



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Γ. ΚΟΚΚΙΝΑΚΟΣ

Επιβλέπων: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΧΑΤΖΗΑΡΓΥΡΙΟΥ

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Γ. ΚΟΚΚΙΝΑΚΟΣ

Επιβλέπων: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΧΑΤΖΗΑΡΓΥΡΙΟΥ

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ...

.....
Ν. Χατζηαργυρίου

Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Σ. Παπαθανασίου

Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Π. Γεωργιάκης

Λέκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2011

.....

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Γ. ΚΟΚΚΙΝΑΚΟΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Και Μηχανικός Υπολογιστών

Copyright © Παναγιώτης Γ. Κοκκινάκος , 2011

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 τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαπραγματεύεται το αντικείμενο της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας και τριπαραγωγής. Περιέχει τις βασικές αρχές που διέπουν τη συμπαραγωγή και παρέχει τη βάση για την κατανόηση των επιλογών που σχετίζονται με αυτή. Συμπαραγωγή είναι η εκμετάλλευση της αποβαλλόμενης από το σύστημα θερμότητας χωρίς την τροφοδότηση επιπλέον ποσότητας καυσίμου. Τα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να οδηγήσουν σε αξιοσημείωτη αύξηση των ενεργειακών αποθεμάτων επιτυγχάνοντας υψηλό βαθμό απόδοσης εν συγκρίσει με τον βαθμό απόδοσης των συμβατικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας που παράγουν ξεχωριστά θερμότητα και ηλεκτρισμό. Όταν, επιπλέον, γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας και για παραγωγή ψύξης με απορρόφηση, τότε μιλάμε για τριπαραγωγή.

Κύριος στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η τεχνοοικονομική μελέτη εγκατάστασης ενός συστήματος συμπαραγωγής σε ξενοδοχειακή μονάδα. Πιο συγκεκριμένα εξετάζεται η οικονομική βιωσιμότητα ενός συστήματος συμπαραγωγής, βάσει συγκεκριμένων οικονομικών παραμέτρων, με παράλληλη εγκατάσταση ψύκτη απορρόφησης.

Αναλυτικότερα, το πρώτο κεφάλαιο παραθέτει τον ορισμό της συμπαραγωγής, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τις επιπτώσεις της, τα οποία σχετίζονται με την οικονομία και το περιβάλλον. Επίσης, αναφέρονται οι τομείς στους οποίους μπορεί να βρει εφαρμογή η συγκεκριμένη τεχνολογία και το θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα για παραγωγή ηλεκτρισμού από συμπαραγωγή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στα διάφορα συστήματα συμπαραγωγής, παρουσιάζεται η βασική λειτουργία τους και γίνεται σύγκριση αυτών ως προς τα λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Τέλος παρουσιάζονται οι ψύκτες απορρόφησης, οι οποίοι σε συνδυασμό με τα διάφορα συστήματα συμπαραγωγής αποτελούν την βασική διάταξη για τριπαραγωγή.

Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με τους δείκτες ενεργειακής και οικονομικής αποδοτικότητας ενός συστήματος συμπαραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται αρχικά οι ορισμοί βασικών παραμέτρων λειτουργίας του συστήματος συμπαραγωγής και ακολουθεί η περιγραφή των κυριότερων δεικτών οικονομικής αποδοτικότητας, οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια ώστε να γίνει η επιλογή της κατάλληλης μονάδας προκειμένου και να διαπιστωθεί αν η επένδυση είναι οικονομικά συμφέρουσα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο προσδιορίζονται οι καμπύλες του θερμικού και του ηλεκτρικού φορτίου για διάστημα ενός έτους και υπολογίζεται το ετήσιο ενεργειακό κόστος για τη συμβατική λύση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η επιλογή του κατάλληλου συστήματος συμπαραγωγής και εξετάζεται η παραγωγή του. Προσδιορίζεται το ετήσιο ενεργειακό κόστος στην περίπτωση εγκατάστασης μονάδας συμπαραγωγής και υπολογίζεται η εξοικονόμηση.

Το έκτο κεφάλαιο ασχολείται με την οικονομική βιωσιμότητα και δυνατότητα επένδυσης μονάδας συμπαραγωγής με καύση φυσικού αερίου στην ξενοδοχειακή μονάδα. Επίσης, γίνεται ανάλυση ευαισθησίας ως προς τις κρίσιμες παραμέτρους της επένδυσης.

Abstract

The present dissertation treats the subject of combined heat and power (CHP) and trigeneration. It includes the basic principles of cogeneration and provides the base in order to understand the perspectives that are related to that. CHP aims at the exploitation of waste heat from the prime mover or generator driver without additional fuel usage. It can lead to remarkable energy savings and in most cases makes it possible to operate with greater efficiency when compared to a system producing heat and power separately. When, additionally, heat is exploited to provide cooling load, this is called trigeneration.

The main goal of this dissertation is the techno-economical analysis of the installation of a cogeneration plant in a hotel. More specifically, the economical viability of a cogeneration plant, along with an absorption-cooling machine, is examined according to specific economical parameters.

The first chapter presents the definition of cogeneration, as well as the various benefits and impacts of the particular technology on the economy and on the surrounding environment. In addition, the fields, in which cogeneration can be applied, are presented and the current legislation in Greece about electricity production by CHP.

In the second chapter, there is an extent reference to co-generation systems and to their performance indices, their structure and their basic principles are presented and there is a comparison among their operational and technical characteristics. At the end of the chapter there is a reference to absorption-cooling machines, which in combination with the cogeneration systems, compose the principle construction for trigeneration.

The third chapter deals with the parameters of the technical and economical efficiency of the CHP units. At first there is a reference in the parameters which are related with the performance of the cogeneration systems and then are mentioned the definitions of the basic economical parameters, which are going to be used afterwards in order to choose the appropriate CHP plant and conclude whether the investment is worth, as far as the economical factor is concerned.

In the fourth chapter the curves of the electrical and thermal load are determined and the annual power cost of the conventional solution is estimated.

The fifth chapter is involved with the process of selection of a suitable cogeneration system and the examination of its production. The annual power cost in case of CHP implementation is examined and the annual saving is estimated.

The sixth chapter examines the economical viability and the potential of investment of a cogeneration plant using natural gas in hotel. Additionally, a sensitivity analysis is conducted for the critical parameters of the investment.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1-Εισαγωγή στη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας	12
1.1 Η έννοια της συμπαραγωγής.....	12
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	13
1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ΣΗΘ.....	14
1.3.1 Πλεονεκτήματα ΣΗΘ	14
1.3.2 Μειονεκτήματα ΣΗΘ	15
1.4 Εφαρμογές της συμπαραγωγής	17
1.5 Νομοθεσία για συμπαραγωγή στην Ελλάδα	18
Κεφάλαιο 2 – Σύγχρονες τεχνικές Συμπαραγωγής και Τριπαραγωγής	21
2.1. Εισαγωγή.....	21
2.2 Συστήματα αμοστροβίλου	23
2.2.1 Σύστημα συμπαραγωγής με αμοστρόβιλο αντίθλιψης.....	24
2.2.2 Σύστημα συμπαραγωγής με αμοστρόβιλο απομάστευσης	24
2.2.3 Σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης αμού	25
2.2.4 Σύστημα συμπαραγωγής σε κύκλο βάσης Rankine με οργανικά ρευστά (organic Rankine cycles, ORC).....	26
2.3 Συστήματα αεριοστροβίλου	26
2.3.1 Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου	26
2.3.2 Συστήματα αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου	28
2.4 Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης.....	28
2.4.1 Μηχανή OTTO	29
2.4.2 Μηχανή DIESEL	30
2.5 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου.....	31
2.6 Κυψέλες καυσίμου.....	31
2.7 Μηχανές Stirling.....	33
2.8 Μικρο-τουρμπίνες	34
2.9 Τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής	34
2.10 Τεχνολογίες τριπαραγωγής	35
2.10.1. Βασικές αρχές ψύξης με απορρόφηση.....	35
2.10.2 Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα νερού-διάλυμα βρωμιούχου λιθίου (LiBr)	37

2.10.3. Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα Αμμωνίας - Νερού (NH ₃ - H ₂ O)	38
2.10.4. Σύνοψη τεχνολογιών ψύξης με απορρόφηση	38
Κεφάλαιο 3 – Δείκτες αποδοτικότητας και μεθοδολογία επιλογής ΣΗΘ	40
3.1 Εισαγωγή.....	40
3.2 Δείκτες ενεργειακής αποδοτικότητας.....	40
3.2.1 Ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα και ο λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου	42
3.2.2 Αξιοπιστία, διαθεσιμότητα, χρησιμοποίηση	43
3.2.4 Σημασία των δεικτών ενεργειακής αποδοτικότητας.....	44
3.3 Οικονομική βιωσιμότητα συστημάτων Συμπαραγωγής	45
3.3.1 Ορισμοί βασικών οικονομικών παραμέτρων	45
3.3.2 Οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης.....	47
3.3.3 Αξιολόγηση συστημάτων συμπαραγωγής σε επίπεδο ιδιώτη επενδυτή.....	48
3.4 Επιλογή ΣΗΘ.....	50
Κεφάλαιο 4 – Φορτία ξενοδοχείου και κόστος συμβατικής λύσης	52
4.1 Εισαγωγή.....	52
4.2 Ηλεκτρικά φορτία.....	52
4.2.1 Φωτισμός.....	54
4.2.2 Καμπύλες ηλεκτρικού φορτίου.....	55
4.3 Θερμικά φορτία	57
4.3.1 Υπάρχον σύστημα θέρμανσης.....	59
4.3.2 Καταναλώσεις καυσίμων	59
4.4 Υπολογισμός κόστους παροχής ενέργειας συμβατικής λύσης	61
4.4.1 Υπολογισμός κόστους θερμικής ενέργειας	61
4.4.2 Υπολογισμός κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.....	61
Κεφάλαιο 5 – Επιλογή ΣΗΘ και εξέταση επένδυσης	63
5.1 Επιλογή Μονάδας ΣΗΘ	63
5.2 Παραγωγή μονάδας ΣΗΘ.....	65
5.3 Εξέταση επένδυσης.....	76
5.3.1 Αρχικό Κόστος Εγκατάστασης.....	76
5.3.2 Συμβόλαιο ιδιοκτήτη-Ε.Π.Ε.Υ. και Χρηματοδοτικό σχήμα	78
5.3.3 Εξυπηρέτηση δανείου	78
5.3.4 Υπολογισμός εσόδων	78
5.3.5 Έξοδα λειτουργίας	79

Κεφάλαιο 6- Οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης	81
6.1 Υπολογισμός Καθαρών Ταμειακών Ροών	81
6.2 Οικονομικοί δείκτες.....	81
6.2.1Υπολογισμός Κ.Π.Α.	82
6.2.2Υπολογισμός Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (E.B.A.)	82
6.2.3 Αποπληθωρισμένος εσωτερικός βαθμός απόδοσης.....	82
6.2.4 Απλή περίοδος αποπληρωμής	82
6.2.5Ανηγμένη περίοδος αποπληρωμής	83
6.2.6 Αξιολόγηση οικονομικών δεικτών	83
6.3 Ανάλυση ευαισθησίας προς κρίσιμες παραμέτρους της επένδυσης.....	84
6.3.1Επιτόκιο τραπεζικού δανεισμού	84
6.3.3Πληθωρισμός.....	87
6.3.4 Ρυθμός Αύξησης της τιμής των καυσίμων.....	87
6.4 Συνολικό κέρδος της Ε.Π.Ε.Υ. και του ιδιοκτήτη του ξενοδοχείου	89
6.5 Συμπεράσματα.....	90
Βιβλιογραφία	92

Κεφάλαιο 1-Εισαγωγή στη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας

1.1 Η έννοια της συμπαραγωγής

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, ΖΝΧ ή/και ατμού. Όμως, η μέση απόδοση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι περίπου 35%, που σημαίνει ότι περίπου τα 2/3 της ενέργειας του καυσίμου χάνεται ως θερμότητα στο περιβάλλον. Αυτό, σε συνδυασμό με την καύση πρωτογενούς καυσίμου (πετρέλαιο, αέριο, κ.α.) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας με αποδόσεις από 70 - 90%, δημιουργούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η συνολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά εάν εφαρμοσθεί η *Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας* – ΣΗΘ (στα Αγγλικά: Cogeneration (Combined) Heat and Power, CHP).

Η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για τη θέρμανση του κτηρίου, την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης - ΖΝΧ όσο και για ψύξη, που επιτυγχάνονται με μηχανές απορρόφησης, που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό. Η τεχνολογία αυτή καλείται *Τριπαραγωγή* ή Trigenation (Combined Cool Heat and Power, CCHP). Σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 2004/8/EK, αλλά και τον Ν. 3734/09, η ΣΗΘ ορίζεται ως:

«η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής (ή/και μηχανικής) και χρήσιμης θερμικής/ψυκτικής ενέργειας από την ίδια αρχική ενέργεια, στο πλαίσιο μόνο μίας διεργασίας».

Μια τυπική σύγκριση, ως προς τον βαθμό απόδοσης, της ΣΗΘ με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας παρουσιάζει το σχήμα



Σχήμα 1.1(α). Συμβατικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 1.1(β). Συμβατικό σύστημα παραγωγής θερμικής ενέργειας



Σχήμα 1.1(γ).Βαθμός απόδοσης μονάδας ΣΗΘ

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 CO₂. 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][7]

1.2 Ιστορική αναδρομή

Η συμπαραγωγή πρωτοεμφανίστηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. γύρω στα 1890. Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα, οι περισσότερες βιομηχανίες είχαν δικές τους μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητα – στρόβιλο, που λειτουργούσαν με άνθρακα. Πολλές από τις μονάδες αυτές ήταν συμπαραγωγικές.

Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι περίπου το 58% του ηλεκτρισμού, που παραγόταν σε βιομηχανίες των Η.Π.Α. στις αρχές του αιώνα, προερχόταν από μονάδες συμπαραγωγής.

Κατόπιν ακολούθησε κάμψη κυρίως για δύο λόγους:

- α) ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού, που προσέφεραν σχετικά φθηνή και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια και
- β) διαθεσιμότητα υγρών καυσίμων και φυσικού αερίου σε χαμηλές τιμές, που έκανε τη λειτουργία λεβήτων οικονομικά συμφέρουσα.

Συνεχίζοντας με το παράδειγμα των Η.Π.Α., η βιομηχανική συμπαραγωγή μειώθηκε στο 15% του όλου δυναμικού ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το 1950 και έπεσε στο 5% μέχρι το 1974. Η κάμψη αυτή έχει πλέον αντιστραφεί σε ανάκαμψη όχι μόνον στις Η.Π.Α. αλλά και σε χώρες της Ευρώπης, στην Ιαπωνία κ.α., γεγονός το οποίο οφείλεται κυρίως στην απότομη αύξηση των τιμών των καυσίμων, από το 1973 και μετά.

