of all case studies follows, calculating the annual energy costs for the operation of conventional heating systems and small power plants, as well as the depreciation of the additional investment costs required for the installation of the mCHP systems. Finally, a parametric analysis of all results is conducted, while an optimal installation scenario is presented which sets out the basic requirements and practices for a more secure investment.

**Keywords:** depreciation, annual energy costs, thermal power, thermosetting, petroleum, natural gas, econometric analysis, parametric analysis, co-generation, CHP.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	19
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	19
1.1 Σκοπός Εργασίας.....	19
1.2 Συμπαράγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού (ΣΗΘ).....	20
1.3 Μικροσυμπαράγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού (μ-ΣΗΘ).....	24
1.4 Εναλλακτικοί τρόποι λειτουργίας συστημάτων συμπαράγωγής.....	27
1.5 Σύνοψη πλεονεκτημάτων – μειονεκτημάτων συμπαράγωγής.....	29
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1 <sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	33
2. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	33
2.1 Νομοθετική ανασκόπηση.....	34
2.1.1 Νόμοι που αφορούν τη ΣΗΘ.....	34
2.1.2 Υπουργικές αποφάσεις που αφορούν τη ΣΗΘ.....	39
2.1.3 Ευρωπαϊκές Οδηγίες.....	41
2.1.4 Αποφάσεις / Γνωματεύσεις ΡΑΕ.....	42
2.2 Παρουσίαση σημαντικών νόμων για τη ΣΗΘ.....	43
2.2.1 Νόμος 3468/2006.....	43
2.2.2 Νόμος 4254/2014.....	45
2.2.3 Νόμος 4425/2016.....	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2 <sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	51
3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΣΗΘ.....	51
3.1 Γενικά.....	52
3.2 Παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.).....	54
3.2.1 Περιγραφή.....	55
3.2.2 Κινητήρες Otto.....	57
3.2.3 Κινητήρες Diesel.....	59
3.2.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	61
3.3 Μικροστρόβιλοι.....	61
3.3.1 Περιγραφή.....	61
3.3.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	63
3.4 Μηχανές Stirling.....	63
3.4.1 Περιγραφή.....	64
3.4.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	66
3.5 Κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (S.O.F.C.).....	66
3.5.1 Περιγραφή.....	67

3.5.2	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα .....	69
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3 <sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ .....	70
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	71
4.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ, ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ .....	71
4.1	Εξεταζόμενη κατοικία .....	72
4.2	Ενεργειακές απαιτήσεις εξεταζόμενης κατοικίας .....	72
4.3	Θερμικές απαιτήσεις.....	74
4.3.1	Φορτία θέρμανσης χώρων.....	74
4.3.2	Φορτία θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης (Z.N.X.) .....	75
4.4	Ηλεκτρικές απαιτήσεις .....	77
4.5	Μελέτη Συστημάτων για κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων .....	79
4.5.1	Συμβατική περίπτωση λέβητα πετρελαίου .....	79
4.5.2	Συμβατική περίπτωση λέβητα φυσικού αερίου .....	82
4.5.3	Περίπτωση Συμπαγωγής.....	83
4.5.3.1	Remeha eVita 25s .....	85
4.5.3.2	Ecopower 4.7 .....	87
4.5.3.3	Dachs - Stirling .....	89
4.6	Οικονομοτεχνική ανάλυση .....	94
4.6.1	Ενεργειακές Τιμές.....	94
4.6.2	Ετήσιο ενεργειακό κόστος.....	94
4.6.2.1	Συμβατική περίπτωση λέβητα πετρελαίου .....	94
4.6.2.2	Συμβατική περίπτωση λέβητα φυσικού αερίου.....	95
4.6.2.3	Remeha eVita 25s .....	95
4.6.2.4	Ecopower 4.7 .....	96
4.6.2.5	Dachs – Stirling .....	96
4.7	Απόσβεση κόστους επένδυσης.....	97
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4 <sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ .....	99
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	101
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ .....	101
5.1	Βασικό σενάριο .....	102
5.2	Ενεργειακά φορτία κατοικίας.....	102
5.2.1	Θερμικά φορτία κατοικίας.....	102
5.2.2	Ηλεκτρικά φορτία κατοικίας.....	103
5.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας των υπό μελέτη συστημάτων για κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων.....	104
5.3.1	Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας λέβητα πετρελαίου.....	104
5.3.2	Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας λέβητα φυσικού αερίου .....	105
5.3.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας μ-ΣΗΘ Remeha eVita 25s .....	106
5.3.4	Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας μ-ΣΗΘ Ecopower 4.7 .....	108
5.3.5	Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας μ-ΣΗΘ Dachs – Stirling .....	110
5.3.6	Ενεργειακά κόστη .....	113
5.4	Παραμετρική ανάλυση βασικού σεναρίου .....	116

5.5 Οικονομικά ευνοϊκότερο σενάριο με βάση τα αποτελέσματα της παραμετρικής ανάλυσης .....	125
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	127
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	127

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 Σύγκριση βαθμού απόδοσης συστήματος ΣΗΘ με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας Πηγή: [1.2].....	22
Σχήμα 2 Σύγκριση συμπαραγωγής με συμβατική παραγωγή ενέργειας Πηγή: [1.4].....	23
Σχήμα 3 Κύρια στοιχεία συστήματος οικιακής μ-ΣΗΘ Πηγή: [1.5].....	25
Σχήμα 4 Μηνιαίο F-i-T για μονάδες ΣΗΘΥΑ > 1 MWe, Πηγή [2.5].....	47
Σχήμα 5 Κύριες τεχνολογίες συστημάτων μ-ΣΗΘ Πηγή [3.4].....	53
Σχήμα 6 Κύριες τεχνολογίες συστημάτων μ-ΣΗΘ Πηγή [3.2].....	56
Σχήμα 7 Ιδανικός πρότυπος κύκλος του Otto Πηγή [3.5] .....	58
Σχήμα 8 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή Otto, εναλλάκτη λαδιού και ψυκτικού νερού και λέβητα ανάκτησης θερμότητας καυσαερίων για παροχή ΖΝΧ ή ατμού πίεσης στην εγκατάσταση Πηγή [3.1] .....	59
Σχήμα 9 Ιδανικός πρότυπος κύκλος του Diesel Πηγή [3.5] .....	60
Σχήμα 10 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή Diesel, εναλλάκτη λαδιού και ψυκτικού νερού χιτωνίων και λέβητα ανάκτησης θερμότητας καυσαερίων, για παροχή ΖΝΧ ή ατμού χαμηλής πίεσης Πηγή [3.1] .....	60
Σχήμα 11 Διάταξη και τρόπος λειτουργίας μικροστροβίλου Πηγή: [3.1].....	62
Σχήμα 12 Θεωρητικός θερμοδυναμικός κύκλος μηχανής Stirling Πηγή [3.8].....	64
Σχήμα 13 Μηχανή Stirling, Πηγή [3.8] .....	65
Σχήμα 14 Απλή διάταξη κυψέλης καυσίμου, Πηγή [3.5].....	68
Σχήμα 15 Κατηγορίες κυψελών καυσίμου Πηγή [3.8].....	69
Σχήμα 16 Ενδεικτική κάτοψη μονοκατοικίας.....	72
Σχήμα 18 Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας Πηγή: [4.1].....	73
Σχήμα 19 Κατανομή των κτιρίων στην Ελλάδα ανάλογα με τη χρήση τους Πηγή: [4.2].....	74
Σχήμα 20 Μέση ωριαία θερμική κατανάλωση .....	75
Σχήμα 21 Μέση ωριαία ηλεκτρική κατανάλωση.....	78
Σχήμα 22 Μέση μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση .....	79
Σχήμα 23 Λέβητας πετρελαίου Logano plus GB125 18 kW.....	80
Σχήμα 24 Μέρη λέβητα πετρελαίου Logano plus GB125.....	80
Σχήμα 25 Λέβητας φυσικού αερίου logano plus GB102 16 kW.....	82
Σχήμα 26 Remeha eVita 25s της Die Dietrich Remeha .....	86
Σχήμα 27 Ecopower 4.7 .....	87
Σχήμα 28 Dachs Stirling SE .....	89
Σχήμα 29 Θερμοδοχείο Logalux PL1000/2S.....	90
Σχήμα 30 Διάγραμμα Ροής για τη λειτουργία της εγκατάστασης .....	92
Σχήμα 31 Διάγραμμα Ροής ηλεκτρισμού.....	94
Σχήμα 32 Ωριαία ενεργειακή απαίτηση για θέρμανση χώρων .....	102



Σχήμα 33 Ωριαία ενεργειακή απαίτηση για ZNX .....	103
Σχήμα 34 Συνολική ωριαία θερμική απαίτηση.....	103
Σχήμα 35 Ωριαία ηλεκτρική απαίτηση .....	104
Σχήμα 36 Ωριαία κατανάλωση καυσίμου λέβητα πετρελαίου .....	104
Σχήμα 37 Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο Λέβητα Πετρελαίου.....	105
Σχήμα 38 Ωριαία κατανάλωση καυσίμου λέβητα φυσικού αερίου.....	105
Σχήμα 39 Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο Λέβητα Φυσικού αερίου.....	106
Σχήμα 40 Ωριαία ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου (Remeha eVita 25s).....	106
Σχήμα 41 Ωριαία ηλεκτροπαραγωγή (Remeha eVita 25s).....	107
Σχήμα 42 Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο μ-ΣΗΘ Remeha eVita 25s .....	107
Σχήμα 43 Ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο μ-ΣΗΘ Remeha eVita 25s.....	108
Σχήμα 44 Ωριαία ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου (Ecopower 4.7).....	108
Σχήμα 45 Ωριαία ηλεκτροπαραγωγή (Ecopower 4.7).....	109
Σχήμα 46 Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο μ-ΣΗΘ Ecopower 4.7 .....	109
Σχήμα 47 Ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο μ-ΣΗΘ Ecopower 4.7.....	110
Σχήμα 48 Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας νερού εντός του θερμοδοχείου .....	110
Σχήμα 49 Διακύμανση της θερμοκρασίας νερού εντός θερμοδοχείου για εβδομάδα του Ιανουαρίου.....	111
Σχήμα 50 Ωριαία ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου (Dachs-Stirling).....	111
Σχήμα 51 Ωριαία ηλεκτροπαραγωγή (Dachs-Stirling).....	112
Σχήμα 52 Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο μ-ΣΗΘ Dachs – Stirling.....	112
Σχήμα 53 Ετήσιο ισοζύγιο θερμοδοχείου.....	113
Σχήμα 54 Ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο μ-ΣΗΘ Dachs – Stirling .....	113
Σχήμα 55 Ετήσιο κόστος θέρμανσης ανά περίπτωση.....	114
Σχήμα 56 Ανάλυση ετήσιου ηλεκτρικού κόστους Remeha.....	114
Σχήμα 57 Ανάλυση ετήσιου ηλεκτρικού κόστους Ecopower.....	115
Σχήμα 58 Ανάλυση ετήσιου ηλεκτρικού κόστους Dachs.....	115
Σχήμα 59 Ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού ανά περίπτωση .....	116
Σχήμα 60 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση .....	116
Σχήμα 61 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση για ζώνη Α .....	117
Σχήμα 62 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση για ζώνη Δ.....	118
Σχήμα 63 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με αύξηση των ηλεκτρικών απαιτήσεων κατά 30%.....	118
Σχήμα 64 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με μείωση των ηλεκτρικών απαιτήσεων κατά 30% .....	119
Σχήμα 65 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με αύξηση κόστους αγοράς ηλεκτρισμού από το δίκτυο της ΔΕΗ κατά 30%.....	120
Σχήμα 66 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με μείωση κόστους αγοράς ηλεκτρισμού από το δίκτυο της ΔΕΗ κατά 30%.....	121

Σχήμα 67 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με αύξηση κόστους αγοράς φυσικού αερίου κατά 30% .....	121
Σχήμα 68 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με μείωση κόστους αγοράς φυσικού αερίου κατά 30% .....	122
Σχήμα 69 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με πώληση 100% του πλεονασματικού ηλεκτρισμού.....	123
Σχήμα 70 Ωριαία διακύμανση θερμοκρασίας νερού θερμοδοχείου, στην περίπτωση του διπλασιασμού της χωρητικότητας .....	123
Σχήμα 71 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με χρήση θερμοδοχείου διπλάσιου όγκου στην Dachs - Stirling .....	124
Σχήμα 72 Ωριαία διακύμανση νερού θερμοδοχείου στην περίπτωση ενδοδαπέδιας θέρμανσης .....	125
Σχήμα 73 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση για το συνδυαστικό σενάριο .....	126

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Προτεινόμενες τεχνολογίες ΣΗΘ για μονοκατοικίες και πολυκατοικίες.....	54
Πίνακας 2 Λειτουργικά χαρακτηριστικά μονάδων μ-ΣΗΘ με Μ.Ε.Κ. Πηγή: [3.2].....	57
Πίνακας 3: Διαχωρισμός της ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες κατά νομούς Πηγή: [4.1].....	73
Πίνακας 4 Ετήσιες θερμικές καταναλώσεις ανά κλιματική ζώνη Πηγή [4.2].....	75
Πίνακας 5 Μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού δικτύου ύδρευσης ανά κλιματική ζώνη Πηγή [4.3].....	76
Πίνακας 6 Ωριαία κατανομή για τις θερμικές καταναλώσεις ζεστού νερού Πηγή [4.5].....	77
Πίνακας 7 Ετήσιες Ηλεκτρικές καταναλώσεις ανά κλιματική ζώνη Πηγή [4.2] .....	78
Πίνακας 8 Συστήματα μικρο-συμπαγωγής Stirling .....	83
Πίνακας 9 Συστήματα μικρο-συμπαγωγής Μηχανών Εσωτερικής Καύσης .....	84



## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### ***1.1 Σκοπός Εργασίας***

Η ενέργεια ανέκαθεν κατείχε σημαντική θέση στη ζωή των ανθρώπων, κυρίως λόγω της δυνατότητας που τους προσφέρει να ικανοποιήσουν βασικές βιοτικές τους ανάγκες. Έχει συνδεθεί άμεσα με την ανάπτυξη και θεωρείται ως ο σημαντικότερος παράγοντας που θα μπορούσε να την επιβραδύνει, σε περίπτωση που δε ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα.

Από τα σοβαρότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει μεταξύ άλλων ο πλανήτης, είναι η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η εξάντληση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Μετά από δεκαετίες υπεραξιοποίησης των φυσικών πόρων, τα αποθέματα των συμβατικών πηγών ενέργειας μειώνονται, γεγονός που επισκιάζει την ενεργειακή διαθεσιμότητα και επιβάλλει την ορθολογικότερη χρήση της πρωτογενούς ενέργειας. Οι ρυθμοί επιδείνωσης αυτών των προβλημάτων είναι υψηλοί, καθιστώντας επιτακτική τη γρήγορη και μεθοδική αντιμετώπισή τους.

Αυτά τα ζητήματα είναι στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος σε επίπεδα παγκόσμιων 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, στη βέβαιη και ταχύρρυθμη 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. Ενώ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πράγματι αποτελούν έναν τρόπο βελτίωσης της ενεργειακής εξοικονόμησης, δεν μπορούμε να βασιστούμε μόνο σε αυτές, λόγω της διαλείπουσας στοχαστικής παραγωγής ενέργειας. Από την άλλη, ο τρόπος που παραγόταν η ενέργεια μέχρι τώρα ήταν κυρίως μέσω της χρήσης ορυκτών καυσίμων (80% της πρωτογενούς ενέργειας). Οι συμβατικές μέθοδοι ηλεκτροπαραγωγής όμως δε θεωρούνται πλέον αποδοτικές καθώς μετατρέπουν μόνο το ένα τρίτο της ενέργειας του καυσίμου σε ωφέλιμη ενέργεια. Κατά συνέπεια τα δύο τρίτα της πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή θερμότητας. Η ολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά, ενώ η συνολική απόδοση αυξάνεται εάν εφαρμοστεί η Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θέρμανσης (ΣΗΘ).

Ένας από τους σημαντικότερους τομείς όπου μπορούν να ενσωματωθούν αυτόνομα ενεργειακά συστήματα είναι ο τομέας των κτηρίων. Τα κτήρια αντιπροσωπεύουν το 32% της ενέργειας για τελική χρήση. Σε όρους κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, τα κτήρια αντιπροσωπεύουν περίπου το 40% στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες. [1.1] Έτσι, η ανάγκη για χρήση των συστημάτων συμπαραγωγής στον οικιακό τομέα αυξάνεται ραγδαία επειδή έχουν την ικανότητα ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από μία μόνο πηγή καυσίμων όπως πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Με αυτό τον τρόπο μειώνονται οι συνολικές ενεργειακές δαπάνες λόγω της υψηλότερης αποτελεσματικότητας της μετατροπής ενέργειας, σε σύγκριση με εκείνη των συμβατικών συστημάτων μετατροπής ενέργειας.

Σκοπός λοιπόν της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η ενεργειακή και οικονομοτεχνική μελέτη του ενδεχομένου διείσδυσης μονάδων μικρό-συμπαραγωγής στον οικιακό τομέα και πιο συγκεκριμένα μελετάται η περίπτωση της μονοκατοικίας. Με τη μέθοδο της συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας σημαντικό μέρος της παραγόμενης θερμότητας ανακτάται και χρησιμοποιείται ωφέλιμα είτε απευθείας είτε μέσω άλλων διεργασιών όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στην υπό μελέτη μεταπτυχιακή εργασία όπου τονίζεται παράλληλα και η ενεργειακή εξοικονόμηση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σημείο κατανάλωσης της.

## **1.2 Συμπαραγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού (ΣΗΘ)**

Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων ενός καταναλωτή ή μιας ομάδας καταναλωτών είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και η καύση κάποιου καυσίμου σε λέβητα, για την παραγωγή θερμότητας, ζεστού νερού χρήσης (ZNX) ή / και ατμού. [1.2] Οι σύγχρονες μέθοδοι ηλεκτροπαραγωγής μετατρέπουν το 40-55% της ενέργειας του καυσίμου σε ωφέλιμη ενέργεια, με αποτέλεσμα το 60-45% του καυσίμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή θερμότητας.[1.3] Αυτό, σε συνδυασμό με την καύση πρωτογενούς καυσίμου (πετρέλαιο, αέριο, κλπ.) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας με αποδόσεις από 70-90%, δημιουργούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. [1.2] Η ολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά (άρα και οι εκπομπές των ρύπων) ενώ η συνολική απόδοση αυξάνει (>80%) εάν εφαρμοστεί η Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θέρμανσης (ΣΗΘ) ή απλά Συμπαραγωγή (για την Αγγλία Combined Heat and Power – CHP, για τις ΗΠΑ – Cogeneration).[1.3]

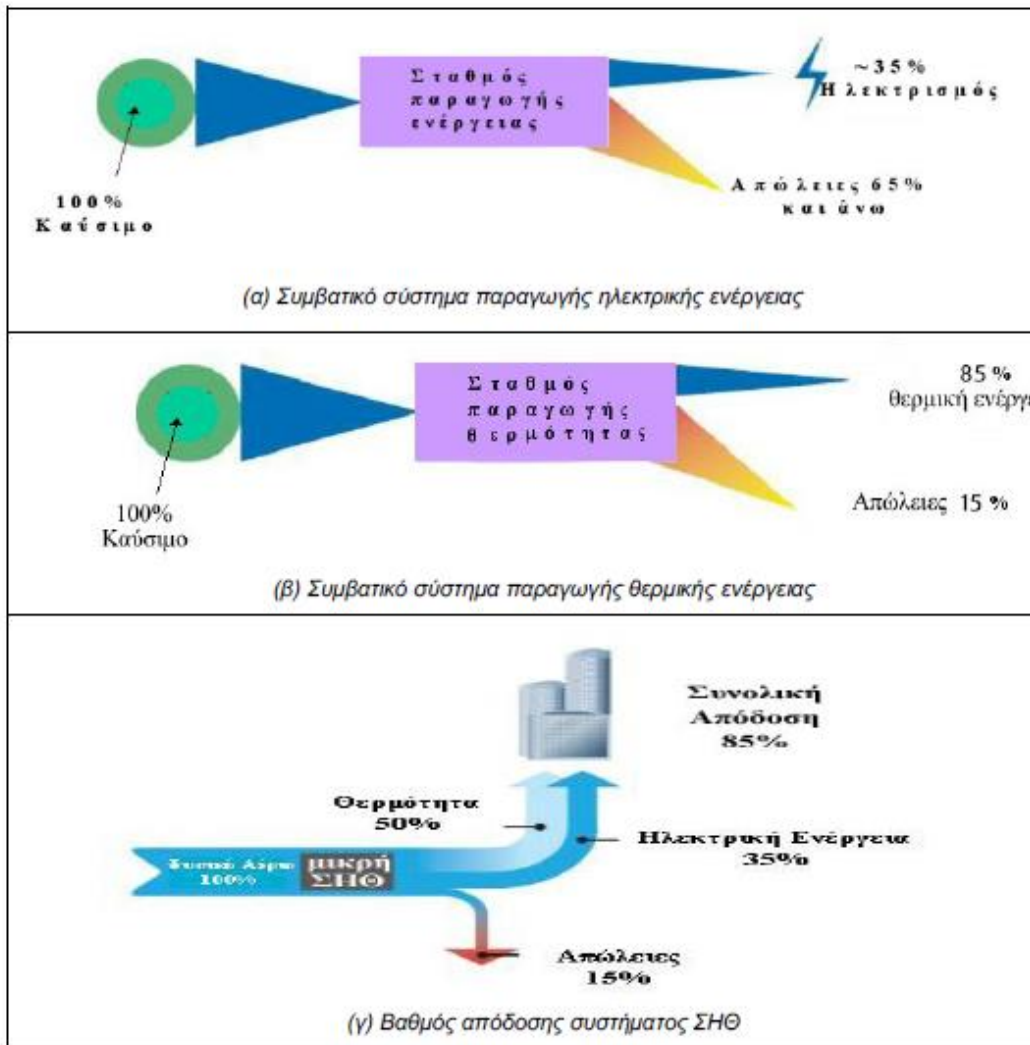
Η Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας συνήθως κοντά στο χώρο της τελικής χρήσης και στο πλαίσιο μόνο μίας διεργασίας. Με τη μέθοδο της συμπαραγωγής, σημαντικό μέρος της θερμότητας αυτής ανακτάται και χρησιμοποιείται ωφέλιμα. Με το συμβατικό τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλες ποσότητες θερμότητας απορρίπτονται στο περιβάλλον είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωτές, πύργοι ψύξης, κλπ), είτε μέσω των καυσαερίων (αεριοστρόβιλοι κλπ). Η συμπαραγωγή βασίζεται στη θερμοδυναμικά αποδοτική χρήση του καυσίμου, αξιοποιώντας μέρος της περίσσειας θερμότητας που θα απορριπτόταν στο περιβάλλον.

Επομένως η συμπαραγωγή δεν είναι μια συγκεκριμένη τεχνολογία αλλά συνέργεια διαφόρων τεχνολογιών που σε συνδυασμό καλύπτουν ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες βελτιώνοντας έτσι το συνολικό βαθμό απόδοσης. Τα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να θεωρηθούν ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα, εννοώντας ότι μπορούν να καλύψουν όλες τις τελικές ενεργειακές χρήσεις (ηλεκτρισμό, θερμό νερό, ατμό, θερμό αέρα, ψύξη). Αξίζει να σημειωθεί ότι η συμπαραγωγή συμπεριλαμβάνεται στις αποδοτικές τεχνολογίες παραγωγής θερμότητας, ψύξης και ηλεκτρισμού που μπορούν να μειώσουν τις συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub>. [1.1]

Είναι προφανές ότι οι προοπτικές διείσδυσης αυτής της τεχνολογίας είναι μεγάλες. Παρόλο που η λογική της συμπαραγωγής έρχεται περισσότερο στο προσκήνιο την τελευταία δεκαετία, οι απαρχές της βρίσκονται στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Η απελευθέρωση της ενεργειακής αγοράς αναζωπύρωσε το ενδιαφέρον και για τους ιδιώτες που μπορούν να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία είτε για να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες (αυτοπαραγωγοί), είτε ως ευκαιρία επένδυσης με την πώληση του παραγόμενου ηλεκτρισμού στο δίκτυο (παραγωγοί). Αρχικά ενδιαφέρθηκαν οι βιομηχανίες για να τροφοδοτούν τις διεργασίες τους με «φτηνό» ηλεκτρισμό και θερμότητα διαθέτοντας τις υποδομές για την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος. Ακολούθησαν πελάτες του εμπορικού τομέα με μεγάλες εγκαταστάσεις και πολλές ώρες λειτουργίας, όπως νοσοκομεία, ξενοδοχεία, εμπορικά κέντρα κ.ο.κ. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την ικανότητα κατασκευής μονάδων σε πολύ μικρή κλίμακα (10kW), τα τελευταία χρόνια η συμπαραγωγή έχει αρχίσει να διεισδύει και στον οικιακό τομέα (micro-CHP). [1.4]

Η παραγόμενη θερμική ενέργεια από τη συμπαραγωγή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για τη θέρμανση του κτηρίου, την παραγωγή ZNX, όσο και για την ψύξη, που επιτυγχάνονται με μηχανές απορρόφησης, που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό. Όταν το σύστημα συμπαραγωγής έχει τη δυνατότητα να παράγει και ενέργεια ψύξης τότε ονομάζεται Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού, Θέρμανσης και Ψύξης (ΣΗΘΨ), ή απλά Τρι-παραγωγή (Combined Heat, Cooling and Power – CHCP). [1.2],[1.3] Η τεχνολογία αυτή ανήκει και μοιράζεται όλα τα πλεονεκτήματα και τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών συμπαραγωγής. Έγινε πρόσφατα οικονομικά βιώσιμη λόγω της εμπορικής εξάπλωσης των ψυκτών απορρόφησης ή άλλων τεχνολογιών που ενεργοποιούνται με θερμότητα, δηλαδή τεχνολογιών που χρησιμοποιούν θερμότητα χαμηλής ενθαλπίας ως καύσιμο για παραγωγή ψύξης αντικαθιστώντας τον ηλεκτρικό κλιματισμό ή εξοπλισμό αφύγρανσης. Η βασική αρχή λειτουργίας πίσω από τα συστήματα τριπαραγωγής είναι ότι μετατρέπουν τη μηχανική ισχύ του κινητήρα σε ηλεκτρική ισχύ. Η περίσσεια θερμότητας που ανακλάται καλύπτει τη θερμική και ψυκτική ισχύ μέσω ενός ψυκτικού απορρόφησης. [1.4]

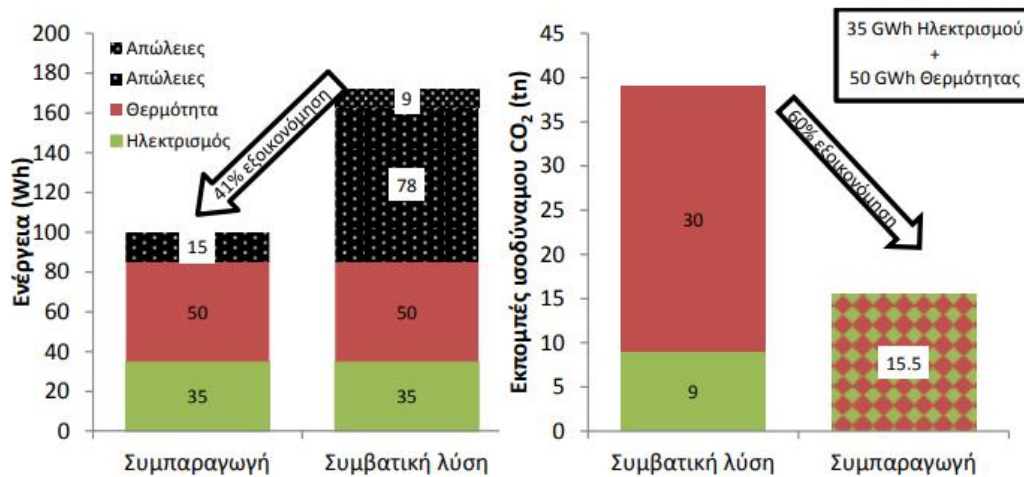
Μια τυπική σύγκριση ως προς το βαθμό απόδοσης της ΣΗΘ με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Η ΣΗΘ έχει συνολική απόδοση έως 90%. Αυτό κυμαίνεται περίπου στο 30-40% περισσότερο από την ξεχωριστή παραγωγή των συμβατικών καυσίμων και έτσι προκύπτει μείωση της τάξης του 30-40% στην κατανάλωση πρωτογενών καυσίμων και στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Η υψηλή αυτή αποδοτικότητα παρέχει μια οικονομικά ελκυστική τεχνολογία για τους ενεργειακούς καταναλωτές με ταυτόχρονη ζήτηση τόσο για θερμότητα όσο και για ηλεκτρική ενέργεια. [1.2]



Σχήμα 1 Σύγκριση βαθμού απόδοσης συστήματος ΣΗΘ με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας  
 Πηγή: [1.2]

Το σημαντικότερο όφελος της τεχνολογίας ΣΗΘ ως παραγωγικής διαδικασίας είναι η αποδοτικότερη αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου του καυσίμου. Αυτό επιτυγχάνεται λόγω του μεγαλύτερου συνολικού βαθμού απόδοσης. Από ένα τυπικό σύστημα ΣΗΘ, 100 μονάδες καυσίμου μπορούν να δώσουν 35 μονάδες ηλεκτρισμού και 50 μονάδες θερμότητας, δηλαδή 85% συνολική απόδοση. Αν οι ίδιες ποσότητες ενέργειας παράγονταν ξεχωριστά, θα χρειαζόνταν 113 μονάδες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρισμού και 59 μονάδες για την παραγωγή θερμότητας, μειώνοντας το συνολικό βαθμό απόδοσης στο 50%.[1.4]. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.





Σχήμα 2 Σύγκριση συμπααραγωγής με συμβατική παραγωγή ενέργειας Πηγή: [1.4]

Η ΣΗΘ 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 συμπααραγωγικές.

Στην Ευρώπη, μεγάλη ανάπτυξη της ΣΗΘ αναφέρεται στη Δανία, τη Φιλανδία, την Ολλανδία κ.α., που παρουσιάζουν υψηλή ποσοστιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ. Στις χώρες αυτές, εκτός των μονάδων ΣΗΘ σε μεγάλες βιομηχανίες και σε μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την τηλεθέρμανση πόλεων, υπάρχουν σημαντικές εγκαταστάσεις ΣΗΘ στον τριτογενή (νοσοκομεία, ξενοδοχεία, αθλητικά κέντρα, κ.α.), αλλά και στον οικιακό τομέα.

Η ΣΗΘ στην Ελλάδα ξεκινά στις αρχές του 20ου αιώνα. Οι πρώτες σύγχρονες μονάδες ΣΗΘ 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 ΣΗΘ ήταν η βιομηχανία ζάχαρης, χαρτοποιίας, χαλυβουργίας, καθώς και βιομηχανίες στον τομέα του πετρελαίου.

Την περίοδο 1970-1999 άλλαξε ουσιαστικά η κατάσταση των μονάδων ΣΗΘ στις ελληνικές βιομηχανίες με ποιοτική αλλά και ποσοτική βελτίωση τους. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, με την άφιξη του φυσικού αερίου στην Ελλάδα, αναδείχθηκαν οι δυνατότητες που προσφέρει η ΣΗΘ με χρήση φυσικού αερίου. Σήμερα, λειτουργούν μονάδες ΣΗΘ στη βιομηχανία, στον τριτογενή τομέα (κύρια σε ιδιωτικά νοσοκομεία και ξενοδοχεία, κ.α.) καθώς και σε πολυκατοικίες και μονοκατοικίες.[1.2]

Με βασικό, αλλά ταυτόχρονα πολύ γενικό κριτήριο την προτεραιότητα που δίνεται στην παραγωγή της ηλεκτρικής ή της θερμικής ενέργειας σε ένα σύστημα ΣΗΘ υπάρχουν δύο γενικοί χαρακτηρισμοί:

- **Συστήματα «Κορυφής» (Topping Systems):** Στα συστήματα «Κορυφής», ρευστό υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ η αποβαλλόμενη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες, θέρμανση χώρων ή ακόμη και για παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Συστήματα «Βάσης» (Bottoming Systems):** Στα συστήματα «Βάσης», παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (όπως π.χ. σε φούρνους χαλυβουργιών, υαλουργιών, εργοστασίων τσιμέντου, κ.λ.π.) και κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται σε κατάλληλη διάταξη, όπου παράγεται ατμός που κινεί τη στροβιλογεννήτρια. Είναι επίσης δυνατό, τα θερμά αέρια να διοχετευθούν κατευθείαν σε αεριοστρόβιλο, που κινεί γεννήτρια.

Ένα σύστημα ΣΗΘ αποτελείται κυρίως από τα ακόλουθα στοιχεία:

- **Τον Κινητήρα (Prime Mover):** Μικροστρόβιλος, Ατμοστρόβιλος, Αεριοστρόβιλος, Παλινδρομική Μηχανή Εσωτερικής Καύσης, Συνδυασμένου Κύκλου. 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 λέβητας καυσαερίων).
- **Τη Γεννήτρια:** Σύγχρονη, Ασύγχρονη ή Αυτοδιεγερόμενη ασύγχρονη. Παράγει την ηλεκτρική ενέργεια.
- **Το Σύστημα Ελέγχου:** Μέσω αυτού διασφαλίζεται η ασφαλής και ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ [1.3]

Τα πιο διαδεδομένα και ευρέως εφαρμόσιμα συστήματα ΣΗΘ θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

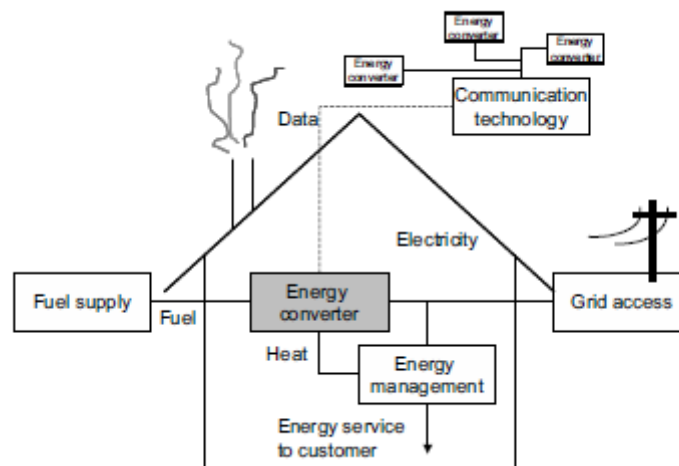
### **1.3 Μικροσυμπαγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού (μ-ΣΗΘ)**

Τα συστήματα συμπαγωγής μπορούν να εφαρμοστούν για την παροχή ενός ευρύτατου φάσματος ποσοτήτων ενέργειας. Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού αναζωπύρωσε το ενδιαφέρον των ιδιωτών που είτε μπορούν να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία ΣΗΘ για να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες (αυτοπαραγωγοί), είτε να πωλούν το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στο δίκτυο (παραγωγοί). Ειδικά με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την ικανότητα κατασκευής μονάδων σε πολύ μικρή κλίμακα (10kW), τα τελευταία χρόνια η ΣΗΘ έχει αρχίσει να διεισδύει και στον οικιακό τομέα (micro-CHP), ως «αποκεντρωμένη παραγωγή».[1.3]

Ως οικιακή μικρό-συμπαγωγή (μ-ΣΗΘ) ορίζεται η ταυτόχρονη παροχή θερμικής ή/και ψυκτικής και ηλεκτρικής ισχύος σε κτήριο, δυναμικότητας έως 50kW ηλεκτρισμού.[1.5] Επιπλέον είναι χρήσιμο να περιοριστούμε σε τυποποιημένες μονάδες συμπαγούς τύπου (όλα τα εξαρτήματα βρίσκονται εντός σταθερού περιβλήματος που περιλαμβάνει και την ακουστική μόνωση) διότι:

- Σύμφωνα με το αρθ. 10 του Ν.3734, για αυτές χορηγείται έγκριση τύπου μονάδας στους κατασκευαστές ή τους εισαγωγείς από τον αρμόδιο πιστοποιημένο φορέα για εξοικονόμηση ενέργειας. Με το ίδιο δε άρθρο, απαλλάσσονται από την υποχρέωση λήψης αδειών παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας.
- Είναι εύκολη η εγκατάστασή τους και η σύνδεσή τους με τα υπάρχοντα δίκτυα κεντρικής θέρμανσης και ηλεκτρισμού των κτιρίων
- Οι κατασκευαστές/εισαγωγείς αναπτύσσουν δίκτυα ειδικά εκπαιδευμένων συντηρητών. Οι απαιτήσεις για εκπαίδευση των χρηστών είναι περιορισμένες.[1.6]

Στο σχήμα 3 απεικονίζονται τα κύρια στοιχεία ενός συστήματος οικιακής μ-ΣΗΘ.



Σχήμα 3 Κύρια στοιχεία συστήματος οικιακής μ-ΣΗΘ Πηγή: [1.5]

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες συμβατικές και μη τεχνολογίες ώστε να εφαρμοστούν στα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής, οι περισσότερες εκ των οποίων βασίζονται σε αυτές των συστημάτων συμπαραγωγής μεγαλύτερης κλίμακας. Οι μονάδες μικρό-συμπαραγωγής χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη συμβατικά καύσιμα όπως πετρέλαιο, φυσικό αέριο και υγραέριο. Παράλληλα, γίνονται μελέτες για την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων από βιοκαύσιμα στις μηχανές ντίζελ, τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετική βιοαποικοδομισιμότητα και χαμηλή τοξικότητα. Επιπλέον επιχειρείται η κατασκευή κινητήρων από συσσωματώματα ξύλου και από ηλιακούς συλλέκτες, η οποία όμως βρίσκεται σε πιλοτικό στάδιο.[1.7] Οι τεχνολογίες οικιακής μ-ΣΗΘ θα αναλυθούν εκτενώς σε επόμενο κεφάλαιο.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η μ-ΣΗΘ 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. Οι υπάρχουσες σήμερα στο εμπόριο μονάδες μικρό-συμπαραγωγής έχουν το μέγεθος ενός συμβατικού λέβητα αντίστοιχης ισχύος τον οποίο και συνήθως αντικαθιστούν, ενώ παράγουν συγκρίσιμα επίπεδα θορύβου ή κραδασμών. Με την απαραίτητη τεχνικοοικονομική μελέτη αξιολόγησης της επένδυσης, επιλέγεται η καταλληλότερη τεχνολογία και τρόπος λειτουργίας για την κάθε περίπτωση. Η γενική ιδέα όμως παραμένει η ίδια: παραγωγή θερμού νερού για κοινή οικιακή χρήση και για

την κεντρική θέρμανση τον χειμώνα, παραγωγή ψύξης, είτε για κλιματισμό μόνο το καλοκαίρι, είτε για την εξυπηρέτηση ψυκτικών φορτίων όλο τον χρόνο (π.χ. ψυγεία), και ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού είτε για εσωτερική κατανάλωση, είτε για πώληση στο δίκτυο.[1.6] Η πλεονάζουσα ενέργεια μπορεί να διοχετευθεί στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, αν και εφόσον η σύνδεση είναι εφικτή. Αξίζει να αναφερθεί ότι η σύνδεση και λειτουργία των συστημάτων ΣΗΘ 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 εγκατάστασης, τα επίπεδα ζήτησης του θερμικού φορτίου, η διαθεσιμότητα του καυσίμου, η ύπαρξη επαρκών εγκαταστάσεων για τη μεταφορά του κλπ.[1.2]

Είναι πάντως σαφές ότι η οικονομική επιτυχία του έργου και το μέγεθος του οφέλους, εξαρτώνται από τα σχετικά κόστη του εξοπλισμού μονάδας μικρό-συμπαραγωγής – συμβατικού λέβητα (αρχική αγορά, συντήρηση, διάρκεια ζωής), από τις τιμές αγοράς από το δίκτυο και πώλησης στο δίκτυο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, από τις συνολικές ώρες λειτουργίας μέσα σε ένα έτος και από τις τιμές των καυσίμων.

Πρόκληση λοιπόν αποτελεί η διαστασιολόγηση του συστήματος ΣΗΘ στο κτίριο, δηλαδή, η επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας για τη μονάδα ΣΗΘ και συνεπώς ο σχεδιασμός όλου του συστήματος. Πρέπει να τονιστεί ότι είναι απαραίτητο να υλοποιηθούν εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας στο περίβλημα του κτιρίου, πριν από τη μελέτη για την εγκατάσταση συστήματος ΣΗΘ Τα βασικά κριτήρια για τη βέλτιστη επιλογή του συστήματος ΣΗΘ αφορούν στην:

- Οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης
- Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας
- Αδιάλειπτη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ, προσφέροντας ηλεκτρική ενέργεια, Ζ.Ν.Χ., ατμό, θερμική/ψυκτική ενέργεια στους ενοίκους του κτηρίου
- Περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα από τη χρήση της ΣΗΘ[1.2]

Πέρα όμως από τα οικονομικά οφέλη σε επίπεδο ενός σπιτιού, μιας πολυκατοικίας ή ενός μεγαλύτερου συγκροτήματος κατοικιών ή επαγγελματικών χώρων, ενός νοσοκομείου ή ενός εμπορικού κέντρου όπου ένα σύστημα μικρό-συμπαραγωγής μπορεί να εγκατασταθεί, υπάρχουν και γενικότερα οφέλη για το κοινωνικό σύνολο που βρίσκονται σε συμφωνία με τις επιδιώξεις για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, την οικονομική ανταγωνιστικότητα και τον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου:

- Ο πρωταρχικός σκοπός ύπαρξης ενός τέτοιου συστήματος, όπως και η λειτουργία των απλών λεβήτων και συστημάτων κλιματισμού τα οποία καλείται να αντικαταστήσει, είναι η κάλυψη των αναγκών για θέρμανση ή ψύξη. Με την κατανάλωση της ίδιας ή λίγο μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου, παράγεται ως παραπροϊόν και ηλεκτρισμός “χαμηλού ίχνους άνθρακα”. Επιπλέον, οι ώρες της ημέρας κατά τις οποίες λειτουργεί πιο έντονα, συμπίπτουν με τις ώρες αιχμής του συστήματος. Έτσι αντικαθιστά ένα μέρος από την ηλεκτρική ενέργεια που θα παραγόταν από θερμικές μονάδες ορυκτών καυσίμων για την ικανοποίηση της ζήτησης αιχμής. Εκτιμάται ότι συνολικά μπορεί να

αποφευχθεί η εκπομπή 1 ως 2 τόνων CO<sub>2</sub> το χρόνο ανά εγκατάσταση συστήματος μικρό-συμπαγωγής.

- Η παραγωγή ηλεκτρισμού έρχεται δίπλα στην κατανάλωση μειώνοντας τις απώλειες πάνω στα καλώδια μεταφοράς και διανομής
- Λόγω αυτής της εγγύτητας στην κατανάλωση και του προφίλ της παραγωγής ηλεκτρισμού (λειτουργία κατά τις ώρες αιχμής), σε περίπτωση μαζικών εγκαταστάσεων μεγάλου αριθμού τέτοιων μονάδων μειώνεται η ανάγκη για επενδύσεις σε υποδομές (δίκτυα μεταφοράς και θερμικές μονάδες παρακολούθησης αιχμών).[1.6]

Το δυναμικό σε συστήματα πολύ μικρής-ΣΗΘ είναι αρκετά αισιόδοξο και οφείλεται στο γεγονός ότι σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία για την Εξοικονόμηση Ενέργειας - ΚΟΕΕ, τα συστήματα αυτά θα επιτρέπεται να συνδεθούν με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και ως εκ τούτου θα είναι σε θέση να πωλούν το πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας ή να συμμετάσχουν στο πρόγραμμα net-metering. Η διεύθυνση της πολύ μικρής-ΣΗΘ είναι περιορισμένη σε περιοχές, όπου υπάρχει δίκτυο φυσικού αερίου. Η διαθεσιμότητα των συστημάτων πολύ μικρής-ΣΗΘ και μικρής κλίμακας Συμπαγωγής πρόκειται να κατευθύνονται προς ξενοδοχεία, κλινικές, αθλητικά κέντρα και σε μεγάλες οικιστικές κατοικίες. Υπάρχει ένα οικονομικό δυναμικό της Συμπαγωγής 24 MWe και 39 MWth, για το 2020 στον τομέα της κατοικίας. [1.8]

#### **1.4 Εναλλακτικοί τρόποι λειτουργίας συστημάτων συμπαγωγής**

Ένα μεγάλο πρόβλημα στο θερμοδυναμικό σχεδιασμό μίας μονάδας ΣΗΘ είναι η εξισορρόπηση μεταξύ ηλεκτρικής ισχύος και φορτίων ατμού. Για παράδειγμα, η απαίτηση σε ατμό εξαρτάται από τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που μπορεί να εξαρτώνται από σημαντικές εποχιακές μεταβολές, ενώ η ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παρουσιάσει μέγιστο το χειμώνα ή το καλοκαίρι ανάλογα με τη γεωγραφική θέση. Σε μερικές περιπτώσεις το σύστημα μπορεί να σχεδιαστεί για να ικανοποιεί το κυρίως θερμικό φορτίο και ο αεριοστρόβιλος που επιλέγεται μπορεί να παρέχει πολύ μεγαλύτερη ισχύ από αυτή που απαιτείται από τη μονάδα.

Οι κυριότεροι τρόποι λειτουργίας ενός συστήματος ΣΗΘ, δηλαδή οι τρόποι ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος κάθε χρονική στιγμή είναι οι εξής:

- **Κάλυψη του Θερμικού Φορτίου (Heat Match):** Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, η ωφέλιμη παραγωγή θερμότητας του συστήματος ΣΗΘ είναι ίση με το θερμικό φορτίο. Εάν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από το φορτίο η πλεονάζουσα ενέργεια πωλείται στο δίκτυο, ενώ αν είναι μικρότερη, η συμπληρωματική ενέργεια αγοράζεται από το δίκτυο.
- **Κάλυψη του Θερμικού Φορτίου Βάσης:** Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα ΣΗΘ διαστασιοποιείται 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 αυτή που μπορεί να παρέχει ο κύριος κινητήρας, τότε η υπόλοιπη ποσότητα μπορεί να αγοραστεί από το δίκτυο. Αντίστοιχα, η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί σε ηλεκτρική εταιρεία.

- **Κάλυψη του Ηλεκτρικού Φορτίου (Electricity Match):** Κάθε χρονική στιγμή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με το ηλεκτρικό φορτίο. 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. Εάν οι συνθήκες το επιτρέπουν, η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να πωληθεί σε γειτονικούς πελάτες.
- **Κάλυψη του Ηλεκτρικού Φορτίου Βάσης:** Σε αυτή τη διάταξη, η μονάδα ΣΗΘ διαστασιοποιείται ώστε να ικανοποιεί την ελάχιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης, βάσει της καμπύλης των ιστορικών αναγκών. Οι υπόλοιπες ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια καλύπτονται από το δίκτυο. Οι θερμικές ανάγκες της εγκατάστασης θα μπορούσαν να καλυφθούν από το σύστημα ΣΗΘ 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.
- **Μεικτός Τρόπος:** 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 τη 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 και ίσως και στην καλύτερη οικονομική απόδοση του συστήματος ΣΗΘ, τόσο στο βιομηχανικό όσο και στον κτιριακό τομέα. Στον τομέα των εταιρειών ηλεκτροπαραγωγής, ο τρόπος λειτουργίας εξαρτάται από το συνολικό φορτίο του δικτύου, τη διαθεσιμότητα των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και τις υποχρεώσεις της εταιρείας προς τους πελάτες της όσον αφορά την τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Κάθε εφαρμογή έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της. Ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας, το μέγεθος και τη διαμόρφωση, υπάρχει πληθώρα συστημάτων ΣΗΘ, ενώ η σχεδίαση ενός συστήματος ΣΗΘ 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. Επομένως όλες αυτές οι πτυχές καθιστούν αναγκαία τη λήψη αποφάσεων όχι βάσει γενικών κανόνων μόνο, αλλά και με τη χρήση συστηματικών διαδικασιών βελτιστοποίησης που βασίζονται στο μαθηματικό προγραμματισμό, τόσο για το σχεδιασμό όσο και για τη λειτουργία του συστήματος.[1.3]

## **1.5 Σύνοψη πλεονεκτημάτων – μειονεκτημάτων συμπαραγωγής**

Η ΣΗΘ βελτιώνει την παροχή ενέργειας προς όλους τους καταναλωτές και ταυτόχρονα ωφελεί την Εθνική Οικονομία διότι έχει:

- Μικρότερες εκπομπές προς το περιβάλλον, ιδιαίτερα του CO<sub>2</sub> που είναι το σημαντικότερο αέριο στο οποίο οφείλεται η κλιματική αλλαγή.[1.2]
- Αυξημένη απόδοση μετατροπής και χρήσης της ενέργειας. Η ΣΗΘ είναι η πλέον αποτελεσματική και αποδοτική μορφή ηλεκτροπαραγωγής με την ταυτόχρονη παραγωγή θερμικής ενέργειας.[1.2]
- Σημαντική εξοικονόμηση οικονομικών πόρων, παρέχοντας πρόσθετη ανταγωνιστικότητα στη βιομηχανία και στις εμπορικές επιχειρήσεις, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα παρέχονται σε προσιτές τιμές. Επιπλέον, συμβάλλοντας στην απελευθέρωση της ηλεκτροπαραγωγής, βελτιώνει την ανταγωνιστικότητα. [1.2],[1.4]
- Σημαντική ευκαιρία ώστε να προωθηθούν αποκεντρωμένες λύσεις ηλεκτροπαραγωγής, όπου οι σταθμοί ΣΗΘ σχεδιάζονται να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, παρέχοντας υψηλή απόδοση, αποφεύγοντας απώλειες μεταφοράς και αυξάνοντας την ευελιξία στη χρήση του συστήματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όταν το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ως κύριο καύσιμο.[1.2]
- Βελτιωμένη ασφάλεια παροχής, που μειώνει τις πιθανότητες οι καταναλωτές να μείνουν χωρίς ηλεκτρική ή/και θερμική ενέργεια. Η ΣΗΘ συνεισφέρει στην εξισορρόπηση μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους της αιχμιακής ζήτησης, μειώνοντας τον κίνδυνο πτώσης του δικτύου. [1.2],[1.4]
- Εξοικονόμηση πρωτογενούς καυσίμου μειώνοντας έτσι την εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα.[1.4]
- Αυξημένη απασχόληση αφού η ανάπτυξη των συστημάτων ΣΗΘ δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.[1.2]

Συνεπώς, τα συστήματα συμπαραγωγής παράγουν ηλεκτρισμό, θερμότητα και ψύξη χρησιμοποιώντας την πρωτογενή ενέργεια του καυσίμου πιο αποδοτικά, οικονομικά, αξιόπιστα και με λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον από την κεντρική ξεχωριστή παραγωγή.

Παρά τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα της ΣΗΘ, υπάρχουν διάφορα πιθανά προβλήματα από την περαιτέρω ανάπτυξή της, τα οποία συνοψίζονται γενικά στα εξής:

- Όλα τα συστήματα συμπαραγωγής εξοικονομούν καύσιμο, διότι έχουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης από τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Όμως, το αν είναι συμφέρουσα η όχι η αντικατάσταση συστημάτων ξεχωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας με ένα σύστημα συμπαραγωγής εξαρτάται από τα καύσιμα που αυτά χρησιμοποιούν. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής εξαρτώνται από εισαγόμενα καύσιμα. Γενικά, η επιλογή των συστημάτων

συμπαγωγής και του καυσίμου που θα χρησιμοποιηθούν, είναι σκόπιμο να εναρμονίζονται με μια γενικότερη εθνική ενεργειακή πολιτική.

- Τεχνικά ζητήματα και προκλήσεις από τη σύνδεση συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο και την αλλαγή της ροής ισχύος σε αυτό, όπως:
  - η μεταβολή των μεθόδων προστασίας του δικτύου που στα περισσότερα σημερινά δίκτυα διανομής προβλέπεται μονόδρομη ροή ισχύος.
  - η μεταβολή των χαρακτηριστικών των βραχυκυκλωμάτων του δικτύου και η δημιουργία υπερτάσεων και υποτάσεων κατά την είσοδο και έξοδο των μονάδων ΣΗΘ. Επιπλέον η αποσύνδεση και επανασύνδεση των μονάδων ενδέχεται να δημιουργήσει πρόβλημα στην ευστάθεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Τα προβλήματα αυτά περιορίζονται ή αποφεύγονται όταν το σύστημα συμπαγωγής και η σύνδεσή του με το δίκτυο πληρούν ορισμένες προδιαγραφές. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η συνεννόηση με τις αρμόδιες υπηρεσίες της Δ.Ε.Η.
- Η εξάπλωση της συμπαγωγής θα μπορούσε να έχει αρνητικές οικονομικές επιπτώσεις στο εθνικό σύστημα ηλεκτρισμού, αν αυτό έχει ικανότητα παραγωγής μεγαλύτερη από τη ζήτηση ή αν ο ρυθμός αύξησης της ικανότητας με κατασκευή νέων σταθμών είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό αύξησης της ζήτησης και για διάφορους λόγους δεν μπορεί να επιβραδυνθεί. Τότε, το κόστος κεφαλαίου μοιράζεται σε μικρότερη ποσότητα παραγόμενου ηλεκτρισμού, με αποτέλεσμα την αύξηση του μοναδιαίου κόστους. Τέτοιο ενδεχόμενο δε φαίνεται να υπάρχει για την Ελλάδα διότι αφενός μεν μέρος των αναγκών καλύπτεται με εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αφετέρου δε το αναπτυξιακό πρόγραμμα της Δ.Ε.Η. αναθεωρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα και επομένως μπορεί να προσαρμόζεται στις νέες συνθήκες.
- Οι μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις που αντικαθιστούν σταθμούς βάσης μπορεί σε τοπικό επίπεδο να αυξήσουν τις εκπομπές ρύπων. Αυτό συμβαίνει γιατί οι κεντρικές μονάδες είναι συνήθως μακριά από τα αστικά κέντρα γεγονός που καθιστά τον έλεγχό τους με αντιρρυπαντική τεχνολογία ευκολότερο. Επομένως πρέπει ο έλεγχος της συντήρησης των μονάδων και των εκπομπών τους εντός του αστικού ιστού να είναι αυστηρός.
- Η αποκομιδή των καταλοίπων της καύσης καθώς και η διακίνηση των καυσίμων, μπορεί να οδηγήσει σε ρύπανση του εδάφους σε τοπικό επίπεδο. Επιπλέον εντός του αστικού ιστού ενδέχεται να δημιουργηθούν και προβλήματα ηχορύπανσης.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1<sup>ο</sup> Κεφαλαίου**

- [1.1] International Energy Agency, Technology Roadmap: Energy-efficient Buildings - Heating and Cooling Equipment, Paris, France, 2011
- [1.2] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017, «Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια»
- [1.3] Ανέστης Γ. Αναστασιάδης, Διδακτορική Διατριβή, «Συμβολή στη Διαχείριση Μικροδικτύων Ηλεκτρικής Ενέργειας με Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Νοέμβριος 2014
- [1.4] Κωνσταντίνος Καββαδίας, Διδακτορική Διατριβή, «Αριστοποίηση Συστήματος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού Θερμότητας Ψύξης», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Ιούλιος 2012
- [1.5] Martin Pehnt, «Micro Cogeneration Technology»
- [1.6] Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε., «Μικρό-Συμπαραγωγή», διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesis-ape/periechomena/sithya-mikro-symparagogi/mikro-symparagogi-micro-chp/>
- [1.7] 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
- [1.8] CODE2-Cogeneration Observatory and Dissemination Europe, «Οδικός χάρτης (Roadmap) συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας για την Ελλάδα», Νοέμβριος 2014



## **2. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

Οι νέες εξελιγμένες ενεργειακές τεχνολογίες και οι διαχρονικές περιβαλλοντικές επιταγές, τα διεθνή και ευρωπαϊκά πλαίσια συνεργασίας αλλά και άλλες διακρατικές συμφωνίες και πρωτόκολλα, επιτάσσουν την προσαρμογή και την εναρμόνιση της ελληνικής ενεργειακής αγοράς και του θεσμικού της πλαισίου με τις σύγχρονες διεθνείς τάσεις, αντιλήψεις και επιταγές. [2.1] Η Ελλάδα καταβάλει προσπάθειες προκειμένου να εισαγάγει ένα ρυθμιστικό πλαίσιο για την παραγωγή ηλεκτρισμού από Α.Π.Ε και ΣΗΘ. Οι συγκεκριμένες προσπάθειες αποβλέπουν στην ενθάρρυνση διάφορων επενδύσεων, στον εκσυγχρονισμό της ενεργειακής υποδομής και στην “ευθυγράμμιση” της Ελλάδας με τα υπόλοιπα ευρωπαϊκά κράτη.

Το παρόν κεφάλαιο επικεντρώνεται αρχικά στην περιληπτική ανασκόπηση του νομοθετικού πλαισίου σε Εθνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο, σχετικού με τη Συμπαράγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού από το 1990 έως και σήμερα (2018). Το πλήρες σώμα των νόμων, των κοινών υπουργικών αποφάσεων και των Ευρωπαϊκών οδηγιών, παρουσιάζεται στον ισότοπο του Ελληνικού Συνδέσμου Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας (ΕΣΣΗΘ) [2.2] και της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) [2.3], τα οποία και αποτελούν βασικές πηγές του εν λόγω κεφαλαίου. Βασική πηγή αποτελεί επιπλέον και η τεχνική οδηγία του Τ.Ε.Ε. (2017) για την μικρό-συμπαράγωγή. [2.4]

Συμπληρωματικά, στο τέλος του κεφαλαίου, παρουσιάζονται αναλυτικά οι νόμοι 3468/2006, 4254/2014, 4425/2016, οι οποίοι άλλαξαν ριζικά το τοπίο στον τομέα της Συμπαράγωγής.

## 2.1 Νομοθετική ανασκόπηση

Τα τελευταία σχεδόν 25 χρόνια, υπήρξαν καταλυτικές κυβερνητικές παρεμβάσεις για την ανάπτυξη της ΣΗΘ στην Ελλάδα, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό το κατάλληλο νομικό πλαίσιο, εισάγοντας παράλληλα μηχανισμούς υποστήριξης της συμπαραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. [2.5] Παρακάτω παρουσιάζονται οι νόμοι και οι υπουργικές αποφάσεις που αφορούν την Ελλάδα, αποφάσεις και γνωματεύσεις από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) καθώς και οι σχετικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες.

### 2.1.1 Νόμοι που αφορούν τη ΣΗΘ

1	N.2244/1994
	«Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις»
<p>Ο Ν.2244/94 ουσιαστικά καθόρισε την απελευθέρωση, εν μέρει, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες παραγωγής ισχύος μέχρι 50 MW<sub>e</sub>, οι οποίες αξιοποιούν Α.Π.Ε. ή είναι μονάδες ΣΗΘ Δινόταν επίσης η δυνατότητα ΣΗΘ με φυσικό αέριο. Για τους ανεξάρτητους παραγωγούς, ο Ν.2244/94 προέβλεπε τη δυνατότητα ΣΗΘ, 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 ΣΗΘ από συμβατικά καύσιμα, και αντίστοιχα χωρίς περιορισμό ισχύος, εφόσον πρόκειται για ενεργειακή αξιοποίηση υποπαραγώνων βιομηχανικού κυκλώματος ή από ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας. Στο νόμο επιδιώχθηκε η προώθηση της ΣΗΘ 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 ΣΗΘ 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 σκέλο 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.</p>	
2	N.2273/1999
	«Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας – Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις»
<p>Με το Ν.2273/1999 ρυθμίζονταν και θέματα ΣΗΘ, 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</p>	

<p>συμπαράγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και καθορίζονταν τα ελάχιστα κριτήρια απόδοσης για μονάδες ΣΗΘ Επίσης, ο νόμος, εισήγαγε νέες ρυθμίσεις σχετικά με την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενης από Α.Π.Ε. ή ΣΗΘ</p>	
3	N.3175/2003
	«Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις»
<p>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 ΣΗΘ 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 ΣΗΘ, η Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας χορηγείται μαζί με την Άδεια Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.</p>	
4	N.3426/2005
	«Επιτάχυνση της διαδικασίας για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας»
<p>Με το Ν. 3426/2005, με τον οποίο ενσωματώθηκε στην ελληνική έννομη τάξη η Οδηγία 2003/54/ΕΚ επήλθαν εκτεταμένες τροποποιήσεις στο Ν. 2773/1999. Ειδικότερα : Με το άρθρο 1 εισήχθησαν νέοι ορισμοί και διευκρινίστηκε η διάκριση ανάμεσα στο Σύστημα Μεταφοράς και το Δίκτυο Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Με τα άρθρα 2 και 3 διευρύνθηκαν και διευκρινίσθηκαν αρμοδιότητες της ΡΑΕ, εισήχθη το δικαίωμα καταγγελίας όποιου έχει έννομο συμφέρον να υποβάλλει καταγγελία προς την ΡΑΕ κατά του Κυρίου και του Διαχειριστή του Συστήματος Μεταφοράς και Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας η του Διαχειριστή του Δικτύου στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά για παραβάσεις του νόμου και των κανονιστικών πράξεων που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότησή του και θεσμοθετήθηκε η διασφάλιση των πόρων της ΡΑΕ.</p>	
5	N. 3468/2006
	«Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και ΣΗΘ Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥ.Α.) και λοιπές διατάξεις»

<p>Ο Ν.3468/2006 εισήγαγε νέο πλαίσιο για τη χορήγηση άδειας, παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ Υψηλής Αποδοτικότητας (ΣΗΘΥ.Α.). Ο νόμος αναφέρεται ρητά στη ΣΗΘ Υψηλής Αποδοτικότητας, όπως αυτή ορίζεται από την Κ.Ο. 2004/8/ΕΚ, απλοποιείται η αδειοδοτική διαδικασία για επενδύσεις ΣΗΘΥ.Α. και τίθενται αποκλειστικές προθεσμίες για την έκδοση των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας για έργα ΣΗΘΥ.Α. Θεσμοθετείται Κανονισμός Αδειών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘΥ.Α. Καθορίζεται η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΣΗΘΥ.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 ΣΗΘΥ.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. Ο Ν. 3468/2006 παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην παράγραφο 2.2.1.</p>	
6	<p>N. 3734/09</p> <p>«Πρώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το υδροηλεκτρικό έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις»</p>
<p>Ο Ν. 3734/09 ενσωματώνει πλήρως την Κοινοτική Οδηγία 2004/8/ΕΚ. Βασικές τομές του νόμου είναι η μέθοδος υπολογισμού της ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ, ο υπολογισμός αποδοτικότητας της ΣΗΘ Επίσης, σημαντικό σημείο είναι η κατηγοριοποίηση των συστημάτων ΣΗΘΥ.Α., ως προς το όριο του 1 MW<sub>e</sub> (μικρή ΣΗΘ), 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 ΣΗΘΥ.Α., σχετικά με την περιβαλλοντική έγκριση.</p>	
7	<p>N. 3851/2010</p> <p>«Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Α.Π.Ε. για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις»</p>
<p>Ο Ν. 3851/2010 ορίζει νέο τρόπο τιμολόγησης της συμπαραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, από σταθμούς ΣΗΘΥ.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 ΣΗΘ Τροποποιεί επίσης πολλές διατάξεις του Ν.3468/2006.</p>	
8	<p>N. 4001/2011</p> <p>«Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογοναθράκων και άλλες ρυθμίσεις»</p>
<p>Το άρθρο 197 του νόμου αναφέρεται στη ΣΗΘΥΑ και στις αλλαγές που έχουν γίνει σε αρκετά άρθρα του Ν. 3468/2006.</p>	

9	N. 4067/2012 «Νέος Οικοδομικός Κανονισμός»
Στο νόμο αυτό γίνεται αναφορά για τους τρόπους εγκατάστασης και λειτουργίας συστημάτων ΣΗΘΥΑ σε νέα κτίρια, τόσο για την παραγωγή ΗΕ όσο και θερμικής ενέργειας για θέρμανση και ΖΝΧ.	
10	N. 4122/2013 «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και άλλες διατάξεις»
Αρκετά άρθρα στο νόμο αφορούν στην ενσωμάτωση συστημάτων ΣΗΘΥΑ σε νέα κτίρια τόσο για την παραγωγή ΗΕ όσο και θερμικής ενέργειας, για θέρμανση και ΖΝΧ, με στόχο τη δημιουργία κτιρίων υψηλής ενεργειακής απόδοσης.	
11	N. 4254/2014 «Μέτρα στήριξης και ανάπτυξης της Ελληνικής Οικονομίας στο πλαίσιο εφαρμογής του Ν. 4046/2012 και άλλες διατάξεις»
<p>Στο νόμο αυτό – Υποπαράγραφοι ΙΓ.1, 2, 3, 5 &amp; 8 - αφορούν το καθεστώς στήριξης της ΣΗΘΥΑ, με τιμές αναφοράς, που βασίζονται σε μεθοδολογία, που περιλαμβάνει ένα σταθερό τμήμα ανά κατηγορία ΣΗΘΥΑ και τον συντελεστή ρήτρας, που προκύπτει με βάση τους βαθμούς απόδοσης της εγκατάστασης και την τρέχουσα τιμή αγοράς Φ.Α.</p> <p>Ο Ν.4254/14, αναθεώρησε το άρθρο 5 του Ν.3851/10, που αναφέρεται στην μεθοδολογία υπολογισμού «F-i-T» και εισήγαγε νέα μεθοδολογία για τον υπολογισμό τους για όλες τις ΑΠΕ, αλλά και τη ΣΗΘΥΑ, με στόχο την εξάλειψη, σε σύντομο χρονικό διάστημα, των χρεών του Λειτουργού Αγοράς Η.Ε.-ΛΑΓΗΕ. Τώρα, το «F-i-T» για τη συμπαραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που εγχέεται στο Δίκτυο ορίζεται σε 85 €/MWh για το διασυνδεδεμένο δίκτυο και 95 €/MWh για μη-διασυνδεδεμένο δίκτυο (νησιά), με χρήση όλων των καυσίμων, εκτός από φυσικό αέριο, δηλαδή μια μείωση 5,1% και 9,5% αντίστοιχα από τις τιμές του Ν.3851/2010 Ο νόμος εισάγει νέες, αυθαίρετες, κατηγοριοποιήσεις για τις μονάδες ΣΗΘΥΑ, μακριά από αυτές που προτείνονται από τις Οδηγίες της ΕΕ, 2004/8/ΕΚ και 2012/27/ΕΚ, αλλά και την ελληνική νομοθεσία. [2.5] Ο Ν. 4254/2014 παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην παράγραφο 2.2.2.</p>	
12	N. 4342/2015

	«Συνταξιοδοτικές ρυθμίσεις, ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Οκτωβρίου 2012 «Για την ενεργειακή απόδοση, την τροποποίηση των Οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την κατάργηση των Οδηγιών 2004/8/ΕΚ και 2006/32/ΕΚ», όπως τροποποιήθηκε από την Οδηγία 2013/12/ΕΕ του Συμβουλίου της 13ης Μαΐου 2013 «Για την προσαρμογή της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση, λόγω της προσχώρησης της Δημοκρατίας της Κροατίας» και άλλες διατάξεις.»
	Με το νόμο ενσωματώθηκε η Οδηγία 2012/27/ΕΕ/2009/27/ΕΕ (με την οποία καταργήθηκε η Οδηγία 2004/8/ΕΚ).
	N. 4414/2016
13	«Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής Η.Ε. από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ- Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του ΦΑ και άλλες διατάξεις»
	<p>Ο νόμος εφαρμόζεται ένα νέο καθεστώς στήριξης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ, με βασική επιδίωξη τη σταδιακή ενσωμάτωση και συμμετοχή των νέων μονάδων ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και της βελτίωσης η οικονομική τους αποδοτικότητα στη βάση της υποστήριξης λειτουργίας της παραγόμενης ενέργειας που λαμβάνουν τα εν λόγω έργα. Ειδικότερα προβλέπονται συγκεκριμένες διατάξεις για τον υπολογισμό της διαφορικής προσαύξησης των έργων που έχουν υποχρέωση συμμετοχής στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τα όρια σε επίπεδο εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών που εξαιρούνται από τις υποχρεώσεις αυτές και τι ισχύει για τις περιπτώσεις αυτοπαραγωγών (παρ. 5 και παρ. 16 του άρθρου 3).</p> <p>Στο άρθρο 4 και στην παράγραφο 1β αναφέρονται οι Τιμές Αναφοράς σε €/MWh για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τις διαφορετικές κατηγορίες σταθμών ΣΗΘΥΑ.</p> <p>Επιπρόσθετα στο άρθρο 4 και στην παράγραφο 1γ και 1στ περιγράφονται αναλυτικά ο τρόπος προσδιορισμού των ΜΤΦΑ, ο μαθηματικός τύπος που εφαρμόζεται για την Προσαρμογή Τιμής (Π.Τ.), η οποία προκύπτει με βάση τους πρότυπους βαθμούς απόδοσης της εγκατάστασης και την τρέχουσα τιμή αγοράς φυσικού αερίου, καθώς και η διαδικασία με την οποία καθορίζεται για τον αντίστοιχο σταθμό ΣΗΘΥ.Α. εάν ο παραγωγός ως Χρήστης Φ.Α. είναι πελάτης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή όχι, καθώς και σε ποια από τις κατηγορίες του άρθρου 3 της Υ.Α.15641/14.7.2009 εντάσσεται ο σταθμός αυτός, ενώ στην παράγραφο 1δ παρατίθεται πίνακας με τους πρότυπους βαθμούς αναφοράς που λαμβάνονται υπόψη.</p>
	N. 4425/2016
14	«Επείγουσες ρυθμίσεις των Υπουργείων Οικονομικών, Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων και Εργασίας, Κοινωνικής



	Ασφάλισης και Κοινωνικής Αλληλεγγύης για την εφαρμογή της συμφωνίας δημοσιονομικών στόχων και διαθρωτικών μεταρρυθμίσεων και άλλες διατάξεις»
	Το άρθρο 13 του νόμου αναφέρεται στον τρόπο (με συμβάσεις) πώλησης της Η.Ε. από ΣΗΘΥΑ, εφόσον οι μονάδες είναι διασυνδεδεμένες με το Δίκτυο καθώς και τους κώδικες της Αγοράς που αφορούν την προτεραιότητα που δίνει ο Διαχειριστής σε συστήματα ΣΗΘΥΑ κατά την κατανομή του φορτίου. Ο Ν. 4425/2016 παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην παράγραφο 2.2.3.

### **2.1.2 Υπουργικές αποφάσεις που αφορούν τη ΣΗΘ**

1	K.Y.A 19500/2004 (ΦΕΚ 1671 Β /11.11.2004)
	«Τροποποίηση και συμπλήρωση της αντιστοίχισης των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία»
	Η Κ.Υ.Α. αυτή τροποποιεί και συμπληρώνει την αντιστοίχιση 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 ΣΗΘ σε κτήρια, που προηγουμένα απαγορευόταν λόγω όχλησης.
2	Υ.Α. 15606/14.07.2009 και 15641/14.07.2009
	«Καθορισμός εναρμονισμένων τιμών αναφοράς των βαθμών απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας» - - «Καθορισμός λεπτομερειών της μεθόδου υπολογισμού της Η.Ε. από ΣΗΘ και της αποδοτικότητας ΣΗΘ»
	Η πρώτη (δεν ισχύει πλέον) 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 δεύτερη καθορίζει αναλυτικά τον τρόπο υπολογισμού της Η.Ε. από ΣΗΘΥΑ με βάση τις κατευθυντήριες οδηγίες της Κ.Ο. 2004/8.
3	ΥΠΕΚΑ 2010 Σχέδιο διαβούλευσης ΥΑ (12/2010)
	«Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και ΣΗΘΥ.Α.».
	Η Υπουργική Απόφαση καθορίζει, με αναλυτικό τρόπο, τη διαδικασία για την έκδοση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘΥ.Α.
4	Υ.Α. 14810/04.11.2011
	«Κανονισμός Αδειών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση ΑΠΕ και μέσω ΣΗΘΥΑ».