Η ανοδική πορεία στη διάδοση της συμπαραγωγής συνοδεύτηκε και από αξιοσημείωτη πρόοδο της σχετικής τεχνολογίας. Οι βελτιώσεις και εξελίξεις συνεχίζονται και νέες τεχνικές αναπτύσσονται και δοκιμάζονται, αλλά ήδη η συμπαραγωγή έχει φθάσει σε επίπεδο ωριμότητας με αποδεδειγμένη αποδοτικότητα

και αξιοπιστία. Μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων, από πλευράς είδους, μεγέθους και λειτουργικών χαρακτηριστικών, είναι διαθέσιμη.

Στην Ευρώπη, μεγάλη ανάπτυξη της ΣΗΘ αναφέρεται στη Δανία, τη Φιλανδία, την Ολλανδία και σε άλλες χώρες 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 (κεραμοποιεία Τσαλαπάτα, Βόλος, που λειτουργήσε μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του 1970). 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 (Φ.Α.) στην Ελλάδα, αναδείχθηκαν οι δυνατότητες που προσφέρει η ΣΗΘ με χρήση Φ.Α.

Σήμερα, λειτουργούν μονάδες ΣΗΘ στη βιομηχανία, στον τριτογενή τομέα (κύρια σε ιδιωτικά νοσοκομεία και ξενοδοχεία, κα) και σε κατοικίες. [4]

1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ΣΗΘ

1.3.1 Πλεονεκτήματα ΣΗΘ

Η ΣΗΘ βελτιώνει την παροχή ενέργειας προς όλους τους καταναλωτές, ενώ ταυτόχρονα ωφελεί την Εθνική Οικονομία, αφού έχει:

- Αυξημένη απόδοση μετατροπής και χρήσης της Ενέργειας. Η ΣΗΘ είναι η πλέον αποτελεσματική και αποδοτική μορφή ηλεκτροπαραγωγής με την ταυτόχρονη παραγωγή θερμικής ενέργειας.
- Μικρότερες εκπομπές προς το περιβάλλον, ιδιαίτερα του CO₂, του σημαντικότερου αερίου στο οποίο οφείλεται η κλιματική αλλαγή.
- Σημαντική εξοικονόμηση οικονομικών πόρων, παρέχοντας πρόσθετη ανταγωνιστικότητα στη βιομηχανία και στις εμπορικές επιχειρήσεις, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα παρέχονται σε προσιτές τιμές.
- Σημαντική ευκαιρία ώστε να προωθηθούν αποκεντρωμένες λύσεις ηλεκτροπαραγωγής, όπου οι σταθμοί ΣΗΘ σχεδιάζονται να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, παρέχοντας υψηλή απόδοση, αποφεύγοντας απώλειες μεταφοράς και αυξάνοντας την ευελιξία στη χρήση του συστήματος. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όταν το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ως κύριο καύσιμο.
- Βελτιωμένη ασφάλεια παροχής, που μειώνει τις πιθανότητες οι καταναλωτές να μείνουν χωρίς ηλεκτρική ή/ και θερμική ενέργεια.

- Μειωμένη ανάγκη καυσίμων, σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγωγές.
- Αυξημένη απασχόληση, αφού η ανάπτυξη των συστημάτων ΣΗΘ δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.

1.3.1.1 Ελαχιστοποίηση εκπεμπόμενων ρύπων

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση ενός συστήματος συμπαραγωγής στην ποιότητα του αέρα του περιβάλλοντος, πρέπει να υπολογισθούν οι εκπομπές ρύπων του συστήματος συμπαραγωγής και οι εκπομπές των συμβατικών συστημάτων χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας παίρνοντας υπόψη το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιεί το καθένα από τα συστήματα αυτά. Στη συνέχεια παρατίθεται το σχήμα και που απεικονίζει την μείωση των βλαβερών ρυπογόνων ουσιών.

Παρατηρούμε πως όταν καύσιμο σε συστήματα συμπαραγωγής είναι το φυσικό αέριο, οι εκπομπές οξειδίων του θείου και στερεών σωματιδίων, που παρουσιάζονται από την καύση άνθρακα ή υγρών καυσίμων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, σχεδόν εξαφανίζονται.

Ρύπος	Συνολικοί ρυποί συστήματος συμπαραγωγής - συστημάτων χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας											
	1 - A		1 - B		2 - A		2 - B		3 - A		3 - B	
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%
CO ₂	- 51024	- 46,2	- 88458	- 59,9	- 62454	- 52,0	- 99888	- 63,4	- 70791	- 46,7	- 108225	- 57,2
NO _x	+ 812	+255,3	+ 802	+244,5	- 290	- 85,3	- 300	- 85,7	- 283	- 68,7	- 293	- 69,4
CO	+ 320	+524,6	+ 357	+1487	- 33	- 52,4	+ 4	+ 15,4	- 68	- 100,0	- 31	- 100,0
HC	+ 375	+ 1875	+ 388	+5543	- 15	- 75,0	- 2	- 28,6	+ 4	+ 18,2	+ 17	+188,9
SO _x	- 208	- 95,9	- 794	- 98,9	- 273	- 99,3	- 859	- 99,8	- 415	- 90,0	- 1001	- 95,6
Σωματίδια	- 44	- 91,7	- 40	- 90,9	- 51	- 91,1	- 47	- 90,4	- 77	- 91,7	- 73	- 91,3

Συστήματα συμπαραγωγής

1. Κινητήρας Diesel διπλού καυσίμου (90% της ενέργειας από φυσικό αέριο, 10% από καύσιμο Diesel) με $\eta_e = \eta_{th} = 0,35$ (PHR = 1).
2. Νέος ατμοστρόβιλος φυσικού αερίου με $\eta_e = 0,35$, $\eta_{th} = 0,45$, (PHR = 0,778).
3. Νέος ατμοστρόβιλος φυσικών αερίων με $\eta_e = 0,25$, $\eta_{th} = 0,55$, (PHR = 0,455).

Συστήματα χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας

- A. Ατμοστρόβιλος με καύσιμο Diesel και βιομηχανικός ατμολέβητας με καύσιμο μαζούτ.
- B. Νέος ατμοστρόβιλος με καύσιμο άνθρακα και βιομηχανικός ατμολέβητας με καύσιμο μαζούτ.

Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει μείωση εκπομπών με τη συμπαραγωγή.
Τα ποσοστά προσδιορίστηκαν με βάση αναγωγή τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Σχήμα 1.2 Παραδείγματα σύγκρισης εκπομπών μεταξύ συστημάτων συμπαραγωγής και συμβατικών τρόπων παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (Οι τιμές αναφέρονται σε παραγωγή 100kWh ηλεκτρικής ενέργειας)

1.3.2 Μειονεκτήματα ΣΗΘ

• Όλα τα συστήματα συμπαραγωγής εξοικονομούν το καύσιμο διότι έχουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης από την χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Όμως αν ένα σύστημα συμπαραγωγής εξοικονομεί ακριβό εισαγόμενο καύσιμο, πχ πετρέλαιο, εξαρτάται από το καύσιμο που το ίδιο το σύστημα συμπαραγωγής χρησιμοποιεί, και τα καύσιμα που χρησιμοποιούν τα συστήματα χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, τα οποία θα αντικατασταθούν από το σύστημα συμπαραγωγής. Η

επιλογή των συστημάτων συμπαραγωγής και των καυσίμων, που αυτά χρησιμοποιούν είναι σκόπιμο να εναρμονίζεται με μια γενικότερη εθνική ενεργειακή πολιτική.

- Είναι ενδεχόμενο να δημιουργήσουν προβλήματα αστάθειας του δικτύου. Τα προβλήματα αυτά περιορίζονται ή αποφεύγονται όταν το σύστημα συμπαραγωγής και η σύνδεση του με το δίκτυο πληρούν ορισμένες προδιαγραφές. Η συνεννόηση με τις αρμόδιες υπηρεσίες της ΔΕΗ είναι απαραίτητη προς το σκοπό αυτό.

- Η εξάπλωση της συμπαραγωγής 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 τον 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. Ένα τέτοιο ενδεχόμενο δεν φαίνεται να υπάρχει για την Ελλάδα διότι αφ' ενός μεν μέρος των αναγκών καλύπτεται με εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αφ' ετέρου δε το αναπτυξιακό πρόγραμμα της ΔΕΗ είναι κυλιόμενο, δηλαδή αναθεωρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα και επομένως μπορεί να προσαρμόζεται στις νέες συνθήκες.

- Όταν πολλές μικρές και διεσπαρμένες μονάδες συμπαραγωγής αντικαθιστούν μεγάλους κεντρικούς σταθμούς με υψηλές καπνοδόχους, τότε δεν είναι εξασφαλισμένη η βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Οι κεντρικοί σταθμοί βρίσκονται κατά κανόνα έξω από τα αστικά κέντρα και οι υψηλές καπνοδόχοι συντελούν σε ικανοποιητικό διασκορπισμό των ρύπων. Αντίθετα, οι μικρές μονάδες συμπαραγωγής, που έχουν και σχετικά χαμηλότερες καπνοδόχους, είναι εγκατεστημένες κοντά ή και μέσα στις κατοικημένες περιοχές επιβαρύνοντας το περιβάλλον τους.

- Η διακίνηση των καυσίμων και η απομάκρυνση των στερεών καταλοίπων της καύσης μπορεί να προκαλέσει ρύπανση του εδάφους και των υδάτων της περιοχής. Τέλος, ο θόρυβος τόσο από τη λειτουργία του ίδιου του συστήματος συμπαραγωγής όσο και από την κίνηση, που αναπτύσσεται για την εξυπηρέτησή του, αυξάνει την ηχητική ρύπανση.

1.3.2.1 Προβλήματα διασύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Η ΔΕΗ διαθέτει πλήρη έλεγχο του συστήματος από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ως την εξυπηρέτηση του καταναλωτή, περιλαμβανομένων και των ενεργειών βραχυχρόνιου και μακροχρόνιου προγραμματισμού. Έτσι η παρουσία του συμπαραγωγού έχει ορισμένες αρνητικές συνέπειες, όπως:

- Μειώνει τον έλεγχο της εταιρείας πάνω στο σύστημα και δυσχεραίνει τις ενέργειες του προγραμματισμού ιδιαίτερα του μακροπρόθεσμου.

- Μειώνει το συντελεστή φορτίου της εταιρείας .

- Εισάγει ένα στοιχείο αβεβαιότητας σε σχέση με τη συνολική αξιοπιστία του συστήματος .

- Αναγκάζει, σε ορισμένες τουλάχιστον περιπτώσεις, την εταιρεία να αγοράζει το πλεόνασμα του συμπαραγωγού σε μια τιμή η οποία άλλοτε είναι διαπραγματεύσιμη κι άλλοτε επιβάλλεται από κανονιστικές διατάξεις.

- Μείωση των εσόδων της εταιρείας με πιθανές αρνητικές οικονομικές επιπτώσεις στο μέσο καταναλωτή, π.χ. αύξηση τιμής της KWh.

1.4 Εφαρμογές της συμπαραγωγής

Οι εφαρμογές της συμπαραγωγής διακρίνονται σε τέσσερις κύριους τομείς :

- σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας
- βιομηχανικός τομέας
- εμπορικός – κτιριακός τομέας
- αγροτικός τομέας

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τον τριτογενή τομέα, ο οποίος περιλαμβάνει ξενοδοχεία, νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα, σχολεία, κτίρια γραφείων, κατοικίες, κλπ. Η συμπαραγωγή καλύπτει τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό και θερμότητα των κτιρίων δηλαδή θέρμανση ή ψύξη χώρων, θερμό νερό χρήσης και κλίβανους. Ο εμπορικός - κτιριακός τομέας μπορεί να διακριθεί σε τρεις κύριους υποτομείς:

α) νοσοκομεία και ξενοδοχεία,

β) πολυκατοικίες,

γ) κτίρια γραφείων

Ο καθένας από αυτούς χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη μορφή της καμπύλης φορτίου.

Άλλου είδους κτίρια π.χ. πανεπιστήμια, καταστήματα, κλπ έχουν καμπύλες φορτίου, που προκύπτουν με συνδυασμό των τριών κύριων υποτομέων. Η συμπαραγωγή εξυπηρετεί εδώ τις ανάγκες όχι μόνο για θέρμανση και ηλεκτρισμό, αλλά και ψύξη.

Οι καμπύλες φορτίου πρέπει να ληφθούν υπόψη, τόσο κατά τη μελέτη σκοπιμότητας, όσο και κατά τον τελικό σχεδιασμό του συστήματος συμπαραγωγής.

Σε τοπικό επίπεδο, κατάλληλες για εξυπηρέτηση των κτιρίων π.χ. κατοικιών, σχολείων, νοσοκομείων, ξενοδοχείων, εμπορικών κέντρων, κλπ είναι οι μονάδες συμπαραγωγής σε μορφή πακέτου.

Γενικότερα, για μικρές εγκαταστάσεις, μια φθηνή λύση με εύκολη συντήρηση προσφέρουν οι μηχανές αυτοκινήτων, αφού υποστούν μικρές μετατροπές, που έχουν σχέση κυρίως με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο π.χ. φυσικό αέριο αντί βενζίνης και το σύστημα ρύθμισης και ελέγχου. Μειονέκτημα αυτών είναι η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής τους 20000 - 30000 ώρες. Μεγαλύτερες μηχανές βιομηχανικού τύπου, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αλλά και μεγαλύτερο αρχικό κόστος.

Από πλευράς γεννήτριας, ο πιο συνηθισμένος τύπος στα μικρά μεγέθη είναι η ασύγχρονη γεννήτρια, που διεγείρεται από το δίκτυο, το οποίο καθορίζει την τάση και τη συχνότητά της. Όμως, αυτός ο τύπος μπορεί να λειτουργεί παράλληλα με το δίκτυο, αλλά παύει να παράγει ισχύ μόλις η τάση του δικτύου μηδενισθεί. Σύγχρονες γεννήτριες και αυτοδιεγειρόμενες ασύγχρονες, μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα από την κατάσταση του δικτύου.

Ο ετεροχρονισμός μεταξύ ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου στις κατοικίες, καθώς και η μεταβολή της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη διάρκεια του 24ώρου, κάνουν συχνά αναγκαία την ύπαρξη συστήματος αποθήκευσης θερμότητας, προκειμένου να επιτευχθεί οικονομική εκμετάλλευση του συστήματος συμπαραγωγής.

Από αναλύσεις έχει αποδειχτεί ότι τα κατάλληλα κτίρια για εφαρμογές συμπαραγωγής είναι τα κέντρα υγείας, τα ξενοδοχεία συνεχούς λειτουργίας και γενικότερα τα μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα, ενώ μακροπρόθεσμα η χρήση μπορεί να επεκταθεί και στον οικιακό τομέα.