<p>Η ΥΑ καθορίζει, με αναλυτικό τρόπο, τη διαδικασία για την έκδοση αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ΣΗΘΥΑ.</p>	
5	<p>Υ.Α. 749/21.03.2012</p>
	<p>«Τροποποίηση και συμπλήρωση απόφασης ΥΠΕΝ περί καθορισμού των λεπτομερειών της μεθόδου υπολογισμού της Η.Ε. από ΣΗΘΥΑ και ρύθμιση θεμάτων σχετικών με την αδειοδότηση των μονάδων παραγωγής Η.Ε. από ΣΗΘ και ΣΗΘΥΑ και τη συμμετοχή τους στην Αγορά Η.Ε. και το Σύστημα Εγγυημένων τιμών ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ καθώς και την αποζημίωση αυτών»</p>
<p>Η ΥΑ δίνει τις λεπτομέρειες της μεθόδου υπολογισμού της Η.Ε. από ΣΗΘΥΑ και ρυθμίζει θέματα σχετικά με την αδειοδότηση μονάδων ΣΗΘΥΑ καθώς και τη συμμετοχή τους στην Αγορά Η.Ε. και το Σύστημα Εγγυημένων τιμών ΣΗΘΥΑ και την αποζημίωση αυτών.</p>	
6	<p>Υ.Α. 23278/23.11.2012</p>
	<p>«Συμπληρωματικές Διατάξεις για μονάδες Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας, τύπος και περιεχόμενο Συμπληρωματικών Συμβάσεων Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας Κατανεμόμενων Μονάδων ΣΗΘΥΑ και Τεχνικό Προσάρτημα Μονάδων ΣΗΘΥΑ του Μητρώου Μονάδων ΑΠΕ και ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ»</p>
<p>Με την ΥΑ δημιουργείται Μητρώο Φορέων Πιστοποίησης μονάδων ΣΗΘΥΑ, δίδεται περιεχόμενο Συμπληρωματικών Συμβάσεων και Τεχνικού Προσαρτήματος μονάδων ΣΗΘΥΑ, καθώς και υπολογισμός συμβατικής ποσότητας Ηλεκτρικής Ενέργειας ΣΗΘΥΑ.</p>	
7	<p>ΥΑ Δ5-ΗΛ/Γ/Φ1/οικ.1183/22.01.2013</p>
	<p>«Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών συμπαγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) και συμπαγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ) με χρήση συμβατικών καυσίμων»</p>
<p>Οι ρυθμίσεις της συγκεκριμένης ΥΑ εφαρμόζονται για τη χορήγηση, τροποποίηση ή ανανέωση αδειών εγκατάστασης, επέκτασης και λειτουργίας σταθμών συμπαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (ΣΗΘ) και συμπαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας υψηλής αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ) με χρήση συμβατικών καυσίμων. Επίσης, καθορίζεται η διαδικασία διατύπωσης προσφοράς σύνδεσης σταθμού στο σύστημα ή το δίκτυο.</p>	
8	<p>Υ.Α. 187480/07.12.2016</p>
	<p>«Μεθοδολογία υπολογισμού της ειδικής τιμής αγοράς τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συμπαγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης, κριτήρια και περιορισμοί χορήγησης της προσαύξησης ανάπτυξης ετοιμότητας συμμετοχής στην αγορά και διαδικασία χορήγησής της, καθώς και</p>

	διαδικασία απομείωσης της λειτουργικής ενίσχυσης για τους σταθμούς που έχουν λάβει επενδυτική ενίσχυση κατ' εφαρμογή των άρθρων 3, 5 και 6 του Ν. 4414/2016»
	Η ΥΑ παρουσιάζει την αναλυτική μεθοδολογία υπολογισμού της ειδικής τιμής αγοράς για σταθμούς ΣΗΘΥΑ με εγκατεστημένη ισχύ ίσης και μεγαλύτερης των 500kWe, και τα κριτήρια και περιορισμούς χορήγησης της προσαύξησης ανάπτυξης ετοιμότητας συμμετοχής στην αγορά για τους σταθμούς αυτούς, καθώς και τη μεθοδολογία απομείωσης της λειτουργικής ενίσχυσης σε περίπτωση λήψης επενδυτικής ενίσχυσης για όλους τους σταθμούς ΣΗΘΥΑ
	Υ.Α. 187701/12.12.2016
9	«Τύπος και περιεχόμενο συμβάσεων λειτουργικής ενίσχυσης σταθερής τιμής σταθμών ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ (πλην υβριδικών σταθμών) στο διασυνδεδεμένο Σύστημα και το διασυνδεδεμένο Δίκτυο, σύμφωνα με την παράγραφο 3 του άρθρου 10 του Ν. 4414/2016»
	Η ΥΑ παρουσιάζει λεπτομερώς τον τύπο και το περιεχόμενο σύμβασης λειτουργικής ενίσχυσης, με σταθερή τιμή, σταθμών ΣΗΘΥΑ στο διασυνδεδεμένο Σύστημα και το διασυνδεδεμένο Δίκτυο της χώρας με εγκατεστημένη μικρότερης των 500kWe.
	Υ.Α. 187706/12.12.2016
10	«Τύπος και περιεχόμενο Συμβάσεων λειτουργικής Ενίσχυσης Διαφορικής Προσαύξησης Σταθμών Α.Π.Ε. και ΣΗΘΥ.Α. (πλην υβριδικών σταθμών) στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο, σύμφωνα με την παρ. 3 του άρθρου 9 του Ν.4414/2016»
	Η ΥΑ παρουσιάζει λεπτομερώς τον τύπο και το περιεχόμενο σύμβασης λειτουργικής ενίσχυσης, με διαφορική προσαύξηση, σταθμών ΣΗΘΥΑ στο διασυνδεδεμένο Σύστημα και το διασυνδεδεμένο Δίκτυο της χώρας με εγκατεστημένη ισχύ ίσης και μεγαλύτερης των 500kWe.

### 2.1.3 Ευρωπαϊκές Οδηγίες

	Κοινοτική Οδηγία 2004/8/EC
1	«Πρόωθηση 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/EC 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 (ΣΗΘΥ.Α.), κατηγοριοποιώντας τα συστήματα ΣΗΘ ανάλογα με την ισχύ τους σε πολύ μικρή ΣΗΘ (έως 50 kW <sub>e</sub> ), μικρή ΣΗΘ (έως 1 MW <sub>e</sub> ) και ΣΗΘ (>1 MW <sub>e</sub> ).

2	Κοινοτική Οδηγία 2005/32/EC
	«Οικολογικός σχεδιασμός προϊόντων που καταναλώνουν Ενέργεια» (Eco-design of energy-using products)
Η Κοινοτική Οδηγία 2005/32/EC δημιουργεί το πλαίσιο για τον οικολογικό σχεδιασμό προϊόντων που καταναλώνουν ενέργεια και αφορά τα συστήματα πολύ μικρής- και μικρής- ΣΗΘ	
3	Κανονισμός 2015/2402 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής
	«Εναρμονισμένες τιμές αναφοράς»
Αναθεώρηση των εναρμονισμένων τιμών αναφοράς ως προς την απόδοση για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, κατ' εφαρμογή της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ.	

#### **2.1.4 Αποφάσεις / Γνωματεύσεις ΡΑΕ**

1	ΡΑΕ Σχέδιο διαβούλευσης 12/2010
	«Εφαρμογή του Συστήματος Εγγυήσεων Προέλευσης ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και ΣΗΘΥ.Α. και μηχανισμού διασφάλισης του»
<p>Με τις διατάξεις του συγκεκριμένου σχεδίου, καθορίζονται τα σχετικά με την εφαρμογή του Συστήματος Εγγυήσεων Προέλευσης που χορηγούνται για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στις ακόλουθες Εγκαταστάσεις:</p> <p>α) Σε εγκαταστάσεις που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ</p> <p>β) Σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν αντλητικά συστήματα για την πλήρωση της δεξαμενής αποθήκευσης</p> <p>γ) Σε εγκαταστάσεις Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας</p> <p>δ) Σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν μια μορφή ΑΠΕ και συμβατικά καύσιμα,</p> <p>καθώς και του Μηχανισμού Διασφάλισής του.</p>	
2	ΡΑΕ/56/31.1.2012
	«Έγκριση του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας»
Με την συγκεκριμένη απόφαση εγκρίνονται το σύστημα συναλλαγών ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού, ο ημερήσιος ενεργειακός προγραμματισμός καθώς και οι επικουρικές υπηρεσίες και συμπληρωματική ενέργεια του συστήματος.	
3	Αριθμ. αποφ. 57/2012
	«Έγκριση του Κώδικα Διαχείρισης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας»

Με την παρούσα εγκρίνεται ο Κώδικας Διαχείρισης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, αρχής γενομένης την 1 <sup>η</sup> Φεβρουαρίου 2012.	
4	ΓΝΩΜΟΔΟΤΗΣΗ ΡΑΕ ΥΠ. ΑΡΙΘΜ. 10/2016
	Γνωμοδότηση ΡΑΕ για την έκδοση Υπουργικής απόφασης (ΥΑ) με θέμα «Τύπος και περιεχόμενο Σύμβασης λειτουργικής Ενίσχυσης Διαφορικής Προσαύξησης (Σ.Ε.Δ.Π.) της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ΚΑΙ ΣΗΘΥ.Α. στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και στο Διασυνδεδεμένο Δίκτυο, σύμφωνα με την παρ. 3 του άρθρου 9 του Ν. 4414/2016 (ΦΕΚ Α' 149)»
Με την συγκεκριμένη, η ΡΑΕ γνωμοδοτεί για την έκδοση Υπουργικής απόφασης (ΥΑ), καθώς και επιδιώκει την κατά το δυνατόν ομογενοποίηση των κοινών μεταξύ των Συμβάσεων, όρων, προκειμένου να επιτύχει την αποτελεσματική εφαρμογή του πλαισίου που διέπει τη δραστηριότητα της παραγωγής από ΑΠΕ.	
5	Αριθμ. απόφ. 334/2016
	«Τροποποίηση του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και του Εγχειριδίου του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας»
Με την συγκεκριμένη απόφαση, η ΡΑΕ τροποποιεί τον Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και του Εγχειριδίου του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας, σύμφωνα με τις διατάξεις του εδαφίου (ββ) της παραγράφου 3.α του Άρθρου 143 του Ν. 4001/2011, όπως ισχύει, για τη θέσπιση Μεθοδολογίας υπολογισμού του εσόδου του Υπολογαριασμού Αγοράς του Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ.	
6	Αριθμ. απόφ. 395/2016:
	«Κώδικας διαχείρισης του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ)»
Με τον Κώδικα Διαχείρισης του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (εφεξής «Κώδικας ΕΔΔΗΕ» ή «Κώδικας Δικτύου») ρυθμίζονται τα δικαιώματα και οι υποχρεώσεις του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (εφεξής «Διαχειριστής ΕΔΔΗΕ» ή «Διαχειριστής Δικτύου»), των Χρηστών του Δικτύου και των Προμηθευτών, και θέματα που αφορούν στην ανάπτυξη, στη λειτουργία, στην πρόσβαση στο Δίκτυο, στις παρεχόμενες από τον Διαχειριστή του Δικτύου υπηρεσίες και στο οικονομικό αντάλλαγμα αυτού.	

## **2.2 Παρουσίαση σημαντικών νόμων για τη ΣΗΘ**

### **2.2.1 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 (ΣΗΘΥ.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/EK (EE L 52)

Με το νόμο 3468/2006[12] τροποποιήθηκαν επίσης οι έννοιες του παραγωγού, του αυτόνομου παραγωγού και του αυτοπαραγωγού ΣΗΘΥ.Α. από προηγούμενους ορισμούς από προγενέστερους νόμους.

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

**Αυτοπαραγωγός** ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ή ΣΗΘΥ.Α. ορίζεται ο παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από μονάδες Α.Π.Ε. ή ΣΗΘΥ.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 ΣΗΘΥ.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 ΣΗΘΥ.Α., με εγκατεστημένη ισχύ έως 20 kWe, 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 ΣΗΘΥ.Α. Καθορίζεται η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΣΗΘΥ.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 ΣΗΘΥ.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. [2.8]

### **2.2.2 Νόμος 4254/2014**

Στις 7.4.2014, ορισμένα άρθρα του Ν.4254/14, με τίτλο «Μέτρα για τη στήριξη και την ανάπτυξη της ελληνικής οικονομίας κατά την εφαρμογή του Νόμου 4946/2012» αναθεωρούν αντίστοιχα άρθρα του Ν.3851/10 που αναφέρονται στην τιμολογιακή πολιτική για τις ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ (feed-in-tariffs). Σημαντικά σημεία αναφοράς του παρόντος Νόμου είναι οι αυθαίρετες περικοπές των «F-i-T» για τη ΣΗΘΥΑ, χωρίς, όμως, σε βάθος ανάλυση του τομέα της Συμπααραγωγής, η επαναφορά του ορίου των 35 MWe, που ακυρώθηκε στον προηγούμενο ενεργειακό Νόμο (Ν.4001/11) και η εισαγωγή κατηγοριών ΣΗΘ που δεν υπάρχουν πουθενά στην παγκόσμια αγορά (δηλαδή μονάδες συνδυασμένου κύκλου με αεριοστρόβιλο με ανάκτηση θερμότητας < 1 MWe) αλλά ούτε στην παγκόσμια βιβλιογραφία.

Στην Ελλάδα, η πολιτική υποστήριξης της ΣΗΘ παρέχεται, από το νόμο, στους συμπαραγωγούς είτε αυτοί λειτουργούν ως ιδιοπαραγωγοί είτε ως αυτοπαραγωγοί μέσω εγγυημένων feed-in-tariffs, και μόνο για την υψηλής αποδοτικότητας συμπαραγόμενη ηλεκτρικής ενέργειας, που τροφοδοτεί το Σύστημα ή το Δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου και

του δικτύου των μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, με βάση μια καθορισμένη τιμή, που εκφράζεται σε € ανά MWh ηλεκτρικής ενέργειας και για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.

Ο Ν.3851/2010, και ειδικά το άρθρο 5, καθόριζε τις τιμές F-i-T για την συμπαραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που εγχέεται στο Σύστημα ή το Δίκτυο στα 89.97 €/MWh, για το διασυνδεδεμένο δίκτυο και στα 101.85 €/MWh για το Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων νησιών, που παράγεται από όλα τα καύσιμα, εκτός από το φυσικό αέριο.

Για εκείνες τις μονάδες ΣΗΘ που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, ως καύσιμο, είχε εισαχθεί ο συντελεστής ρήτρας καυσίμου-ΦΑ (ΣΡ) για τη ρύθμιση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας από Συμπαραγωγή που παράγεται από μονάδα ΣΗΘΥΑ, σύμφωνα με τις διεθνείς τιμές του φυσικού αερίου του προηγούμενου μηνός.

Έτσι, ο τύπος υπολογισμού της F-i-T για την συμπαραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μονάδες ΣΗΘΥΑ, που χρησιμοποιούσαν φυσικό αέριο, ορίστηκε ως:

- 89.97 \* ΣΡ , για το διασυνδεδεμένο σύστημα (σε €/MWh) και
- 101.85 \* ΣΡ για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά (σε €/MWh)

Ο συντελεστής ρήτρας καυσίμου-ΦΑ (ΣΡ) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\Sigma P = 1 + (MT\Phi A - 26) / (100 \times \eta_{el}) \quad (1)$$

όπου:

- **MTΦΑ** = η μέση μηνιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου για Συμπαραγωγή, σε €/MWh, ανωτέρας θερμογόνου δύναμης, σε χρήστες φυσικού αερίου στην Ελλάδα, εξαιρουμένων των πελατών ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή καθορίζεται από τη ΔΕΠΑ ΑΕ και κοινοποιούνται στον ΔΕΣΜΗΕ.
- **η<sub>el</sub>** = ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης ενός συστήματος ΣΗΘΥΑ επί ανωτέρας θερμογόνου δύναμης φυσικού αερίου, που έχει οριστεί σε 0,33 για μονάδες ΣΗΘΥΑ ≤1 MWe και 0,35 για μονάδες ΣΗΘΥΑ >1 MWe. Η τιμή του συντελεστή ρήτρας (ΣΡ) δεν μπορεί να είναι μικρότερη της μονάδας.

Με την απόφαση 435/2011, η ΡΑΕ ορίζει ότι ο συντελεστής ρήτρας (ΣΡ), που χρησιμοποιείται για να καθορίσει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας από Συμπαραγωγή από τους παραγωγούς ΣΗΘΥΑ, που έχουν επενδύσει σε μονάδες ΣΗΘΥΑ που περιλαμβάνουν καθαρισμό καυσαερίων και τη χρησιμοποίησή τους για τον εμπλουτισμό με CO<sub>2</sub> σε θερμοκηπιακές μονάδες υψηλής τεχνολογίας, τροποποιείται σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση :

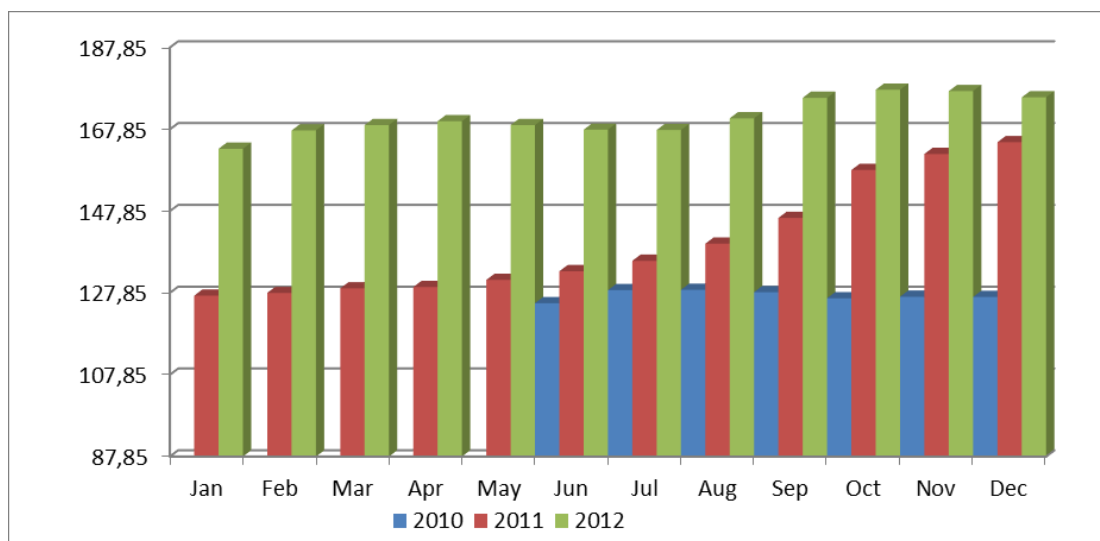
$$\Sigma P = 1.18 + (MT\Phi A - 26) / (100 \times \eta_{el}) \quad (2)$$

Αυτή η «πριμοδότηση-premium» προσδιορίστηκε σε μηνιαία βάση, σύμφωνα με την ΜΤΦΑ του προηγούμενου μήνα. Οι τιμές «F-i-T» ισχύουν για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μονάδες ΣΗΘΥΑ, στις οποίες έχουν δοθεί προτεραιότητα από το Διαχειριστή κατά την κατανομή του φορτίου. Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που εκτελούνται μεταξύ ενός συμπαραγωγού και του Διαχειριστή του Συστήματος ισχύει για περίοδο 20 ετών.

Το καθεστώς αυτό της στήριξης «Feed-in-Tariff» παρέχει ένα αποδεκτό οικονομικό περιβάλλον για τις επενδύσεις ΣΗΘΥΑ με μια προβλεπόμενη απόδοση 11-13% για τις επενδύσεις, κυρίως για εκείνους που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το φυσικό αέριο, παρά την



δυσμενή οικονομική κατάσταση στην Ελλάδα (Σχήμα 3). Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι πριν από την έναρξη της ύφεσης της ελληνικής οικονομίας, δηλαδή έως το 2009, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης μιας επένδυσης ΣΗΘΥΑ, με φυσικό αέριο, ήταν περίπου 18-20%.



Σχήμα 4 Μηνιαίο F-i-T για μονάδες ΣΗΘΥΑ > 1 MWe, Πηγή [2.5]

Ο Ν.4254/14, αναθεώρησε το άρθρο 5 του Ν.3851/10, που αναφέρεται στην μεθοδολογία υπολογισμού «F-i-T» και εισήγαγε νέα μεθοδολογία για τον υπολογισμό τους για όλες τις ΑΠΕ, αλλά και τη ΣΗΘΥΑ, με στόχο την εξάλειψη, όπως ισχυρίζεται στην εισαγωγική του έκθεση προς τη Βουλή των Ελλήνων, σε σύντομο χρονικό διάστημα, των χρεών του Λειτουργού Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας-ΛΑΓΗΕ.

Τώρα, το F-i-T για τη συμπαραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που εγχέεται στο Δίκτυο ορίζεται σε 85 €/MWh για το διασυνδεδεμένο δίκτυο και 95 €/MWh για μη-διασυνδεδεμένο δίκτυο (νησιά), με χρήση όλων των καυσίμων, εκτός από φυσικό αέριο, δηλαδή μια μείωση 5,1% και 9,5% αντίστοιχα.

Ο νόμος εισάγει νέες, αυθαίρετες, κατηγοριοποιήσεις για τις μονάδες ΣΗΘΥΑ, μακριά από αυτές που προτείνονται από τις Οδηγίες της ΕΕ, 2004/8/ΕΚ και 2012/27/ΕΚ, αλλά και την ελληνική νομοθεσία.

Οι μονάδες ΣΗΘΥΑ χωρίζονται σε δύο διακριτές κατηγορίες, όπως:

α. υπάρχουσες και λειτουργούσες μονάδες ΣΗΘΥΑ, και

β. νέες μονάδες ΣΗΘΥΑ, που ξεκινούν την λειτουργία τους με την ισχύ του Ν.4254/2014

Επίσης, επιπλέον φορολογία και εισφορές επιβλήθηκαν στους συμπαραγωγούς με τον Ν.4254/2014, όπως:

- Για το 2010, επιβλήθηκε φορολογία για όλα τα καύσιμα, συμπεριλαμβανομένου του φυσικού αερίου, ως απαίτηση του 1ου μνημονίου συμφωνίας μεταξύ της ελληνικής κυβέρνησης και των δανειστών (Ευρ. Επιτροπή, ΕΚΤ, ΔΝΤ).

- Ένα 10% "έκτακτη εισφορά" στο μικτό κέρδος από το μηνιαίο «F-i-T» επιβλήθηκε από το 2ο μνημόνιο συνεργασίας μεταξύ των δανειστών και της ελληνικής κυβέρνησης, για 2 + 1 χρόνια, αρχής γενομένης από τον 6/2012 μέχρι και 6/2015.

Όσον αφορά τις μονάδες Συμπαράγωγής, με χρήση βιομάζας ή βιοαερίου ως καύσιμα, το «F-i-T» της συμπαράγομενης ηλεκτρικής ενέργειας, καθορίζονται από τον Ν.4254/2014, ως: 85 €/MWh για το διασυνδεδεμένο δίκτυο και 95 €/MWh για μη-διασυνδεδεμένο δίκτυο (νησιά). Έτσι, οι επενδυτές που χρησιμοποιούν, ως καύσιμο «βιομάζα/βιοαέριο» υποβάλλουν αίτηση για «F-i-T» στην υποκατηγορία "βιομάζα/βιοαέριο» της κατηγορίας «ΑΠΕ», με τις ακόλουθες τιμές «F-i-T», οι οποίες είναι υψηλότερες από εκείνες της ΣΗΘΥΑ:

- 198 € / MWh με βιομάζα εγκατεστημένης ισχύος έως 1 MWe
- 170 € / MWh με βιομάζα εγκατεστημένης ισχύος > 1 MWe και 5 MWe.
- 148 € / MWh με βιομάζα εγκατεστημένης ισχύος > 5 MWe.
- 131 € / MWh με βιοαέριο εγκατεστημένης ισχύος έως και 2 MWe
- 108 € / MWh με βιοαέριο εγκατεστημένης ισχύος > 2 MWe
- 209 € / MWh με βιοαέριο εγκατεστημένης ισχύος < 3 MWe.
- 230 € / MWh με βιοαέριο εγκατεστημένης ισχύος > 3 MWe

Τα εθνικά προγράμματα στήριξης ήταν αποτελεσματικά για τη βιώσιμη λειτουργία μιας μονάδας ΣΗΘΥΑ, μέχρι την εισαγωγή των νέων «F-i-T» από τον Ν.4254/2014. Η τρέχουσα οικονομική κατάσταση και οι νέες «feed-in-tariffs» που θέσπισε ο Ν.4254/14, καθώς και οι φόροι που επιβλήθηκαν δημιουργούν ένα δυσμενές περιβάλλον για όλα τα έργα Συμπαράγωγής, ανεξάρτητα ισχύος, με αποτέλεσμα πολλά από αυτά να σταματήσουν τη λειτουργία τους.

Ο ΕΣΣΗΘ εκτιμά ότι υπάρχει μια μείωση 13-14 % με την εφαρμογή των νέων «F-i-T» συγκριτικά με τις προηγούμενες, μετά την εφαρμογή του Ν.4254/14. [2.5, 2.6]

### **2.2.3 Νόμος 4425/2016**

Σε εφαρμογή της νομοθεσίας για την ολοκλήρωση της ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και ιδίως των διατάξεων του κανονισμού 714/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, εκδόθηκε ο Ν. 4425/2016, με τον οποίο αναδιοργανώνεται η χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Σήμερα η απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας εξακολουθεί να λειτουργεί μόνο επί τη βάση των συναλλαγών του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (HEΠ) που οργανώνει ο ΛΑΓΗΕ. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο η ηλεκτρική ενέργεια εντάσσεται στα εμπορεύματα για τα οποία μπορούν να διεξάγονται χρηματοπιστωτικές συναλλαγές, που αποβλέπουν στην αντιστάθμιση ή την κάλυψη του κινδύνου από τις αγοραίες ενεργειακές τιμές. Η επόμενη, σύγχρονη και ώριμη ενεργειακή αγορά, θα στηρίζεται και σε εργαλεία που είναι γνωστά στον χρηματοπιστωτικό τομέα, όπως η αγορά προθεσμιακών Προϊόντων Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Η οργάνωση της χρηματιστηριακής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας θέτει πολύ πιο έντονα το ζήτημα της διαχείρισης του πιστωτικού κινδύνου, το οποίο φαίνεται να έχει υποτιμηθεί στην παρούσα οργάνωση της αγοράς.

Σύμφωνα με τους ορισμούς που δίδονται στο άρθρο 2 του ν. 4425/2016, ως Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας ορίζονται: α) η Χονδρική Αγορά Προθεσμιακών Προϊόντων Ηλεκτρικής Ενέργειας, β) η Αγορά Επόμενης Ημέρας, γ) η Ενδοημερήσια Αγορά και δ) η Αγορά Εξισορρόπησης που λειτουργούν ως χονδρικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας κατά την έννοια του κανονισμού (ΕΕ) 1227/2011 «για την ακεραιότητα και τη διαφάνεια στη χονδρική αγορά ενέργειας». Στο άρθρο 8 του Ν. 4425/2016 ορίζονται τα χαρακτηριστικά κάθε μιας από τις αγορές αυτές.

Η αρμοδιότητα της εποπτείας των Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας ανατίθεται στην ΡΑΕ, ενώ η εταιρεία «ΛΑΓΗΕ ΑΕ» ορίζεται ως ο «Διαχειριστής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας» της Χονδρικής Αγοράς Προθεσμιακών Προϊόντων (άρθρο 9). Επιλογή του Έλληνα νομοθέτη ήταν να ορίσει ότι στην ελληνική επικράτεια υφίσταται νόμιμο μονοπώλιο υπηρεσιών συναλλαγών επόμενης ημέρας και ενδοημερησίως, το οποίο αποκλείει τον ορισμό περισσοτέρων του ενός ΟΔΑΗΕ (= Ορισθείς Διαχειριστής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας - Nominated Electricity Market Operator/NEMO), οι αρμοδιότητες του οποίου ορίζονται επίσης στο άρθρο 10 του Ν. 4425/2016. Η εκκαθάριση και ο Διακανονισμός των Συναλλαγών γίνεται από τους Διαχειριστές των Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας (άρθρο 11). Με το άρθρο 12 επαναπροσδιορίζονται τα καθήκοντα του διαχειριστή του ΕΣΜΗΕ, προκειμένου να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των νέων Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας ενώ διευρύνονται οι αρμοδιότητες του ΛΑΓΗΕ (άρθρο 13) για να συμπεριλάβουν τις αρμοδιότητες του Διαχειριστή της Χονδρικής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Με τους Κώδικες που θα εκδοθούν για κάθε μία από τις νέες αγορές θα ρυθμιστούν οι λεπτομερείς όροι και προϋποθέσεις λειτουργίας τους όπως ειδικότερα ορίζεται στο άρθρο 14 του Ν. 4425/2016. [2.7]

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2<sup>ο</sup> Κεφαλαίου**

- [2.1] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=225&language=el-GR>
- [2.2] Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΕΣΣΗΘ), <http://hacchp.gr/thesmiko-plaisio-gia-sith-kai-sithia/>
- [2.3] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), [http://rae.gr/site/categories\\_new/global\\_regulation.csp](http://rae.gr/site/categories_new/global_regulation.csp)
- [2.4] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017, «Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια», Α' έκδοση, Σεπτέμβριος 2017
- [2.5] CODE2-Cogeneration Observatory and Dissemination Europe, «Οδικός χάρτης (Roadmap) συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας για την Ελλάδα», Νοέμβριος 2014
- [2.6] Κ. Θεοφύλακτος, «Η Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας σε κτίρια έχει μέλλον στην Ελλάδα;» ASHRAE Hellenic Chapter, Μάρτιος 2015
- [2.7] Θεόδωρος Σ. Λύτρας, «Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η σύμβαση προμήθειας», 2017
- [2.8] 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

### **3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΣΗΘ**

Όπως αναφέρεται και στο πρώτο κεφάλαιο ως οικιακή μικρό-συμπαγωγή (μ-ΣΗΘ) ορίζεται η ταυτόχρονη παροχή θερμικής ή / και ψυκτικής και ηλεκτρικής ισχύος σε κτήριο, δυναμικότητας έως 50kW ηλεκτρισμού. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση των τεχνολογιών ενεργειακής μετατροπής για συστήματα δυναμικότητας επιπέδου οικιακής μ-ΣΗΘ.

### **3.1 Γενικά**

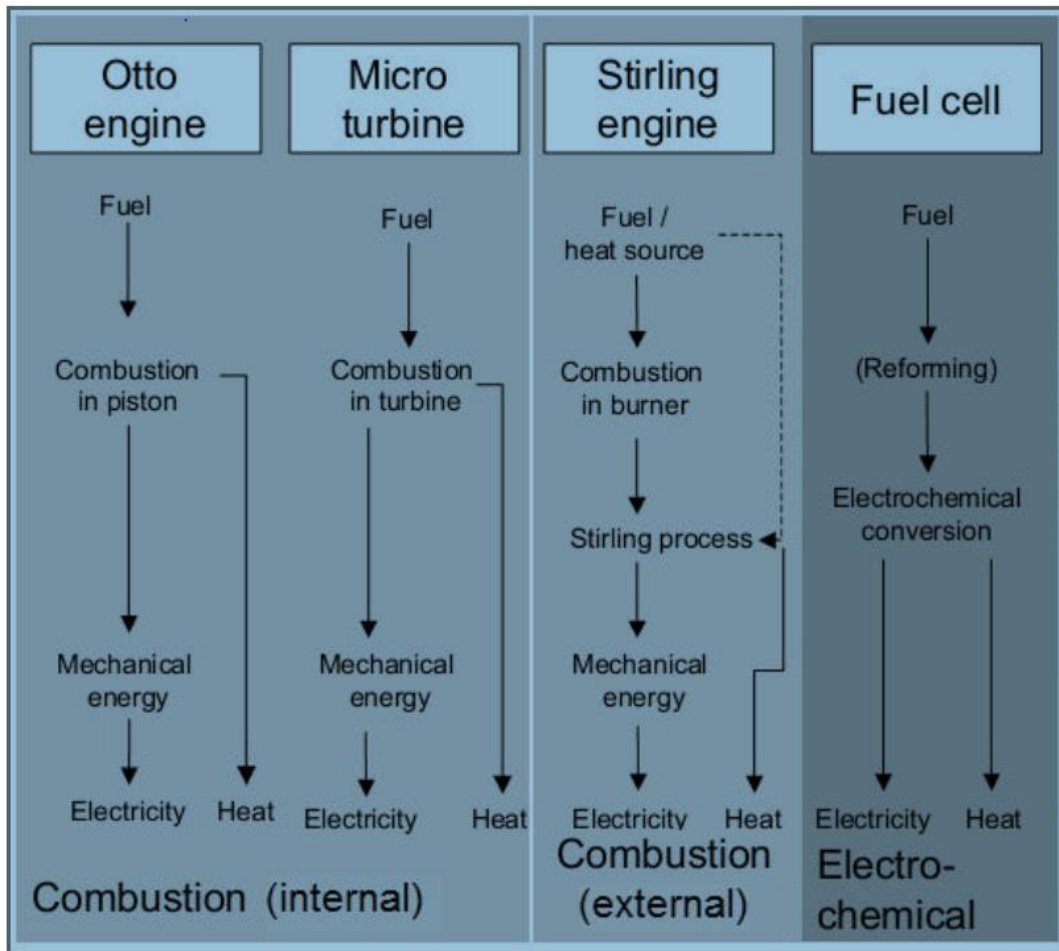
Στα κτίρια χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες, ανάλογα με την κατηγορία του κτιρίου και τα διαθέσιμα καύσιμα για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. [3.1] Σκοπός κάθε συστήματος συμπαραγωγής είναι η βέλτιστη μετατροπή της χημικής ενέργειας των καυσίμων σε ηλεκτρική και θερμική. [3.2]

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 [3.1]

Ως οι πλέον υποσχόμενες τεχνολογίες ενεργειακής μετατροπής για συστήματα δυναμικότητας επιπέδου οικιακής μ-ΣΗΘ αναφέρονται οι εξής:

- Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) κύκλου Otto
- Μικροστρόβιλοι
- Κινητήρες κύκλου Stirling
- Συστοιχίες κυψελών καυσίμου

Η βασική διάκριση των τεχνολογιών αυτών αφορά τον τρόπο μετατροπής της ενέργειας των καυσίμων, ο οποίος βασίζεται είτε σε καύση (εσωτερική ή εξωτερική) είτε σε ηλεκτροχημική μετατροπή. [3.2, 3.4]



Σχήμα 5 Κύριες τεχνολογίες συστημάτων μ-ΣΗΘ Πηγή [3.4]

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι στην αγορά της συμπαραγωγής κερδίζουν συνεχώς έδαφος νεότερες και καθαρότερες τεχνολογίες, όπως οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν βιομάζα ή οι κυψέλες καυσίμων. Παρά το γεγονός ότι αποτελούν εξαιρετικά καθαρή τεχνολογία, είναι ακόμα πάρα πολύ ακριβές όσον αφορά την εγκατάσταση και λειτουργία τους. Το προφίλ του καταναλωτή καθώς και η απαιτούμενη δυναμικότητα αποτελούν τα σημαντικότερα κριτήρια στην επιλογή του κινητήρα. [3.3]

Η τελική επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας ΣΗΘ για μια εφαρμογή βασίζεται σε συγκεκριμένες παραμέτρους ανάλογα με την περίπτωση. [3.1]

Οι κυριότερες είναι:

- Κλίμακα ισχύος (ανάλογα με τη ζήτηση θερμότητας και ισχύος)
- Διαθεσιμότητα καυσίμων
- Απαιτήσεις ευελιξίας (χρόνος εκκίνησης, συμπεριφορά σε μερικά φορτία)
- Λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ
- Θερμοκρασία ζητούμενης θερμότητας
- Απαιτήσεις συντήρησης
- Κόστος επένδυσης

- Κοινωνικοοικονομικό και πολιτικό πλαίσιο

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι προτεινόμενες τεχνολογίες ΣΗΘ για μονοκατοικίες και πολυκατοικίες [3.1]

ΕΙΔΟΣ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΣΧΥΟΣ kWe	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Μονοκατοικίες	5-50	Μηχανή ΟΤΤΟ Μηχανή STIRLING Κυψέλη Καυσίμου Μικροστρόβιλος
Πολυκατοικίες	50-250	Μηχανή ΟΤΤΟ Μηχανή STIRLING Κυψέλη Καυσίμου Μικροστρόβιλος

Πίνακας 1 Προτεινόμενες τεχνολογίες ΣΗΘ για μονοκατοικίες και πολυκατοικίες

Στη συνέχεια του κεφαλαίου γίνεται αναλυτική περιγραφή των συστημάτων μικρό-συμπαραγωγής με παλινδρομικές Μ.Ε.Κ., μικροστρόβιλους, μηχανές Stirling και κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (S.O.F.C.), που ενδείκνυνται για εφαρμογή στον οικιακό τομέα δηλαδή σε μονοκατοικίες και πολυκατοικίες.

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

Θερμικές μηχανές ονομάζονται οι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν τη θερμότητα που παράγεται από τη χημική ενέργεια της καύσης, σε μηχανικό έργο. Ανάλογα με τον τρόπο πραγματοποίησης της καύσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στις μηχανές εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.) και στις μηχανές εξωτερικής καύσης ή ατμομηχανές.

Εσωτερικής καύσεως ονομάζονται οι μηχανές που ως μέσο για την παραγωγή έργου (εργαζόμενο μέσο) χρησιμοποιούν τον αέρα και κατά κάποιο τρόπο το ίδιο το καύσιμο, δηλαδή τα καυσαέρια.

Εξωτερικής καύσεως ονομάζονται οι μηχανές όπου η καύση δε λαμβάνει μέρος στο χώρο παραγωγής έργου αλλά έξω από αυτόν και στις οποίες το μέσο δεν είναι καυσαέριο αλλά κάποιο άλλο στοιχείο όπως π.χ. νερό.