1.5 Νομοθεσία για συμπαραγωγή στην Ελλάδα

Η συμπαραγωγή δίνει στον καταναλωτή σημαντική δυνατότητα της κάλυψης των τελικών ενεργειακών του αναγκών, αλλά και στον παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας τη δυνατότητα παραγωγής με πολύ υψηλότερη θερμοδυναμική απόδοση απ' ό,τι οι παραδοσιακές μέθοδοι. Επομένως θα έπρεπε, λογικά, η ευρύτατη διάδοση των τεχνολογιών της συμπαραγωγής να εξαρτάται κυρίως από την οικονομικότητα των εμπορικά διαθέσιμων τεχνολογιών και η προσπάθεια να κατευθύνεται προς τη σταδιακή μείωση του κόστους των συστημάτων αυτών, ώστε να αυξάνει το επιχειρηματικό ενδιαφέρον. Αυτό όμως δε συνέβαινε για αρκετά χρόνια στην Ελλάδα, αφού μόνο τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση, κυρίως με τους νόμους 3468/2006 και 3851/2010. Ακολουθεί μία μικρή ανάλυση της νομοθεσίας διαχρονικά.

Ο Ν.2244/94 ουσιαστικά καθόρισε την απελευθέρωση, εν μέρει, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες παραγωγής ισχύος μέχρι 50 MWe, οι οποίες αξιοποιούν ΑΠΕ 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 Η.Ε. οριζόταν βάσει του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ και προβλεπόταν ίση με το 60% του σκέλους ενέργειας. Στην περίπτωση της ανεξάρτητης ηλεκτροπαραγωγής με μονάδες ΣΗΘ καύσης ΦΑ, η τιμή αγοράς καθοριζόταν βάσει του τιμολογίου της ΔΕΗ και περιείχε σκέλος ενέργειας (70% του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ) και σκέλος ισχύος (70% του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ). Σχετικά με τις άδειες ο Νόμος προέβλεπε τη γνωμοδότηση της ΔΕΗ για την απορρόφηση της Η.Ε. και των προϋποθέσεων σύνδεσης στο Δίκτυο, διατάξεις του καταργήθηκαν με το Ν.2773/99.

Με το Ν.2273/1999 ρυθμίζονταν και θέματα ΣΗΘ, σύμφωνα με το πνεύμα της Οδηγίας 96/92/ΕΚ, την οποία ο νόμος ενσωμάτωσε στο εθνικό θεσμικό πλαίσιο. Με τον νόμο προβλεπόταν η δυνατότητα να δίνεται προτεραιότητα από την κατανομή για τη συμπαραγόμενη Η.Ε. και καθορίζονταν τα ελάχιστα κριτήρια απόδοσης για μονάδες ΣΗΘ. Επίσης, ο νόμος, εισήγαγε νέες ρυθμίσεις σχετικά με την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενης από ΑΠΕ ή ΣΗΘ.

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.

Η ΚΥΑ αυτή τροποποιεί και συμπληρώνει την αντιστοίχιση των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία.

Η ΚΥΑ έλυσε το χρόνιο πρόβλημα με την αδειοδότηση της ΣΗΘ σε κτήρια, που προηγούμενα απαγορευόταν λόγω όχλησης.

Η Κοινοτική Οδηγία 2004/8/ΕΚ 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, κατηγοριοποιώντας τα συστήματα ΣΗΘ ανάλογα με την ισχύ τους σε πολύ μικρή ΣΗΘ (έως 50 kWe), μικρή ΣΗΘ (έως 1 MWe) και ΣΗΘ (>1 MWe).

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

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

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 ΣΗΘΥΑ, ως προς το όριο του 1 MWe (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 ΣΗΘΥΑ, σχετικά με την περιβαλλοντική έγκριση.

Ο νόμος Ν. 3851/2010 με τίτλο «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» προωθεί την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. (Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης) ως εξής:

α) Καθορίζει σαφώς την έννοια του παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας όπως φαίνεται:

Παραγωγός από Α.Π.Ε ή Σ.Η.Θ.Υ.Α : Ο παραγωγός που παράγει ηλεκτρική

ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε) ή από μονάδες

Συμπαραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης

Αυτοπαραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε ή Σ.Η.Θ.Υ.Α : Ο Παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από μονάδες Α.Π.Ε ή Σ.Η.Θ.Υ.Α κυρίως για δική του

χρήση και διοχετεύει τυχόν πλεόνασμα της ενέργειας αυτής στο Σύστημα ή στο Δίκτυο.

Αυτόνομος Παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε :Ο Παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από Α.Π.Ε και του οποίου ο σταθμός δεν είναι συνδεδεμένος με το Σύστημα ή το Δίκτυο.(Ο ορισμός αυτός επεκτείνεται έμμεσα και για τις μονάδες συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης)

β) Η άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. χορηγείται για χρονικό διάστημα μέχρι είκοσι έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρόνο. Όμως οι παραγωγοί με Σ.Η.Θ.Υ.Α. έως 1 MW εγκατεστημένης ισχύος απαλλάσσονται από την υποχρέωση της άδειας

γ) Καθορίζεται η τιμή της πωλούμενης στο Δίκτυο ενέργειας, συναρτήσει της τιμής του φυσικού αερίου ως εξής:

Τιμή Ενέργειας (€/MWh)= 87,85*ΣΡ.

ΣΡ είναι ο συντελεστής ρήτρας φυσικού αερίου ο οποίος ορίζεται ως εξής:

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

Όπου:

M.T.Φ.Α.: η ανά τρίμηνο μέση μοναδιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου για συμπαραγωγή σε €/MWh ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) στους χρήστες Φ.Α. στην Ελλάδα, εξαιρουμένων των πελατών ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή αυτή ορίζεται με μέριμνα της Δ.Ε.Π.Α. Α.Ε. και κοινοποιείται ανά τρίμηνο στον Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε.

η_{el} : ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της διάταξης Σ.Η.Θ.Υ.Α. επί ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) φυσικού αερίου, η οποία ορίζεται σε 0,33 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α. $\leq 1\text{MWe}$, και σε 0,35 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α. $> 1\text{MWe}$. Η τιμή του ΣΡ δεν μπορεί να είναι μικρότερη της μονάδας.

Όπως φαίνεται τα πλεονεκτήματα των συστημάτων Σ.Η.Θ. με καύση φυσικού αερίου στην Ελλάδα παρουσίασαν κάποια εμπόδια στη διάδοσή τους, κυρίως λόγω της ελλιπούς ενημερώσεως και υποστηρίξεως επενδυτών, καθώς και λόγω οικονομικής και επιχειρηματικής αδράνειας. Πλέον, όμως, υπάρχουν στελέχη επιχειρήσεων την απαραίτητη γνώση του αντικειμένου, ενώ υπάρχει και εξειδικευμένο προσωπικό για τη λειτουργία αυτών των συστημάτων . Οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις δε δυσκολεύονται πια στην ετοιμασία του φακέλου μιας προτάσεως προς έγκριση και ενδεχομένως και χρηματοδότηση. Ακόμη, το ύψος της αρχικής επένδυσης μειώνεται διαρκώς, ενώ στην τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει συγκεκριμένη πολιτική .

Πλέον μπορούν να λειτουργήσουν σχήματα χρηματοδότησης από τρίτους (Third Party Financing) και οι εταιρίες παροχής ενεργειακών υπηρεσιών (Ε.Π.Ε.Υ. ή στα αγγλικά Energy Service Companies). Επιπλέον λόγω πρόσφατου νομικού πλαισίου, διευκολύνεται η συμπαραγωγή σε Βιομηχανικές Περιοχές ή κοινοπραξίες επιχειρήσεων. Η συμπαραγωγή από ανεξάρτητους παραγωγούς επιτρέπεται όχι μόνον με τη χρήση φυσικού αερίου, αλλά και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με το ρόλο της Δ.Ε.Η. να είναι ιδιαίτερος αποδυναμωμένος.

Κεφάλαιο 2 – Σύγχρονες τεχνικές Συμπαραγωγής και Τριπαραγωγής

2.1. Εισαγωγή

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

Οι συνηθέστερες μονάδες ΣΗΘ για κτήρια, είναι οι ακόλουθες:

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

Οι κυριότεροι τρόποι λειτουργίας ενός συστήματος συμπαραγωγής, δηλαδή οι τρόποι ρυθμίσεως της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος σε κάθε χρονική στιγμή, είναι οι ακόλουθοι:

α) Παραγωγή θερμότητας ίσης με το θερμικό φορτίο (‘‘heat match’’).

Έχουμε παραγωγή περισσότερης (ή λιγότερης) ηλεκτρικής ενέργειας από το φορτίο, η περίσσεια (ή το έλλειμμα) πωλείται (ή αγοράζεται) στο (από το) εθνικό δίκτυο.

β) Παραγωγή ηλεκτρισμού ίσου με το ηλεκτρικό φορτίο (‘‘electricity match’’).

Εάν προκύψει ανάγκη βοηθητικός λέβητας συμπληρώνει τις πρόσθετες ανάγκες σε θερμότητα, ενώ η περίσσεια θερμότητα αποβάλλεται σε ψυγεία.

γ) Μικτός τρόπος. Έχουμε δηλ. την εμφάνιση είτε της α΄ περιπτώσεως είτε της β΄.

δ) Πλήρης κάλυψη του θερμικού και του ηλεκτρικού φορτίου σε κάθε χρονική στιγμή.

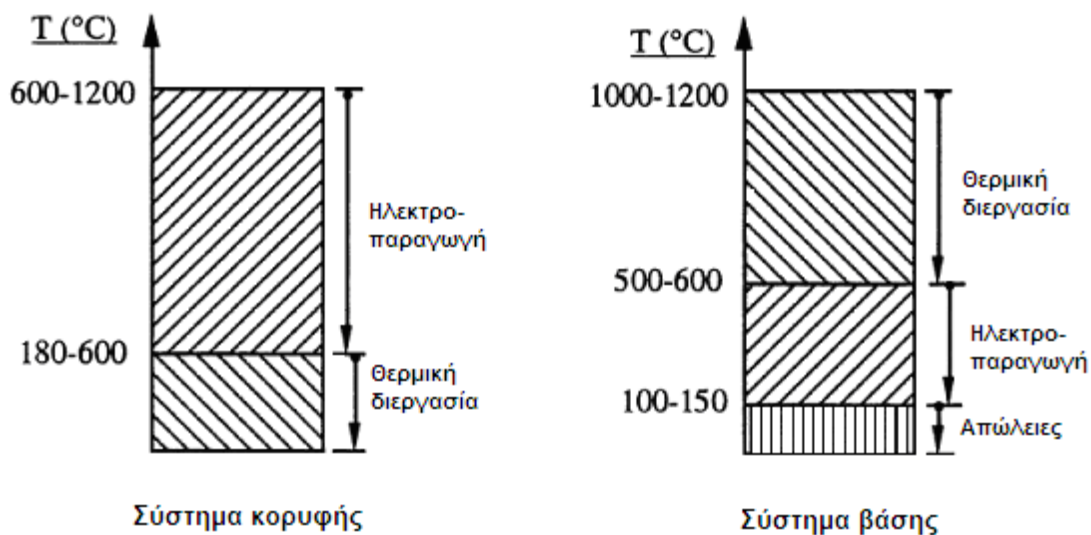
Απαιτείται μεγάλη επάρκεια εφεδρικής ισχύος και επομένως περίπλοκο σύστημα συμπαραγωγής, με αποτέλεσμα την αύξηση του αρχικού κόστους καθιστώντας τον τρόπο αυτό ως τον πιο ακριβό.

Κατά κανόνα, ο πρώτος τρόπος προσφέρει την υψηλότερη ενεργειακή και οικονομική απόδοση για συστήματα στο βιομηχανικό και τον εμπορικό τομέα. Η τελική, όμως, επιλογή του τρόπου λειτουργίας εξαρτάται από τις ανάγκες του δικτύου, τις διαθέσιμες μονάδες καθώς και τις υποχρεώσεις απέναντι στους καταναλωτές.

Επίσης, τα περισσότερα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να χαρακτηριστούν είτε ως συστήματα «κορυφής» (topping systems ή «αιχμής») είτε ως συστήματα «βάσης» (bottoming 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 την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα κορυφής είναι τα πιο διαδεδομένα στον εμπορικό τομέα.

Στα συστήματα βάσης, παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας και κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται συνήθως σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας, όπου παράγεται ατμός που κινεί αμοστροβιλογεννήτρια. Επίσης, είναι δυνατόν τα θερμά αέρια να διοχετευτούν σε αεριοστρόβιλο, που κινεί την ηλεκτρογεννήτρια χωρίς την παρεμβολή λέβητα.



Σχήμα 2.1 Ενδεικτικές θερμοκρασιακές στάθμες συστημάτων συμπαραγωγής

Υπάρχουν τέσσερις τύποι συστημάτων συμπαραγωγής κύκλου αιχμής.

Στον πρώτο τύπο τα καύσιμα καταναλώνονται σε έναν αεριοστρόβιλο ή μια μηχανή diesel για την παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ισχύος. Τα καυσαέρια παρέχουν θερμότητα για διεργασίες, ή οδηγούνται σε ένα λέβητα ανάκτησης θερμότητας όπου παράγεται ατμός για τη λειτουργία ενός δευτερεύοντος αμοστροβιλου. Αυτό είναι ένα σύστημα αιχμής συνδυασμένου κύκλου.

Ο δεύτερος τύπος συστήματος καταναλώνει καύσιμα (οποιοδήποτε είδους) για την παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης που στη συνέχεια οδηγείται σε αμοστρόβιλο παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Η εξαγωγή παρέχει ατμό διεργασιών χαμηλής πίεσης. Αυτό είναι ένα αμοστροβιλικό σύστημα αιχμής.

Ο τρίτος τύπος καταναλώνει καύσιμα όπως είναι το φυσικό αέριο, το diesel, τα ξύλα, ο αεριοποιημένος άνθρακας, ή το αέριο ΧΥΓΑ. Το ζεστό νερό από το σύστημα ψύξης των χιτωνίων της μηχανής οδηγείται σε έναν λέβητα ανάκτησης θερμότητας, όπου μετατρέπεται σε ατμό διεργασιών και ζεστό νερό για θέρμανση χώρων.

Ο τέταρτος τύπος είναι ένα αεριοστροβιλικό σύστημα αιχμής. Ένας στρόβιλος φυσικού αερίου οδηγεί μια γεννήτρια και τα καυσαέρια οδηγούνται σε ένα λέβητα ανάκτησης θερμότητας όπου παράγεται ατμός και θερμότητα διεργασιών. Σε μία μονάδα κύκλου αιχμής χρησιμοποιούνται πάντοτε κάποια πρόσθετα καύσιμα, πέραν αυτών που απαιτούνται για την παραγωγική διεργασία, και έτσι υφίσταται ένα λειτουργικό κόστος που σχετίζεται με την ηλεκτροπαραγωγή.