Ανάλογα με τον τρόπο μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε μηχανικό έργο οι θερμικές μηχανές διακρίνονται σε εμβολοφόρες ή παλινδρομικές (ισχύουν τόσο για τις μηχανές εσωτερικής καύσεως όσο και για τις εξωτερικής καύσεως) και σε περιστροφικές ή στρόβιλους.[3.5]

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στις παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης οι οποίες χρησιμοποιούνται στα συστήματα συμπαραγωγής.



### **3.2.1 Περιγραφή**

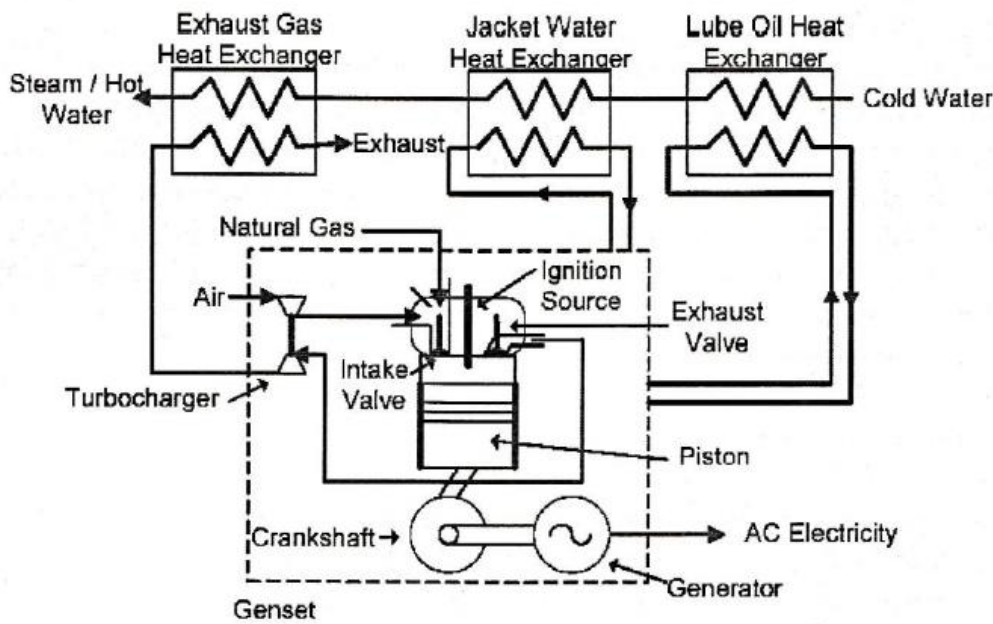
Οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι θερμικές μηχανές που καταναλώνουν ενέργεια που περιέχεται στα υγρά καύσιμα για την παραγωγή μηχανικού έργου. Μέρος της θερμικής ενέργειας που παράγεται μέσα στο θάλαμο καύσης της Μ.Ε.Κ. μετατρέπεται σε μηχανικό έργο προκαλώντας την περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης αποτελούν την πλέον διαδεδομένη τεχνολογία για εφαρμογές συμπαραγωγής μικρής κλίμακας λόγω της εύρωστης και δοκιμασμένης τεχνολογίας τους. Καλύπτουν ισχύες από μερικά kW μέχρι και άνω των 10 MW, κάτι που τις καθιστά κατάλληλες για ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών σε οικιακά, εμπορικά και μικρής κλίμακας βιομηχανικά φορτία.

Τα βασικά υποσυστήματα ενός συστήματος μ-ΣΗΘ με ΜΕΚ είναι τα εξής:

- Κινητήρας
- Ηλεκτρογεννήτρια
- Σύστημα ανάκτησης θερμότητας
- Σύστημα απόρριψης καυσαερίων
- Σύστημα ελέγχου και ακουστικής μόνωσης

Η αποκομιδή της θερμότητας επιτυγχάνεται μέσω εναλλακτών από τα θερμά καυσαέρια, το νερό ψύξης, το λιπαντικό μέσο (σε μικρότερα ποσοστά ανάκτησης) και εφόσον υπάρχει το σύστημα υπερπλήρωσης,

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η τυπική δομή ενός συστήματος συμπαραγωγής με μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Η ανακτώμενη θερμότητα του νερού ψύξης για χρήση ζεστού νερού φτάνει τους 85-90°C, ενώ η θερμότητα που προέρχεται από την απαγωγή των καυσαερίων για χρήση ζεστού νερού ή χαμηλής πίεσης ατμού φτάνει τους 100 με 120 °C. Η θερμότητα αυτή χρησιμοποιείται για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ή/και για θέρμανση των εσωτερικών χώρων. Η παραγωγή ψύξης είναι μεν θεωρητικά εφικτή μέσω συνδυασμού με κύκλο απορρόφησης, αλλά η σχετικά χαμηλή ενθαλπία των καυσαερίων δεν αποτελεί ευνοϊκό παράγοντα.



Σχήμα 6 Κύριες τεχνολογίες συστημάτων μ-ΣΗΘ Πηγή [3.2]

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν ηλεκτρικές αποδόσεις που κυμαίνονται μεταξύ 25 κα 45%, ωστόσο τα συστήματα μικρών ισχύων που αφορούν εφαρμογές οικιακής μ-ΣΗΘ δεν ξεπερνούν το 30%. Με τη σωστή συντήρηση ένας εμβολοφόρος κινητήρας σε ένα σύστημα συμπαραγωγής λειτουργεί σε υψηλά επίπεδα διαθεσιμότητας. Τα αποτελέσματα σχετικού προγράμματος επίδειξης έδειξε ότι η διαθεσιμότητα είναι της τάξης του 87-98%, σε συμφωνία με αντίστοιχες προδιαγραφές κατασκευαστών.[3.2]

Με βάση το θερμοδυναμικό κύκλο λειτουργίας, οι παλινδρομικοί κινητήρες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τους κινητήρες που λειτουργούν με βάση το θερμοδυναμικό κύκλο του Otto (επιβαλλόμενης ανάφλεξης) και εκείνους που λειτουργούν με βάση τον κύκλο Diesel (ανάφλεξη λόγω συμπίεσης).

Στον κύκλο Otto χρησιμοποιείται ένας σπινθηριστής για την ανάφλεξη ενός έτοιμου μίγματος αέρα καυσίμου που εισάγεται στον κύλινδρο. Από την άλλη, μια μηχανή Diesel συμπιέζει τον αέρα που εισάγεται στον κύλινδρο σε υψηλή πίεση, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του στα επίπεδα της θερμοκρασίας ανάφλεξης του καυσίμου που εγχέεται από υψηλή πίεση. Οι μηχανές Otto αποκαλούνται και αεριομηχανές (gas engines) καθώς λειτουργούν με αέριο καύσιμο, όπως φυσικό αέριο, βιοαέριο κ.λ.π. Ο κύκλος Diesel λειτουργεί σε υψηλότερη θερμοκρασία και πίεση από τον Otto. Για αυτό το λόγο στον κύκλο Diesel χρησιμοποιούνται βαρύτερα καύσιμα όπως πετρέλαιο, μαζούτ, κατάλοιπα από την απόσταξη του πετρελαίου κ.λ.π. [3.6] Τα χαρακτηριστικά των μηχανών Otto και Diesel θα αναφερθούν παρακάτω.

Όσον αφορά τους βασικούς ρυπαντές των παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης, σε αυτούς εντάσσονται τα οξείδια του αζώτου (NOx), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και πτητικές οργανικές ουσίες (VOCs). Άλλοι ρυπαντές όπως τα οξείδια του θείου (SOx) πρωτίστως εξαρτώνται από το τύπο του καυσίμου και της μηχανής που χρησιμοποιείται.

Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> παράγονται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων υπό την παρουσία οξυγόνου. Η παραγωγή τους εξαρτάται από τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, από τη γεωμετρία του θαλάμου καύσης και από τον τύπο του μίγματος αέρος-καυσίμου της μηχανής. Στις περισσότερες των περιπτώσεων αφορούν μίγμα NO και NO<sub>2</sub> σε ευμετάβλητη αναλογία. Οι κινητήρες φυσικού αερίου εκπέμπουν χαμηλότερα επίπεδα NO<sub>x</sub> έναντι της χρήσης diesel σε αντίστοιχες ισχύες.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα λειτουργικά χαρακτηριστικά μονάδων μ-ΣΗΘ με Μ.Ε.Κ.

Ηλεκτρική απόδοση (kW)	1-50	50-100
Βαθμός ηλεκτρικής απόδοσης (%)	21,3-30,5	26,4-30,6
Συνολικός βαθμός απόδοσης (%) (Βάσει Ανώτερης Θερμογόνου Ικανότητας)	85-90	78-83,1
Ταχύτητα περιστροφής (rpm)	3600	1500-1825
Θερμική απόδοση (kW)	3-12,5	87,9-129
Ισχύς Καυσίμου (kW)	4,7-20	183,3-277,8

Πίνακας 2 Λειτουργικά χαρακτηριστικά μονάδων μ-ΣΗΘ με Μ.Ε.Κ. Πηγή: [3.2]

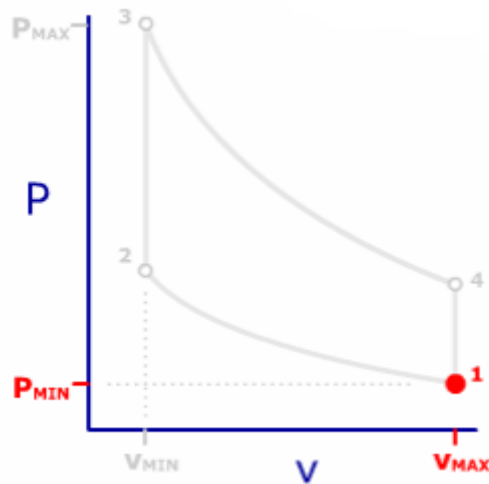
Οι εκπομπές SO<sub>2</sub> προέρχονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων που περιέχουν θείο. Έχουν διαβρωτικές συνέπειες για τις μονάδες συμπαραγωγής, ειδικότερα για τους εναλλάκτες θερμότητας και το σύστημα απαγωγής καυσαερίων. Ωστόσο οι Μ.Ε.Κ. που λειτουργούν με φυσικό αέριο παράγουν αμελητέες ποσότητες SO<sub>x</sub>.

Το CO που προέρχεται από την ατελή καύση είναι δηλητηριώδες αέριο, αλλά οι εκπομπές του είναι αμελητέες όταν ο λόγος αέρα/καυσίμου ελέγχεται ικανοποιητικά.

Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες προέρχονται από ατελή οξείδωση, κατά τη διάρκεια της καύσης, από μακριές αλυσίδες υδρογονανθράκων. Η χρήση οξειδωτικών καταλυτών μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO και των άκαυστων υδρογονανθράκων. Οι καταλύτες επιδιώκουν την οξείδωση σε CO<sub>2</sub> και νερό υπό την περίσσεια οξυγόνου. Η μετατροπή αυτή είναι εφικτή σε ποσοστό 98-99%. Οι καταλύτες οξείδωσης χρησιμοποιούνται σε όλους τους τύπους μηχανών και περισσότερο σε μηχανές Otto με καύσιμο φυσικό αέριο.[3.2]

### **3.2.2 Κινητήρες Otto**

Για λόγους πληρότητας της εργασίας, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί αρχικά ο θερμοδυναμικός κύκλος του Otto.

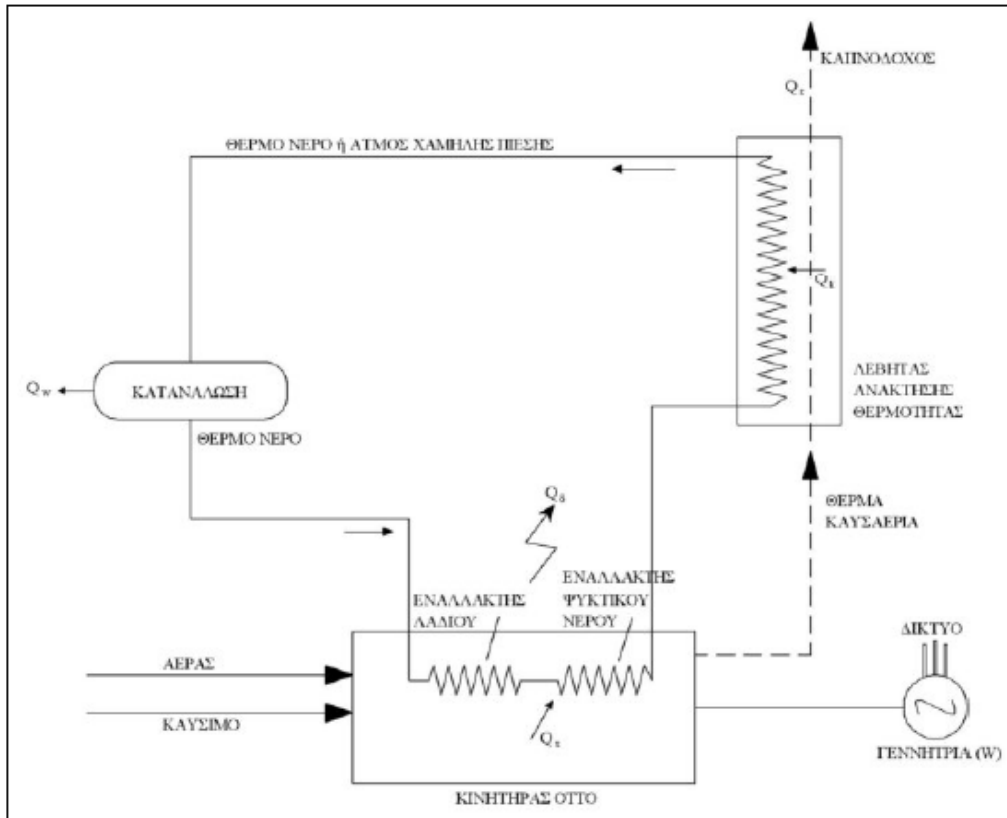


Σχήμα 7 Ιδανικός πρότυπος κύκλος του Otto Πηγή [3.5]

Ο κύκλος του Otto περιλαμβάνει τα ακόλουθα 4 στάδια. [3.5]

- 1-2: Ισεντροπική συμπίεση
- 2-3: Ισόχωρη προσθήκη θερμότητας
- 3-4: Ισεντροπική εκτόνωση
- 4-1: Ισόχωρη απόρριψη θερμότητας

Οι κινητήρες Otto χρησιμοποιούν συνήθως καύσιμο αέριο (π.χ. φυσικό αέριο, υγραέριο κ.λ.π.) και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας, ενώ συγχρόνως παράγεται χρήσιμη θερμική ενέργεια από ανάκτηση θερμότητας στον εναλλάκτη των χιτωνίων, των λιπαντελαίων, του ενδιάμεσου εναλλάκτη αέρα-νερού (intercooler) και από τα καυσαέρια, μέσω ενός ή περισσότερων εναλλακτών ανάκτησης θερμότητας. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή Otto.



Σχήμα 8 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή Otto, εναλλάκτη λαδιού και ψυκτικού νερού και λέβητα ανάκτησης θερμότητας καυσαερίων για παροχή ΖΝΧ ή ατμού πίεσης στην εγκατάσταση Πηγή [3.1]

Τα βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων ΣΗΘ με κινητήρα Otto είναι τα εξής:

- Κατασκευάζονται για ισχύ από 15 έως 1300kW
- Παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 32-35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 50-60% και ολικό βαθμό απόδοσης 80-85%
- Ο λόγος συμπαραγόμενης ηλεκτρικής προς θερμική ενέργειας C είναι 0,5-0,8
- Ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 10 έτη [3.1]

### 3.2.3 Κινητήρες Diesel

Αρχικά κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ο θερμοδυναμικός κύκλος του Diesel.

Ο κύκλος του Diesel περιλαμβάνει τα ακόλουθα 4 στάδια.[3.5]

- 1-2: Ισεντροπική συμπίεση
- 2-3: Ισόθλιπτη προσθήκη θερμότητας
- 3-4: Ισεντροπική εκτόνωση
- 4-1: Ισόχωρη απόρριψη θερμότητας



Τα βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων ΣΗΘ με κινητήρα Diesel είναι τα εξής:

- Κατασκευάζονται για ισχύ από 100 έως και λίγο μεγαλύτερη των 20000kW
- Παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35-45%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-45% και ολικό βαθμό απόδοσης 70-80%
- Ο λόγος συμπαραγόμενης ηλεκτρικής προς θερμική ενέργειας C είναι 0,70-0,90
- Ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 με 20 έτη. [3.1]

### **3.2.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα**

Οι μηχανές Otto παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Υψηλός βαθμός απόδοσης με ευελιξία σε μερικά φορτία
- Ταχεία εκκίνηση
- Σχετικά μικρό κόστος επένδυσης

Τα μειονεκτήματα των μηχανών Otto είναι τα εξής:

- Υψηλό κόστος λειτουργίας
- Παραγωγή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας
- Σχετικά υψηλές εκπομπές

Οι μηχανές Diesel παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Αποτελεσματική δυνατότητα παρακολούθησης φορτίου
- Λειτουργία σε χαμηλή πίεση

Τα μειονεκτήματα των μηχανών Diesel είναι τα εξής:

- Απαίτηση ψύξης
- Θόρυβος χαμηλής συχνότητας

## **3.3 Μικροστρόβιλοι**

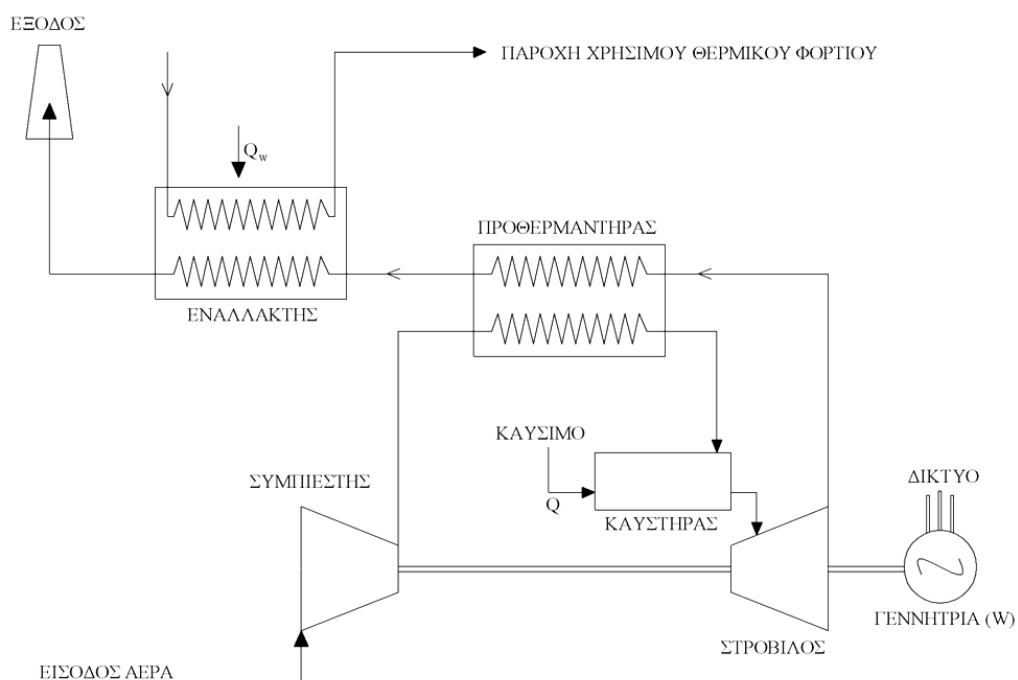
Οι μικροστρόβιλοι είναι στην ουσία πολύ μικροί αεριοστρόβιλοι. Αναπτύχθηκαν ως πηγές ισχύος για στάσιμες και κινητές εφαρμογές τα τελευταία έτη. Αρχικά βασίζονταν στην τεχνολογία στροβιλοσυμπιεστών φορτηγών που αξιοποιούν την ενέργεια των καυσαερίων για να συμπιέσουν τον αναρροφόμενο αέρα της μηχανής. Οι μικροστρόβιλοι είναι μηχανικά απλές, μικρών διαστάσεων κατασκευές. Παλαιότερα υπήρχε ένα μεγάλο πλήθος ανταγωνιστικών συστημάτων υπό ανάπτυξη, κυρίως κατά τη δεκαετία του 1990. Σήμερα, ύστερα από μία περίοδο εμπορικής διάδοσης, τα εμπορικά συστήματα μικροστροβίλων ΣΗΘ έχουν κλίμακα ισχύος που κυμαίνεται μεταξύ 30-250 kW για συστήματα απλού στροβίλου, ενώ μπορούν να φτάσουν και τα 1000 kW για συστήματα πολλαπλών στροβίλων. [3.1]

### **3.3.1 Περιγραφή**

Το σύστημα ΣΗΘ με μικροστρόβιλο είναι κατά κανόνα μονάδα μικρού μεγέθους, υψηλής ταχύτητας και συμπεριλαμβάνει το στρόβιλο (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, αλλά και ανανεώσιμα καύσιμα όπως

βιοαέριο ή αέριο σύνθεσης από αεριοποίηση στερεής βιομάζας. Κατά τη λειτουργία της μηχανής, ο αέρας εισέρχεται στο συμπιεστή και μετά από τη συμπίεσή του στα 3-5 bar 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 καυσαέρια μετά την καύση εισέρχονται στο στρόβιλο σε θερμοκρασία 900-950 °C όπου και εκτονώνονται μετατρέποντας τη θερμική ενέργεια σε μηχανική. Τα αέρια που εξέρχονται από το στρόβιλο εισέρχονται στον προθερμαντήρα και στη συνέχεια στον εναλλάκτη θερμότητας (θερμαντική στήλη) για την πρόσδοση θερμότητας και τη θέρμανση νερού.[3.1]

Στο Σχήμα 11 απεικονίζεται η διάταξη και ο τρόπος λειτουργίας του μικροστροβίλου.



Σχήμα 11 Διάταξη και τρόπος λειτουργίας μικροστροβίλου Πηγή: [3.1]

Οι μικροστροβίλοι είναι κατάλληλοι για εφαρμογές αποκεντρωμένης παραγωγής λόγω της ευελιξίας τους όσον αφορά τη διασυνδεσιμότητά τους. Σε αυτές τις εφαρμογές, η αξιοπιστία είναι πολύ σημαντική καθώς οι τοποθεσίες αυτές μπορεί να βρίσκονται μακριά από το δίκτυο και ως εκ τούτου τυχόν προβλήματα στη λειτουργία έχουν μεγάλες αρνητικές οικονομικές συνέπειες.

Σε γενικές γραμμές η διαθεσιμότητα εμπορικών μικροστροβίλων είναι περιορισμένη καθώς η δυναμικότητα παραγωγής τους δεν έχει φτάσει οικονομικά αποδεκτά επίπεδα. Οι κυριότερες προκλήσεις για την τεχνολογία ποικίλλουν. Αφενός, εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους, είναι πολύ ακριβή η κατασκευή πτερυγίων που να ελαχιστοποιούν τις απώλειες διακένων αποτελεσματικά. Επιπλέον, λόγω της μικρής διαμέτρου τους σε συνδυασμό με τη μικρή τους



ισχύ, οι μικροστρόβιλοι πρέπει να λειτουργούν σε πολύ υψηλές ταχύτητες για να λειτουργήσουν με καλό βαθμό απόδοσης.

Στην περίπτωση που ο μικροστρόβιλος είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο, το σύστημα ελέγχου ακολουθεί συνήθως το θερμικό φορτίο. Η παραγόμενη ηλεκτρική ή θερμική ισχύς του μικροστρόβιλου μπορεί να μειωθεί με μείωση της περιστροφικής ταχύτητας του άξονα. Ταυτόχρονα μειώνεται και η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στο στρόβιλο ώστε να αποφευχθεί η αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του προθερμαντήρα. Αυτό επηρεάζει το σημείο λειτουργίας του μικροστρόβιλου και το βαθμό απόδοσής του.

Οι μικροστρόβιλοι λειτουργούν ιδανικά με καλής ποιότητας καύσιμα όπως φυσικό αέριο, υγροποιημένο πετρελαϊκό αέριο, diesel και κηροζίνη. Στην περίπτωση που γίνεται χρήση χαμηλής ποιότητας καυσίμου, όπως βιοαέριο ή βιομηχανικά καυσαέρια, το καύσιμο συχνά περιέχει οξέα συστατικά και μπορεί να απαιτεί προεπεξεργασία. Οι μικροστρόβιλοι έχουν χαμηλό χρόνο εκκίνησης και διακοπής λειτουργίας, της τάξεως των λίγων λεπτών.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά συστημάτων ΣΗΘ με μικροστρόβιλους είναι τα εξής:

- κατασκευάζονται για ισχύ 30 έως 300 kW
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 20÷30%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-45% (στην περίπτωση της εγκατάστασης συστήματος ανάκτησης θερμότητας έως και 65%) και ολικό βαθμό απόδοσης 70÷80%
- ο λόγος C είναι 0,2-0,5
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 έτη.[3.1]

### **3.3.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα**

Οι μικροστρόβιλοι παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα [3.1]:

- Λίγα κινούμενα μέρη
- Μικρό μέγεθος
- Χαμηλές εκπομπές
- Μη απαίτηση ψύξης

Παρουσιάζουν όμως και τα παρακάτω μειονεκτήματά [3.1]:

- Υψηλά κόστη
- Σχετικά χαμηλός βαθμός απόδοσης
- Μειωμένη θερμοκρασία παραγόμενης θερμότητας

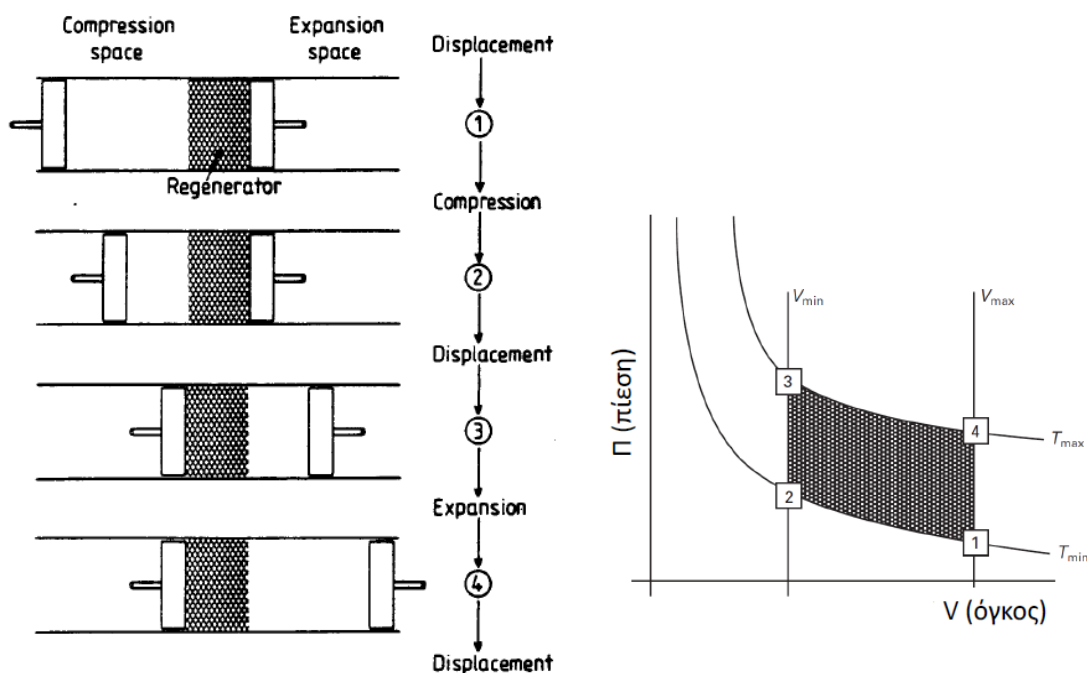
### **3.4 Μηχανές Stirling**

Η τεχνολογία των μηχανών Stirling σε εφαρμογές μ-ΣΗΘ βρίσκεται μεν στο στάδιο των πρώτων εμπορικών συστημάτων, ωστόσο παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως υψηλή συνολική απόδοση, ευελιξία επιλογής καυσίμου, χαμηλές εκπομπές ρύπων, χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών αλλά και καλή συμπεριφορά σε συνθήκες μερικού φορτίου [3.8]. Το εύρος ισχύος των μηχανών Stirling είναι 1 kW – 1,5 MW, αν και συνήθως κατασκευάζονται για ισχύ από 3 έως 100 kW. Οι συγκεκριμένες μηχανές παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 15-20%, θερμικό βαθμό απόδοσης 60-70% και ολικό βαθμό απόδοσης 85-90%, ενώ ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ κυμαίνεται μεταξύ 0,1-0,4 [3.1].

Η θερμότητα προέρχεται από εξωτερικές πηγές, επιτρέποντας τη χρήση ενός μεγάλου φάσματος ενεργειακών πηγών όπως είναι τα φυσικά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή ενέργεια, βιομάζα). Επειδή η καύση είναι εξωτερική και ο κύκλος λειτουργίας τους κλειστός, τα κινούμενα μέρη του κινητήρα δεν εκτίθενται στα προϊόντα της καύσης, με αποτέλεσμα να είναι περιορισμένες οι φθορές και να μειώνονται οι ανάγκες τακτικής συντήρησης [3.8]. Απαιτούνται, όμως, πολύ αποτελεσματικές και δύσκολα επιτεύξιμες στεγανωτικές διατάξεις για την αποφυγή διαρροών, τόσο του αερίου υψηλής πίεσης προς το εξωτερικό του κυλίνδρου, όσο και του λιπαντικού προς το εσωτερικό του κυλίνδρου. Έτσι, η κατασκευή αποτελεσματικών διατάξεων στεγανοποίησης με ικανοποιητική διάρκεια ζωής είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπισθούν [3.2].

### 3.4.1 Περιγραφή

Η μηχανή Stirling είναι μια μηχανή εξωτερικής καύσης. Το εργαζόμενο αέριο (υδρογόνο, ήλιο, κλπ.) συμπιέζεται εναλλάξ σε ένα ψυχρό και ένα θερμό κύλινδρο και εκτονώνεται σε διάταξη κυλίνδρου δύο εμβόλων, με αποτέλεσμα την περιστροφή στροφαλοφόρου άξονα. Ο θεωρητικός κύκλος Stirling απεικονίζεται στο παρακάτω Σχήμα.



Σχήμα 12 Θεωρητικός θερμοδυναμικός κύκλος μηχανής Stirling Πηγή [3.8]

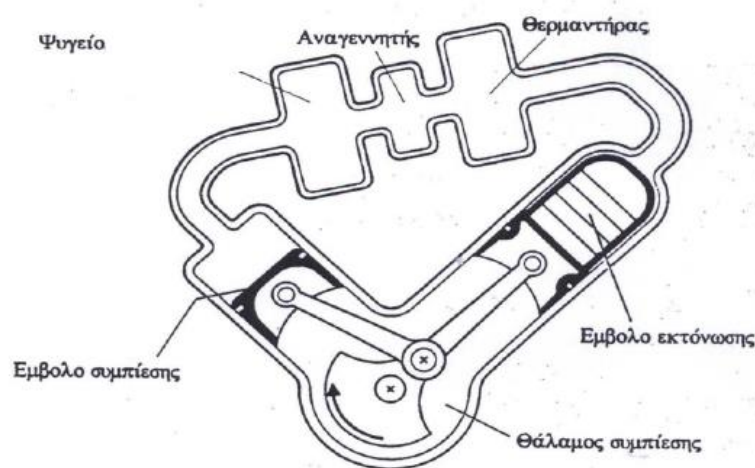
Τα σημεία του κύκλου είναι τα ακόλουθα:

1. Το εργαζόμενο αέριο βρίσκεται στο μέγιστο όγκο και στην ελάχιστη θερμοκρασία και περιέχεται στο ψυχρό μέρος του κυλίνδρου. Το έμβολο εξωθεί το αέριο προς το θερμό μέρος του κυλίνδρου χωρίς να παράγει θερμότητα και χωρίς να αυξάνει τη θερμοκρασία του. Στην πραγματικότητα, φυσικά, θα πρέπει να καταναλωθεί έργο για τη συμπίεση του ψυχρού αερίου στο θερμό μέρος του κυλίνδρου και αναπόφευκτα η θερμοκρασία αυξάνεται πριν το αέριο μεταβεί στην κατάσταση 2.

2. Στο σημείο αυτό, προσδίδεται θερμότητα στο αέριο και αυξάνεται η θερμοκρασία και η πίεσή του μέχρι να φτάσει στην κατάσταση 3.
3. Από το σημείο 3 μέχρι το σημείο 4, το αέριο εκτονώνεται, ασκώντας έργο στο έμβολο. Σε αυτό το στάδιο παράγεται ωφέλιμη ισχύς από τη μηχανή. 4.
4. Στο σημείο 4, το αέριο έχει το μέγιστο όγκο και μετακινείται προς το ψυχρό μέρος της μηχανής όπου ψύχεται ώστε να ξεκινήσει τον καινούργιο κύκλο.

Θεωρητικά, το έργο της μηχανής είναι ίσο με το εμβαδόν της σκιασμένης περιοχής που απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα.

Η λειτουργία της μηχανής Stirling βασίζεται στη διαδοχική συμπίεση και εκτόνωση εργαζόμενου μέσου (π.χ. υδρογόνο, ήλιο, κ.α.) σε διάταξη κυλίνδρου δύο εμβόλων, με αποτέλεσμα την περιστροφή στροφαλοφόρου άξονα (Σχήμα 5.16). Η μηχανή εργάζεται με θερμότητα από μια εξωτερική πηγή: καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας από την άμεση καύση καυσίμου εισάγονται στον εναλλάκτη θέρμανσης της μηχανής σε υψηλή θερμοκρασία και θερμότητα μεταφέρεται στη μηχανή. Η θερμοκρασία λειτουργίας του εναλλάκτη αυτού είναι μεταξύ 700 και 800 °C. Κατά συνέπεια το θερμό μέρος της μηχανής μπορεί να βρίσκεται μέχρι και στους 800 °C ενώ το ψυχρό μέρος της βρίσκεται περίπου στους 80 °C.



Σχήμα 13 Μηχανή Stirling, Πηγή [3.8]

Στη μηχανή, θερμότητα μετατρέπεται σε έργο και θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας απορρίπτεται στον ψύκτη. Ο τελευταίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας (40-60 °C). Οι μηχανές Stirling είναι εμπορικά διαθέσιμες με καθαρή ηλεκτρική ισχύ που κυμαίνεται μεταξύ 35 και 140 kW. Η εξωτερική καύση στις μηχανές Stirling επιτρέπει τη χρήση διάφορων καυσίμων, π.χ. υγρά ή αέρια καύσιμα, άνθρακα, αέρια ή υγρά προερχόμενα από άνθρακα, καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα ακόμα και απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Η μηχανή Stirling επιτρέπει συνεχή, ελεγχόμενη καύση που έχει σαν αποτέλεσμα υψηλό βαθμό απόδοσης καύσης και μειωμένες εκπομπές. Μπορεί να λειτουργεί χωρίς βαλβίδες και σύστημα έναυσης, επιτρέποντας κατ' αυτό τον τρόπο υψηλές περιόδους λειτουργίας χωρίς συντήρηση και χαμηλά κόστη.

Μία σημαντική διαφορά μεταξύ των ΜΕΚ και της μηχανής Stirling είναι ότι, στην περίπτωση των ΜΕΚ, είναι δυνατόν να ρυθμιστεί η παραγόμενη ισχύς σχεδόν άμεσα με έλεγχο της παροχής του καυσίμου. Αντίθετα, στις μηχανές Stirling υπάρχει σημαντική χρονοκαθυστέρηση μεταξύ της εισόδου καυσίμου και της παραγωγής ισχύος, που οφείλεται

στην ύπαρξη σημαντικής ποσότητας αποθηκευμένης θερμότητας στο θερμό μέρος της μηχανής που συνεχίζει να μεταφέρει ενέργεια στο εργαζόμενο αέριο ακόμα και αν η παροχή καυσίμου αποκοπεί πλήρως. Αν και αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα σε στάσιμες εφαρμογές που δεν απαιτούν άμεσες μεταβολές ισχύος, είναι ένα σημαντικό ζήτημα σε περιπτώσεις όπου η μηχανή Stirling λειτουργεί για παραγωγή θερμότητας και βρίσκεται σε σύζευξη με κάποιο θερμοστάτη. Επιπλέον, η αποθηκευμένη θερμότητα θα πρέπει πρώτα να απορριφθεί στο σύστημα διανομής πριν το σταμάτημα της μηχανής προκειμένου να αποφευχθεί η σπατάλη της και να αποτραπεί υπερθέρμανση της μηχανής.

Κατά γενική ομολογία, τα βασικά χαρακτηριστικά της μηχανής Stirling που την καθιστούν ιδανική τεχνολογία για οικιακή ΣΗΘ είναι οι χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης, ο υψηλός χρόνος ζωής, ο χαμηλός θόρυβος και οι δονήσεις και οι χαμηλές εκπομπές.