Τα συστήματα «βάσης» είναι πολύ λιγότερο συνηθισμένα από τα αντίστοιχα «κορυφής». Τέτοια συστήματα συναντώνται σε βαριές βιομηχανίες, όπως αυτές του γυαλιού ή οι μεταλλουργικές, όπου χρησιμοποιούνται φούρνοι πολύ υψηλών θερμοκρασιών.

Ένας λέβητας ανάκτησης της απόβλητης θερμότητας συλλέγει τη θερμότητα που αποβάλλεται από κάποια θερμική παραγωγική διεργασία. Αυτή η απορριπτόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να παραχθεί ατμός οποίος κινεί έναν αμοστρόβιλο που παράγει ηλεκτρισμό. Δεδομένου ότι το καύσιμο καίγεται πρώτα κατά την παραγωγική διεργασία, δεν απαιτείται καμία πρόσθετη ποσότητα καυσίμου για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα συστήματα συμπαραγωγής συνήθως ταξινομούνται βάσει του κινητήρα (prime mover), της γεννήτριας και του καυσίμου που χρησιμοποιούν.

2.2 Συστήματα αμοστροβίλου

Αποτελείται από μια πηγή θερμότητας (heat source), τον αμοστρόβιλο και τη διάταξη απομάκρυνσης θερμότητας (heat sink). Ο θερμοδυναμικός κύκλος του αμοστροβίλου είναι ο κύκλος Rankine, παρόλο που εφαρμόζονται και κάποιοι άλλοι, όπως οι κύκλοι αναθέρμανσης και αναγέννησης, και ο συνδυασμένος κύκλος. Ο κύκλος Rankine είναι ο βασικός κύκλος των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Ο αμοστρόβιλος μπορεί να αποτελείται από πολλές βαθμίδες, κάθε μία από τις οποίες μπορεί να οριστεί με την ανάλυση της εκτόνωσης του ατμού από μία υψηλότερη σε μία χαμηλότερη πίεση.

Είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής και οι συνθήκες λειτουργίας τους ποικίλλουν μέσα σε ένα μεγάλο εύρος. Σε εφαρμογές συμπαραγωγής, η πίεση του ατμού κυμαίνεται από μερικά bar μέχρι 100 bar (σε μεγάλες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να χρησιμοποιηθούν και υψηλότερες πιέσεις). Η θερμοκρασία του ατμού φτάνουν μέχρι και 450°C (σε μεγάλες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής μέχρι 540°C).

Είναι κατάλληλα για ισχυρές 500kW-100MW ή και μεγαλύτερες. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καύσιμο. Ακόμη και στερεά απόβλητα καίγονται σε ειδικούς λέβητες εφοδιασμένους με συστήματα κατακράτησης ή και εξουδετέρωσης ρύπων και τοξικών ουσιών, που δημιουργούνται κατά την καύση.

Ο βαθμός απόδοσης φθάνει το 60-85% και δεν πέφτει έντονα κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο (δηλ. φορτίου μικρότερο του ονομαστικού). Όμως, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι χαμηλός (15-20%), που συντελεί σε μικρό λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR = 0.1-0.5). Γενικά όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του ατμού που απαιτείται για τις θερμικές διεργασίες, τόσο χαμηλότερος είναι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης. Αύξηση του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης μέχρι ενός σημείου μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση της πίεσης και θερμοκρασίας του ατμού στην είσοδο του αμοστροβίλου.

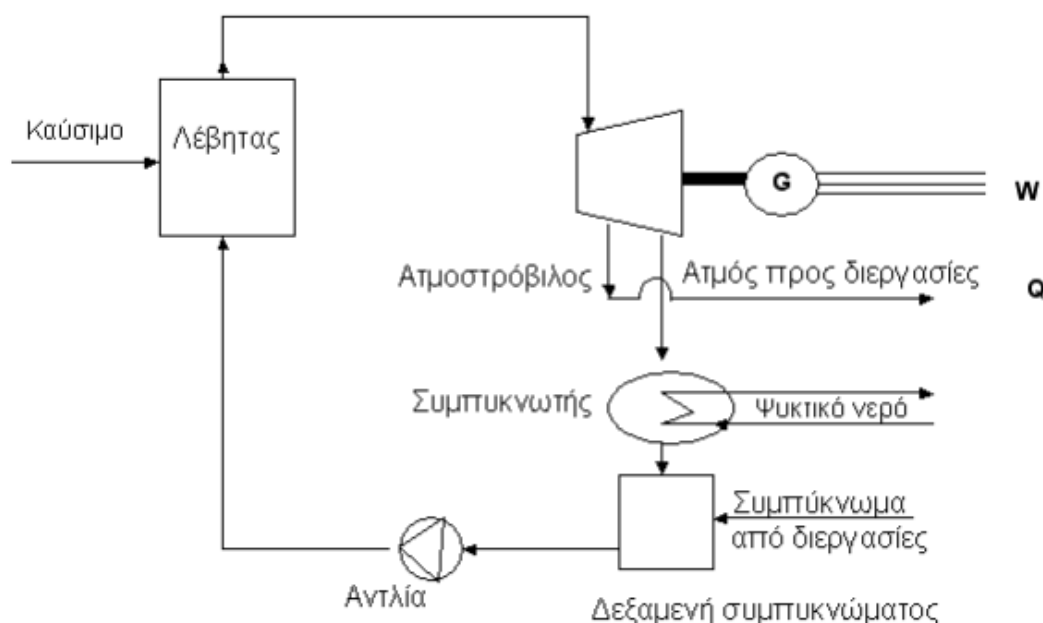
Τα συστήματα αμοστροβίλου έχουν υψηλή αξιοπιστία, που φτάνει το 95%, υψηλή διαθεσιμότητα (90-95%) και μεγάλη διάρκεια ζωής (25-35 έτη). Όμως, ο χρόνος εγκατάστασης είναι σχετικά μεγάλος: 12-18 μήνες για μικρές μονάδες και μέχρι τρία έτη για μεγαλύτερα συστήματα.

Υπάρχουν τέσσερις βασικές διατάξεις συστημάτων της κατηγορίας αυτής: το σύστημα συμπαραγωγής με αμοστρόβιλο αντίθλιψης, όπου ο ατμός εξέρχεται του στροβίλου σε πιέσεις υψηλότερες της ατμοσφαιρικής, το σύστημα συμπαραγωγής με αμοστρόβιλο απομάστευσης, όπου ο ατμός εξέρχεται του στροβίλου σε πιέσεις χαμηλότερες της ατμοσφαιρικής, το σύστημα με αμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης (Bottoming Cycle) και το σύστημα με αμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης Rankine με οργανικά ρευστά (Bottoming Rankine Cycle ή Organic Rankine Cycle, ORC).

2.2.1 Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

Ατμός υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας παράγεται σε λέβητα με κατανάλωση καυσίμου και χρησιμοποιείται για την κίνηση ατμοστρόβιλου στον άξονα του οποίου είναι συνδεδεμένη η ηλεκτρογεννήτρια. Ο ατμός βγαίνει από τον στρόβιλο σε πίεση και θερμοκρασία κατάλληλη για τις θερμικές διεργασίες. Ο όρος αντίθλιψη οφείλεται στο ότι η πίεση αυτή είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής (3-20 bar). Απομάστευση μέρους του ατμού από ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές πιέσεις είναι επίσης δυνατή.

Το σύστημα αντίθλιψης είναι απλό σε μορφή, έχει μικρό κόστος, μειωμένη ή καθόλου ανάγκη ψυκτικού νερού και υψηλό βαθμό απόδοσης (περίπου 85%). Όμως η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι στενά συνδεδεμένη με την απαιτούμενη θερμότητα.

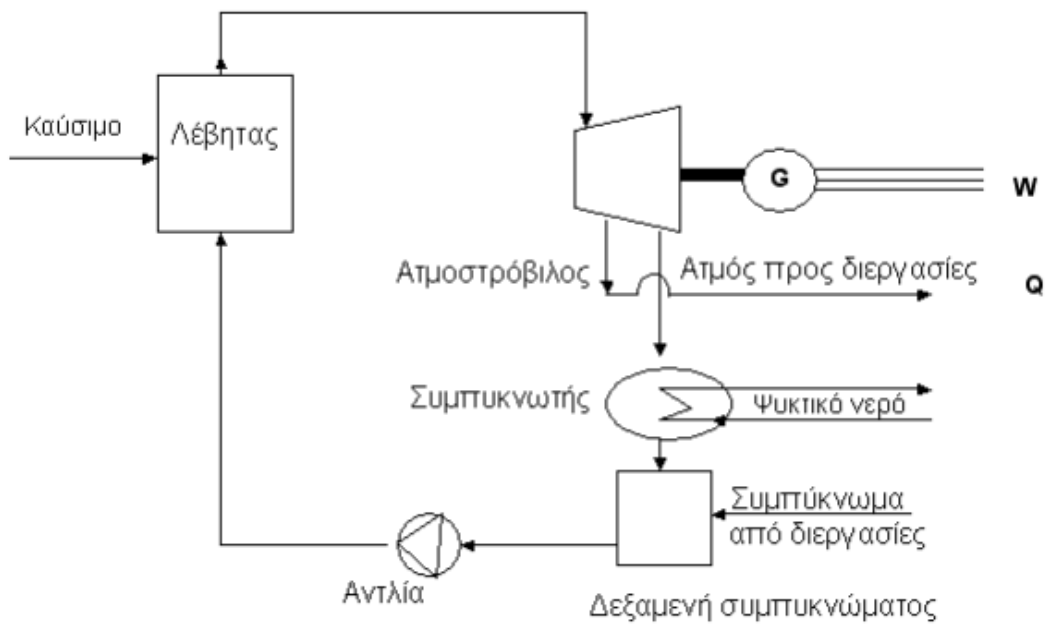


Σχήμα 2.2 Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

2.2.2 Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης

Μέρος του ατμού απομαστεύεται από μια ή περισσότερες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές πιέσεις, ενώ ο υπόλοιπος αποτονώνεται μέχρι τη πίεση του συμπυκνωτή που είναι 0,05-0,10 bar (αντιστοιχεί σε θερμοκρασία συμπύκνωσης περίπου 33°C).

Τα συστήματα απομάστευσης έχουν βαθμό απόδοσης περίπου 80% και τη δυνατότητα ανεξάρτητης (μέσα σε ορισμένα όρια) ρύθμισης της θερμικής και ηλεκτρικής ισχύος.

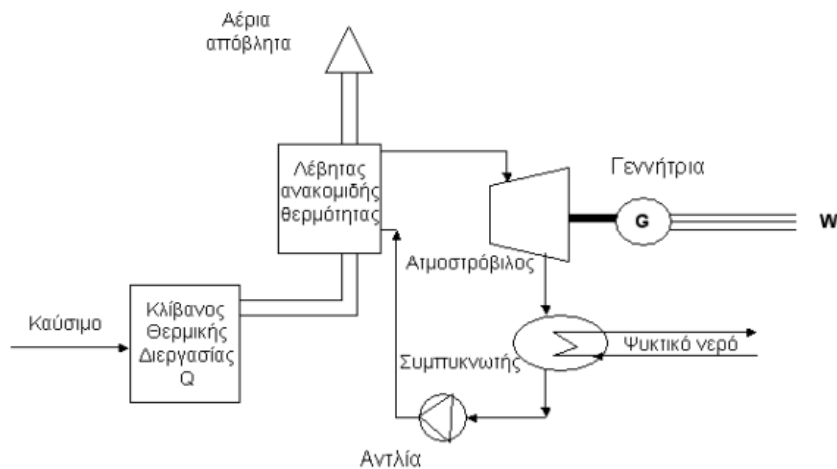


Σχήμα 2.3 Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης

2.2.3 Σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού

Αρκετές βιομηχανίες έχουν αέρια απόβλητα υψηλής θερμοκρασίας (1000-1200°C). Μετά τη θερμική διεργασία τα αέρια έχουν ακόμα υψηλή θερμοκρασία(500-600°C) και αντί να αποβληθούν στην ατμόσφαιρα, μπορούν να περάσουν μέσα από λέβητα ανακομιδής θερμότητας (heat recovery steam generator, HRSG), όπου παράγεται ατμός που κινεί μια ατμοστροβιλογεννήτρια.

Τυπική περιοχή τιμών του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης είναι 5-15%. Είναι μεν χαμηλός, αλλά ο ηλεκτρισμός παράγεται από θερμότητα που διαφορετικά θα χανόταν, χωρίς πρόσθετη κατανάλωση καυσίμου.



Σχήμα 2.4 Σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού

2.2.4 Σύστημα συμπαραγωγής σε κύκλο βάσης Rankine με οργανικά ρευστά (organic Rankine cycles, ORC).

Στον κύκλο βάσης του σχήματος 2.6, το μέσο είναι το νερό, το οποίο εξατμίζεται με ανακομιδή θερμότητας σε υψηλή θερμοκρασία (500°C ή μεγαλύτερη). Όμως στην περίπτωση που η διαθέσιμη θερμότητα βρίσκεται σε χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες (80-300°C), μπορούν να χρησιμοποιηθούν οργανικά ρευστά (π.χ. τολουένη), βελτιώνοντας την απόδοση του συστήματος. Τα οργανικά υγρά έχουν δύο βασικά μειονεκτήματα έναντι του νερού: (i) είναι πιο ακριβά από το νερό, οπότε οποιαδήποτε απώλεια του ρευστού οδηγεί σε σημαντικά έξοδα και (ii) οργανικά ρευστά, όπως η τολουένη, θεωρούνται επικίνδυνα, οπότε απαιτείται ο κατάλληλος εξοπλισμός προστασίας.

Έχουν ισχύ από 2 kW έως 10 MW και ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης χαμηλό (10 - 30%), που εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία είναι διαθέσιμη η θερμότητα. Το σημαντικό με αυτό το σύστημα είναι το γεγονός ότι παράγουν επιπλέον ισχύ χωρίς την χρήση περισσότερου καυσίμου. Ο χρόνος εγκατάστασης μονάδων μέχρι 50 kW είναι 4 – 8 μήνες, ενώ για μεγαλύτερες αυξάνεται στα 1-2 χρόνια. Δεν υπάρχουν στατιστικά δεδομένα για την αξιοπιστία του συστήματος, καθώς δεν είναι ακόμα ώριμη τεχνική. Η διαθεσιμότητά του εκτιμάται από 80% - 90% και η διάρκεια ζωής του 20 χρόνια.

2.3 Συστήματα αεριοστροβίλου

Είναι από τα πιο διαδεδομένα συστήματα για μεσαίες ή μεγαλύτερες ισχείς (κυμαίνονται από μερικές εκατοντάδες kilowatts μέχρι μερικές εκατοντάδες MW). Πρόσφατες έρευνες στοχεύουν στην ανάπτυξη των micro turbines, που έχουν ισχύ μερικά kilowatts. Οι τυποποιημένες μονάδες έχουν συμβάλει στην εξάπλωση αυτού του συστήματος.

Υπάρχουν δύο βασικές διατάξεις: ανοικτού και κλειστού κύκλου.