Αν και θεωρητικά ο βαθμός απόδοσης των μηχανών Stirling μπορεί να είναι υψηλός, στην πράξη οι οικονομική και τεχνικοί περιορισμοί των εφαρμογών οικιακής κλίμακας έχουν σαν αποτέλεσμα τα περισσότερα εμπορικά συστήματα να έχουν βαθμό απόδοσης κάτω του 15%. Ωστόσο, σημαντικά υψηλότεροι βαθμοί απόδοσης είναι εφικτοί. [3.1, 3.2, 3.9]

### **3.4.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα**

Οι μηχανές Stirling παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα [3.1]:

- Χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης,
- Υψηλός χρόνος ζωής,
- Χαμηλός θόρυβος και δονήσεις
- Λίγα κινούμενα μέρη - Μικρό μέγεθος
- Μη απαίτηση ψύξης
- Λιγότερο ρυπογόνοι, φιλικές προς το περιβάλλον

Αντίστοιχα, οι μηχανές Stirling παρουσιάζουν τα παρακάτω μειονεκτήματα [3.1]:

- Υψηλά κόστη
- Λειτουργία σε υψηλή θερμοκρασία
- Σχετικά χαμηλός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης
- Χαμηλή θερμοκρασία παραγωγής θερμότητας
- Απαιτούν συντήρηση σε μεγάλα χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα να λειτουργούν αρκετές χιλιάδες ώρες συνεχώς.

### **3.5 Κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (S.O.F.C.)**

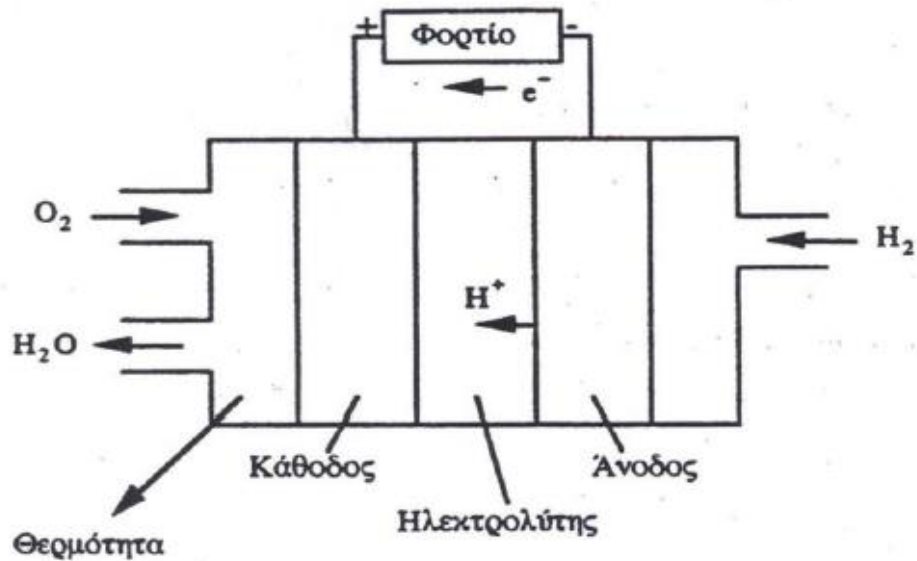
Τα συστήματα μ-ΣΗΘ με κυψέλες καυσίμου ενσωματώνουν την πλέον εξεζητημένη τεχνολογία συγκριτικά με τα συστήματα που προαναφέρθηκαν. Παρατηρείται έντονη ερευνητική προσπάθεια ώστε τα θεωρητικά πλεονεκτήματα που εμφανίζουν (χαμηλή στάθμη θορύβου, μικρές απαιτήσεις συντήρησης, εξαιρετική συμπεριφορά σε συνθήκες μερικού φορτίου, σχεδόν μηδενικά επίπεδα εκπομπών ρύπων, υψηλές αποδόσεις (85-90%) ανεξάρτητα από το μέγεθος της κυψέλης) να αποτελέσουν τεχνικά χαρακτηριστικά εμπορικών συστημάτων. Η επίδιωξη αυτή δεν έχει επιτευχθεί στο βαθμό που θα επέτρεπε την άμεση εφαρμογή και εγκατάσταση συστημάτων κυψελών καυσίμου, καθώς εκκρεμούν προβλήματα

αξιοπιστίας, μείωσης αποδοτικότητας με τη λειτουργία και χαμηλής διάρκειας ζωής. Σημαντική πρόκληση αποτελεί επίσης η μείωση του κόστους ενός αντίστοιχου συστήματος μέσω επιλογής φτηνότερων υλικών και ανάπτυξη οικονομιών κλίμακας με διεργασίες κατασκευής κατάλληλες για μαζική παραγωγή. Η λειτουργία των κυψελών καυσίμου βασίζεται στην ηλεκτροχημική (και όχι θερμοχημική) μετατροπή της χημικής ενέργειας των καυσίμων. Οι κυψέλες καυσίμου κατασκευάζονται από 5kWe και άνω και παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 45-50%, θερμικό βαθμό απόδοσης 20-25% και ολικό βαθμό απόδοσης συστήματος 65-70%. Ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ κυμαίνεται μεταξύ 1-2 ενώ ο χρόνος εκκίνησης είναι 3 ώρες - 2 μέρες.. Τέλος, Κυψέλες καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας (<80oC) δεν ενδείκνυνται για ΣΗΘ [3.1, 3.2, 3.8, 3.7].

### **3.5.1 Περιγραφή**

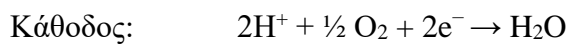
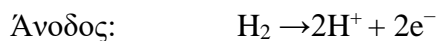
Οι κυψέλες καυσίμου βασίζονται σε μια ηλεκτροχημική διεργασία μετατροπής της χημικής ενέργειας του υδρογόνου σε ηλεκτρισμό. Σε εφαρμογές ΣΗΘ, η θερμότητα γενικά ανακτάται με τη μορφή ζεστού νερού ή ατμού χαμηλής πίεσης (<2 bar) και η ποιότητα της θερμότητας βασίζεται στον τύπο της κυψέλης καυσίμου και της θερμοκρασίας λειτουργίας της. Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούν υδρογόνο, που μπορεί να προέρχεται από φυσικό αέριο, αέριο σύνθεσης από άνθρακα, μεθανόλη, καθώς και άλλα καύσιμα υδρογονανθράκων. Οι κυψέλες καυσίμου κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τύπο της ηλεκτροχημικής διεργασίας που αξιοποιούν. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες, όπως οι κυψέλες φωσφορικού οξέως (PAFC), μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC), τετηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC), στερών οξειδίων (SOFC) και αλκαλικές (AFC). Τα συστήματα PAFC είναι εμπορικά διαθέσιμα σε δύο κλίμακες ισχύος, 200 και 400 kW, ενώ δύο επιπλέον κλίμακες ισχύος υφίστανται για τα συστήματα MCFC, 300 και 1200 kW. Τα κόστη κεφαλαίου των κυψελών καυσίμου παραμένουν υψηλά εξαιτίας των μικρού όγκου παραγωγικών μεθόδων. Ωστόσο, οι κυψέλες καυσίμου διατηρούν υψηλή ζήτηση για εφαρμογές ΣΗΘ εξαιτίας των χαμηλών τους εκπομπών, χαμηλού θορύβου και σημαντικών επιχορηγήσεων.

Συνήθως, το σύστημα ΣΗΘ με κυψέλη καυσίμου λειτουργεί με τη χρήση υδρογόνου και οξυγόνου, 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). Δεδομένου ότι η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα. Στο παρακάτω Σχήμα παρουσιάζεται μια απλή διάταξη κυψέλης καυσίμου.



Σχήμα 14 Απλή διάταξη κυψέλης καυσίμου, Πηγή [3.5]

Οι ακόλουθες ηλεκτρομηχανικές αντιδράσεις λαμβάνουν μέρος στα δύο ηλεκτρόδια.



Στην άνοδο, παράγονται ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα ιόντα κινούνται προς την κάθοδο μέσω του ηλεκτρολύτη. Τα ηλεκτρόνια κινούνται προς την κάθοδο μέσω του εξωτερικού κυκλώματος, το οποίο περιλαμβάνει το φορτίο (εξωτερική αντίσταση). Η αντίδραση είναι εξωθερμική. Η απελευθερωμένη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμικές διεργασίες [3.8]

Το επιθυμητό καύσιμο είναι καθαρό υδρογόνο που μπορεί όμως να παραχθεί και από κάποιο άλλο καύσιμο, φορέα υδρογόνου, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, όπως η αμμωνία, το φυσικό αέριο, παράγωγα του πετρελαίου, το υγρό προπάνιο και η βιομάζα. 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.

Οι διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου χαρακτηρίζονται από τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν και συνοψίζονται παρακάτω [3.1]:

Τύπος	Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	Ηλεκτρολύτης	Καύσιμο	Οξειδωτικό
AFC	80	KOH	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> /αέρας
PEM	80	στερεό πολυμερισμένο	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> /αέρας
PAFC	200	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Φυσικό αέριο (Φ.Α.) Εξωτερική αναμόρφωση	Αέρας
MCFC	650	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Άνθρακας και Φ.Α. Εσωτερική αναμόρφωση	Αέρας
SOFC	1000	ZrO <sub>2</sub>	Άνθρακας και Φ.Α. 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)

Σχήμα 15 Κατηγορίες κυψελών καυσίμου Πηγή [3.8]

### 3.5.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμου είναι [3.1]:

- Αρθρωτή (modular) δομή για την επίτευξη μονάδων με επιθυμητή ισχύ.
- Υψηλός βαθμός απόδοσης
- Ευκολία αυτοματισμού
- Χαμηλές εκπομπές ρύπων
- Χαμηλή στάθμη θορύβου

Αντίστοιχα, τα μειονεκτήματα των κυψελών καυσίμου είναι [3.1]:

- Υψηλό κόστος κατασκευής
- Σχετικά μικρή διάρκεια ζωής.
- Απαίτηση επεξεργασίας καυσίμου
- Ευαισθησία σε ακαθαρσίες καυσίμου
- Χαμηλή συγκέντρωση ισχύος

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [3.1] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017, «Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια», Α' έκδοση, Σεπτέμβριος 2017
- [3.2] Δημήτριος Γιαννόπουλος, Διδακτορική Διατριβή, «Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης Καινοτόμων Ενεργειακών Τεχνολογιών σε Περιβάλλον Αβεβαιότητας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Ιούλιος 2012
- [3.3] Κωνσταντίνος Καββαδίας, Διδακτορική Διατριβή, «Αριστοποίηση Συστήματος Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού Θερμότητας Ψύξης», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Ιούλιος 2012
- [3.4] Pehnt M., Cames M., Fischer C., Praetorius B., Schneider L., Schumacher K., Voß J.P. Micro Cogeneration - Towards Decentralized Energy Systems (2006). Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [3.5] Κορωνάκη Ειρήνη, «Θερμικές Μηχανές», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα [http://users.ntua.gr/koronaki/THERMAL\\_ENGINES\\_FINAL.pdf](http://users.ntua.gr/koronaki/THERMAL_ENGINES_FINAL.pdf)
- [3.6] 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
- [3.7] Ononwiona H.I. and Ugursal V.I., Residential cogeneration systems: review of the current technology, Renewable Sustainable Energy Rev. 10 (2006) 389-431.
- [3.8] Frangopoulos CA. EDUCOGEN, «The European educational tools on cogeneration (2001)» The European Association for the Promotion of Cogeneration.
- [3.9] A.D. Hawkes, M.A. Leach, «Cost-effective operating strategy for residential micro-combined heat and power, Elsevier, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

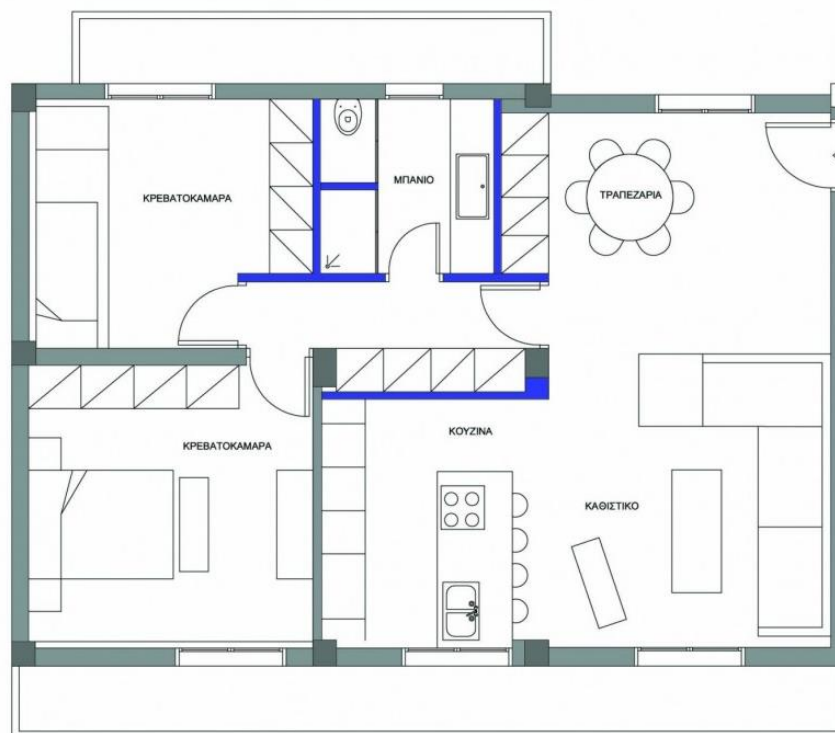


#### **4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ, ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας συμβατικών συστημάτων θέρμανσης και συστημάτων μικρό-συμπαραγωγής στη μονοκατοικία. Αρχικά περιγράφεται η εξεταζόμενη μονοκατοικία και αναλύεται ο τρόπος προσέγγισης των θερμικών και ηλεκτρικών απαιτήσεων. Στη συνέχεια εξετάζεται η εφαρμογή τεσσάρων εναλλακτικών συστημάτων για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων και τέλος γίνεται οικονομοτεχνική ανάλυση όλων των συστημάτων.

#### **4.1 Εξεταζόμενη κατοικία**

Η εξεταζόμενη κατοικία είναι μονοκατοικία, επιφάνειας 100 τετραγωνικών μέτρων με μια κουζίνα, ένα σαλόνι-τραπεζαρία, δυο υπνοδωμάτια και ένα μπάνιο. Η κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει είναι η Β και η κάτοψη της μονοκατοικίας φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 16 Ενδεικτική κάτοψη μονοκατοικίας

#### **4.2 Ενεργειακές απαιτήσεις εξεταζόμενης κατοικίας**

Οι ενεργειακές απαιτήσεις της εξεταζόμενης κατοικίας διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Θερμικές απαιτήσεις, όπου περιλαμβάνονται οι απαιτήσεις θέρμανσης χώρων και οι απαιτήσεις θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.)
- Ηλεκτρικές απαιτήσεις

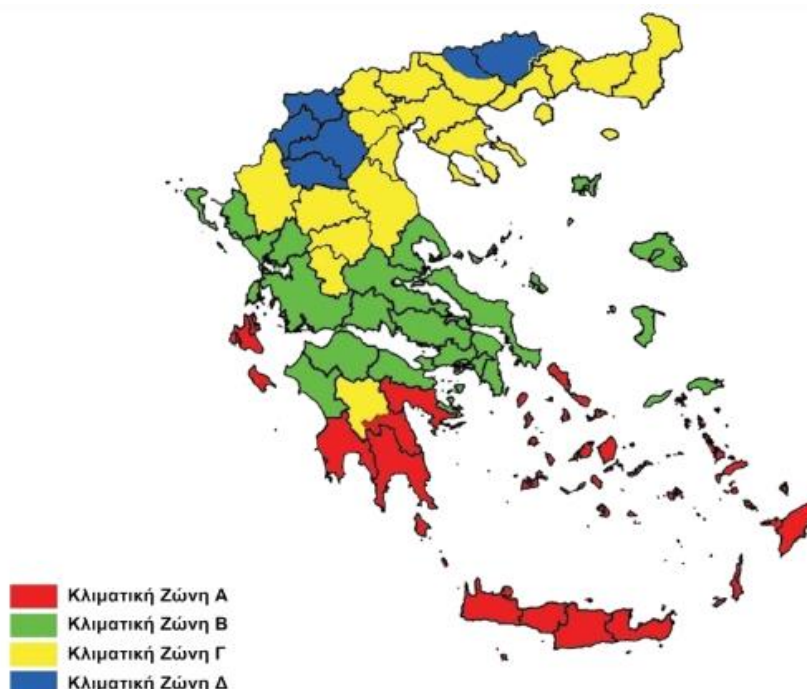
Η Ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης. Στον παρακάτω πίνακα προσδιορίζονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες (από τη θερμότερη στην ψυχρότερη) και ακολουθεί σχηματική απεικόνιση των παραπάνω ζωνών.

Για κάθε νομό, τα κτίρια σε περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων εξετάζονται βάσει των προδιαγραφών της επόμενης ψυχρότερης κλιματικής ζώνης από εκείνη στην οποία ανήκουν σύμφωνα με τα παραπάνω. Για τη Δ ζώνη όλες οι περιοχές, ανεξαρτήτως υψομέτρου, περιλαμβάνονται στη ζώνη Δ. Στο τμήμα του νομού Αρκαδίας που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Γ και στο τμήμα του νομού Σερρών (ΒΑ τμήμα) που εντάσσεται στην

κλιματική ζώνη Δ, περιλαμβάνονται όλες οι περιοχές που έχουν υψόμετρο άνω των 500 μέτρων.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, 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, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), 19 Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας

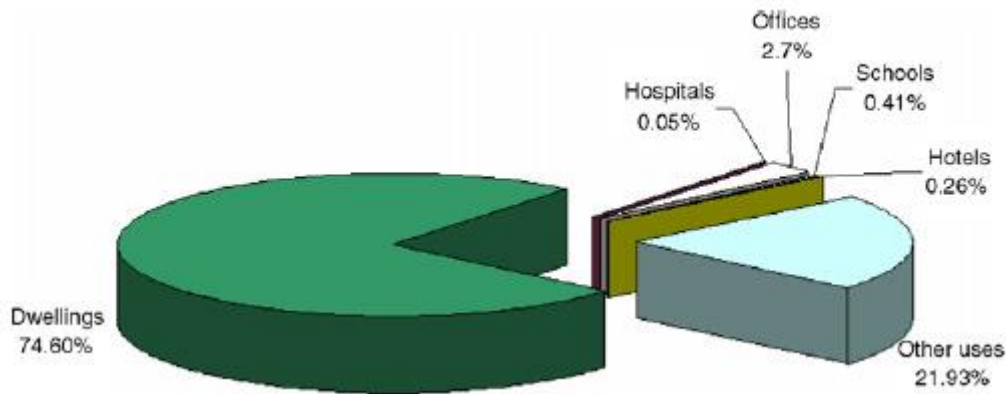
Πίνακας 3: Διαχωρισμός της ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες κατά νομούς Πηγή: [4.1]



Σχήμα 17 Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας Πηγή: [4.1]

Σημειώνεται ότι τα περισσότερα κτίρια στην Ελλάδα είναι κατοικίες, νοσοκομεία, ξενοδοχεία, κτίρια γραφείων και εμπορικά κτίρια. Οι κατοικίες είτε είναι μονοκατοικίες είτε πολυκατοικίες αποτελούν το 75% του συνόλου των κτισμάτων.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ο διαχωρισμός του συνόλου των ελληνικών κτιρίων ανάλογα με τη χρήση τους.



Σχήμα 18 Κατανομή των κτιρίων στην Ελλάδα ανάλογα με τη χρήση τους Πηγή: [4.2]

### 4.3 Θερμικές απαιτήσεις

Η περίοδος που εξετάζεται για τον υπολογισμό των θερμικών απαιτήσεων στην παρούσα εργασία είναι ένα έτος με βήμα μιας ώρας (8760 ώρες)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στις θερμικές απαιτήσεις περιλαμβάνονται οι απαιτήσεις θέρμανσης χώρων και οι απαιτήσεις θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης (Z.N.X.). Πιο συγκεκριμένα αρχικά υπολογίζουμε τις ωριαίες απαιτήσεις για θέρμανση χώρων ( $Q_{i\_th}$ ) και έπειτα για θέρμανση Z.N.X. ( $Q_{i\_ZNX}$ ). Αθροίζοντας τα παραπάνω προκύπτουν οι συνολικές ωριαίες θερμικές απαιτήσεις της μονοκατοικίας ( $Q_{i\_th\_tot}$ ). Συνεπώς προκύπτει η ετήσια συνολική θερμική απαίτηση για την υπό εξέταση κατοικία:

$$\sum_{i=1}^{8760} Q_{i\_th\_tot}(kWh/h) = \sum_{i=1}^{8760} Q_{i\_th}(kWh/h) + \sum_{i=1}^{8760} Q_{i\_ZNX}(kWh/h)$$

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος υπολογισμού των ωριαίων απαιτήσεων για θέρμανση χώρων και για θέρμανση Z.N.X.

#### 4.3.1 Φορτία θέρμανσης χώρων

Οι συνολικές ανηγμένες ανά κατοικήσιμο  $m^2$  θερμικές καταναλώσεις για θέρμανση για την περίπτωση της μονοκατοικίας δίνονται στον παρακάτω πίνακα [4.2]. Από τις τιμές του παρακάτω πίνακα για μονοκατοικία προκύπτει η ετήσια απαίτηση για θέρμανση χώρων (Total annual Q ή  $Q_{th\_tot}$ , πολλαπλασιάζοντας τες με τα τετραγωνικά.

Κλιματική Ζώνη	Νεόδμητες Μονοκατοικίες	Νεόδμητες Πολυκατοικίες
<b>Μέση ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας kWh/m<sup>2</sup></b>		
Ελλάδα (Συνολικά)	92,4	75,2
ΖΩΝΗ Α	66,9	52,1
ΖΩΝΗ Β	88,3	70,5
ΖΩΝΗ Γ	107,7	90,4
ΖΩΝΗ Δ	129,2	114,9

Πίνακας 4 Ετήσιες θερμικές καταναλώσεις ανά κλιματική ζώνη Πηγή [4.2]

Παράλληλα, έχουμε τις αντίστοιχες μέσες ειδικές ενεργειακές απαιτήσεις ( $Q_i$ /Total annual Q) για θέρμανση οι οποίες υπολογίστηκαν μέσω της υπόθεσης ενός βαθμού απόδοσης λέβητα της τάξης του 85% (ελάχιστη απόδοση συνήθων λεβήτων ισχύος 5-24 kW, σύμφωνα με το Π. . 335/1993 ΦΕΚ 143Α). [4.8]



Σχήμα 19 Μέση ωριαία θερμική κατανάλωση

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω υπολογίζουμε τις ωριαίες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση  $Q_{i\_th}$  σε ετήσια βάση.

$$Q_{i\_th} \left( \frac{kWh}{h} \right) = \frac{Q_i}{Total\ annual\ Q} * \text{Μέση ειδική κατανάλωση ενέργειας} * \left( \frac{kWh}{m^2} \right) * \text{Συνολική επιφάνεια } A(m^2)$$

#### 4.3.2 Φορτία θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης (Z.N.X.)

Εκτός της θέρμανσης των χώρων απαιτείται και η θέρμανση του νερού για τις διάφορες χρήσεις του. Οι μηνιαίες θερμοκρασίες ( $T_{average}$ ) του νερού δικτύου ύδρευσης για κάθε κλιματική ζώνη φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. [4.3]

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
Γ	6,5	7,3	9,4	13,2	17,6	21,9	24,3	24,6	22	17,7	12,7	8,6
Δ	4,2	5	7,5	11,5	15,7	19,8	22,2	22,7	20,2	15,9	10,8	6,6

Πίνακας 5 Μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού δικτύου ύδρευσης ανά κλιματική ζώνη Πηγή [4.3]

Το νερό του δικτύου ύδρευσης πρέπει από τη θερμοκρασία που βρίσκεται να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου του ζεστού νερού χρήσης των 50°C [4.1]. Υπολογίζουμε επομένως για κάθε ώρα του έτους τη διαφορά  $\Delta T$  που είναι:

$$\Delta T(^{\circ}C) = 50 (^{\circ}C) - T_{i\_average} (^{\circ}C)$$

Για τον υπολογισμό των θερμικών κιλοβατόρων Q που απαιτούνται, γίνεται χρήση της σχέσης:

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

Όπου,

- V: ο όγκος του νερού που πρέπει να θερμανθεί [L]
- $\rho$  : η πυκνότητα του νερού [kg/L]
- $c_p$  : 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 T.E.E. [4.4], η ημερήσια ποσότητα ζεστού νερού χρήσης ανά άτομο είναι 50 λίτρα. Κάνοντας την υπόθεση ότι στη μονοκατοικία που εξετάζεται, διαμένουν 4 άτομα μπορεί να προσεγγιστεί η συνολική ποσότητα νερού χρήσης που πρέπει να θερμανθεί ημερησίως ως εξής:

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

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

Ωρα	Ποσοστό	Ωρα	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 6 Ωριαία κατανομή για τις θερμικές καταναλώσεις ζεστού νερού Πηγή [4.5]

Σύμφωνα με τα παραπάνω, υπολογίστηκε η ωριαία ενεργειακή απαίτηση για τη θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης  $Q_{i\_ZNΧ}$  για ένα έτος.

$$Q_{i\_ZNΧ} (kWh/h) = Q (kWh/h)$$

\* ωριαία κατανομή για θερμικές καταναλώσεις ζεστού νερού

#### 4.4 Ηλεκτρικές απαιτήσεις

Οι συνολικές ανηγμένες ανά κατοικήσιμο  $m^2$  ηλεκτρικές καταναλώσεις για την περίπτωση της μονοκατοικίας δίνονται στον παρακάτω πίνακα [4.2]. Από τις τιμές του παρακάτω πίνακα για μονοκατοικία προκύπτει η ετήσια απαίτηση για ηλεκτρισμό (Total annual electrical demand  $Q_{el}$ ) πολλαπλασιάζοντας τες με τα τετραγωνικά. 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	Νεόδμητες Μονοκατοικίες	Νεόδμητες Πολυκατοικίες
<b>Μέση ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας kWh/m<sup>2</sup></b>		
Ελλάδα (Συνολικά)	37,45	39,20
ΖΩΝΗ Α	27,26	28,50
ΖΩΝΗ Β	41,75	45,84
ΖΩΝΗ Γ	33,74	35,45
ΖΩΝΗ Δ	32,65	34,21

Πίνακας 7 Ετήσιες Ηλεκτρικές καταναλώσεις ανά κλιματική ζώνη Πηγή [4.2]

Για να υπολογιστούν οι ωριαίες κατανομές για τις καταναλώσεις ηλεκτρισμού σε ετήσιο κύκλο θα χρησιμοποιηθούν δυο διαφορετικές κατανομές. Η πρώτη είναι ωριαία, εφαρμόζεται για κάθε εικοσιτετράωρο του έτους ( $p/p_{max}$ ) και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 20 Μέση ωριαία ηλεκτρική κατανάλωση

Η δεύτερη κατανομή είναι μηνιαία (%/month) 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 σχήματος προέρχεται από οικιακά τιμολόγια Δ.Ε.Η. για περίπτωση κατοικίας αντίστοιχης με την εξεταζόμενη στην Αθήνα.





Σχήμα 21 Μέση μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση

Υπολογίζουμε επομένως τις ωριαίες ηλεκτρικές απαιτήσεις  $Q_{i\_el}$  κατά τη διάρκεια του έτους ως εξής:

$$Q_{i\_el} (kWhel/h) = \frac{p}{p_{max}} * \text{μέση μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση} * Q_{el}(kWhel/h) * k$$

Όπου,

- k: συντελεστής που προσαρμόστηκε έτσι ώστε η συνολική ετήσια ηλεκτρική απαίτηση να ισούται με αυτή που υπολογίστηκε από τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα.

#### **4.5 Μελέτη Συστημάτων για κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων**

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάζουμε την εφαρμογή τεσσάρων εναλλακτικών συστημάτων για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων της μονοκατοικίας. Πιο συγκεκριμένα θα μελετηθεί η χρήση συμβατικών συστημάτων με λέβητα πετρελαίου και λέβητα φυσικού αερίου καθώς και εναλλακτικών συστημάτων με μονάδες μικρό-συμπαγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η εφαρμογή όλων των παραπάνω. Σε όλες τις περιπτώσεις η περίοδος που εξετάζεται για την προσομοίωση της λειτουργίας του εκάστοτε συστήματος είναι ένα έτος με βήμα μιας ώρας.

##### **4.5.1 Συμβατική περίπτωση λέβητα πετρελαίου**

Στην περίπτωση της εγκατάστασης λέβητα πετρελαίου, θα έχουμε κάλυψη μόνο των θερμικών αναγκών ενώ οι ηλεκτρικές απαιτήσεις καλύπτονται από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. Ο λέβητας πετρελαίου που επιλέχθηκε είναι ο Logano plus GB125 στα 18 kW της εταιρείας Buderus, καθώς η θερμική του ισχύς καλύπτει το 100-120% της μέγιστης θερμικής απαίτησης κατά τη διάρκεια του έτους.

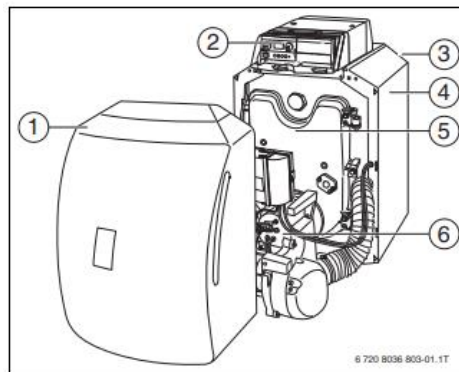
Πρόκειται για έναν χυτοσιδηρό λέβητα πετρελαίου συμπύκνωσης για την καύση πετρελαίου με έλεγχο αντιστάθμισης θερμοκρασίας λέβητα. Με την καύση του πετρελαίου, παράγονται στα καυσαέρια, μεταξύ άλλων, υδρατμοί οι οποίοι συμπυκνώνονται σε ανοξειδωτο εναλλάκτη θερμότητας και η ενέργεια που εκλύεται αποδίδεται στη συνέχεια στο σύστημα της θέρμανσης.



Σχήμα 22 Λέβητας πετρελαίου Logano plus GB125 18 kW

Ο λέβητας αποτελείται από:

- Πίνακα ελέγχου
- Κάλυμμα λέβητα
- Κορμό λέβητα με θερμομόνωση
- Καυστήρα
- Σύστημα εναλλάκτη θερμότητας



- |     |                              |
|-----|------------------------------|
| [1] | Κάλυμμα καυστήρα             |
| [2] | Πίνακας ελέγχου              |
| [3] | Σύστημα εναλλάκτη θερμότητας |
| [4] | Κάλυμμα                      |
| [5] | Πόρτα φλογθαλάμου            |
| [6] | Καυστήρας πετρελαίου         |

Σχήμα 23 Μέρη λέβητα πετρελαίου Logano plus GB125

Ο πίνακας ελέγχου επιτηρεί και ελέγχει όλα τα ηλεκτρικά εξαρτήματα του λέβητα. Το κάλυμμα εμποδίζει την απώλεια ενέργειας και χρησιμεύει παράλληλα ως ηχομονωτικό. Ο

κορμός του λέβητα μεταφέρει τη θερμότητα που παράγεται από τον καυστήρα στο νερό θέρμανσης. Η θερμομόνωση αποτρέπει την απώλεια ενέργειας. Ακολουθεί ο πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του λέβητα πετρελαίου.

<b>Logano plus GB125 18 kW</b>	
Ονομαστική θερμική ισχύς	18 kW
Ενεργειακή απόδοση της εποχιακής θέρμανσης χώρου	90
Τάξη ενεργειακής απόδοσης	A
<b>Ωφέλιμη θερμική ισχύς</b>	
Σε ονομαστική θερμική ισχύ και υψηλές θερμοκρασίες	17,7 kW
Στο 30 % της ονομαστικής θερμικής ισχύος και χαμηλές θερμοκρασίες	5,7 kW
Βαθμός απόδοσης	85 %
<b>Βοηθητική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας</b>	
Υπό πλήρες φορτίο	0,220 kW
Υπό μερικό φορτίο	0,071 kW
Στην κατάσταση αναμονής	0,007 kW
<b>Λοιπά χαρακτηριστικά</b>	
Απώλειες θερμότητας σε αναμονή	0,116 kW
Εκπομπές οξειδίων αζώτου (μόνο για αέριο ή λάδι) NOx	87 mg/kWh
Στάθμη ηχητικής ισχύος, εσωτερικού χώρου	57 dB
Διαστάσεις	890x600x835mm

Υποθέτουμε ότι ο λέβητας πετρελαίου λειτουργεί όσο χρειάζεται προκειμένου να καλύψουμε τις συνολικές θερμικές απαιτήσεις. Επομένως η ετήσια πρόσδοση θερμικής ενέργειας από το λέβητα ισούται με τις ετήσιες θερμικές απαιτήσεις.

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση πετρελαίου  $Q_{f\_tot\_π}$  υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{f\_tot\_π}(kWh) = Q_{th\_tot}(kWh)/n_{th\_π}$$

Όπου,

- $n_{th\_π}$ : ο βαθμός απόδοσης του λέβητα πετρελαίου.

**Ενεργειακό ισοζύγιο:** Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση πετρελαίου  $Q_{f\_tot\_π}$  ισούται με το άθροισμα της ετήσιας πρόσδοσης θερμικής ενέργειας από το λέβητα  $Q_{th\_tot}$  και των ετήσιων απωλειών θερμικής ενέργειας  $Q_{losses\_π}$ , λόγω βαθμού απόδοσης.

$$Q_{f\_tot\_π}(kWh) = Q_{th\_tot}(kWh) + Q_{losses\_π}(kWh)$$

#### **4.5.2 Συμβατική περίπτωση λέβητα φυσικού αερίου**

Στην περίπτωση της εγκατάστασης λέβητα φυσικού αερίου, θα έχουμε κάλυψη μόνο των θερμικών αναγκών ενώ οι ηλεκτρικές απαιτήσεις καλύπτονται από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. Επιλέγουμε τον επιδαπέδιο λέβητα συμπύκνωσης αερίου Logano plus GB102 στα 16 kW της εταιρείας Buderus, καθώς η θερμική του ισχύς καλύπτει το 100-120% της μέγιστης θερμικής απαίτησης κατά τη διάρκεια του έτους.

Διαθέτει κλειστό θάλαμο καύσης με ηλεκτρονική έναυση και επιτήρηση φλόγας. Η αντιστάθμιση της θερμοκρασίας του λέβητα σε σχέση με την εξωτερική επιτυγχάνεται με τη βοήθεια εξωτερικού αισθητηρίου περιβάλλοντος.



Σχήμα 24 Λέβητας φυσικού αερίου logano plus GB102 16 kW

Στον πίνακα που ακολουθεί είναι συγκεντρωμένα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Logano plus GB102.

<b>Logano plus GB102 16 kW</b>	
Ονομαστική θερμική ισχύς	16 kW
Ενεργειακή απόδοση της εποχιακής θέρμανσης χώρου	93
Τάξη ενεργειακής απόδοσης	A
<b>Ωφέλιμη θερμική ισχύς</b>	
Σε ονομαστική θερμική ισχύ και υψηλές θερμοκρασίες	15,3 kW
Στο 30 % της ονομαστικής θερμικής ισχύος και χαμηλές θερμοκρασίες	5,3 kW
Βαθμός απόδοσης	90,0 %
<b>Βοηθητική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας</b>	
υπό πλήρες φορτίο	0,028 kW
υπό μερικό φορτίο	0,015 kW
Στην κατάσταση αναμονής	0,000 kW

Λοιπά χαρακτηριστικά	
Απώλειες θερμότητας σε αναμονή	0,059 kW
Εκπομπές οξειδίων αζώτου (μόνο για αέριο ή λάδι) NOx	23 mg/kWh
Στάθμη ηχητικής ισχύος, εσωτερικού χώρου	48 dB
Διαστάσεις	900x394x466mm

Υποθέτουμε όπως προηγουμένως ότι ο λέβητας φυσικού αερίου λειτουργεί όσο χρειάζεται προκειμένου να καλύψουμε τις συνολικές θερμικές απαιτήσεις. Επομένως η ετήσια πρόσδοση θερμικής ενέργειας από το λέβητα ισούται με τις ετήσιες θερμικές απαιτήσεις.

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου  $Q_{f\_tot\_φα}$  υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{f\_tot\_φα}(kWh) = Q_{th\_tot}(kWh)/n_{th\_φα}$$

Όπου,

- $n_{th\_φα}$ : ο βαθμός απόδοσης του λέβητα φυσικού αερίου.