2.3.1 Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου

Ο θερμοδυναμικός κύκλος που σχετίζεται με την πλειοψηφία των αεριοστροβλικών συστημάτων είναι ο κύκλος Brayton (γνωστός και ως Joule cycle), στον οποίο ο ατμοσφαιρικός αέρας, που είναι το εργαζόμενο μέσο, διέρχεται από τον στρόβιλο μόνο μία φορά. Οι θερμοδυναμικές διεργασίες του κύκλου Brayton περιλαμβάνουν τη συμπίεση του ατμοσφαιρικού αέρα, την εισαγωγή και ανάφλεξη του καυσίμου, και την εκτόνωση των θερμών καυσαερίων μέσω του στροβίλου. Η αναπτυσσόμενη ισχύς χρησιμοποιείται για την κίνηση του συμπιεστή και της ηλεκτρογεννήτριας.

Οι περισσότερες αεριοστροβλικές μονάδες είναι ανοικτού τύπου: αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης. Τα καυσαέρια αποτονώνονται στον αεριοστρόβιλο (που κινεί τη γεννήτρια), από τον οποίο βγαίνουν με θερμοκρασία 300-600 oC. Η σημαντική ισχύς που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή και η υψηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι οι κύριες αιτίες του μικρού βαθμού απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (25-35% και σε σύγχρονες προηγμένες μονάδες 40%).

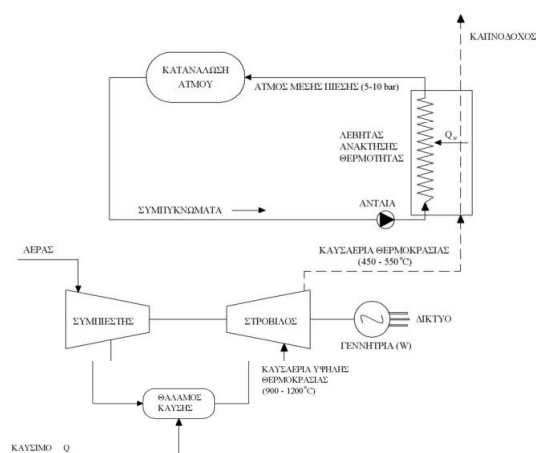
Η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων κάνει τις μονάδες αυτές ιδανικές για συμπαραγωγή αυξάνοντας το βαθμό απόδοσης στο 60-80%. Η εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων γίνεται είτε με άμεση χρήση σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση, ξήρανση, κ.λ.π.), είτε με διοχέτευση αυτών σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας (λέγεται και λέβητας καυσαερίων).

Εκεί παράγεται ατμός υψηλών χαρακτηριστικών, που είναι κατάλληλος όχι μόνο για θερμικές διεργασίες αλλά και για την κίνηση αμοστροβίλου συνδεδεμένου με γεννήτρια ή άλλο μηχάνημα (σύστημα συνδυασμένου κύκλου). Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου έχουν ισχύ 100kW-100MW. Λειτουργούν συνήθως με φυσικό αέριο ή ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου, ενώ ευοίωνες παρουσιάζονται οι προοπτικές για χρήση γαιανθράκων σε εξαεριομένη μορφή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει δοθεί στο γεγονός ότι τα πτερύγια του στροβίλου είναι άμεσα εκτεθειμένα στα καυσαέρια, επομένως τα προϊόντα καύσης δεν πρέπει να περιέχουν συστατικά που προκαλούν διάβρωση και τα στερεά σωματίδια πρέπει να είναι αρκετά μικρού μεγέθους ώστε να μην προκαλούν φθορά κατά την πρόσκρουσή τους στα πτερύγια.

Ο χρόνος εγκατάστασης των συστημάτων συμπαραγωγής αεριοστροβίλων είναι 9-14 μήνες για ισχείς μέχρι 7MW και φθάνει τα δύο έτη για μεγαλύτερες μονάδες. Η αξιοπιστία προσεγγίζει το 95% και η μέση διαθεσιμότητα το 90-95%. Η χρήσιμη διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και μπορεί να μειωθεί σημαντικά από καύσιμο κακής ποιότητας ή ανεπαρκή συντήρηση.

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι της τάξεως του 40%, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται στην περιοχή του 60-80%. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος τόσο στο πλήρες φορτίο όσο και σε μερικό φορτίο, αλλά η μείωσή του σε μερικό φορτίο είναι πιο έντονη από εκείνη των συστημάτων αμοστροβίλου.

Τέλος, ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι υψηλότερος από αυτόν του συστήματος αμοστροβίλου.



Σχήμα 2.5 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με αεριοστρόβιλο για την κίνηση της γεννήτριας και λέβητα ανάκτησης της θερμότητας των καυσαερίων για παροχή ατμού στην εγκατάσταση.

2.3.2 Συστήματα αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου

Στα συστήματα αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου, το εργαζόμενο ρευστό (συνήθως ήλιο ή αέρας) κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα. Θερμαίνεται μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία σε εναλλακτική θερμότητας, πριν από την είσοδο στον αεριοστροβίλο, και ψύχεται μετά την έξοδό του από αυτόν. Καθώς το ρευστό δεν συμμετέχει στην καύση διατηρείται καθαρό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική και χημική διάβρωση του αεριοστροβίλου από τα προϊόντα της καύσης. Η εξωτερική καύση επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε καυσίμου στα συστήματα αυτά: άνθρακα, απόβλητα βιομηχανιών ή πόλεων, βιομάζα, υγρά ή αέρια καύσιμα παραγόμενα από βιομάζα, κ.λ.π.. Πυρηνική ή ηλιακή ενέργεια μπορούν επίσης να αποτελέσουν πηγή θερμότητας.

Η αξιοπιστία των συστημάτων κλειστού τύπου προβλέπεται ότι θα είναι τουλάχιστον ίση με εκείνη των συστημάτων ανοικτού κύκλου, ενώ η διαθεσιμότητα θα είναι υψηλότερη χάρη στις μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης, που οφείλονται στην καθαρότητα του εργαζόμενου ρευστού.

Ο βαθμός απόδοσης και ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα βρίσκονται περίπου στα ίδια επίπεδα με εκείνα των συστημάτων ανοικτού κύκλου. Τα συστήματα κλειστού κύκλου έχουν το πλεονέκτημα ότι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης δεν μειώνεται σε μερικό φορτίο.

2.4 Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης

Ένας τρόπος διάκρισης αυτών των συστημάτων είναι βασισμένος στον κύκλο εσωτερικής καύσης της μηχανής. Υπάρχουν δύο: ο κύκλος Diesel και ο κύκλος Otto. Τα κύρια μηχανικά μέρη των μηχανών κύκλου Otto και Diesel είναι τα ίδια. Και οι δύο χρησιμοποιούν ένα κυλινδρικό θάλαμο καύσης κατά μήκος του οποίου κινείται ένα κατάλληλα εφαρμοσμένο έμβολο.

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 υπό υψηλή πίεση.

Οι μηχανές Otto αποκαλούνται και αεριομηχανές (gas engines) καθώς λειτουργούν με αέριο καύσιμο, όπως φυσικό αέριο, βιοαέριο, κτλ. Ο κύκλος Diesel λειτουργεί σε υψηλότερη θερμοκρασία και πίεση από τον Otto. Για αυτόν τον λόγο στον κύκλο Diesel χρησιμοποιούνται βαρύτερα καύσιμα όπως πετρέλαιο, μαζούτ, κατάλοιπα από την απόσταξη του πετρελαίου κτλ.

Ένας άλλος τρόπος διάκρισης βασισμένος στο μέγεθος της μηχανής είναι :

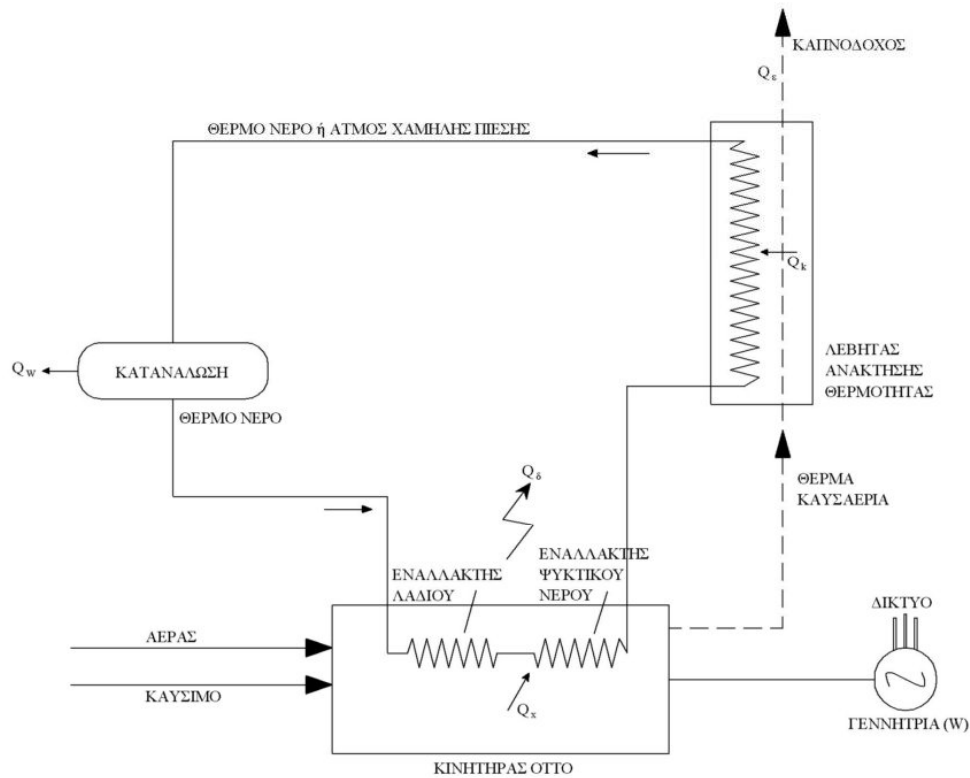
- Μονάδες μικρής κλίμακας με αεριομηχανή (15 – 1000kW) ή κινητήρα Diesel (75-1000kW)
- Συστήματα μέσης ισχύος (100-6000kW) με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel
- Συστήματα μεγάλης ισχύος (άνω των 6000kW) με κινητήρα Diesel

Τα καυσαέρια των κινητήρων βρίσκουν είτε άμεση είτε έμμεση χρήση. Η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι 300-400 °C, δηλαδή αισθητά χαμηλότερη από εκείνη του αεριοστροβίλου, γι' αυτό και κάνει πιο συχνή την ανάγκη για συμπληρωματική θερμότητα.

Αυτή αποκτάται είτε με τοποθέτηση καυστήρα και προσαγωγή αέρα για καύση συμπληρωματικού καυσίμου στο λέβητα καυσαερίων, είτε με εγκατάσταση βοηθητικού λέβητα.

2.4.1 Μηχανή ΟΤΤΟ

Οι κινητήρες ΟΤΤΟ χρησιμοποιούν συνήθως καύσιμο αέριο (π.χ. φυσικό αέριο, υγραέριο κλπ) και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας, ενώ συγχρόνως παράγεται χρήσιμη θερμική ενέργεια από ανάκτηση θερμότητας στον εναλλάκτη των χιτωνίων και από τα καυσαέρια, μέσω λέβητα ανάκτησης θερμότητας. Στο σχήμα δίνεται σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή ΟΤΤΟ.



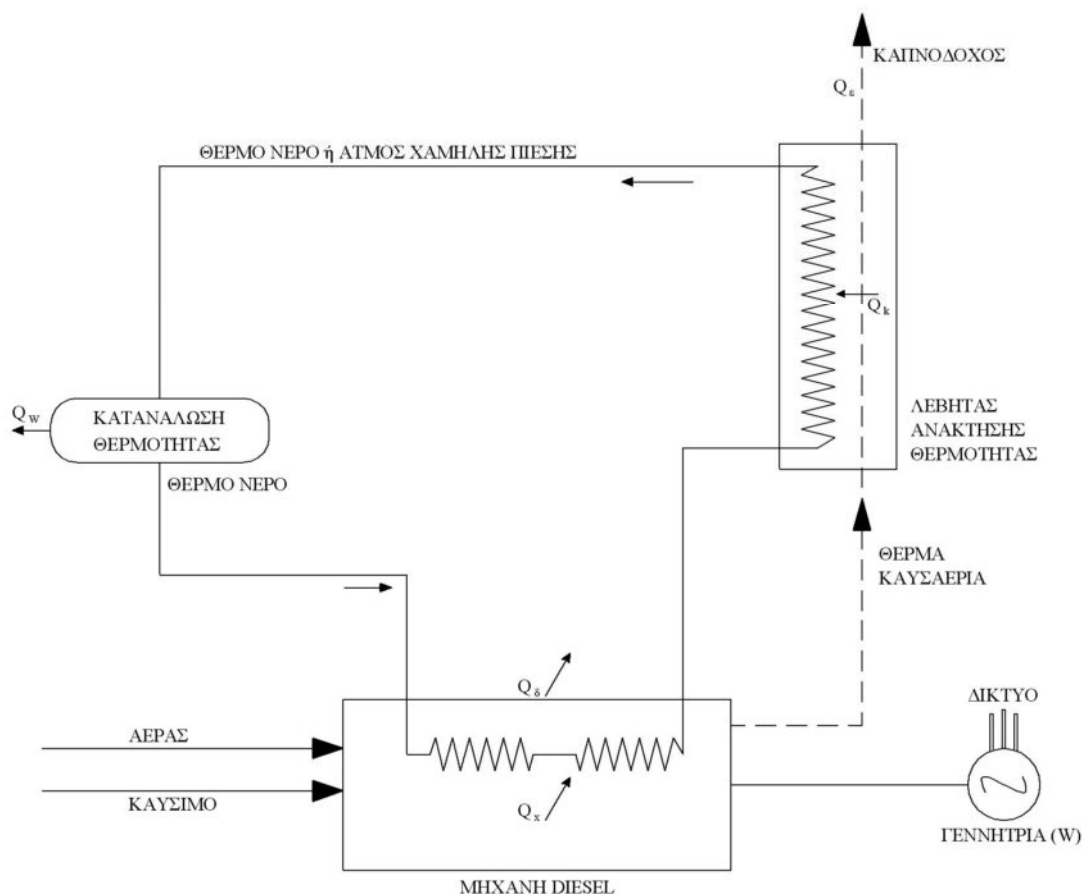
Σχήμα 2.6 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή ΟΤΤΟ, εναλλάκτη λαδιού και ψυκτικού νερού και λέβητα ανάκτησης θερμότητας καυσαερίων για παροχή ΖΝΧ ή ατμού χαμηλής πίεσης στην εγκατάσταση.

Τα συστήματα ΣΗΘ με κινητήρα ΟΤΤΟ:

- κατασκευάζονται για ισχύ από 15 έως 1300 kW,
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 32-35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 50-60% και ολικό βαθμό απόδοσης 80 - 85%,
- ο λόγος C είναι $0,5 \div 0,8$ και
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 10 έτη.

2.4.2 Μηχανή DIESEL

Στην περίπτωση αυτή, ο κινητήρας DIESEL κινεί την ηλεκτρογεννήτρια και συγχρόνως διατίθεται χρήσιμη θερμική ενέργεια από την ανάκτηση θερμότητας, από τον εναλλάκτη των χιτωνίων και από τα καυσάερια μέσω του λέβητα ανάκτησης θερμότητας. Το καύσιμο είναι κύρια πετρέλαιο. Στο σχήμα δίνεται σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή Diesel.



Σχήμα 2.7. 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.

Τα συστήματα ΣΗΘ με κινητήρα Diesel:

- κατασκευάζονται για ισχύ από 100 έως και λίγο μεγαλύτερη των 20000 kW,
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35-45%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-45% και ολικό βαθμό απόδοσης 75 - 90%,
- ο λόγος C είναι 0,70 - 0,90 και
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 - 20 έτη.

2.5 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου

Ο όρος «συνδυασμένος κύκλος» αναφέρεται σε συστήματα με δύο θερμοδυναμικούς κύκλους, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο εργαζόμενο ρευστό και λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας (κορυφής) αποβάλλει θερμότητα, που ανακτάται και χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας (βάσης) για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, αυξάνοντας έτσι τον βαθμό απόδοσης.

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι εκείνα με συνδυασμό αεριοστροβίλου-ατμοστροβίλου (κύκλοι Joule-Rankine).

Η υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια του αεριοστροβίλου (περίπου 17%) επιτρέπει την καύση συμπληρωματικού καυσίμου στον λέβητα καυσαερίων, εάν κριθεί αναγκαία για την αύξηση ισχύος του συστήματος. Η συμπληρωματική καύση αυξάνει το βαθμό απόδοσης του συστήματος κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο, αλλά κάνει την εγκατάσταση πιο περίπλοκη.

Η ισχύς των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου κυμαίνεται συνήθως στην περιοχή 20-400MW, ενώ κατασκευάζονται επίσης μικρότερες μονάδες με ισχύ 4-11MW.

Ο χρόνος εγκατάστασης είναι 2-3 έτη. Είναι δυνατή η ολοκλήρωση της εγκατάστασης σε δύο στάδια: εγκαθίσταται πρώτα η μονάδα αεριοστροβίλου, που μπορεί να είναι έτοιμη για λειτουργία σε 12-18 μήνες. Ενώ αυτή λειτουργεί, συμπληρώνεται το σύστημα με τη μονάδα του ατμοστροβίλου.

Η αξιοπιστία των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου είναι 80-85%, η μέση ετήσια διαθεσιμότητα 77-85% και ο οικονομικός χρόνος ζωής 15-25 έτη.

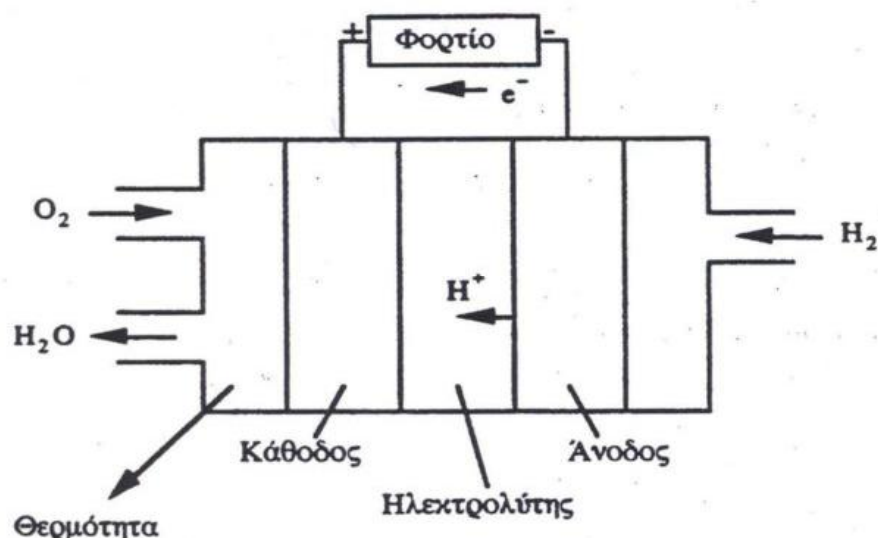
Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται συνήθως στην περιοχή του 35-45%, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι 70-88%. Λειτουργία σε μερικό φορτίο έχει αρνητική επίδραση στο βαθμό απόδοσης του συστήματος.

2.6 Κυψέλες καυσίμου

Η κυψέλη καυσίμου είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή, που μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρισμό χωρίς τη μεσολάβηση της καύσης. Είναι ιδανικά αυτά τα συστήματα για τον εμπορικό-κτιριακό τομέα, χάρη στην αποτελεσματική και αθόρυβη λειτουργία τους. Προς το παρόν πρόκειται για τεχνολογία που βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης και το κόστος παραγωγής τους είναι αρκετά υψηλό, αλλά αναμένεται τα επόμενα χρόνια να εισέλθουν δυναμικά στην αγορά.

Στη βασική της μορφή λειτουργεί ως εξής: υδρογόνο και οξυγόνο αντιδρούν με τη παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσεται ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που προκαλεί ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο). Καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα.

Στο σχήμα απεικονίζεται μία απλή διάταξη κυψέλης καυσίμου.



Σχήμα 2.8 Απεικόνιση κυψέλης καυσίμου

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 είναι:

Πίνακας 2.1 Τύποι κυψελών καυσίμου και ιδιότητες

Τύπος	Θερμοκρασία λειτουργίας ($^{\circ}\text{C}$)	Ηλεκτρολύτης	Καύσιμο	Οξειδωτικό
AFC	80	KOH	H ₂	O ₂ /αέρας
PEM	80	Στερεό πολυμερισμένο	H ₂	O ₂ /αέρας
PAFC	200	H ₃ PO ₄	Φυσικό αέριο Εξωτερική αναμόρφωση	Αέρας
MCFC	650	Li ₂ CO ₃ +K ₂ CO ₃	Άνθρακας και Φυσικό αέριο Εσωτερική αναμόρφωση	Αέρας
SOFC	1000	ZrO ₂	Άνθρακας και Φυσικό αέριο	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)

Τα πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμου είναι:

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

Μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής.

Οι κυψέλες καυσίμου κατασκευάζονται από 3 kWε και άνω και παρουσιάζουν:

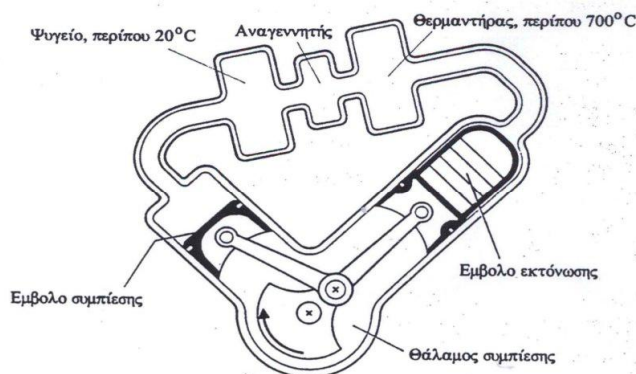
- Ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 20-30%, θερμικό βαθμό απόδοσης 25-35% και ολικό βαθμό απόδοσης συστήματος 45-60%,
- Ο λόγος C είναι 0,70-1,0 και
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου πέντε έτη.
- Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία λειτουργίας τόσο μεγαλύτερο είναι και το ωφέλιμο θερμικό φορτίο το οποίο μπορεί να ανακτηθεί από τον εναλλάκτη.
- Κυψέλες καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας (<80 °C) δεν ενδείκνυνται για ΣΗΘ.

2.7 Μηχανές Stirling

Η τεχνική αυτή βρίσκεται στο στάδιο της ανάπτυξης. Το σχήμα αποτελεί μια απλοποιημένη απεικόνιση κινητήρα Stirling. Αέριο συμπιέζεται και εκτονώνεται σε διάταξη κυλίνδρου – δύο εμβόλων με αποτέλεσμα την περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Το αέριο θερμαίνεται σε εναλλακτική θερμοτήτων χωρίς να συμμετέχει στην καύση (κινητήρας εξωτερικής καύσης).

Οι μηχανές Stirling:

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



Σχήμα 2.9 Απεικόνιση κινητήρα Stirling

2.8 Μικρο-τουρμπίνες

Είναι μια νέα κατηγορία αεριοστροβίλων, η οποία μελετάται τα τελευταία χρόνια. Σε αυτό το στάδιο η απόδοσή της είναι χαμηλή και το κόστος της υψηλό. Η ευρωπαϊκή ένωση δεν έχει πραγματοποιήσει ακόμη καμία αξιολογη μελέτη για την ανάπτυξη και βελτίωση της συγκεκριμένης τεχνικής.

Τα συστήματα αεριοστροβίλων μικρότερων των 1 MWe έχει αποδειχθεί ως τώρα ότι δεν συμφέρουν οικονομικά. Έρευνες οδήγησαν στην κατασκευή μικροτουρμπίνων, που η ηλεκτρική ισχύς τους κυμαίνεται από 25 kWe έως 200 kWe. Ως καύσιμο χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, καθώς επίσης και ορυκτά καύσιμα. Σε σχέση με τις παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν χαμηλότερο κόστος συντήρησης. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής την κάνει ικανή να εφαρμοστεί σε οικιακό, κτιριακό και εμπορικό τομέα. [6] Καθώς τα συστήματα αυτά βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης, δεν υπάρχουν συγκεντρωμένα στοιχεία για την απόδοσή τους πέρα από αυτά σε επίπεδο εργαστηρίου.

Η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτήν των αεριοστροβίλων με μια διαφορά. Τα περισσότερα συστήματα αυτής της κατηγορίας έχουν ενσωματωμένο σύστημα ανάκτησης θερμότητας (recuperator) για την ανακομιδή μέρους της θερμότητας των καυσαερίων με σκοπό την προθέρμανση του αέρα καύσης.

2.9 Τυποποιημένες μονάδες συμπαγωγής

Μεγάλη ώθηση στη διάδοση της συμπαγωγής αναμένεται ότι θα δώσει η μαζική παραγωγή τυποποιημένων μονάδων σε μορφή πακέτου με ηλεκτρική ισχύ 5-1000kW, που έχουν χαμηλό κόστος, μικρό όγκο, εύκολη εγκατάσταση (το μόνο που απαιτείται είναι η σύνδεσή τους με τα υδραυλικά και ηλεκτρικά δίκτυα) και αυτοματοποιημένη λειτουργία χωρίς τη συνεχή παρακολούθηση από εξειδικευμένο προσωπικό. Από σχετικές μελέτες έχει υπολογιστεί ότι η διαθεσιμότητα κυμαίνεται στο 79% με τυπική απόκλιση 22,9%.

Οι μονάδες αυτές συνήθως έχουν κινητήρα Diesel. Σε ισχείς μικρότερες των 100kW είναι δυνατή η χρήση κινητήρα Otto, ενώ σε ισχείς μεγαλύτερες των 600kW είναι δυνατή η χρήση αεριοστροβίλου. Μπορούν να λειτουργούν με υγρό ή αέριο καύσιμο. Το φυσικό αέριο είναι ιδιαίτερα κατάλληλο καύσιμο για τις μονάδες αυτές χάρη στην καθαρότητα, την έλλειψη ανάγκης αποθήκευσης και τη χαμηλή του τιμή.

Ένα πακέτο αποτελείται από :

- Τον κινητήρα, ο οποίος κινεί την γεννήτρια
- Τη γεννήτρια, που παράγει την ηλεκτρική ενέργεια
- Το σύστημα ανάκτησης θερμότητας από την απορριπτόμενη θερμότητα του νερού ψύξης της μηχανής και των καυσαερίων
- Το σύστημα εξάτμισης για την εξαγωγή των προϊόντων καύσης
- Το σύστημα ελέγχου για ασφαλή και ικανοποιητική λειτουργία
- Την θερμική και ηχητική μόνωση για να μειώνονται τα επίπεδα θορύβου και για να προφυλάσσεται από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες και τη φωτιά.

Οι τυποποιημένες μονάδες ονομάζονται και πακέτα καθώς είναι «συσκευασμένες» από τους κατασκευαστές, έτοιμες να τοποθετηθούν πάνω σε βάση από σκυρόδεμα και να συνδεθούν στο σύστημα ηλεκτρισμού, καυσίμου και θέρμανσης (plug and play).

Συνήθως κάθε μονάδα είναι τοποθετημένη σε τυποποιημένο εμπορευματοκιβώτιο (container), κατάλληλα ηχομονωμένο, πλήρως αυτόνομη και περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα υποσυστήματα για τη λειτουργία της (εξοπλισμός ισχύος, βοηθητικός εξοπλισμός και ψυγεία).

Μικροεπεξεργαστές, εγκατεστημένοι στο χώρο όπου βρίσκεται η μονάδα, παρακολουθούν τις τιμές κρίσιμων παραμέτρων και μεταβιβάζουν τις σχετικές πληροφορίες, μέσω αποκλειστικής τηλεφωνικής γραμμής, σε κεντρικό υπολογιστή. Όταν η εξέλιξη των τιμών ορισμένων παραμέτρων δείχνει επερχόμενη βλάβη, ειδοποιείται η ομάδα συντήρησης, που επεμβαίνει πριν ακόμη η βλάβη εκδηλωθεί. Τα πακέτα με κινητήρα Diesel είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για τις εφαρμογές του εμπορικού – κτηριακού τομέα. Το 27-35% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και το 50-55% σε θερμότητα. Επομένως, ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι 0,5-0,7, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 80%.

2.10 Τεχνολογίες τριπαραγωγής

Η χρονική περίοδος κατά την οποία απαιτείται θέρμανση των κτηρίων στην Ελλάδα είναι σχετικά μικρή (της τάξεως των 5 μηνών). Έτσι, η εφαρμογή της ΣΗΘ στον κτηριακό τομέα αποκλειστικά για κάλυψη των θερμικών φορτίων είναι αντιοικονομική, λόγω των περιορισμένων ετήσιων ωρών λειτουργίας. Τα κτήρια αυτά όμως έχουν ανάγκη για ψύξη για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Ψύξη μπορεί να παραχθεί από τη θερμότητα ενός σταθμού ΣΗΘ, μέσω των κύκλων απορρόφησης ή προσρόφησης, με μονάδες τριπαραγωγής.

Τριπαραγωγή είναι η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού, χρήσιμης θερμότητας και ψύξης από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας.