**Ενεργειακό ισοζύγιο:** Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου  $Q_{f\_tot\_φα}$  ισούται με το άθροισμα της ετήσιας πρόσδοσης θερμικής ενέργειας από το λέβητα  $Q_{th\_tot}$  και των ετήσιων απωλειών θερμικής ενέργειας  $Q_{losses\_φα}$  λόγω βαθμού απόδοσης.

$$Q_{f\_tot\_φα}(kWh) = Q_{th\_tot}(kWh) + Q_{losses\_φα}(kWh)$$

#### 4.5.3 Περίπτωση Συμπαραγωγής

Προκειμένου να επιλέξουμε το κατάλληλο σύστημα μικρό-συμπαραγωγής για την υπό μελέτη μονοκατοικία έγινε έρευνα στα εμπορικά συστήματα μικρό-συμπαραγωγής Stirling και M.E.K., εκ των οποίων τα πιο διαδεδομένα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Συστήματα μικρο-συμπαραγωγής Stirling									
Ονομασία Μοντέλου	Ηλεκτρική Ισχύς kW <sub>e</sub>	Θερμική Ισχύς kW <sub>th</sub>	Ηλεκτρικός β.α.	Θερμικός β.α.	Εκπομπές CO <sub>2</sub>	Εκπομπές NOx	Στάθμη θορύβου	PESR	Τιμή (χωρίς Φ.Π.Α)
Dachs – Stirling	1	3- 6,1	0,16	0,81				0,23	17.665 €
WhisperTech	1	7,5 -12	0,12	0,8	< 100 mg/kWh	< 70 mg/kWh		0,17	8.000 € κόστος μονάδος, 14.000 € σε συνδυασμό με boiler θερμικής αποθήκευσης
Remeha eVita 25s	1	3,7 - 24,9	0,14	0,7					10.650 €
Remeha eVita 28c	1	3,7 - 24,9	0,14	0,7					15.000 €

Πίνακας 8 Συστήματα μικρο-συμπαραγωγής Stirling

Συστήματα μικρο-συμπαραγωγής Μηχανών Εσωτερικής Καύσης									
Όνομασία Μοντέλου	Ηλεκτρική Ισχύς kW <sub>e</sub>	Θερμική Ισχύς kW <sub>th</sub>	Ηλεκτρικός β.α.	Θερμικός β.α.	Εκπομπές CO <sub>2</sub>	Εκπομπές NO <sub>x</sub>	Στάθμη θορύβου	PESR	Τιμή (χωρίς Φ.Π.Α)
Ecopower3.0	1,5 – 3	4,7 - 9	0,25	0,65	50 mg/Nm <sup>3</sup>	115 mg/Nm <sup>3</sup>	56 db	0,21	18.200 €
Proenvis Primus 1,4 N	2 - 3,8	5,6 - 10,7	0,24	0,68			55 db	0,22	16.800 €
Giese GB 6-12	5,5	12	0,262	0,571	90 mg/Nm <sup>3</sup>	108 mg/Nm <sup>3</sup>	59 db	0,16	17.400 €
Senertec G 5.0 Low Nox	5	12,3	0,26	0,63	24 mg/Nm <sup>3</sup>	135 mg/Nm <sup>3</sup>	52–56 db	0,21	23.410 €
Ecopower 4.7	1,3 – 4,7	4 – 12,5	0,25	0,65	50 mg/Nm <sup>3</sup>	115 mg/Nm <sup>3</sup>	56 db	0,21	20.700 €
Senertec G 5.5	5,5	12,5	0,27	0,61	349 mg/Nm <sup>3</sup>	22 mg/Nm <sup>3</sup>	52–56 db	0,21	23.060 €
RMB neoTower 4,0	2,0 – 4,0	5,9 – 8,7	0,317	0,693					
Senertec G 5.0 Low NOx Condensing	5	14,6	0,26	0,74	24 mg/Nm <sup>3</sup>	135 mg/Nm <sup>3</sup>	52–56 db	0,28	24.968 €
Senertec G 5.5 Condensing	5,5	14,8	0,27	0,72	349 mg/Nm <sup>3</sup>	22 mg/Nm <sup>3</sup>	52–56 db	0,28	24.618 €
Giese GB 7,5-15	7,5	18,6	0,274	0,68	68 mg/Nm <sup>3</sup>	85 mg/Nm <sup>3</sup>	59 db	0,16	20.700 €
RMB neoTower 5,0	2,9 – 5,0	9,2 – 11,9	0,316	0,757					
Tedom Micro T7 AP	7	17,2	0,27	0,663			58 db	0,23	27.000 €
Green Energy Solutions Green two	4 – 6,9	8 – 18,7	0,23	0,604	210 mg/Nm <sup>3</sup>	249 mg/Nm <sup>3</sup>	58 db	0,15	23.000 €
KWE Smartblock 7.5	7,5	22,1	0,276	0,815	< 150 mg/Nm <sup>3</sup>	< 125 mg/Nm <sup>3</sup>	40.6 db	0,22	23.400 €
RMB neoTower 7.2	3,9 – 7,2	12,7 – 18,1	0,312	0,783					
KWE 12G – 4AP	12	28,3	0,544	0,641	< 150 mg/Nm <sup>3</sup>	< 125 mg/Nm <sup>3</sup>	44,5	0,25	28.700 €
EC PowerXRG I 15	14,5	30,8	0,295	0,623	89 mg/Nm <sup>3</sup>	314 mg/Nm <sup>3</sup>	49 db	0,25	32.000 €
Kraftwerk Mephisto G 16+	5 – 16	19 – 35,3	0,315	0,695	< 150 mg/Nm <sup>3</sup>	< 250 mg/Nm <sup>3</sup>	< 58 db	0,31	34.368 €
KWE Smartblock 22	22	51,2	0,324	0,755	< 150 mg/Nm <sup>3</sup>	< 125 mg/Nm <sup>3</sup>	47,1	0,24	36.400 €
Kraftwerk Mephisto G 20+	8 – 20	27 – 46,7	0,315	0,735	< 150 mg/Nm <sup>3</sup>	< 125 mg/Nm <sup>3</sup>	< 58 db	0,33	36.720 €
Kraftwerk Mephisto G34	14 – 34	49 – 78	0,227	0,723	< 300 mg/Nm <sup>3</sup>	< 500 mg/Nm <sup>3</sup>	< 65 db	0,33	48.573 €

Πίνακας 9 Συστήματα μικρο-συμπαραγωγής Μηχανών Εσωτερικής Καύσης

Από τα παραπάνω συστήματα μικρό-συμπαγωγής, επιλέγουμε το μοντέλο Remeha eVita 25s και Ecopower 4.7 με θερμική ισχύ που καλύπτει το 100-120% της μέγιστης θερμικής απαίτησης κατά τη διάρκεια του έτους και το μοντέλο Dachs – Stirling που καλύπτει το 30-50% της μέγιστης θερμικής απαίτησης. Στην τελευταία περίπτωση γίνεται χρήση θερμοδοχείου Logalux PL1000/2 S. Η εφαρμογή των προαναφερθέντων συστημάτων αναλύεται στις επόμενες παραγράφους. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται από τις mCHP είναι φυσικό αέριο.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι στην περίπτωση αυτή επιλέγουμε η μονάδα mCHP να είναι θερμικά οδηγούμενη (heat driven) καθώς είναι ενεργειακά αποδοτικότερο. Στην περίπτωση θερμικά οδηγούμενης mCHP η απαίτηση είναι να καλύπτονται από την CHP οι θερμικές ανάγκες. Οι ηλεκτρικές απαιτήσεις καλύπτονται από την mCHP και το δίκτυο. Όσον αφορά την CHP η ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρει είναι ανάλογη της θερμικής ενέργειας που προσφέρει. Αυτό σημαίνει ότι παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με βάση τις θερμικές και όχι τις ηλεκτρικές ανάγκες. Θα είναι λογικό λοιπόν να δούμε περιπτώσεις όπου: α)Ενώ χρειαζόμαστε λίγη ή καθόλου ηλεκτρική ενέργεια, η CHP να παράγει πολλή και να πηγαίνει στο δίκτυο γιατί υπάρχουν πολλές ή έστω κάποιες θερμικές ανάγκες, β)Ενώ χρειαζόμαστε κάμποση ηλεκτρική ενέργεια, η CHP να μην την παράγει γιατί οι θερμικές απαιτήσεις είναι μικρές (ή και μηδενικές) και να αναγκάζομαστε να χρησιμοποιήσουμε εκείνες τις ώρες το δίκτυο συμπληρωματικά για να καλυφθούν οι ηλεκτρικές αυτές ανάγκες.

#### **4.5.3.1 Remeha eVita 25s**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η μονάδα αυτή καλύπτει το 100-120% της μέγιστης θερμικής απαίτησης κατά τη διάρκεια του έτους.

Το μοντέλο Remeha eVita 25s είναι αποτέλεσμα της σύμπραξης της γαλλικής Die Dietrich Termique και της ολλανδικής Remeha BV. Είναι επιτοίχιο μοντέλο, χάρη στο μικρό του βάρος (110 kg) , τις διαστάσεις του (490x471x910 mm) και τη χαμηλή στάθμη θορύβου 47 dB.

Η συγκεκριμένη μηχανή αποδίδει θερμική ισχύ από 3,7 έως 24,9 kW<sub>th</sub> και ηλεκτρική ισχύ 1 kW<sub>e</sub>. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης τους είναι 14 % και η κατανάλωση φυσικού αερίου υπολογίζεται στα 4 m<sup>3</sup>/h. Το κόστος της ανέρχεται στα 10.650 ευρώ.



Σχήμα 25 Remeha eVita 25s της Die Dietrich Remeha

<b>Remeha eVita 25s</b>	
Ηλεκτρική Ισχύς kW <sub>e</sub>	1 kW
Θερμική Ισχύς kW <sub>th</sub>	3,7 – 24,9 kW
Ηλεκτρικός β.α.	14 %
Θερμικός β.α.	70 %
Στάθμη θορύβου	54 dB

Η ωριαία ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{fi\_φα}(kWh/h) = Q_{i\_th}(kWh/h)/n_{th\_CHP}$$

Όπου,

- $n_{th\_CHP}$ : ο θερμικός βαθμός απόδοσης της μονάδας.

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{f\_tot\_CHP}(kWh) = Q_{th\_tot}(kWh)/n_{th\_CHP}$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την ωριαία ηλεκτροπαραγωγή:

$$W_{el\_CHP}(kWhel/h) = Q_{fi\_φα}(kWh/h) * n_{el\_CHP}$$

Όπου,

- $n_{el\_CHP}$ : ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της μονάδας.



**Θερμικό ισοζύγιο:** Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου  $Q_{f\_tot\_CHP}$  ισούται με το άθροισμα της ετήσιας πρόσδοσης θερμικής ενέργειας από τη μονάδα μ-ΣΗΘ  $Q_{th\_tot}$  και των ετήσιων απωλειών θερμικής ενέργειας  $Q_{losses\_CHP}$ , λόγω βαθμού απόδοσης.

$$Q_{f_{totCHP}} (kWh) = Q_{th_{tot}} (kWh) + Q_{losses_{CHP}} (kWh) + W_{el\_CHP} (kWhel)$$

**Ηλεκτρικό ισοζύγιο:** Η ετήσια ηλεκτρική απαίτηση  $Q_{el}$  ισούται με το άθροισμα της ετήσιας ηλεκτροπαραγωγής από τη μονάδα μ-ΣΗΘ  $W_{el\_CHP}$  και της ετήσιας αγορασμένης από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας  $Q_{el\_ΔΕΗ}$ , αν αφαιρέσουμε το ετήσιο ηλεκτρικό πλεόνασμα  $Q_{el\_πλεόνασμα}$ .

$$Q_{el} (kWhel) = W_{el\_CHP} (kWhel) + Q_{el\_ΔΕΗ} (kWhel) - Q_{el\_πλεόνασμα} (kWhel)$$

#### 4.5.3.2 Ecopower 4.7

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η μονάδα αυτή καλύπτει το 100-120% της μέγιστης θερμικής απαίτησης κατά τη διάρκεια του έτους.

Το μοντέλο Ecopower 4.7 της ομώνυμης εταιρείας με κινητήρα Otto αποδίδει 4 - 12,5 kW<sub>th</sub> θερμική ισχύ και 1,3 – 4,7 kW<sub>e</sub> ηλεκτρική. Το κόστος αγοράς για το συγκεκριμένο μοντέλο είναι 20.700 ευρώ. Αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής δίνονται στον παρακάτω πίνακα:



Σχήμα 26 Ecopower 4.7

<b>Ecopower 4.7</b>	
Ηλεκτρική Ισχύς kW <sub>e</sub>	1,3 – 4,7 kW
Θερμική Ισχύς kW <sub>th</sub>	4 -4 12,5 kW
Ηλεκτρικός β.α.	25 %
Θερμικός β.α.	65 %
Εκπομπές CO	50 mg/Nm <sup>3</sup>
Εκπομπές NO <sub>x</sub>	115 mg/Nm <sup>3</sup>
PESR	0,21
Στάθμη θορύβου	56 dB
Κινητήρας	Μονοκύλινδρος 272 cc, 1.200 – 3.600 rpm
Διάστημα συντήρησης	4.000 ώρες λειτουργίας
Ηλεκτρική Έξοδος	400V, 50 Hz
Διαστάσεις	760x1.370x1.080mm
Βάρος	395 kg

Η ωριαία ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{fi\_φα}(kWh/h) = Q_{i\_th}(kWh/h)/n_{th\_CHP}$$

Όπου,

- $n_{th\_CHP}$ : ο θερμικός βαθμός απόδοσης της μονάδας.

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{f\_tot\_CHP}(kWh) = Q_{th\_tot}(kWh)/n_{th\_CHP}$$

Όπου,

- $n_{th\_CHP}$ : ο θερμικός βαθμός απόδοσης της μονάδας.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την ωριαία ηλεκτροπαραγωγή:

$$W_{eli\_CHP}(kWhel/h) = Q_{fi\_φα}(kWh/h) * n_{el\_CHP}$$

Όπου,

- $n_{el\_CHP}$ : ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της μονάδας.

**Θερμικό ισοζύγιο:** Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου  $Q_{f\_tot\_CHP}$  ισούται με το άθροισμα της ετήσιας πρόσδοσης θερμικής ενέργειας από τη μονάδα μ-ΣΗΘ  $Q_{th\_tot}$  και των ετήσιων απωλειών θερμικής ενέργειας  $Q_{losses\_CHP}$ , λόγω βαθμού απόδοσης.

$$Q_{ftot_{CHP}} (kWh) = Q_{th_{tot}} (kWh) + Q_{losses_{CHP}} (kWh) + W_{el_{CHP}} (kWh_{el})$$

**Ηλεκτρικό ισοζύγιο:** Η ετήσια ηλεκτρική απαίτηση  $Q_{el}$  ισούται με το άθροισμα της ετήσιας ηλεκτροπαραγωγής από τη μονάδα μ-ΣΗΘ  $W_{el_{CHP}}$  και της ετήσιας αγορασμένης από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας  $Q_{el_{\Delta EH}}$ , αν αφαιρέσουμε το ετήσιο ηλεκτρικό πλεόνασμα  $Q_{el\_πλεόνασμα}$ .

$$Q_{el} (kWh_{el}) = W_{el_{CHP}} (kWh_{el}) + Q_{el_{\Delta EH}} (kWh_{el}) - Q_{el\_πλεόνασμα} (kWh_{el})$$

#### 4.5.3.3 Dachs - Stirling

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η μονάδα αυτή καλύπτει το 30-50% της μέγιστης θερμικής απαίτησης κατά τη διάρκεια του έτους.

Η μονάδα μικρό-συμπαραγωγής Dachs Stirling SE της εταιρείας Senertec αποτελείται από έναν μονοκύλινδρο free piston κινητήρα Stirling που σε συνδυασμό με μια γραμμική γεννήτρια αποδίδει θερμική και ηλεκτρική ισχύ που φτάνουν τα 6,1 kW<sub>th</sub> και 1 kW<sub>e</sub> αντίστοιχα. Διαθέτει επιπλέον έναν συμπληρωματικό καυστήρα 12 kW<sub>th</sub> για τις περιπτώσεις μεγαλύτερης ενεργειακής ζήτησης. Αυτά τα χαρακτηριστικά την καθιστούν ιδανική για μονοκατοικίες. Η συνολική του απόδοση είναι 97 % και πέρα από το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για καύσιμο και υγραέριο (προπάνιο).



Σχήμα 27 Dachs Stirling SE

<b>Dachs Stirling SE</b>	
Ηλεκτρική Ισχύς kW <sub>e</sub>	1 kW
Θερμική Ισχύς kW <sub>th</sub>	3 – 6,1 kW

Ηλεκτρικός β.α.	16 %
Θερμικός β.α.	81 %
Ισχύς συμπληρ. Καυστήρα kWth	12 kW
Μέγιστη θερμοκρασία εισόδου νερού	70 °C
Μέγιστη θερμοκρασία εξόδου νερού	83 °C
Διάστημα συντήρησης	3.500 ώρες λειτουργίας
Διαστάσεις	720x1060x1000mm
Βάρος	530 kg
Στάθμη θορύβου	48 dB

Η μονάδα συμπαραγωγής Dachs Stirling SE διατίθεται στην αγορά στην τιμή των 17.665 ευρώ.

Το σύστημα Σ.Η.Θ. περιλαμβάνει και θερμοδοχείο για την αποθήκευση θερμότητας. Έχει επιλεγεί το θερμοδοχείο Logalux PL1000/2S της Buderus. Το θερμοδοχείο αποτελείται από δυο ξεχωριστά δοχεία το ένα μέσα στο άλλο (tank in tank) με επένδυση από ειδικό γυαλί και συνδέεται στον λέβητα από όπου αντλεί θερμότητα. Όταν κατά την προηγούμενη ώρα λειτουργίας υπάρχει περίσσεια θερμότητας, αυτή αντί να απορριφθεί στο περιβάλλον, αποθηκεύεται στο θερμαντήρα. Αρχικά θερμαίνεται το νερό χρήσης στο εσωτερικό δοχείο και όταν αυτό φτάσει στη επιθυμητή θερμοκρασία ξεκινάει επαγωγικά να θερμαίνεται το νερό στο εξωτερικό δοχείο για την υποβοηθούμενη θέρμανση. Η λειτουργία του θερμαντήρα είναι επομένως διπλή, αφού επιτυγχάνεται παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και παράλληλα υποστήριξη της θέρμανσης.



Σχήμα 28 Θερμοδοχείο Logalux PL1000/2S

Θεωρούμε 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 για παράδειγμα μέσα σε 10 λεπτά, αλλά αυτό θα εξακολουθεί να λειτουργεί για τα υπόλοιπα 50 λεπτά της ώρας και η θερμότητα που θα παραχθεί θα αποθηκευτεί στο θερμοδοχείο της εγκατάστασης.

Οι ωριαίες θερμικές απώλειες του θερμοδοχείου  $Q_{i\_loss}$  υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Q_{i\_loss} = U * A * \Delta T * \left(\frac{1}{1000}\right)$$

Όπου,

- U: ειδική θερμοπερατότητα θερμοδοχείου ( $W/m^2 * K$ )
- A: εξωτερική επιφάνεια θερμοδοχείου ( $m^2$ )
- $\Delta T_i$ : διαφορά θερμοκρασίας νερού θερμοδοχείου ( $T_i$ ) και περιβάλλοντος (K). Η θερμοκρασία περιβάλλοντος θεωρήθηκε σταθερή για όλο το έτος και ίση με  $18^\circ C$  καθώς το θερμοδοχείο εγκαταστάθηκε σε υπόγειο χώρο.

Έπειτα για κάθε ώρα λειτουργίας έγινε ισολογισμός ενέργειας  $Q_{i\_net}$  και υπολογίστηκε μέσω του παρακάτω τύπου η συναλλαγή θερμικής ενέργειας εντός των ορίων του συστήματος (θερμοδοχείο) ως εξής:

- Αν  $T_i > 85^\circ C$   
 $Q_{i\_net}(kWh/h) = -Q_{i_{th}}(kWh/h) - Q_{i\_loss}(kWh/h)$
- Αν  $T_i < 85^\circ C$ ,  
 $Q_{i\_net}(kWh/h) = Q_{i_{th\_CHP}}(kWh/h) - Q_{i_{th}}(kWh/h) - Q_{i\_loss}(kWh/h)$

Όπου,

- $Q_{i_{th\_CHP}}(kWh/h)$ : η μέγιστη θερμική ισχύς της μονάδας.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι κλείνουμε τη μονάδα mCHP όταν είμαστε εκτός περιόδου θέρμανσης, δηλαδή τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο και αφήνουμε το θερμοδοχείο να κρυώσει οπότε και η θερμοκρασία του νερού θα φτάσει πλέον έως τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Κάθε ώρα λειτουργίας του συστήματος, η θερμοκρασία εντός αυτού μεταβάλλεται κατά  $\Delta T$  το οποίο υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση.

$$\Delta T (K) = \frac{Q_{i\_net} * 3600}{C_{pνερού} * \rho_{νερού} * V}$$

Όπου,

- V: ο όγκος του νερού εντός του θερμοδοχείου (L)
- $\rho$ : η πυκνότητα του νερού ( $kg/L$ )
- $c_p$ : η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού ( $kJ/kg * K$ )

Η θερμοκρασία του συστήματος κάθε ώρα αλλάζει κατά  $\Delta T$  όπως αυτό υπολογίζεται παραπάνω, οπότε καταλήγουμε:

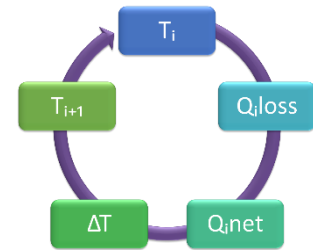
$$T_{i+1} = T_i + \Delta T$$

Όπου,

- $T_{i+1}$ : η θερμοκρασία νερού του θερμοδοχείου την ώρα  $i+1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T_i$ : η θερμοκρασία νερού του θερμοδοχείου την ώρα  $i$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).

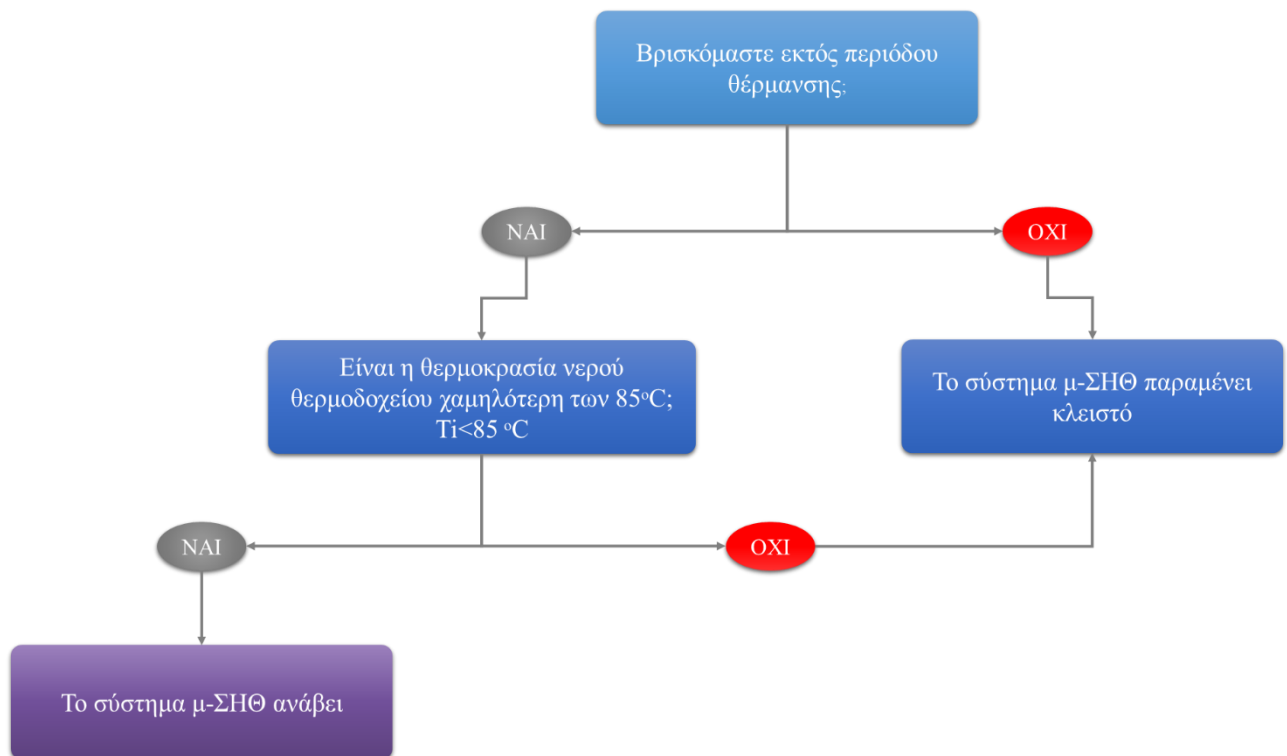
Η αρχική θερμοκρασία του θερμοδοχείου  $T_1$  θεωρήθηκε  $85^{\circ}\text{C}$ .

Κάθε ώρα λειτουργίας του συστήματος, η θερμοκρασία του νερού εντός αυτού αλλάζει όπως περιγράφηκε με τους παραπάνω τύπους.



Κριτήριο για τον όγκο του θερμοδοχείου, είναι η θερμοκρασία που απαιτείται για θέρμανση. Για τα κοινά σώματα θέλουμε  $75-80^{\circ}\text{C}$ , ενώ για τους υπολογισμούς θα αρκεστούμε σε ελάχιστη θερμοκρασία  $50^{\circ}\text{C}$ . Άλλωστε είναι μέση θερμοκρασία αποθήκευσης, οπότε μέσα στη δεξαμενή υπάρχει ζεστότερο νερό ψηλά από εκεί που θα τραβήξουμε νερό για θέρμανση. 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  $\mu\text{-}\Sigma\text{H}\Theta$ . Επιλέγουμε λοιπόν θερμοδοχείο  $1000\text{L}$  έτσι ώστε κατά τη διάρκεια της χρονιάς η θερμοκρασία νερού του θερμοδοχείου να μην πέφτει κάτω από  $50^{\circ}\text{C}$ .

Η μονάδα  $\mu\text{-}\Sigma\text{H}\Theta$  λαμβάνει εντολή και τίθεται σε λειτουργία για μια ώρα οποτεδήποτε η θερμοκρασία εντός του θερμοδοχείου βρίσκεται κάτω των  $85^{\circ}\text{C}$ . Εάν την επόμενη ώρα η θερμοκρασία είναι άνω των  $85^{\circ}\text{C}$ , σβήνει το σύστημα  $\mu\text{-}\Sigma\text{H}\Theta$ . Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας που λαμβάνει χώρα.



Σχήμα 29 Διάγραμμα Ροής για τη λειτουργία της εγκατάστασης

Η ωριαία ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{fi\_φα}(kWh/h) = Q_{i\_th}(kWh/h)/n_{th\_CHP}$$

Όπου,

- $n_{th\_CHP}$ : ο θερμικός βαθμός απόδοσης της μονάδας.

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{f\_tot\_CHP}(kWh) = Q_{th\_tot}(kWh)/n_{th\_CHP}$$

Όπου,

- $n_{th\_CHP}$ : ο θερμικός βαθμός απόδοσης της μονάδας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η μονάδα mCHP είναι θερμικά οδηγούμενη (heat driven). Οπότε η ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρει είναι ανάλογη της θερμικής. Οι ηλεκτρικές απαιτήσεις καλύπτονται από την mCHP ή/και το δίκτυο. Στην περίπτωση που η έχουμε πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας, τότε είναι δυνατόν έως και 20% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής να πωληθεί στη Δ.Ε.Η. [4.6]

Κάθε ώρα λειτουργίας της μονάδας, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια που υπολογίζεται ως εξής:

$$W_{el\_CHP}(kWhel/h) = Q_{fi\_φα}(kWh/h) * n_{el\_CHP}$$

Όπου,

- $W_{el\_CHP}$ : η ωριαία ηλεκτροπαραγωγή και
- $n_{el\_CHP}$ : ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της μονάδας.

**Θερμικό ισοζύγιο:** Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου  $Q_{f\_tot\_CHP}$  ισούται με το άθροισμα της ετήσιας πρόσδοσης θερμικής ενέργειας από τη μονάδα μ-ΣΗΘ  $Q_{th\_CHP}$  και των ετήσιων απωλειών θερμικής ενέργειας  $Q_{losses\_CHP}$ , λόγω βαθμού απόδοσης.

$$Q_{f\_tot\_CHP}(kWh) = Q_{th\_tot}(kWh) + Q_{losses\_CHP}(kWh) + W_{el\_CHP}(kWhel)$$

**Ισοζύγιο θερμοδοχείου:** Η ετήσια πρόσδοση θερμικής ενέργειας από τη μονάδα μ-ΣΗΘ  $Q_{th\_CHP}$  ισούται με την ετήσια θερμική απαίτηση της κατοικίας  $Q_{th\_tot}$  και των ετήσιων απωλειών θερμικής ενέργειας του θερμοδοχείου  $Q_{losses\_θερμoδ}$ , λόγω βαθμού απόδοσης.

$$Q_{th\_CHP}(kWh) = Q_{th\_tot}(kWh) + Q_{losses\_θερμoδ}(kWh)$$

**Ηλεκτρικό ισοζύγιο:** Η ετήσια ηλεκτρική απαίτηση  $Q_{el}$  ισούται με το άθροισμα της ετήσιας ηλεκτροπαραγωγής από τη μονάδα μ-ΣΗΘ  $W_{el\_CHP}$  και της ετήσιας αγορασμένης από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας  $Q_{el\_ΔΕΗ}$ , αν αφαιρέσουμε το ετήσιο ηλεκτρικό πλεόνασμα  $Q_{el\_πλεόνασμα}$ .

$$Q_{el}(kWh) = W_{el\_CHP}(kWh) + Q_{el\_ΔΕΗ}(kWh) - Q_{el\_πλεόνασμα}(kWh)$$



Σχήμα 30 Διάγραμμα Ροής ηλεκτρισμού

## 4.6 Οικονομοτεχνική ανάλυση

### 4.6.1 Ενεργειακές Τιμές

Αρχικά παρουσιάζονται τα ενεργειακά κόστη που λήφθηκαν για την οικονομοτεχνική ανάλυση. Η τιμή αγοράς ηλεκτρισμού από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας ήταν 0,09459 €/kWhel. Η τιμή πώλησης του πετρελαίου κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας ήταν 0,09587 €/kWh και του φυσικού αερίου ήταν 0,06205 €/kWh.[4.7]

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ΣΗΘ. υψηλής απόδοσης και απορροφάται από το δίκτυο της Δ.Ε.Η., τιμολογείται σε μηνιαία βάση και έχει μέση τιμή 0,085 €/kWhel. Σημειώνεται ότι η τιμή αυτή ισχύει μόνο για σταθμούς ΣΗΘ. με εγκατεστημένη ισχύ έως 35 MW και για το πλεόνασμα της ηλεκτρικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο, το οποίο μπορεί να ανέλθει μέχρι ποσοστό 20% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, σε ετήσια βάση.[4.6]

### 4.6.2 Ετήσιο ενεργειακό κόστος

Στις επόμενες παραγράφους υπολογίζονται τα ετήσια ενεργειακά κόστη ΕΕΚ για όλες τις περιπτώσεις των συστημάτων που αναλύθηκαν παραπάνω.

#### 4.6.2.1 Συμβατική περίπτωση λέβητα πετρελαίου

- Ετήσιο κόστος θέρμανσης ΕΚΘ<sub>π</sub>

$$ΕΚΘ_{\pi}(\text{€}) = Q_{f\_tot\_π}(\text{kWh}) * \text{τιμή πετρελαίου} (\text{€/kWh})$$

- Ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού ΕΚΗ<sub>π</sub>



$$EKH_{\pi}(\text{€}) = Q_{el}(\text{kWh}) * \text{τιμή αγοράς ηλεκτρισμού (€/kWhel)}$$

- Συνολικό ετήσιο ενεργειακό κόστος  $EK_{\pi}$

$$EEK_{\pi}(\text{€}) = EK\theta_{\pi}(\text{€}) + EKH_{\pi}(\text{€})$$

#### 4.6.2.2 Συμβατική περίπτωση λέβητα φυσικού αερίου

- Ετήσιο κόστος θέρμανσης  $EK\theta_{\varphi\alpha}$

$$EK\theta_{\varphi\alpha}(\text{€}) = Q_{f_{tot\_}\varphi\alpha}(\text{kWh}) * \text{τιμή φυσικού αερίου (€/kWh)}$$

- Ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού  $EKH_{\varphi\alpha}$

$$EKH_{\varphi\alpha}(\text{€}) = Q_{el}(\text{kWhel}) * \text{τιμή αγοράς ηλεκτρισμού (€/kWhel)}$$

- Συνολικό ετήσιο ενεργειακό κόστος  $EK_{\varphi\alpha}$

$$EEK_{\varphi\alpha}(\text{€}) = EK\theta_{\varphi\alpha}(\text{€}) + EKH_{\varphi\alpha}(\text{€})$$

#### 4.6.2.3 Remeha eVita 25s

- Ετήσιο κόστος θέρμανσης  $EK\theta_{CHP1}$

$$EK\theta_{CHP1}(\text{€}) = Q_{f\_tot\_CHP}(\text{kWh}) * \text{τιμή φυσικού αερίου (€/kWh)}$$

Για τον υπολογισμό του κόστους ηλεκτρισμού λαμβάνουμε υπόψη μας τις δύο παρακάτω περιπτώσεις ανά ώρα:

Αν  $Q_{eli} > W_{eli}$ , τότε για την ώρα  $i$  έχουμε **ηλεκτρικό έλλειμμα**  $Q_{eli} - W_{eli}$ , το οποίο αγοράζουμε από το δίκτυο της Δ.Ε.Η.

Αν  $Q_{eli} < W_{eli}$ , τότε για την ώρα  $i$  έχουμε **ηλεκτρικό πλεόνασμα**  $W_{eli} - Q_{eli}$ , το οποίο διατίθεται στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Αθροίζοντας όλες τις ωριαίες τιμές των ανωτέρω, υπολογίζουμε το ετήσιο ηλεκτρικό έλλειμμα και ετήσιο ηλεκτρικό πλεόνασμα προκειμένου να υπολογίζουμε το ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού, το ετήσιο όφελος ηλεκτρισμού και τέλος το συνολικό κόστος ηλεκτρισμού.

- Ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού  $EKH_{CHP1}$

$$EKH_{CHP1}(\text{€}) = (Q_{el} - W_{el})(\text{kWhel}) * \text{τιμή αγοράς ηλεκτρισμού (€/kWhel)}$$

- Ετήσιο όφελος ηλεκτρισμού  $EOH_{CHP1}$

Διακρίνουμε δύο υποπεριπτώσεις:

- Αν το ετήσιο ηλεκτρικό πλεόνασμα είναι μικρότερο από το 20% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, τότε έχουμε:

$$EOH_{CHP1}(\text{€}) = (W_{el} - Q_{el})(\text{kWhel}) * \text{τιμή πώλησης ηλεκτρισμού (€/kWhel)}$$

- Αν το ετήσιο ηλεκτρικό πλεόνασμα είναι μεγαλύτερο από το 20% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, τότε έχουμε:

$$EOH_{CHP1}(\text{€}) = 0,2(W_{el} - Q_{el})(\text{kWhel}) * \text{τιμή πώλησης ηλεκτρισμού (€/kWhel)}$$

- Συνολικό ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού  $\Sigma EKH_{CHP1}$

$$\Sigma EKH_{CHP1}(\text{€}) = EKH_{CHP1}(\text{€}) - EOH_{CHP1}(\text{€})$$

- Συνολικό ετήσιο ενεργειακό κόστος  $E EK_{CHP1}$

$$E EK_{CHP1}(\text{€}) = EK\theta_{CHP1}(\text{€}) + \Sigma EKH_{CHP1}(\text{€})$$

#### 4.6.2.4 Ecopower 4.7

- Ετήσιο κόστος θέρμανσης  $EK\theta_{CHP2}$

$$EK\theta_{CHP2}(\text{€}) = Q_{f\_tot\_CHP}(\text{kWh}) * \text{τιμή φυσικού αερίου (€/kWh)}$$

Για τον υπολογισμό του κόστους ηλεκτρισμού λαμβάνουμε υπόψη μας τις δύο παρακάτω περιπτώσεις ανά ώρα:

Αν  $Q_{eli} > W_{eli}$ , τότε για την ώρα  $i$  έχουμε **ηλεκτρικό έλλειμμα**  $Q_{eli} - W_{eli}$ , το οποίο αγοράζουμε από το δίκτυο της Δ.Ε.Η.

Αν  $Q_{eli} < W_{eli}$ , τότε για την ώρα  $i$  έχουμε **ηλεκτρικό πλεόνασμα**  $W_{eli} - Q_{eli}$ , το οποίο διατίθεται στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Αθροίζοντας όλες τις ωριαίες τιμές των ανωτέρω, υπολογίζουμε το ετήσιο ηλεκτρικό έλλειμμα και ετήσιο ηλεκτρικό πλεόνασμα προκειμένου να υπολογίζουμε το ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού, το ετήσιο όφελος ηλεκτρισμού και τέλος το συνολικό κόστος ηλεκτρισμού.

- Ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού  $EKH_{CHP2}$

$$E KH_{CHP2}(\text{€}) = (Q_{el} - W_{el})(\text{kWhel}) * \text{τιμή αγοράς ηλεκτρισμού (€/kWhel)}$$

- Ετήσιο όφελος ηλεκτρισμού  $EOH_{CHP2}$

Διακρίνουμε δύο υποπεριπτώσεις:

- Αν το ετήσιο ηλεκτρικό πλεόνασμα είναι μικρότερο από το 20% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, τότε έχουμε:

$$EOH_{CHP2}(\text{€}) = (W_{el} - Q_{el})(\text{kWhel}) * \text{τιμή πώλησης ηλεκτρισμού (€/kWhel)}$$

- Αν το ετήσιο ηλεκτρικό πλεόνασμα είναι μεγαλύτερο από το 20% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, τότε έχουμε:

$$EOH_{CHP2}(\text{€}) = 0,2(W_{el} - Q_{el})(\text{kWhel}) * \text{τιμή πώλησης ηλεκτρισμού (€/kWhel)}$$

- Συνολικό ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού  $\Sigma EKH_{CHP2}$

$$\Sigma EKH_{CHP2}(\text{€}) = E KH_{CHP2}(\text{€}) - EOH_{CHP2}(\text{€})$$

- Συνολικό ετήσιο ενεργειακό κόστος  $E EK_{CHP2}$

$$E EK_{CHP2}(\text{€}) = EK\theta_{CHP2}(\text{€}) + \Sigma EKH_{CHP2}(\text{€})$$

#### 4.6.2.5 Dachs – Stirling

- Ετήσιο κόστος θέρμανσης  $EK\theta_{CHP3}$

$$EK\theta_{CHP3}(\text{€}) = Q_{f\_tot\_CHP}(\text{kWh}) * \text{τιμή φυσικού αερίου (€/kWh)}$$

Για τον υπολογισμό του κόστους ηλεκτρισμού λαμβάνουμε υπόψη μας τις δύο παρακάτω περιπτώσεις ανά ώρα:

Αν  $Q_{eli} > W_{eli}$ , τότε για την ώρα  $i$  έχουμε **ηλεκτρικό έλλειμα**  $Q_{eli} - W_{eli}$ , το οποίο αγοράζουμε από το δίκτυο της Δ.Ε.Η.

Αν  $Q_{eli} < W_{eli}$ , τότε για την ώρα  $i$  έχουμε **ηλεκτρικό πλεόνασμα**  $W_{eli} - Q_{eli}$ , το οποίο διατίθεται στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Αθροίζοντας όλες τις ωριαίες τιμές των ανωτέρω, υπολογίζουμε το ετήσιο ηλεκτρικό έλλειμα και ετήσιο ηλεκτρικό πλεόνασμα προκειμένου να υπολογίζουμε το ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού, το ετήσιο όφελος ηλεκτρισμού και τέλος το συνολικό κόστος ηλεκτρισμού.

- Ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού  $EKH_{CHP3}$   

$$EKH_{CHP3}(\text{€}) = (Q_{el} - W_{el})(kWhel) * \text{τιμή αγοράς ηλεκτρισμού (€/kWhel)}$$
- Ετήσιο όφελος ηλεκτρισμού  $EOH_{CHP3}$

Διακρίνουμε δύο υποπεριπτώσεις:

- Αν το ετήσιο ηλεκτρικό πλεόνασμα είναι μικρότερο από το 20% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, τότε έχουμε:

$$EOH_{CHP3}(\text{€}) = (W_{el} - Q_{el})(kWhel) * \text{τιμή πώλησης ηλεκτρισμού (€/kWhel)}$$

- Αν το ετήσιο ηλεκτρικό πλεόνασμα είναι μεγαλύτερο από το 20% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, τότε έχουμε:

$$EOH_{CHP3}(\text{€}) = 0,2(W_{el} - Q_{el})(kWhel) * \text{τιμή πώλησης ηλεκτρισμού (€/kWhel)}$$

- Συνολικό ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού  $\Sigma EKH_{CHP3}$

$$\Sigma EKH_{CHP3}(\text{€}) = EKH_{CHP3}(\text{€}) - EOH_{CHP3}(\text{€})$$

- Συνολικό ετήσιο ενεργειακό κόστος  $E EK_{CHP3}$

$$E EK_{CHP3}(\text{€}) = EK\theta_{CHP3}(\text{€}) + \Sigma EKH_{CHP3}(\text{€})$$

#### **4.7 Απόσβεση κόστους επένδυσης**

Για να υπολογιστεί ο χρόνος απόσβεσης για τις μονάδες μ-ΣΗΘ, πρέπει πρώτα να υπολογιστεί το κόστος εγκατάστασης του εξοπλισμού. Οι τιμές του εμπορίου για όλα τα συστήματα που εξετάζονται παρουσιάστηκαν στους πίνακες “Πίνακας 8” και “Πίνακας 9”.

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο χρόνος απόσβεσης του επιπλέον κόστους επένδυσης για την μ-ΣΗΘ συγκριτικά με το λέβητα πετρελαίου και το λέβητα φυσικού αερίου, από τις σχέσεις που ακολουθούν.

- Συγκριτικά με το λέβητα πετρελαίου:

Χρόνος Απόσβεσης (έτη)

$$= \frac{\text{Κόστος εγκατάστασης } \mu\text{ΣΗΘ}(\text{€}) - \text{Κόστος αγοράς λέβητα πετρελαίου}(\text{€})}{E EK_{\pi}(\text{€}) - E EK_{CHP}(\text{€})}$$

- Συγκριτικά με το λέβητα φυσικού αερίου:

*Χρόνος Απόσβεσης (έτη)*

$$= \frac{\text{Κόστος εγκατάστασης } \mu\text{-}\Sigma\text{H}\Theta(\text{€}) - \text{Κόστος αγοράς λέβητα φυσικού αερίου}(\text{€})}{\text{EEK}_{\varphi\alpha}(\text{€}) - \text{EEK}_{\text{CHP}}(\text{€})}$$

Όπου στο κόστος εγκατάστασης  $\mu$ - $\Sigma$ H $\Theta$  περιλαμβάνεται το κόστος αγοράς  $\mu$ - $\Sigma$ H $\Theta$  και το κόστος του θερμοδοχείου εφόσον υπάρχει.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [4.1] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης», Α' έκδοση, Σεπτέμβριος 2017
- [4.2] 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
- [4.3] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, «Διευκρινήσεις – προσθήκες τεχνικής οδηγίας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010», 21 Φεβρουαρίου 2011
- [4.4] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017, «Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια», Α' έκδοση, Σεπτέμβριος 2017
- [4.5] Mutch J. “Residential water heating : Fuel conservation, economics and public policy”, Rand publications, Santa Monica, May 1974
- [4.6] 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
- [4.7] «Φυσικό αέριο, Ελληνική εταιρεία ενέργειας», διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <https://www.aerioattikis.gr/el/timi-eksikonomisi-timi-se-sxesi-me-alla-kafsima>
- [4.8] Kolaitis et. al. “Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings”. Energy and Buildings 64:123–131 (2013)



**5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και καταγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο για την προσομοίωση της λειτουργίας των συμβατικών συστημάτων (λέβητας πετρελαίου και λέβητας φυσικού αερίου) καθώς και των μονάδων μικρό-συμπαγωγής. Αρχικά παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης κατοικίας και των συστημάτων προς εγκατάσταση.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται διαγράμματα με τα ενεργειακά φορτία της υπό μελέτη κατοικίας (θερμικές απαιτήσεις και ηλεκτρικές απαιτήσεις). Ακολουθούν τα διαγράμματα που αποτυπώνουν την κάθε περίπτωση λειτουργίας καθώς και τα αντίστοιχα ενεργειακά κόστη. Τέλος, γίνεται παραμετρική ανάλυση όλων των αποτελεσμάτων και στοιχειοθετείται ένα βέλτιστο σενάριο εγκατάστασης στο οποίο ορίζονται βασικές απαιτήσεις και πρακτικές για τη βιωσιμότερη επένδυση.

## 5.1 Βασικό σενάριο

Το βασικό σενάριο κατοικίας για το οποίο θα παρουσιαστούν στη συνέχεια αποτελέσματα, έχει τα χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Είδος κατοικίας	Νεόδμητη Μονοκατοικία
Κλιματική Ζώνη	B
Διαμερίσματα κατοικίας	1
Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )	100
Αριθμός κατοίκων/100m <sup>2</sup>	4

Σημειώνεται ότι για τη διανομή της θερμότητας στην κατοικία θεωρούμε ότι έχουν επιλεγεί τα υπάρχοντα συμβατικά θερμαντικά σώματα.

## 5.2 Ενεργειακά φορτία κατοικίας

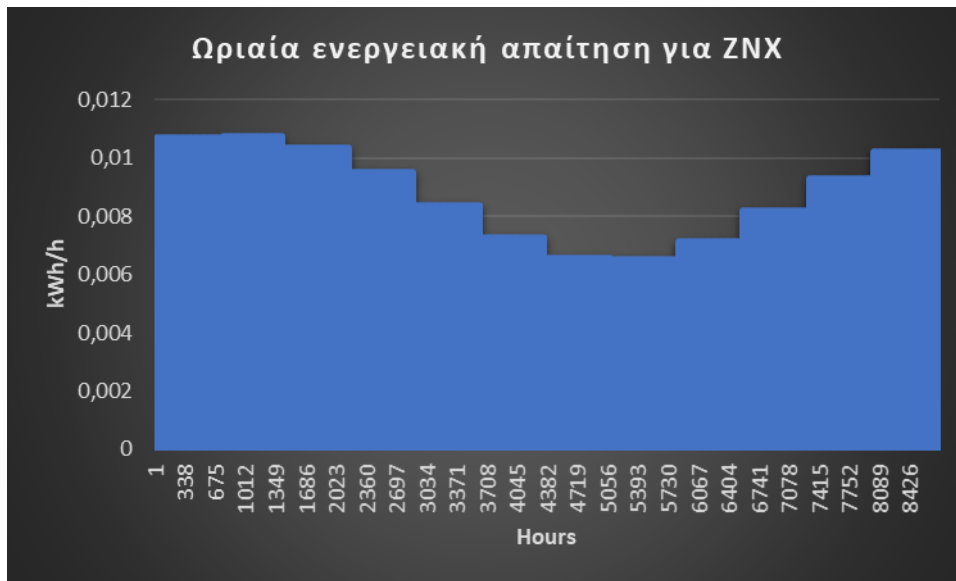
Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστούν μέσω διαγραμμάτων οι θερμικές και ηλεκτρικές απαιτήσεις της εξεταζόμενης κατοικίας. Βάσει αυτών των φορτίων γίνεται η προσομοίωση της λειτουργίας όλων των υπό εξέταση συστημάτων.

### 5.2.1 Θερμικά φορτία κατοικίας



Σχήμα 31 Ωριαία ενεργειακή απαίτηση για θέρμανση χώρων





Σχήμα 32 Ωριαία ενεργειακή απαίτηση για ZNX

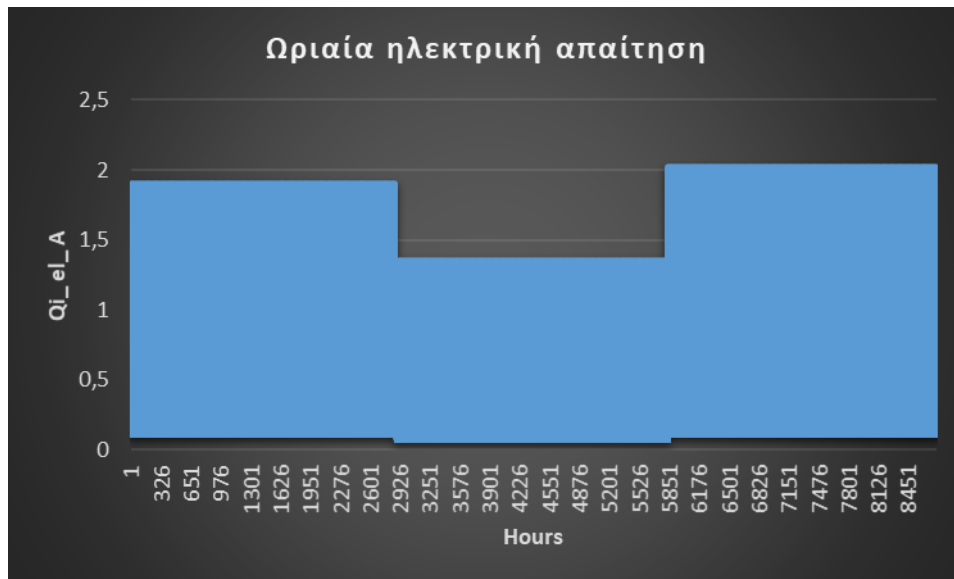
Τέλος παρουσιάζεται η συνολική ωριαία θερμική απαίτηση, η οποία όπως έχει ήδη αναφερθεί στη μεθοδολογία του προηγούμενου κεφαλαίου, προκύπτει από το άθροισμα των παραπάνω φορτίων.



Σχήμα 33 Συνολική ωριαία θερμική απαίτηση

### 5.2.2 Ηλεκτρικά φορτία κατοικίας

Η κατανομή της ετήσιας ηλεκτρικής απαίτησης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 34 Ωριαία ηλεκτρική απαίτηση

### 5.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας των υπό μελέτη συστημάτων για κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας των υπό εξέταση συστημάτων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

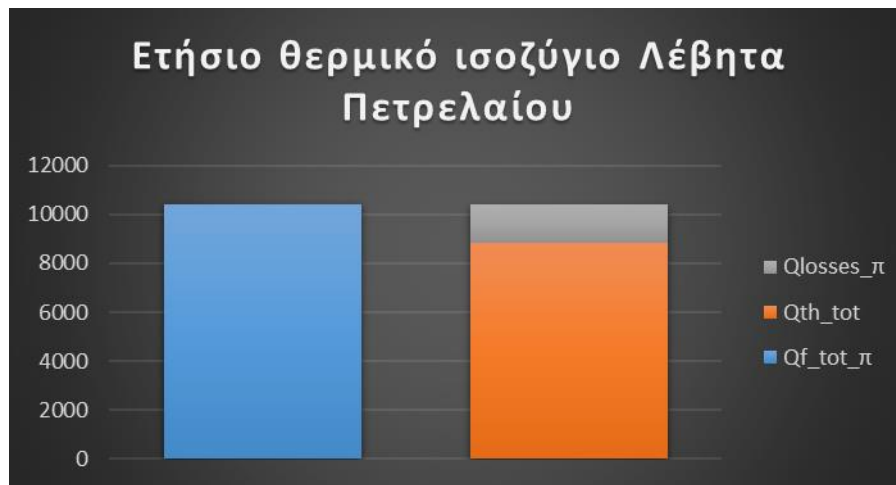
#### 5.3.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας λέβητα πετρελαίου

Παρακάτω φαίνεται η ωριαία κατανάλωση καυσίμου στην περίπτωση εγκατάστασης λέβητα πετρελαίου. Παρατηρούμε ότι η κατανάλωση καυσίμου του λέβητα είναι σχεδόν αμελητέα την περίοδο Μάιο έως και Σεπτέμβριο, όπου οι συνολικές θερμικές απαιτήσεις είναι σχεδόν μηδενικές.



Σχήμα 35 Ωριαία κατανάλωση καυσίμου λέβητα πετρελαίου

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το ετήσιο θερμικό ισοζύγιο για την περίπτωση αυτή. Παρατηρούμε ότι μέρος της κατανάλωσης καυσίμου αποτελεί την ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία χρησιμεύει για την κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων της κατοικίας και το υπόλοιπο αποτελεί τις απώλειες λόγω του βαθμού απόδοσης του λέβητα πετρελαίου.



Σχήμα 36 Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο Λέβητα Πετρελαίου

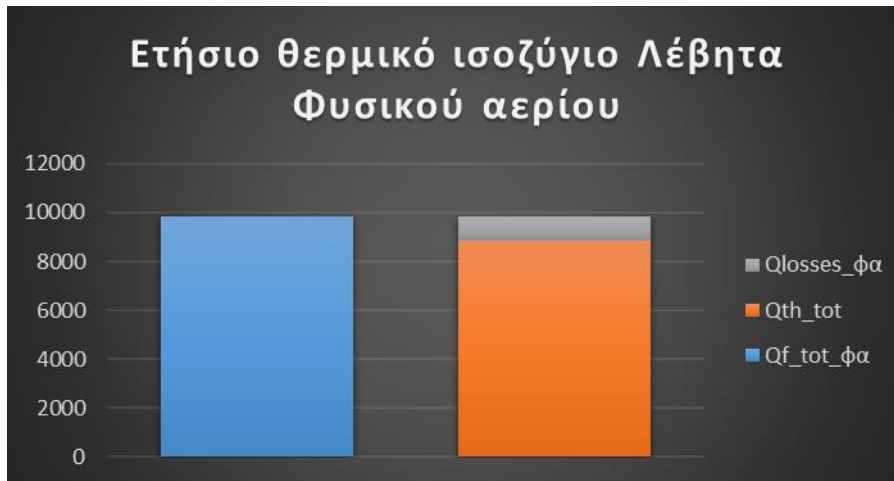
### 5.3.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας λέβητα φυσικού αερίου

Παρακάτω φαίνεται η ωριαία κατανάλωση καυσίμου στην περίπτωση εγκατάστασης λέβητα φυσικού αερίου. Παρατηρούμε ότι όπως και στην περίπτωση του λέβητα πετρελαίου, η κατανάλωση καυσίμου είναι σχεδόν αμελητέα την περίοδο Μάιο έως Σεπτέμβριο. Επιπλέον συγκριτικά με το λέβητα πετρελαίου, η κατανάλωση καυσίμου είναι ελαφρώς μειωμένη, το οποίο αποδίδεται στο γεγονός ότι ο λέβητας φυσικού αερίου έχει λίγο μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.



Σχήμα 37 Ωριαία κατανάλωση καυσίμου λέβητα φυσικού αερίου

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το ετήσιο θερμικό ισοζύγιο για την περίπτωση αυτή. Παρατηρούμε ότι μέρος της κατανάλωσης καυσίμου αποτελεί την ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία χρησιμεύει για την κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων της κατοικίας και το υπόλοιπο αποτελεί τις απώλειες λόγω του βαθμού απόδοσης του λέβητα φυσικού αερίου. Επιπλέον παρατηρούμε ότι οι απώλειες είναι μικρότερες σε σχέση με το λέβητα πετρελαίου, το οποίο αποδίδεται και πάλι στο γεγονός ότι ο λέβητας φυσικού αερίου έχει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από το λέβητα πετρελαίου.



Σχήμα 38 Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο Λέβητα Φυσικού αερίου

### 5.3.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας μ-ΣΗΘ Remeha eVita 25s

Στα επόμενα σχήματα φαίνεται η ωριαία κατανάλωση καυσίμου στην περίπτωση εγκατάστασης της μ-ΣΗΘ Remeha eVita 25s καθώς και η αντίστοιχη ωριαία ηλεκτροπαραγωγή.



Σχήμα 39 Ωριαία ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου (Remeha eVita 25s)



Σχήμα 40 Ωριαία ηλεκτροπαραγωγή (Remeha eVita 25s)

Παρακάτω παρουσιάζεται το ετήσιο θερμικό ισοζύγιο. Σημειώνεται ότι το διάγραμμα αυτό δε λαμβάνει υπόψη το συμπαραγόμενο ηλεκτρισμό κάτι που σημαίνει ότι εντός του ποσού ενέργειας  $Q_{f\_tot\_CHP}$  περιέχονται και οι αντίστοιχες ηλεκτρικές kWhel που παράγονται από τη μονάδα.



Σχήμα 41 Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο μ-ΣΗΘ Remeha eVita 25s

Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται το ετήσιο 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 μικρό-συμπαραγωγής αλλά δεν καταναλώνεται στην κατοικία.



Σχήμα 42 Ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο μ-ΣΗΘ Remeha eVita 25s

### 5.3.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας μ-ΣΗΘ Ecorpower 4.7

Στα επόμενα σχήματα φαίνεται η ωριαία κατανάλωση καυσίμου στην περίπτωση εγκατάστασης της μ-ΣΗΘ Ecorpower 4.7 καθώς και η αντίστοιχη ωριαία ηλεκτροπαραγωγή.

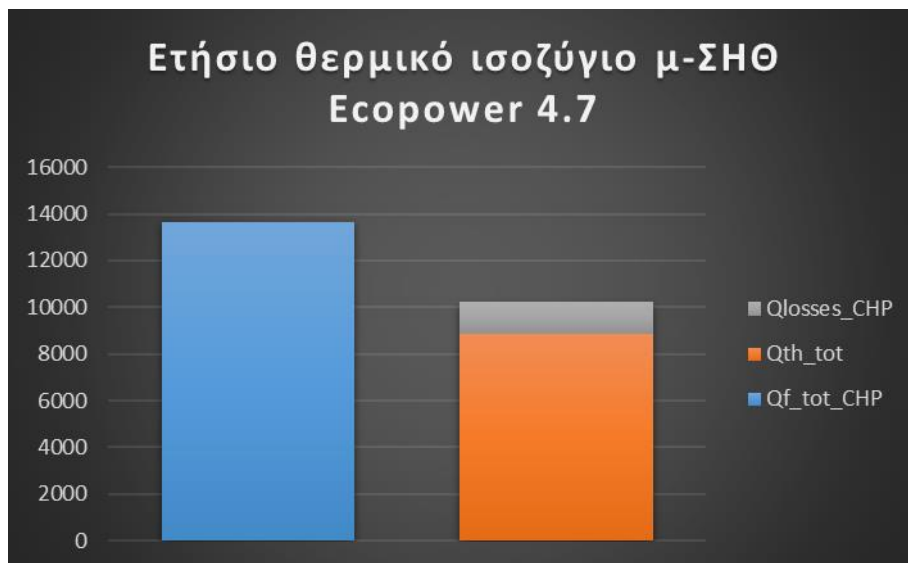


Σχήμα 43 Ωριαία ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου (Ecorpower 4.7)



Σχήμα 44 Ωριαία ηλεκτροπαραγωγή (Ecopower 4.7)

Παρακάτω παρουσιάζεται το ετήσιο θερμικό ισοζύγιο. Σημειώνεται ότι το διάγραμμα αυτό δε λαμβάνει υπόψη το συμπαραγόμενο ηλεκτρισμό κάτι που σημαίνει ότι εντός του ποσού ενέργειας  $Q_{f\_tot\_CHP}$  περιέχονται και οι αντίστοιχες ηλεκτρικές kWhel που παράγονται από τη μονάδα.



Σχήμα 45 Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο μ-ΣΗΘ Ecopower 4.7

Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται το ετήσιο 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 μικρό-συμπαραγωγής αλλά δεν καταναλώνεται στην κατοικία.

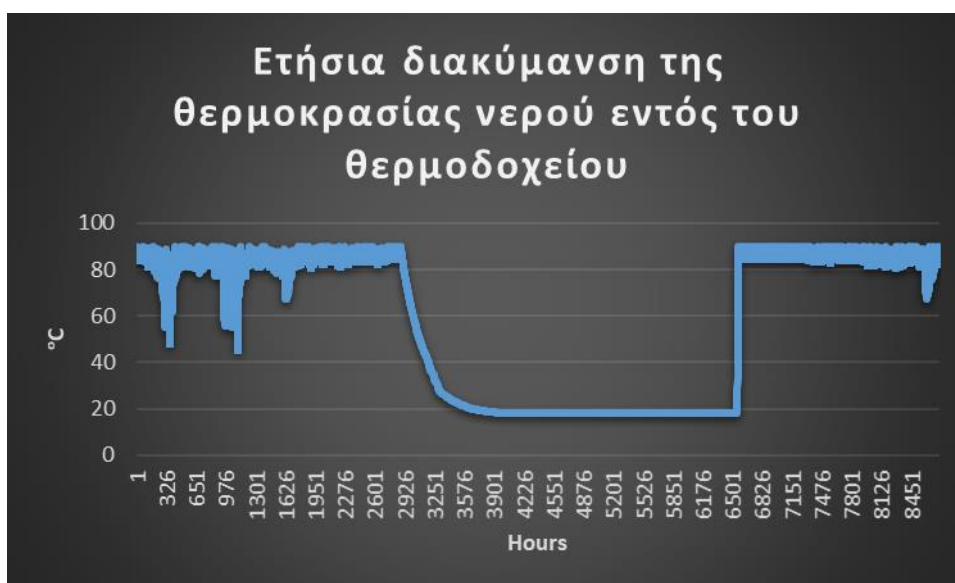


Σχήμα 46 Ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο μ-ΣΗΘ Ecorpower 4.7

Παρατηρούμε ότι σε αυτή την περίπτωση, η ηλεκτροπαραγωγή από τη μονάδα μ-ΣΗΘ είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή της Remeha, γεγονός που οφείλεται στο μεγαλύτερο ηλεκτρικό βαθμό απόδοσής της. Ως εκ τούτου, το πλεόνασμα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι σαφώς μεγαλύτερο και επομένως η ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζουμε από τη Δ.Ε.Η. είναι λιγότερη.

### 5.3.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας μ-ΣΗΘ Dachs – Stirling

Εντός του θερμοδοχείου η διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού φαίνεται στα παρακάτω σχήματα για το εξεταζόμενο έτος και για μία εβδομάδα του Ιανουαρίου. Παρατηρούμε ότι επειδή η λειτουργία του συστήματος σταματά τους μήνες με αμελητέες θερμικές απαιτήσεις, η θερμοκρασία του νερού του θερμοδοχείου μειώνεται και μένει σταθερή στη θερμοκρασία του υπογείου στο οποίο βρίσκεται το θερμοδοχείο, δηλαδή στους 18 °C. Στην υπόλοιπη περίοδο η θερμοκρασία δεν πέφτει κάτω από τους 50 °C, το οποίο επιτεύχθηκε με τη σωστή επιλογή χωρητικότητας του θερμοδοχείου (1000L).



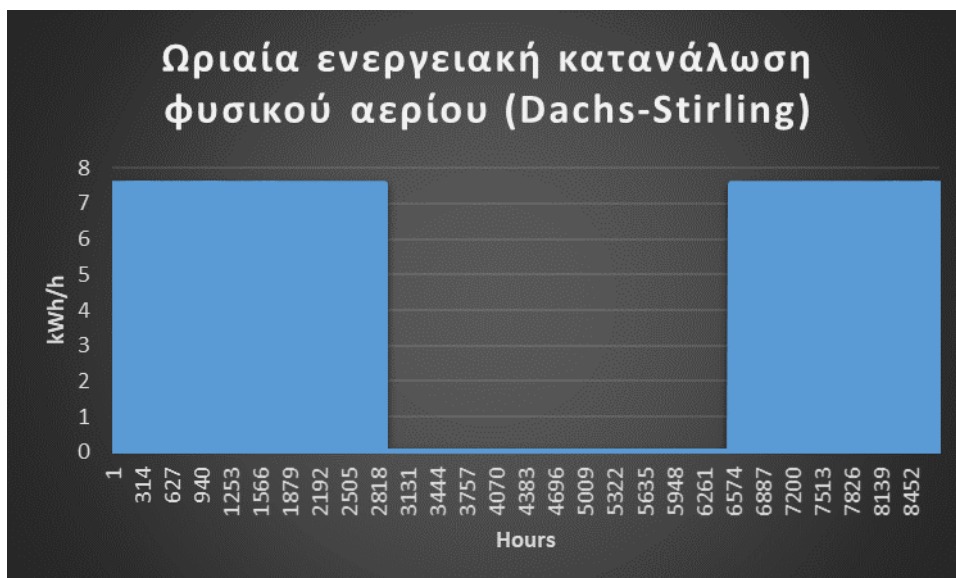
Σχήμα 47 Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας νερού εντός του θερμοδοχείου



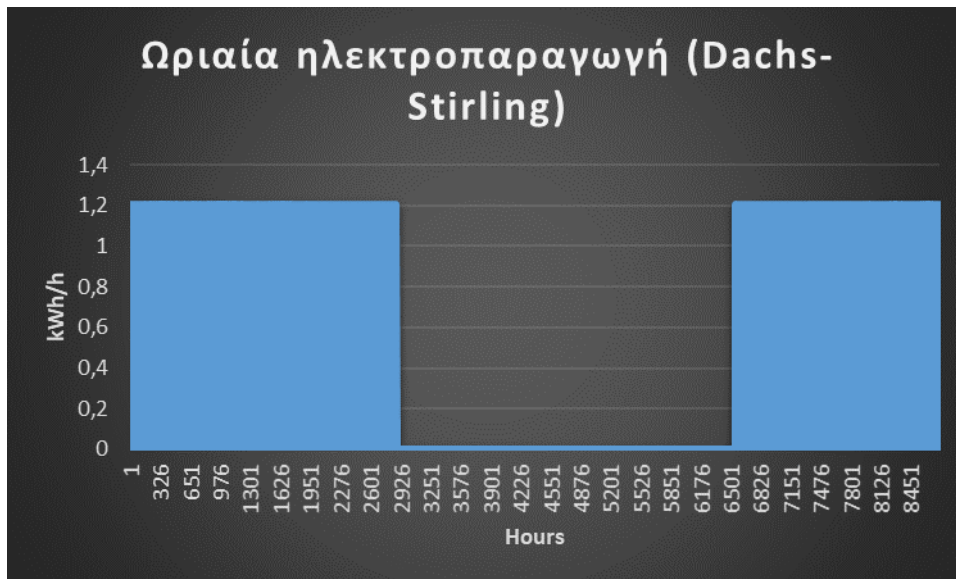


Σχήμα 48 Διακύμανση της θερμοκρασίας νερού εντός θερμοδοχείου για εβδομάδα του Ιανουαρίου

Στα επόμενα σχήματα φαίνεται η ωριαία κατανάλωση καυσίμου καθώς και η αντίστοιχη ωριαία ηλεκτροπαραγωγή. Επειδή έχει επιλεγεί η μονάδα να λειτουργεί μόνο τους χειμερινούς μήνες, δεν έχουμε κατανάλωση καυσίμου καθώς και ηλεκτροπαραγωγή, όπως ήταν αναμενόμενο.

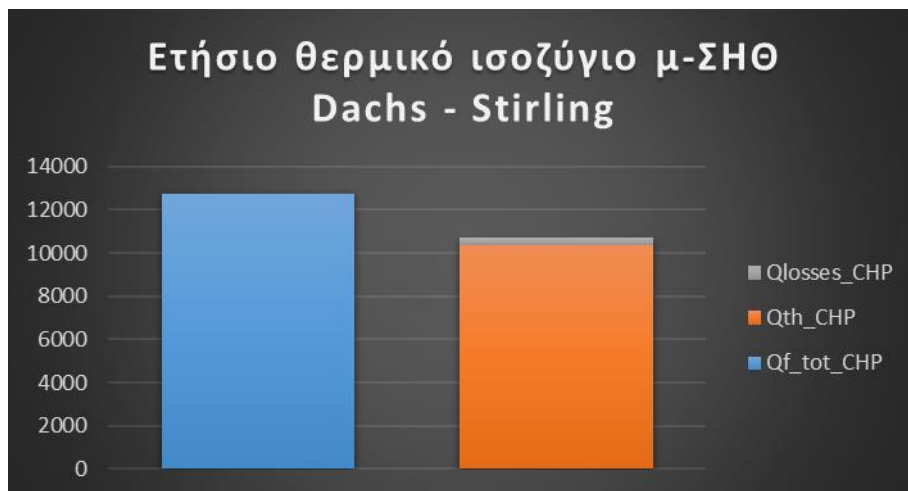


Σχήμα 49 Ωριαία ενεργειακή κατανάλωση φυσικού αερίου (Dachs-Stirling)



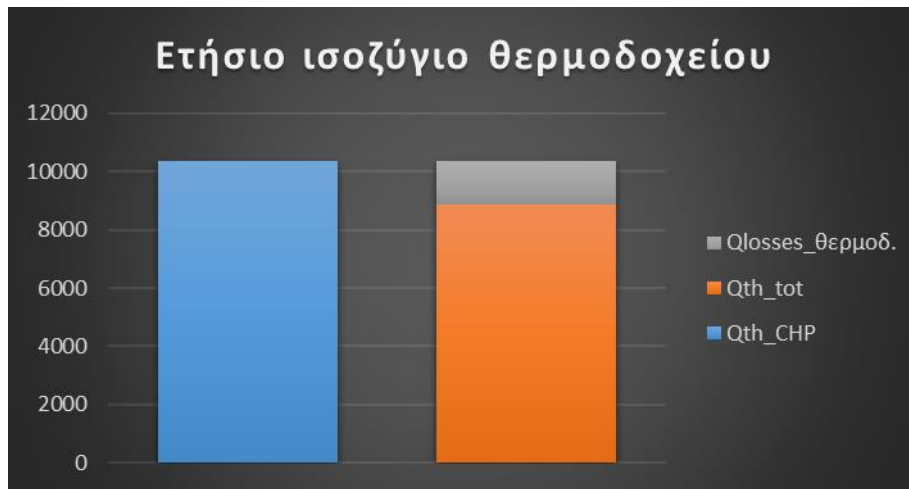
Σχήμα 50 Ωριαία ηλεκτροπαραγωγή (Dachs-Stirling)

Παρακάτω παρουσιάζεται το ετήσιο θερμικό ισοζύγιο. Σημειώνεται ότι όπως προηγουμένως, το διάγραμμα αυτό δε λαμβάνει υπόψη το συμπαραγόμενο ηλεκτρισμό κάτι που σημαίνει ότι εντός του ποσού ενέργειας  $Q_f\text{\_tot\_CHP}$  περιέχονται και οι αντίστοιχες ηλεκτρικές kWhel που παράγονται από τη μονάδα.



Σχήμα 51 Ετήσιο θερμικό ισοζύγιο μ-ΣΗΘ Dachs – Stirling

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται το ετήσιο ισοζύγιο του θερμοδοχείου. Η μικρή απόκλιση που εμφανίζεται στο ισοζύγιο, εξηγείται από το γεγονός ότι δεν έχουμε ίδιες θερμοκρασίες εντός του θερμοδοχείου την ώρα  $i=1$  και την ώρα  $i=8760$ .



Σχήμα 52 Ετήσιο ισοζύγιο θερμοδοχείου

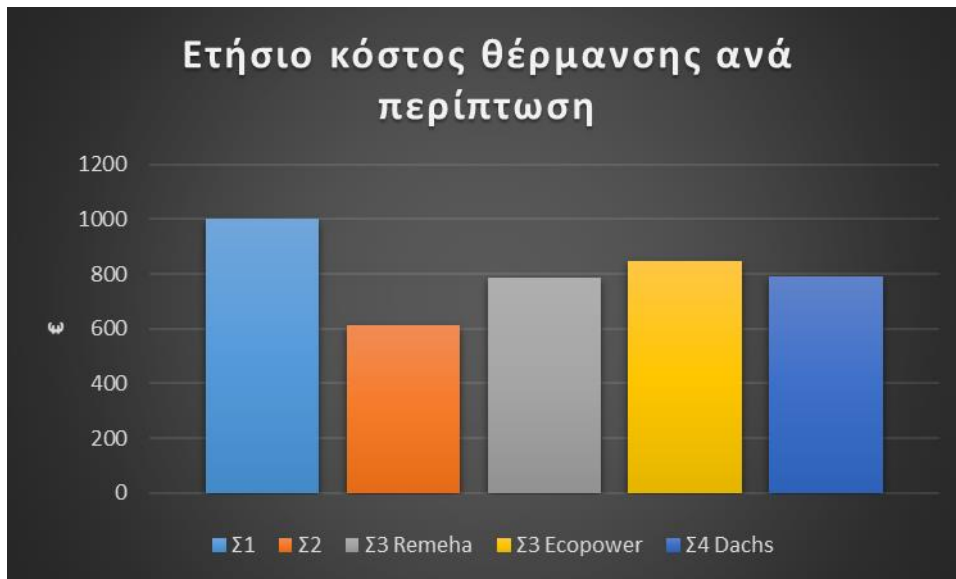
Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται το ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο της λειτουργίας του συστήματος. Συγκεκριμένα φαίνονται η ετήσια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα μ-Σ.Η.Θ. και καλύπτει φορτία της κατοικίας, η ποσότητα που αγοράζεται από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. και η πλεονασματική, δηλαδή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



Σχήμα 53 Ετήσιο ηλεκτρικό ισοζύγιο μ-ΣΗΘ Dachs – Stirling

### 5.3.6 Ενεργειακά κόστη

Παρακάτω φαίνονται συγκεντρωτικά τα ετήσια κόστη θέρμανσης για όλες τις περιπτώσεις. Το κόστος θέρμανσης στην περίπτωση του λέβητα πετρελαίου (Σ1) είναι μεγαλύτερο κυρίως λόγω της τιμής αγοράς του πετρελαίου που είναι μεγαλύτερη από την τιμή αγοράς του φυσικού αερίου. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, το καύσιμο είναι το φυσικό αέριο, επομένως η διαφορά στο ετήσιο κόστος θέρμανσης οφείλεται στους θερμικούς βαθμούς απόδοσης των συστημάτων που διαμορφώνουν τη συνολική κατανάλωση καυσίμου.