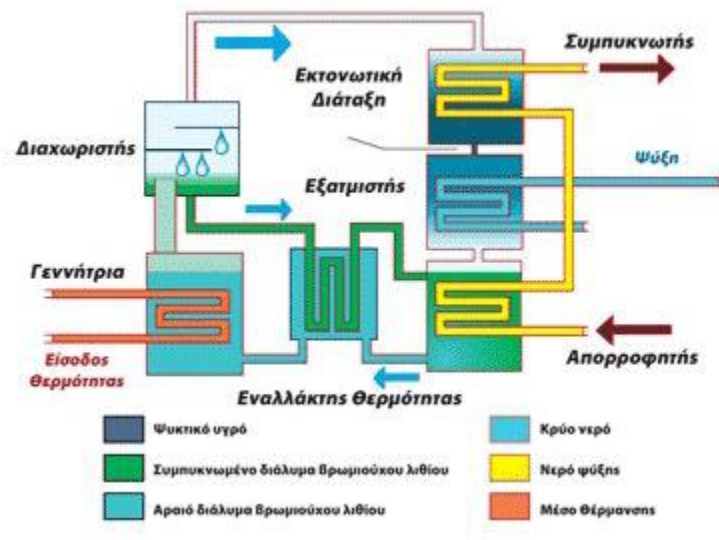
Η μέθοδος της τριπαραγωγής βρίσκει εφαρμογή, στον κτηριακό τομέα, κυρίως σε νοσοκομεία, ξενοδοχεία, κτήρια γραφείων και εμπορικά κέντρα ή σε συστήματα τηλεθέρμανσης - τηλεψύξης. Γενικά, χρησιμοποιείται σε κτήρια με ταυτόχρονες συνεχείς ανάγκες για ηλεκτρισμό και θέρμανση ή/και ψύξη που υπερβαίνουν τις 4.500-5.000 ώρες ετησίως. Οι μονάδες τριπαραγωγής βασίζονται κυρίως σε παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) ή μικροστροβίλους, συνδυασμένες με κύκλο απορρόφησης για ψύξη. Σε μελλοντικές εφαρμογές τριπαραγωγής, παρουσιάζει ενδιαφέρον και η χρήση κυψελών καυσίμου.

2.10.1. Βασικές αρχές ψύξης με απορρόφηση

Οι ψύκτες απορρόφησης χρησιμοποιούν τις διεργασίες της συμπύκνωσης-εξάτμισης, για την παραγωγή ψύξης. Διαθέτουν εξατμιστή και συμπυκνωτή, όπου εκτονώνεται το ψυκτικό μέσο. Ωστόσο, αντί του μηχανικού συμπιεστή, οι ψύκτες απορρόφησης χρησιμοποιούν θερμότητα σαν ενεργειακή πηγή. Η θερμότητα αυτή παράγεται είτε με άμεση καύση, με χρήση καυστήρα, είτε με έμμεση καύση, με χρήση ατμού, ζεστού νερού ή από περίσσεια / ανάκτηση θερμότητας. Οι μηχανές απορρόφησης, που είναι διαθέσιμες στο εμπόριο, τροφοδοτούνται με ατμό, ζεστό νερό ή τα αέρια καύσης, που μπορούν να παράγονται και από συστήματα ΣΗΘ.

Στην πιο απλή σχεδιάσή της, η μηχανή απορρόφησης αποτελείται από εξατμιστή, συμπυκνωτή, απορροφητή, μια γεννήτρια και μια αντλία διαλύματος. Στον κύκλο

απορρόφησης, η συμπύεση ατμού του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται με συνδυασμό του απορροφητή, της αντλίας διαλύματος και της γεννήτριας.



Σχήμα 2.10 Η βασική αρχή της μηχανής ψύξης με απορρόφηση

Ο ατμός του ψυκτικού μέσου που παράγεται στον εξατμιστή απορροφάται σε ένα απορροφητικό υγρό μέσα στον απορροφητή. Το απορροφητικό που έχει απορροφήσει το ψυκτικό μέσο, το «ασθενές απορροφητικό», διοχετεύεται με αντλίες στη γεννήτρια όπου το ψυκτικό μέσο αποδεσμεύεται ως ατμός. Ο ατμός αυτός θα συμπυκνωθεί στο συμπυκνωτή. Το αναγεννημένο ή «ισχυρό απορροφητικό» οδηγείται στη συνέχεια πίσω στον απορροφητή για να συλλέξει εκ νέου ψυκτικό ατμό. Θερμότητα παρέχεται στη γεννήτρια, σε συγκριτικά υψηλή θερμοκρασία και απορρίπτεται από τον απορροφητή, σε συγκριτικά χαμηλό επίπεδο.

Οι ροές θερμότητας στο βασικό κύκλο (σχήμα) είναι οι εξής:

- παροχή θερμότητας και παραγωγή ψύξης, σε χαμηλό θερμοκρασιακό επίπεδο,
- απόρριψη θερμότητας στο συμπυκνωτή, σε ενδιάμεσο θερμοκρασιακό επίπεδο,
- απόρριψη θερμότητας από τον απορροφητή, σε ενδιάμεσο θερμοκρασιακό επίπεδο,
- παροχή θερμότητας στη γεννήτρια, σε υψηλό θερμοκρασιακό επίπεδο.

Σε έναν κύκλο απορρόφησης, ψυκτικό μέσο και απορροφητικό συγκροτούν το «ζεύγος εργασίας». Διαχρονικά έχουν δοκιμαστεί πολλά ζεύγη εργασίας αλλά τα δύο που έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως είναι:

- διάλυμα βρωμιούχου λιθίου (Li-Br), ως απορροφητικό, με νερό
- αμμωνία (NH₃) με νερό

Για συστήματα ψύξης “βρωμιούχου λιθίου - νερού”, η πηγή θερμότητας πρέπει να είναι σε ελάχιστη θερμοκρασία των 70-90 °C για συστήματα μονού σταδίου (σχ. 2.7). Σε συστήματα που χρησιμοποιούν αμμωνία η θερμική ενέργεια παρέχεται σε θερμοκρασία 100-120 °C (μονού σταδίου).

Το ζεύγος “νερού - διαλύματος βρωμιούχου λιθίου” χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ψύξης αέρα, όπου απαιτούνται θερμοκρασίες άνω των 0 °C. Το ζεύγος “αμμωνίας νερού” χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον σε εφαρμογές κατάψυξης, με χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης, μικρότερες των 0 °C. Τα επίπεδα πίεσης της μηχανής αμμωνίας-νερού είναι συνήθως υψηλότερα της ατμοσφαιρικής πίεσης, ενώ οι μηχανές “νερού - βρωμιούχου λιθίου” λειτουργούν κατά κανόνα σε μερικό κενό.

Το σύστημα διπλού σταδίου χρησιμοποιεί δύο μπλοκ γεννήτριας-απορροφητήρα σε στάδια (σειρά), προκειμένου να χρησιμοποιήσει τη θερμότητα που παρέχεται περίπου δύο φορές. Η θερμότητα παρέχεται σε περίπου 170°C στην πρώτη γεννήτρια και η θερμότητα που απορρίφθηκε από τον αντίστοιχο συμπυκνωτή χρησιμοποιείται για να δώσει ενέργεια στη δεύτερη γεννήτρια σε χαμηλότερο επίπεδο, της τάξης των 100°C όπως σε συστήματα μονού σταδίου.

Τα πλεονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης έναντι των συμβατικών κλιματιστικών μηχανημάτων βασισμένα σε κύκλο συμπίεσης είναι:

- Πολύ χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- Ελάχιστα κινούμενα τμήματα, με αποτέλεσμα το μεγάλο χρόνο ζωής, την αυξημένη αξιοπιστία και το χαμηλό κόστος συντήρησης,
- Χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών,
- Φιλικά προς το περιβάλλον ψυκτικά μέσα με μηδενικές εκπομπές ρύπων και ουσιών καταστροφής του όζοντος.

Τα μειονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης έναντι των συμβατικών κλιματιστικών μηχανημάτων βασισμένα σε κύκλο συμπίεσης είναι:

- Μονάδες μεγάλης ισχύος με μεγάλο βάρος
- Σχετικά υψηλό αρχικό κόστος
- Κατανάλωση νερού σε πύργους ψύξης
- Χαμηλός συντελεστής συμπεριφοράς.

2.10.2 Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα νερού-διάλυμα βρωμιούχου λιθίου (LiBr)

Τα περισσότερα συστήματα απορρόφησης που βασίζονται στο “νερό-διάλυμα βρωμιούχου λιθίου” έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές ψύξης αέρα. Τα συστήματα αυτά εμφανίστηκαν περί το 1900, πολύ πριν από αυτά του κύκλου συμπίεσης. Για ιστορικούς λόγους, η μονάδα μέτρησης δίνεται σε RT (ψυκτικοί τόνοι - Refrigeration Tons) από τους κατασκευαστές και 1 RT αντιστοιχεί σε περίπου 3,52 kWψ ψύξης.

- Συστήματα μονού σταδίου

Οι περισσότεροι κατασκευαστές προσφέρουν συστήματα μονού σταδίου 100 έως 1500 RT, δηλαδή 350 kWψ - 5200 kWψ. Αυτά μπορούν να τροφοδοτηθούν απευθείας με καυσαέρια ή με ατμό θερμοκρασίας από 110 έως 120 °C. Εναλλακτικά, μπορούν να τροφοδοτηθούν με υπέρθερμο νερό στους 115 έως 150°C και με μέγιστη πίεση 9 bar. Ο συντελεστής συμπεριφοράς (Coefficient of Performance – COP), δηλαδή ο λόγος παραγόμενης ψυκτικής προς την προσδιδόμενη θερμική ισχύ, είναι της τάξης του 0,7.

- Συστήματα διπλού σταδίου

Τα συστήματα διπλού σταδίου είναι περίπου στο ίδιο φάσμα ψυκτικής ισχύος με αυτά του μονού σταδίου. Η ελάχιστη ικανότητα ψύξης που προσφέρεται στην αγορά είναι λίγο υψηλότερη από αυτή των συστημάτων μονού σταδίου (περί τα 500 kWψ). Ο ατμός είναι το προτιμώμενο μέσο «τροφοδοσίας» για ένα τέτοιο σύστημα, σε πιέσεις από 9 - 10 bar, που αντιστοιχεί σε περιοχή θερμοκρασιών 175 έως 185°C. Το σύστημα διπλού σταδίου εκκινεί επίσης και με υπέρθερμο νερό, η θερμοκρασία του οποίου κυμαίνεται μεταξύ 155 - 205 °C. Ο συντελεστής συμπεριφοράς σε κάθε περίπτωση είναι 0,9 έως 1,2. Αυτό σημαίνει ότι ο πύργος ψύξης που απαιτείται για έναν ψύκτη διπλού σταδίου είναι μικρότερος από ό,τι για έναν μονού σταδίου κατά περίπου 40%.

Η πολυπλοκότητα των ψυκτών διπλού σταδίου έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους τους σε αντίθεση με αυτούς του μονού σταδίου. Όλες οι εμπορικά διαθέσιμες μηχανές συστημάτων κύκλου απορρόφησης απορρίπτουν θερμότητα σε ένα κύκλωμα πύργου ψύξης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι θερμοκρασίες στο κύκλωμα πύργου ψύξης είναι 32 - 37°C. Οι μονάδες διπλού σταδίου γενικά προτιμούνται περισσότερο από αυτές του μονού σταδίου, λόγω της αυξημένης ενεργειακής αποδοτικότητας και της μειωμένης κατανάλωσης νερού.

Το κόστος μιας μονάδας ανά kWψ της ψυκτικής ικανότητας εξαρτάται από το μέγεθός της, αλλά γίνεται σχεδόν σταθερό πάνω από 2000 kWψ (σχήμα 2.8). Ένας εμπειρικός κανόνας είναι ότι το σύστημα διπλού σταδίου είναι τουλάχιστον 20% ακριβότερο (μπορεί να φθάσει και στο 30-40% ανάλογα με τη χρήση του συστήματος) από το αντίστοιχο σύστημα μονού σταδίου με την ίδια ικανότητα. Ο λόγος για το υψηλότερο κόστος είναι η επιπλέον γεννήτρια και ο συμπυκνωτής κατά τον σχεδιασμό.

Δεύτερος εμπειρικός κανόνας είναι ότι μια μονάδα τροφοδοτούμενη με ζεστό νερό είναι περίπου 25% πιο ακριβή από ότι μία μονάδα ατμού με την ίδια ικανότητα. Η αιτία είναι ότι το μέγεθος των αγωγών, που απαιτούνται για μια δεδομένη παροχή θερμικής ενέργειας στο μηχανήμα απορρόφησης, είναι μεγαλύτερο με ζεστό νερό από ό,τι με ατμό.

2.10.3. Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα Αμμωνίας - Νερού (NH₃ - H₂O)

Τα συστήματα “αμμωνίας-νερού” έχουν σχεδιαστεί κυρίως για βιομηχανικές εφαρμογές ψύξης, π.χ. ψύξη των τροφίμων ή διαδικασία κατάψυξης, με θερμοκρασίες εξάτμισης περίπου στους -60°C. Αυτό το είδος των μηχανών είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται σε θερμοκρασίες κοντά ή χαμηλότερες των 0°C, δεδομένου ότι οι μονάδες “νερού-βρωμιούχου λιθίου” δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε αυτό το εύρος θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία στην οποία ο ατμός πρέπει να παρέχεται για την «τροφοδοσία» της μονάδος εξαρτάται από τη διαθέσιμη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου και για τη θερμοκρασία ψύξης που πρέπει να επιτευχθεί. Τα συστήματα αυτά δεν ενδείκνυνται για εγκαταστάσεις σε κτήρια με μονάδες ΣΗΘ.

2.10.4. Σύνοψη τεχνολογιών ψύξης με απορρόφηση

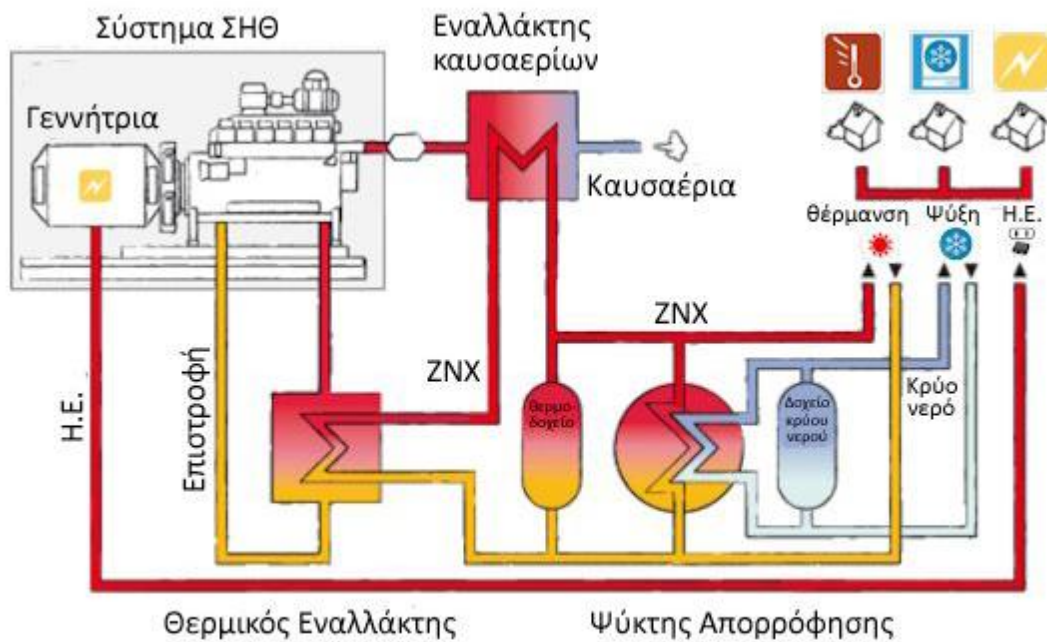
Ο πίνακας συνοψίζει το φάσμα των βασικών παραμέτρων που αφορούν ψύκτες απορρόφησης.