*Σχήμα 54 Ετήσιο κόστος θέρμανσης ανά περίπτωση*

Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζεται η ανάλυση του ετήσιου κόστους ηλεκτρισμού για τα τρία συστήματα μ-ΣΗΘ.



*Σχήμα 55 Ανάλυση ετήσιου ηλεκτρικού κόστους Remeha*



Σχήμα 56 Ανάλυση ετήσιου ηλεκτρικού κόστους Ecorower



Σχήμα 57 Ανάλυση ετήσιου ηλεκτρικού κόστους Dachs

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται συγκεντρωτικά το ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού ανά περίπτωση. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση του λέβητα πετρελαίου και του λέβητα φυσικού αερίου, το ετήσιο ηλεκτρικό κόστος ηλεκτρισμού είναι ίδιο, καθώς οι ηλεκτρικές απαιτήσεις καλύπτονται εξολοκλήρου από το δίκτυο της ΔΕΗ.



Σχήμα 58 Ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού ανά περίπτωση

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνολικά ενεργειακά κόστη για όλες τις περιπτώσεις.



Σχήμα 59 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση

Λαμβάνοντας υπόψη μας την εξοικονόμηση του ενεργειακού κόστους και το κόστος εγκατάστασης όλων των περιπτώσεων, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η πιο συμφέρουσα λύση είναι η εγκατάσταση του λέβητα φυσικού αερίου.

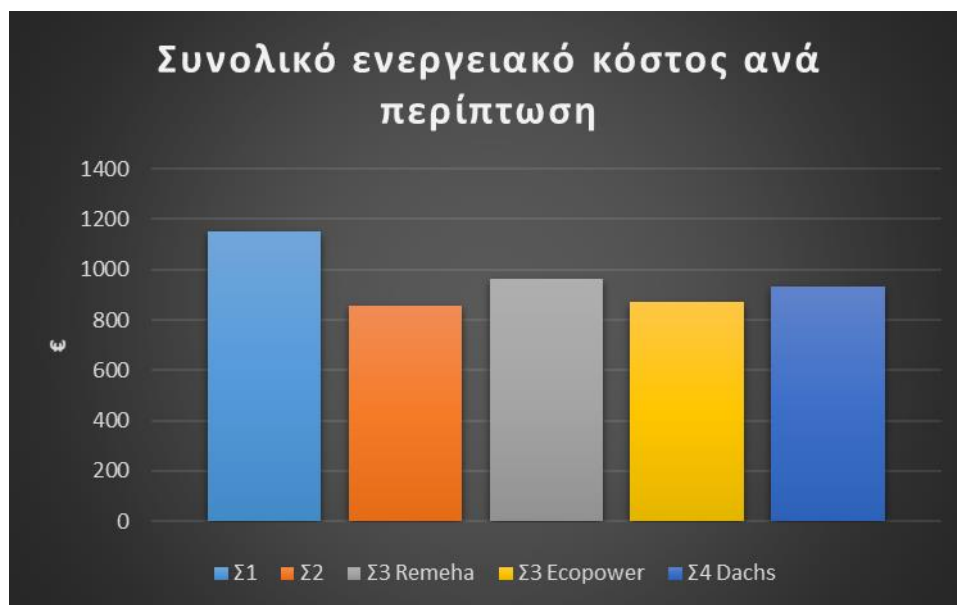
#### 5.4 Παραμετρική ανάλυση βασικού σεναρίου

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει παραμετρική ανάλυση του βασικού σεναρίου. Συγκεκριμένα θα εξετάσουμε την επίδραση στην εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους και την απόσβεση του επιπλέον κόστους που απαιτείται για την εγκατάσταση των μονάδων μ-ΣΗΘ, αλλάζοντας κάθε φορά μόνο μία από τις παρακάτω παραμέτρους.

## 1. Κλιματική ζώνη κτηρίου Α

Για τη ζώνη Α, οι θερμικές απαιτήσεις είναι μικρότερες από τη ζώνη Β, ενώ οι ηλεκτρικές απαιτήσεις θεωρούμε ότι παραμένουν ίδιες με το βασικό σενάριο.

Παρακάτω φαίνονται τα συνολικά ετήσια ενεργειακά κόστη για όλες τις περιπτώσεις. Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση εγκατάστασης του λέβητα φυσικού αερίου, εξασφαλίζουμε το μικρότερο συνολικό ετήσιο ενεργειακό κόστος, το οποίο είναι κατά 95,11€ μικρότερο σε σχέση με τη μηχανή Ecopower, με την οποία εξασφαλίζουμε μικρότερο συνολικό ενεργειακό κόστος σε σχέση με το λέβητα πετρελαίου και τις άλλες μηχανές μ-ΣΗΘ. Σε αυτή την περίπτωση, υπολογίζοντας τους χρόνους απόσβεσης για τα επιπλέον κόστη εγκατάστασης των μηχανών μικρό-συμπαγωγής, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η πιο συμφέρουσα επιλογή είναι αυτή του λέβητα φυσικού αερίου. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι παρουσιάζει ταυτόχρονα το μικρότερο κόστος εγκατάστασης και το μικρότερο συνολικό ετήσιο ενεργειακό κόστος.



Σχήμα 60 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση για ζώνη Α

## 2. Κλιματική ζώνη κτηρίου Δ

Για τη ζώνη Δ, οι θερμικές απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες από τη ζώνη Β, ενώ οι ηλεκτρικές απαιτήσεις θεωρούμε ότι παραμένουν ίδιες με το βασικό σενάριο.

Παρακάτω φαίνονται τα συνολικά ετήσια ενεργειακά κόστη για όλες τις περιπτώσεις. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, υπολογίζοντας τους χρόνους απόσβεσης των μηχανών μικρό-συμπαγωγής, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η πιο συμφέρουσα επιλογή είναι η εγκατάσταση λέβητα φυσικού αερίου.



Σχήμα 61 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση για ζώνη Δ

### 3. Αύξηση των ηλεκτρικών απαιτήσεων του βασικού σεναρίου κατά 30%

Σε αυτή την περίπτωση θεωρούμε ότι οι ηλεκτρικές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια του έτους αυξάνονται κατά 30%, ενώ οι θερμικές απαιτήσεις θεωρούνται ίδιες με το βασικό σενάριο.

Παρακάτω φαίνονται συγκεντρωτικά τα συνολικά ετήσια ενεργειακά κόστη ανά περίπτωση. Υπολογίζοντας και τους χρόνους απόσβεσης των μηχανών μ-ΣΗΘ, καταλήγουμε ότι ο λέβητας φυσικού αερίου αποτελεί την πιο συμφέρουσα λύση.



Σχήμα 62 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με αύξηση των ηλεκτρικών απαιτήσεων κατά 30%

### 4. Μείωση των ηλεκτρικών απαιτήσεων του βασικού σεναρίου κατά 30%

Σε αυτή την περίπτωση θεωρούμε ότι οι ηλεκτρικές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια του έτους μειώνονται κατά 30%, ενώ οι θερμικές απαιτήσεις θεωρούνται ίδιες με το βασικό σενάριο.



Παρακάτω φαίνονται συγκεντρωτικά τα συνολικά ετήσια ενεργειακά κόστη ανά περίπτωση. Και σε αυτή την περίπτωση, υπολογίζοντας και τους χρόνους απόσβεσης των μηχανών μ-ΣΗΘ, καταλήγουμε ότι ο λέβητας φυσικού αερίου αποτελεί την πιο συμφέρουσα λύση.



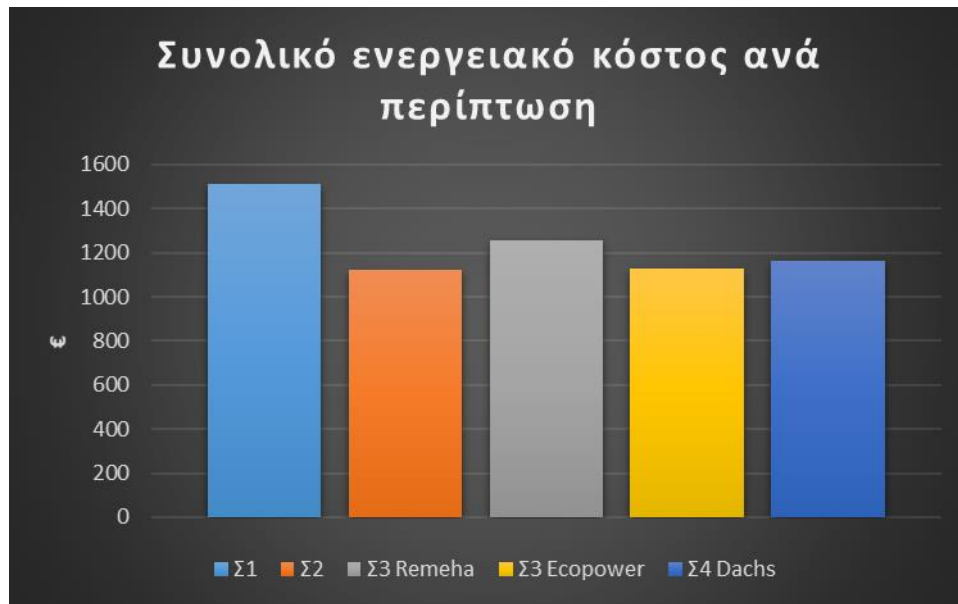
Σχήμα 63 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με μείωση των ηλεκτρικών απαιτήσεων κατά 30%

## 5. Επιδότηση 75% για την αγορά των μονάδων μ-ΣΗΘ και των θερμοδοχείων

Θεωρούμε ότι το κόστος εγκατάστασης των μονάδων μ-ΣΗΘ και αγοράς του θερμοδοχείου επιδοτείται κατά 75%. Τα συνολικά ετήσια ενεργειακά κόστη είναι ίδια με το βασικό σενάριο. Υπολογίζοντας τους χρόνους απόσβεσης των μονάδων μ-ΣΗΘ, καταλήγουμε ότι επιλέγοντας τη μηχανή Ecopower θα έχουμε απόσβεση σε 5,6 έτη συγκριτικά με το λέβητα πετρελαίου, ενώ επιλέγοντας τη Dachs-Stirling, θα έχουμε απόσβεση σε 6,95 έτη σε σύγκριση με το λέβητα πετρελαίου. Συγκριτικά με το λέβητα φυσικού αερίου, οι χρόνοι απόσβεσης των μ-ΣΗΘ που υπολογίστηκαν, δεν καθιστούν συμφέρουσα την επιλογή τους.

## 6. Αύξηση κόστους αγοράς ηλεκτρισμού από το δίκτυο της ΔΕΗ κατά 30%

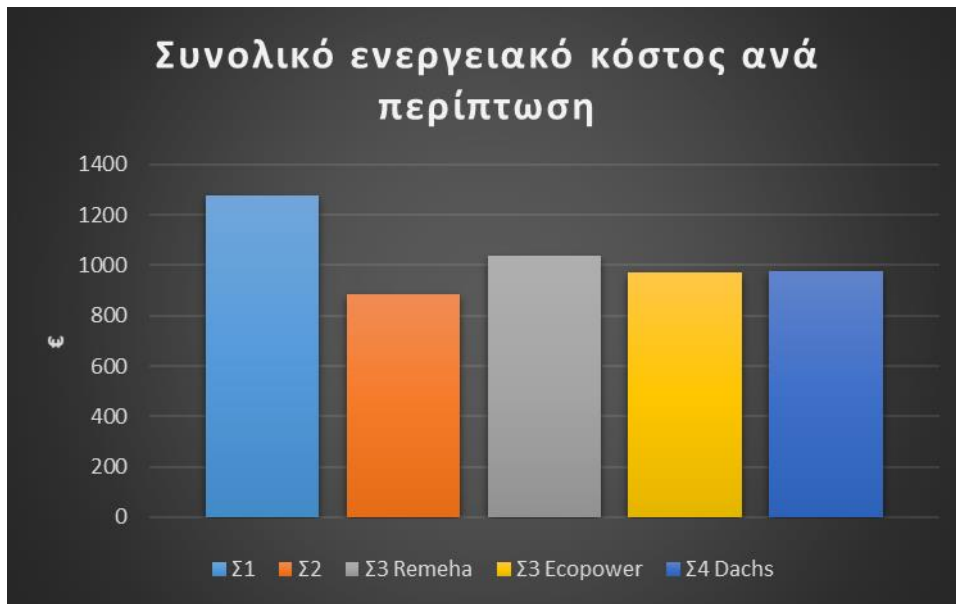
Θεωρούμε ότι η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο της ΔΕΗ αυξάνεται κατά 30% και κοστίζει 0.122967 €/kWh. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε αύξηση του ετήσιου ενεργειακού κόστους ηλεκτρικής ενέργειας σε όλες τις περιπτώσεις. Παρατηρούμε όμως ότι η ηλεκτροπαραγωγή στις μονάδες συμπαραγωγής δεν καλύπτει εξολοκλήρου τις ηλεκτρικές απαιτήσεις οπότε σε κάθε περίπτωση το κόστος για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει. Όπως ήταν αναμενόμενο, ο υπολογισμός των αποσβέσεων για το επιπλέον κόστος των μονάδων σε σχέση με αυτό των λεβήτων δεν δικαιολογεί την επένδυση στις μονάδες μ-ΣΗΘ. Η πιο συμφέρουσα λύση είναι και πάλι αυτή του λέβητα φυσικού αερίου και έπειτα η λύση του λέβητα πετρελαίου. Παρακάτω φαίνεται συγκεντρωτικά για όλες τις περιπτώσεις το συνολικό ενεργειακό κόστος.



Σχήμα 64 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με αύξηση κόστους αγοράς ηλεκτρισμού από το δίκτυο της ΔΕΗ κατά 30%

### 7. Μείωση κόστους αγοράς ηλεκτρισμού από το δίκτυο της ΔΕΗ κατά 30%

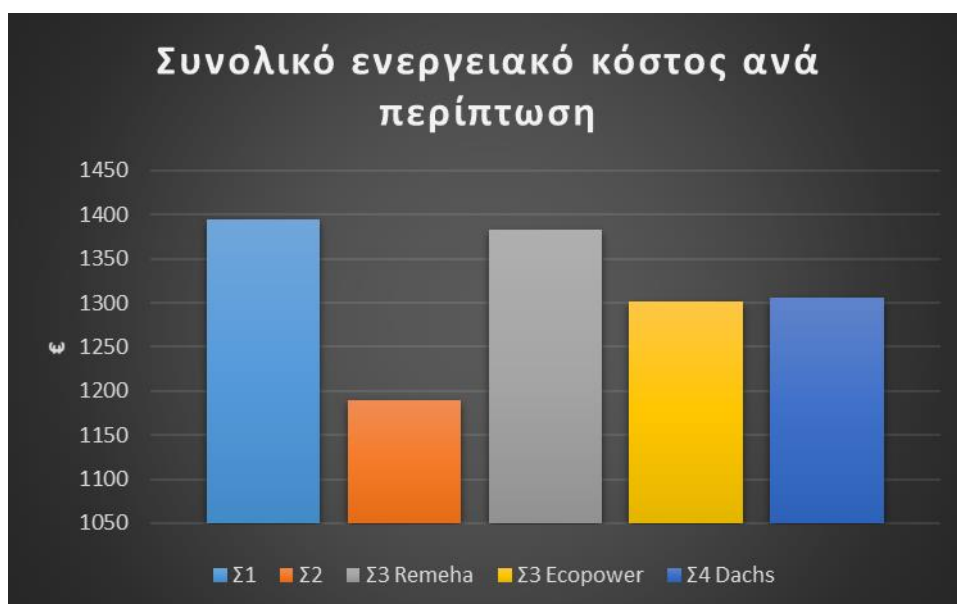
Θεωρούμε ότι η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο της ΔΕΗ μειώνεται κατά 30% και κοστίζει 0.066213 €/kWh. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε μείωση του ετήσιου ενεργειακού κόστους ηλεκτρικής ενέργειας σε όλες τις περιπτώσεις. Παρατηρούμε όμως ότι η ηλεκτροπαραγωγή στις μονάδες συμπαραγωγής δεν καλύπτει εξολοκλήρου τις ηλεκτρικές απαιτήσεις οπότε σε κάθε περίπτωση το κόστος για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει. Όπως ήταν αναμενόμενο, ο υπολογισμός των αποσβέσεων για το επιπλέον κόστος των μονάδων σε σχέση με αυτό των λέβητων δεν δικαιολογεί την επένδυση στις μονάδες μ-ΣΗΘ. Η πιο συμφέρουσα λύση είναι και πάλι αυτή του λέβητα φυσικού αερίου και έπειτα η λύση του λέβητα πετρελαίου. Παρακάτω φαίνεται συγκεντρωτικά για όλες τις περιπτώσεις το συνολικό ενεργειακό κόστος.



Σχήμα 65 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με μείωση κόστους αγοράς ηλεκτρισμού από το δίκτυο της ΔΕΗ κατά 30%

### 8. Αύξηση κόστους αγοράς φυσικού αερίου κατά 30%

Θεωρούμε ότι η τιμή αγοράς του φυσικού αερίου αυξάνεται κατά 30% και κοστίζει 0.080665 €/kWh. Σε αυτή την περίπτωση, το ετήσιο ενεργειακό κόστος του λέβητα πετρελαίου δεν επηρεάζεται. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις έχουμε αύξηση του ετήσιο ενεργειακού κόστους συγκριτικά με το βασικό σενάριο, αφού τόσο ο λέβητας φυσικού αερίου όσο και οι μονάδες μ-ΣΗΘ έχουν ως καύσιμο το φυσικό αέριο. Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα με τα συνολικά ενεργειακά κόστη ανά περίπτωση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιλογή των μονάδων μ-ΣΗΘ δεν είναι συμφέρουσα σε αυτή την περίπτωση καθώς η απόσβεση σε έτη είναι πολύ υψηλή.



Σχήμα 66 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με αύξηση κόστους αγοράς φυσικού αερίου κατά 30%

## 9. Μείωση κόστους αγοράς φυσικού αερίου κατά 30%

Θεωρούμε ότι η τιμή αγοράς του φυσικού αερίου αυξάνεται κατά 30% και κοστίζει 0.043435 €/kWh. Σε αυτή την περίπτωση, το ετήσιο ενεργειακό κόστος του λέβητα πετρελαίου δεν επηρεάζεται. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις έχουμε μείωση του ετήσιου ενεργειακού κόστους συγκριτικά με το βασικό σενάριο, αφού τόσο ο λέβητας φυσικού αερίου όσο και οι μονάδες μ-ΣΗΘ έχουν ως καύσιμο το φυσικό αέριο, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη περίπτωση. Υπολογίζοντας τα έτη απόσβεσης του επιπλέον κόστους εγκατάστασης των μοναδων μ-ΣΗΘ συγκριτικά με τους λέβητες πετρελαίου και φυσικού αερίου καταλήγουμε στα εξής: Η μονάδα Remeha συγκριτικά με το λέβητα πετρελαίου είναι πιο συμφέρουσα και θα έχουμε απόσβεση μετά από 15 έτη, ενώ δεν συνίσταται η επιλογή της μονάδας συγκριτικά με το λέβητα φυσικού αερίου. Η μονάδα Ecopower δεν προτείνεται συγκριτικά με τους δύο λέβητες, καθώς αρχικά ο λέβητας φυσικού αερίου είναι πιο συμφέρουσα λύση εκ των δυο και έπειτα πιο συμφέρουσα λύση είναι ο λέβητας πετρελαίου. Τέλος εγκαθιστώντας τη μονάδα Dachs-Stirling με το θερμοδοχείο δεν θα έχουμε απόσβεση μικρότερη των 20 ετών γεγονός που την καθιστά μη συμφέρουσα λύση.

Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα με τα συνολικά ενεργειακά κόστη ανά περίπτωση.



Σχήμα 67 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με μείωση κόστους αγοράς φυσικού αερίου κατά 30%

## 10. Πώληση 100% του πλεονασματικού ηλεκτρισμού

Θεωρούμε ότι υπάρχει η δυνατότητα πώλησης 100% του πλεονασματικού ηλεκτρισμού. Σε αυτή την περίπτωση το ετήσιο ενεργειακό κόστος του λέβητα πετρελαίου και του λέβητα φυσικού αερίου παραμένει ίδιο με το βασικό σενάριο. Το συνολικό ενεργειακό κόστος των μονάδων μ-ΣΗΘ μειώνεται σε μικρό βαθμό καθώς το πλεόνασμα δεν είναι αρκετά υψηλό σε καμία από τις υπό εξέταση μονάδες. Υπολογίζοντας και την απόσβεση, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η επιλογή του λέβητα φυσικού αερίου και έπειτα αυτή του λέβητα πετρελαίου είναι πιο συμφέρουσες σε σχέση με την εγκατάσταση των μονάδων μ-ΣΗΘ.

Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα με τα συνολικά ενεργειακά κόστη ανά περίπτωση.

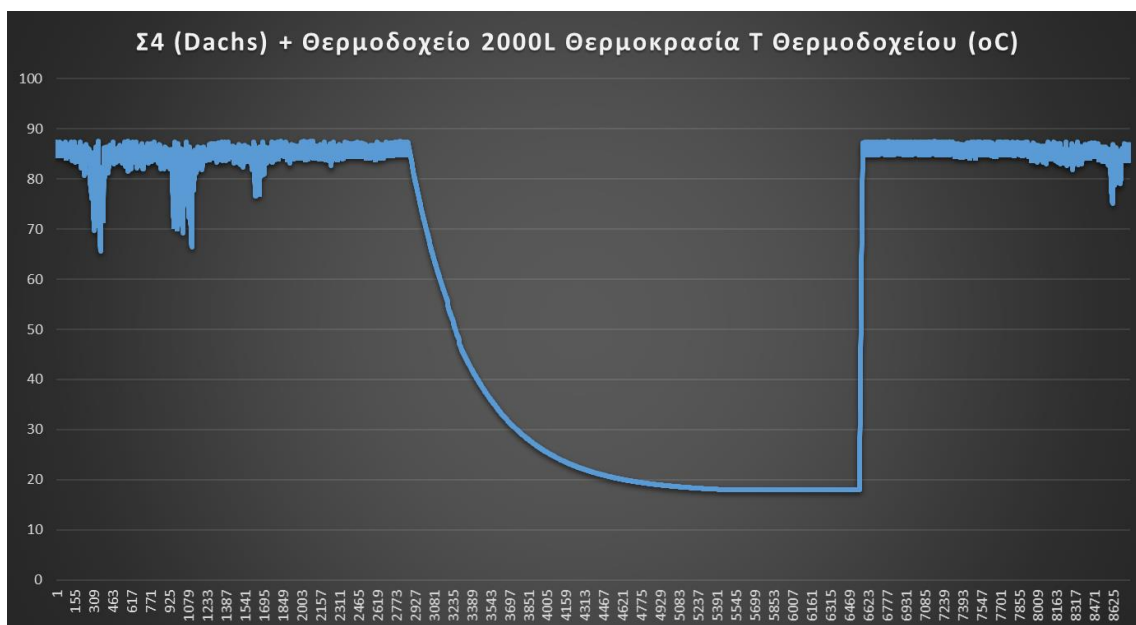


Σχήμα 68 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με πώληση 100% του πλεονασματικού ηλεκτρισμού

### 11. Χρήση θερμοδοχείου με διπλάσιο όγκο

Στη συνέχεια εξετάζεται η επίδραση της επιλογής θερμοδοχείου στην περίπτωση της μονάδας Dachs-Stirling. Το θερμοδοχείο που είχε επιλεγεί αρχικά είχε όγκο 1000L ενώ τώρα εξετάζεται η χρήση θερμοδοχείου με διπλάσιο όγκο, δηλαδή 2000L.

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.



Σχήμα 69 Ωριαία διακύμανση θερμοκρασίας νερού θερμοδοχείου, στην περίπτωση του διπλασιασμού της χωρητικότητας

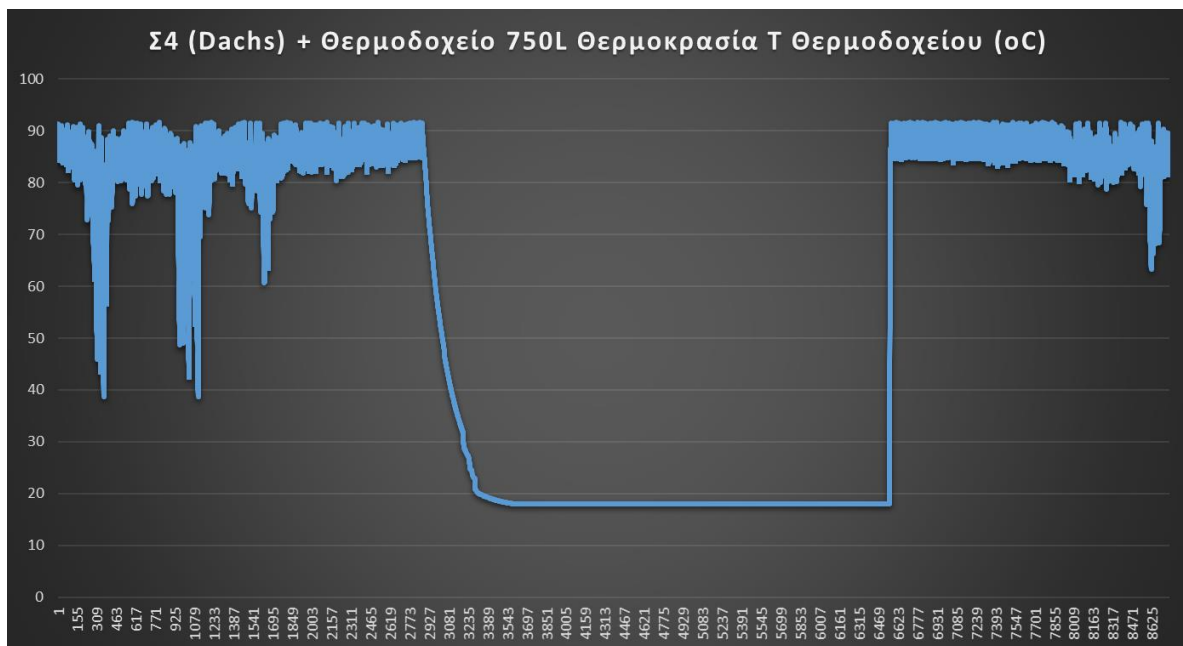
Παρατηρείται επομένως μια αύξηση στην παραγόμενη θερμική ενέργεια και αυτό συμβαίνει γιατί όσο αυξάνεται η ποσότητα του νερού που θερμαίνεται καταναλώνεται όλο και μικρότερο ποσοστό της θερμότητας που έχει παραχθεί και αυξάνονται αισθητά οι απώλειες θερμοδοχείου. Η ίδια συμπεριφορά, όσο μεγαλώνει η χωρητικότητα του θερμοδοχείου, παρατηρείται και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς το σύστημα μικρό-συμπαραγωγής έχει επιλεγεί να λειτουργεί με το σενάριο κάλυψης των θερμικών αναγκών. Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα με τα ετήσια ενεργειακά κόστη σε αυτή την περίπτωση. Έχει αλλάξει μόνο το ενεργειακό κόστος για την μηχανή Dachs-Stirling, σε σχέση με το βασικό σενάριο. Με βάση τα ενεργειακά κόστη και τις αποσβέσεις που υπολογίσαμε, απορρίπτεται για ενεργειακούς και οικονομικούς λόγους η υπό εξέταση περίπτωση της εγκατάστασης θερμοδοχείου με διπλάσιο όγκο.



Σχήμα 70 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση με χρήση θερμοδοχείου διπλάσιου όγκου στην Dachs - Stirling

## 12. Χρήση ενδοδαπέδιας θέρμανσης αντί για συμβατικά θερμαντικά σώματα

Σε αυτό το τμήμα της παραμετρικής ανάλυσης θα εξετασθεί η επίδραση του τρόπου διάθεσης της παραγόμενης θερμότητας, στους χώρους της κατοικίας, στην περίπτωση της μηχανής Dachs-Stirling η οποία χρησιμοποιήθηκε ταυτόχρονα με θερμοδοχείο 1000L. Στο βασικό σενάριο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, θεωρήθηκε ότι είχαμε κοινά θερμαντικά σώματα και αρκεστήκαμε σε ελάχιστη θερμοκρασία 50 °C. Εδώ εξετάζεται η περίπτωση ενδοδαπέδιας θέρμανσης στην οποία μας αρκεί η ελάχιστη θερμοκρασία 40 °C.



Σχήμα 71 Ωριαία διακύμανση νερού θερμοδοχείου στην περίπτωση ενδοδαπέδιας θέρμανσης

Από οικονομοτεχνικής άποψης, η επένδυση σε ενδοδαπέδια διανομή της θερμότητας επιτυγχάνει μεγαλύτερη εξοικονόμηση ετήσιου ενεργειακού κόστους. Αν ληφθεί υπόψη και το κόστος της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, προκειμένου να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα για την απόσβεση της αντίστοιχης επένδυσης, δεν είναι συμφέρουσα η συγκεκριμένη επέμβαση.

### 5.5 Οικονομικά ευνοϊκότερο σενάριο με βάση τα αποτελέσματα της παραμετρικής ανάλυσης

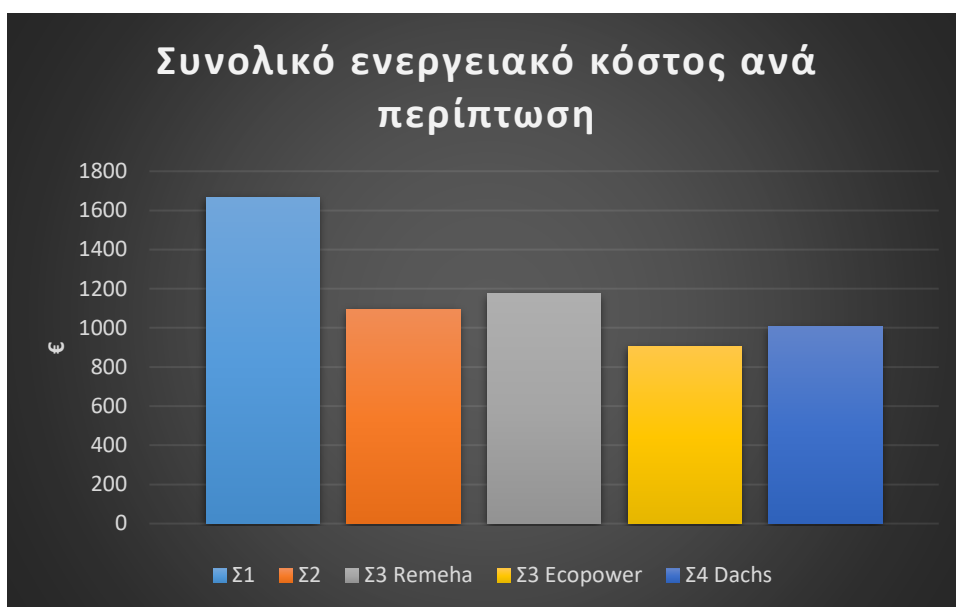
Με βάση την παραμετρική ανάλυση που έγινε στο προηγούμενο εδάφιο, γίνεται προσπάθεια καθορισμού του οικονομικά ευνοϊκότερου σεναρίου για την εγκατάσταση μονάδας μικρό-συμπαγωγής. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη όλα τα παραπάνω, θεωρούμε ότι για να είναι συμφέρουσα η επιλογή της εγκατάστασης μονάδας μικρό-συμπαγωγής θα πρέπει η απόσβεση του επιπλέον κόστους της μονάδας συγκριτικά με το λέβητα πετρελαίου ή τον λέβητα του φυσικού αερίου να είναι το πολύ επτά έτη.

Κατά την στοιχειοθέτηση του οικονομικά ευνοϊκότερου σεναρίου εγκατάστασης εξετάστηκε συνδυαστικά η επίδραση των παρακάτω παραμέτρων:

- Ενδεχόμενο αλλαγής του ποσοστού αγοράς της πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας από το διαχειριστή του δικτύου, από το 20% στο 100%
- Επιδότηση του 75% του κόστους εγκατάστασης του εξοπλισμού. Στο πρώιμο στάδιο που βρίσκεται η τεχνολογία της μικρό-συμπαγωγής έχει υψηλό κόστος εγκατάστασης που αποτελεί το σημαντικότερο ανασταλτικό παράγοντα για ενδεχόμενη επένδυση και μια επιδότηση θα έκανε την καθιστούσε βιωσιμότερη.
- Αύξηση των ηλεκτρικών απαιτήσεων του βασικού σεναρίου κατά 30% δεδομένου ότι στη σημερινή εποχή οι ηλεκτρικές απαιτήσεις ολοένα και αυξάνονται.
- Μείωση κόστους αγοράς φυσικού αερίου κατά 30%.

- Αύξηση κόστους αγοράς ηλεκτρισμού από το δίκτυο της ΔΕΗ κατά 30%.

Με βάση τα παραπάνω προέκυψε ότι η εγκατάσταση της μονάδας Ecopower καθίσταται βιώσιμη σε σύγκριση με το λέβητα φυσικού αερίου καθώς η απόσβεση υπολογίστηκε στα 18 έτη, ενώ συγκριτικά με το λέβητα πετρελαίου ανέρχεται στα 2,5 χρόνια οπότε αποτελεί και συμφέρουσα επιλογή. Όσον αφορά τη μονάδα Dachs-Stirling η απόσβεση συγκριτικά με το λέβητα πετρελαίου υπολογίστηκε στα 3,5 χρόνια, ενώ συγκριτικά με το λέβητα φυσικού αερίου, το ετήσιο κέρδος που προκύπτει από τη χρήση μ-ΣΗΘ, δεν είναι αρκετό για απόσβεση. Τέλος, η εγκατάσταση της Remeha δεν αποτελεί βιώσιμη επένδυση συγκριτικά με τους 2 λέβητες. Παρακάτω απεικονίζονται τα ετήσια ενεργειακά κόστη για το συγκεκριμένο σενάριο που μελετήθηκε.



Σχήμα 72 Συνολικό ενεργειακό κόστος ανά περίπτωση για το συνδυαστικό σενάριο



## **6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε είχε ως σκοπό να διερευνήσει τη δυνατότητα εγκατάστασης συστημάτων μικρό-συμπαγωγής στον οικιακό τομέα. Το κύριο συμπέρασμα που προκύπτει από τη μελέτη είναι πως η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να καταστεί βιώσιμη υπό ορισμένες συνθήκες. Ρόλο σε αυτό παίζουν τόσο η περιοχή, όσο και το μέγεθος του οικιστικού συγκροτήματος που πρόκειται να λειτουργήσει η μονάδα ΣΗΘ.

Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί το αρχικό υψηλό κόστος αγοράς (επένδυσης) που έχουν αυτές οι μονάδες. Η διαφορά τους σε σχέση με το κόστος αγοράς ενός συμβατικού λέβητα είναι σχεδόν δεκαπλάσια ή ακόμα και μεγαλύτερη. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι το ετήσιο κέρδος που ενδέχεται να προκύπτει από τη χρήση μ-ΣΗΘ, να μην είναι αρκετό ούτε καν για απόσβεση σε ορισμένες περιπτώσεις. Σημειώνεται ότι η τεχνολογία της συμπαγωγής δύναται να εξελιχθεί σε μια αποδοτικότερη και οικονομικά συμφέρουσα επιλογή, αν στο μέλλον υπάρξει αύξηση της παραγωγής των μονάδων, γεγονός που θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους αγοράς τους.

Ένας δεύτερος παράγοντας που επιδρά αποτρεπτικά για μια πιθανή επένδυση είναι ο περιορισμός που τίθεται από τη νομοθεσία. Όταν κατά την παραγωγή ρεύματος οι ηλεκτρικές καταναλώσεις είναι μικρότερες από το παραγόμενο ρεύμα, τότε το πλεόνασμα διατίθεται στο δίκτυο. Η πώληση του πλεονάσματος της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο αποδίδει κέρδος. Σύμφωνα με τη νομοθεσία η πωλούμενη στο δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια δεν πρέπει να ξεπερνά το 20% της συνολικά παραγόμενης από τη μονάδα ΣΗΘ. Αποτέλεσμα της ισχύουσας κατάστασης είναι ένα σημαντικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας να μένει αναξιοποίητο. Θέλοντας αυτή η μελέτη να δείξει τα προτερήματα, εξετάστηκε στην παραμετρική μελέτη, το σενάριο να πωλείται το 100% του πλεονασματικού ηλεκτρισμού από τη μονάδα. Βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, ίσως αυτός ο περιορισμός να πρέπει να επαναξιολογηθεί.

Κλείνοντας η τεχνολογία της μικρό-συμπαγωγής φαίνεται να έχει θετικές προοπτικές εξέλιξης και αξιοπιστίας.

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

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