Πίνακας 2.2 Σύγκριση ψυκτών απορρόφησης NH₃ και LiBr (τιμές 2010).

	NH ₃ Απορρόφηση		LiBr – Απορρόφηση	
	Μονό	Διπλό	Μονό	Διπλό
Εφαρμογή – Στάδιο	Μονό	Διπλό	Μονό	Διπλό
Ψυκτική Ικανότητα (kWψ)	20- 2500	300 – 5000	300 – 5000	300 – 5000
Συντελεστής συμπεριφοράς COP	0.6 – 0.7	0.5 – 0.6	0.9 – 1.1	0.9 – 1.1
Εύρος Θερμοκρασίας προσδιδόμενης θερμότητας (oC)	120 – 132	120 – 132	150 – 170	150 – 170
Κόστος Συστήματος (€/ton)	1250 – 1750	870 – 920	930 – 980	930 – 980

Το κόστος συντήρησης των μηχανών απορρόφησης διαφοροποιείται σημαντικά, ανάλογα με το είδος της συμφωνίας του κατασκευαστή / εγκαταστάτη με τον χρήστη του συστήματος τριπαραγωγής. Στις περισσότερες περιπτώσεις η συμφωνία περιλαμβάνει τη συντήρηση ολόκληρου του συστήματος θέρμανσης / ψύξης / κλιματισμού. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρέχει και τη λειτουργία καθώς και συντήρηση όλου του συστήματος, στο πλαίσιο μιας ενιαίας σύμβασης παροχής ενεργειακών υπηρεσιών.

Στο σχήμα παρουσιάζεται μια ενδεικτική διάταξη συστήματος ΣΗΘ με ψύκτη απορρόφησης.



Σχήμα 2.11 Σύστημα ΣΗΘ με ψύκτη απορρόφησης

Κεφάλαιο 3 – Δείκτες αποδοτικότητας και μεθοδολογία επιλογής ΣΗΘ

3.1 Εισαγωγή

Η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι σημαντική. Η θερμοδυναμική μελέτη του σταθμού οδηγεί σε ακριβή υπολογισμό της εξοικονομούμενης ενέργειας αρκεί να είναι γνωστές οι αποδόσεις των εσωτερικών μονάδων του σταθμού ενέργειας. Παρόλα αυτά, η διαστασιολόγηση της εγκαταστάσεως για την πλήρη κάλυψη του θερμικού και του ηλεκτρικού φορτίου είναι συχνά σύνθετη.

Η μελέτη ενός σταθμού πρέπει να συμπεριλαμβάνει όχι μονάχα την θερμοδυναμική του ανάλυση, τον καθορισμό και την μεγιστοποίηση της θερμικής απόδοσής του αλλά και την οικονομική του ανάλυση η οποία είναι εξίσου σημαντική.

Πριν από την περιγραφή της διαδικασίας για επιλογή της μονάδας ΣΗΘ, είναι απαραίτητο να καθοριστούν συγκεκριμένοι δείκτες που να προσδιορίζουν τη θερμοδυναμική απόδοση ενός συστήματος συμπαραγωγής και να διευκολύνουν τη σύγκριση των εναλλακτικών επιλογών (συστημάτων). Πολυάριθμοι τέτοιοι δείκτες έχουν εμφανιστεί στη βιβλιογραφία, και οι σημαντικότεροι από αυτούς ορίζονται σε αυτή την παράγραφο.

3.2 Δείκτες ενεργειακής αποδοτικότητας

Πίνακας 3.1 Σύμβολα που χρησιμοποιούνται στους δείκτες ενεργειακής συμπεριφοράς

Σύμβολα που χρησιμοποιούνται στους δείκτες ενεργειακής Συμπεριφοράς	
Σύμβολα	Επεξήγηση
W	Ηλεκτρική ή μηχανική ισχύς
Q	Θερμική ισχύς
\dot{W}_s	Η ισχύς στον άξονα της κύριας πηγής ενέργειας,
H_{Σ}	Ισχύς καυσίμου που καταναλίσκεται από το σύστημα Συμπαραγωγής
m_f	Παροχή καυσίμου για την χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ισχύος
m_{Σ}	Παροχή καυσίμου σε σύστημα συμπαραγωγής
H_{fW}	Ισχύς καυσίμου για χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ισχύος
H_{fQ}	Ισχύς καυσίμου για χωριστή παραγωγή θερμικής ισχύος
H_{fX}	Ολική ισχύς καυσίμου για χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ισχύος
H_u	Κατώτερη θερμογόνο ικανότητα (δύναμη) καυσίμου

Σε αυτή την ενότητα θα χρησιμοποιηθούν τα σύμβολα που παρουσιάζονται στον πίνακα. Στην Ευρώπη η ανάλυση συνήθως γίνεται με την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (ΚΘΔ). Στις ΗΠΑ συνήθως χρησιμοποιείται η ανώτερη θερμογόνο δύναμη

(ΑΘΔ). Η ισχύς καυσίμου που καταναλώνεται από ένα σύστημα για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας δίνεται από τις σχέσεις:

$$H_{fW} = m_f H_u \quad (3.1)$$

$$H_{fQ} = m_f H_u \quad (3.2)$$

$$H_{fX} = H_{fW} + H_{fQ} \quad (3.3)$$

ενώ σε ένα σύστημα συμπαραγωγής έχουμε:

$$H_{f\Sigma} = m_{f\Sigma} H_u \quad (3.4)$$

3.2.1 Ηλεκτρικός, θερμικός και συνολικός βαθμός απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα n_m (π.χ. του αεριοστροβίλου, της μηχανής Diesel ή Otto, του ατμοστροβίλου, κλπ.) ορίζεται ως:

$$n_m = \frac{W_s}{H_{f\Sigma}} \quad (3.5)$$

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής (n_e):

$$n_e = \frac{W}{H_{f\Sigma}} \quad (3.6)$$

Θερμικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής (n_h ή n_{th}):

$$n_{th} = \frac{Q}{H_{f\Sigma}} \quad (3.7)$$

Ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης (n):

$$n = n_e + n_{th} = \frac{W + Q}{H_{f\Sigma}} \quad (3.8)$$

Η ποιότητα της θερμότητας είναι χαμηλότερη από αυτήν της ηλεκτρικής ενέργειας και ελαττώνεται με τη θερμοκρασία στην οποία είναι διαθέσιμη (δηλαδή η ποιότητα της θερμότητας υπό μορφή ζεστού νερού είναι χαμηλότερη από την ποιότητά της υπό μορφή ατμού). Συνεπώς, δεν είναι σκόπιμο να προστίθεται η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα, όπως στην περίπτωση της εξίσωσης 2.8 και μερικές φορές είναι παραπλανητική μια σύγκριση μεταξύ συστημάτων με βάση τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης.

3.2.1 Ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα και ο λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου

Ακόμα κι αν μέχρι τώρα συνήθως χρησιμοποιούνται οι ενεργειακοί βαθμοί απόδοσης, μία θερμοδυναμικά ακριβέστερη αξιολόγηση και μία δικαιότερη σύγκριση μεταξύ των συστημάτων μπορεί να γίνει βάσει των εξεργειακών αποδοτικότητων.

Σημαντικοί δείκτες είναι οι παρακάτω:

Ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR, Power to heat ratio):

$$PHR = \frac{W}{Q} = \frac{n_e}{n_{th}} \quad (3.9)$$

Ο λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου (FESR, Fuel energy savings ratio):

$$FESR = \frac{H_{fX} - H_{f\Sigma}}{H_{fX}} \quad (3.10)$$

Προκειμένου ένα σύστημα συμπαραγωγής να αποτελεί μια λογική επιλογή από την άποψη της εξοικονόμησης ενέργειας, πρέπει να είναι: $FESR > 0$.

Οι εξισώσεις 3.6 έως 3.10 οδηγούν στις παρακάτω σχέσεις:

$$n = n_e \left(1 + \frac{1}{PHR} \right) \quad (3.11)$$

$$PHR = \frac{n_e}{n_{th}} = \frac{n_e}{n - n_e} \quad (3.12)$$

οι οποίες βοηθούν στον καθορισμό αποδεκτών τιμών του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα ενός συστήματος, όταν είναι γνωστός ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσής του. Πρέπει να αναφερθεί ότι, σε κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες για την επιλογή ενός συστήματος συμπαραγωγής.

Εάν θεωρηθεί ότι ένα σύστημα συμπαραγωγής αντικαθιστά διακριτές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με βαθμούς απόδοσης n_w και n_Q , αντίστοιχα, τότε αποδεικνύεται ότι

$$FESR = 1 - \frac{PHR + 1}{n \left(\frac{PHR}{n_w} + \frac{1}{n_Q} \right)} \quad (3.13)$$

όπου οι δείκτες W και Q υποδηλώνουν τη διακριτή παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμότητας (π.χ. από μία μονάδα ηλεκτροπαραγωγής και έναν λέβητα), αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, εάν ένα σύστημα συμπαραγωγής με συνολικό βαθμό απόδοσης $n=0,80$ και λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα $PHR=0,60$ υποκαθιστά μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με απόδοση $n_w=0,35$ και έναν λέβητα με απόδοση $n_Q=0,85$, τότε από την εξίσωση (3.13) προκύπτει: $FESR=0,325$. Αυτό

σημαίνει ότι η συμπαραγωγή μειώνει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά 32,5%.

Η απόδοση ενός συστήματος εξαρτάται από το φορτίο και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Από την άλλη, ο βαθμός χρησιμοποίησης των παραγόμενων ενεργειακών μορφών επηρεάζεται από την αρχική επιλογή (σχεδιασμός) του συστήματος, τη στρατηγική της συμπαραγωγής (λειτουργικός έλεγχος) και τη σύμπτωση μεταξύ της παραγωγής και χρήσης των ωφέλιμων ενεργειακών μορφών. Για τους λόγους αυτούς, οι ολοκληρωτικοί δείκτες για μία χρονική περίοδο, π.χ. οι ετήσιοι δείκτες, είναι συχνά σημαντικότεροι από τους στιγμιαίους ή τους ονομαστικούς, δεδομένου ότι είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικοί της πραγματικής απόδοσης του συστήματος. Επιπλέον υπάρχουν νομικά ζητήματα που καθιστούν σημαντικές τις ολοκληρωτικές τιμές των δεικτών. Παραδείγματος χάριν, σύμφωνα με το σχετικό νόμο για τα θέματα συμπαραγωγής στην Ελλάδα, για να μπορεί ένα σύστημα συμπαραγωγής να είναι επιλέξιμο για επιδότηση πρέπει να έχει ένα ετήσιο συνολικό βαθμό απόδοσης τουλάχιστον 65% στο βιομηχανικό τομέα, και τουλάχιστον 60% στον τριτογενή τομέα. Εντούτοις, σε όλα τα προηγούμενα χρησιμοποιήθηκαν η ηλεκτρική και θερμική ισχύς και η ισχύς των καυσίμων (ενέργεια ανά μονάδα χρόνου), καταλήγοντας σε τιμές δεικτών που ισχύουν μόνο για μια ορισμένη χρονική στιγμή ή για ένα συγκεκριμένο φορτίο.

Όλοι οι ανωτέρω ορισμοί ισχύουν επίσης εάν η ισχύς αντικατασταθεί από την ενέργεια σε μία ορισμένη χρονική περίοδο. Τότε, οι προκύπτουσες ολοκληρωτικές τιμές των δεικτών υποδηλώνουν την απόδοση του συστήματος κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής. Έτσι, η εξίσωση 3.8 μπορεί να γραφτεί επίσης ως εξής:

$$n_a = \frac{W_{ea} + Q_a}{H_{fa}} \quad (3.14)$$

όπου

W_{ea} : Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής κατά τη διάρκεια ενός έτους

Q_a : Η ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας

H_{fa} : Η ενέργεια των καυσίμων που καταναλώνονται κατά τη διάρκεια ενός έτους

Συνεπώς, η εξίσωση 3.14 παρέχει τον ετήσιο ολικό βαθμό απόδοσης n_a του συστήματος συμπαραγωγής.

3.2.2 Αξιοπιστία, διαθεσιμότητα, χρησιμοποίηση

Επιπλέον, η αξιοπιστία, η χρησιμοποίηση και η διαθεσιμότητα αποτελούν δείκτες μέσω των οποίων προσδιορίζεται το κατά πόσο το σύστημα είναι ικανό να λειτουργεί ικανοποιητικά.

- ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ (reliability): Ως αξιοπιστία θεωρείται η πιθανότητα να λειτουργεί ικανοποιητικά ένα σύστημα για δεδομένο χρονικό διάστημα και με προκαθορισμένες συνθήκες.

$$\text{αξιοπιστία(\%)} = \frac{T - (S + U)}{T - S} \cdot 100$$

ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ (availability): Διαθεσιμότητα είναι η πιθανότητα να λειτουργεί ικανοποιητικά ένα σύστημα σε τυχαία χρονική στιγμή. Η μέση ετήσια διαθεσιμότητα είναι ίση με το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο ένα σύστημα μπορεί να λειτουργεί ικανοποιητικά (λαμβάνονται υπόψη η προληπτική συντήρηση και οι έκτακτες βλάβες).

$$\text{διαθεσιμότητα(\%)} = \frac{T - (S + U)}{T} \cdot 100$$

-ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ (utilisation): είναι το ποσοστό που λαμβάνει υπόψη το χρονικό διάστημα που όντως λειτουργεί το σύστημα ικανοποιητικά, και επομένως περιλαμβάνει όλες τις περιπτώσεις, εξαιτίας των οποίων σταμάτησε να λειτουργεί από εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. μικρό θερμικό φορτίο)

$$\text{χρησιμοποίηση(\%)} = \frac{A}{T} \cdot 100$$

όπου

T: Το χρονικό διάστημα που απαιτείται να λειτουργεί το σύστημα (ώρες/χρόνο)

S: Προγραμματισμένη παύση λειτουργίας για συντήρηση (ώρες/χρόνο)

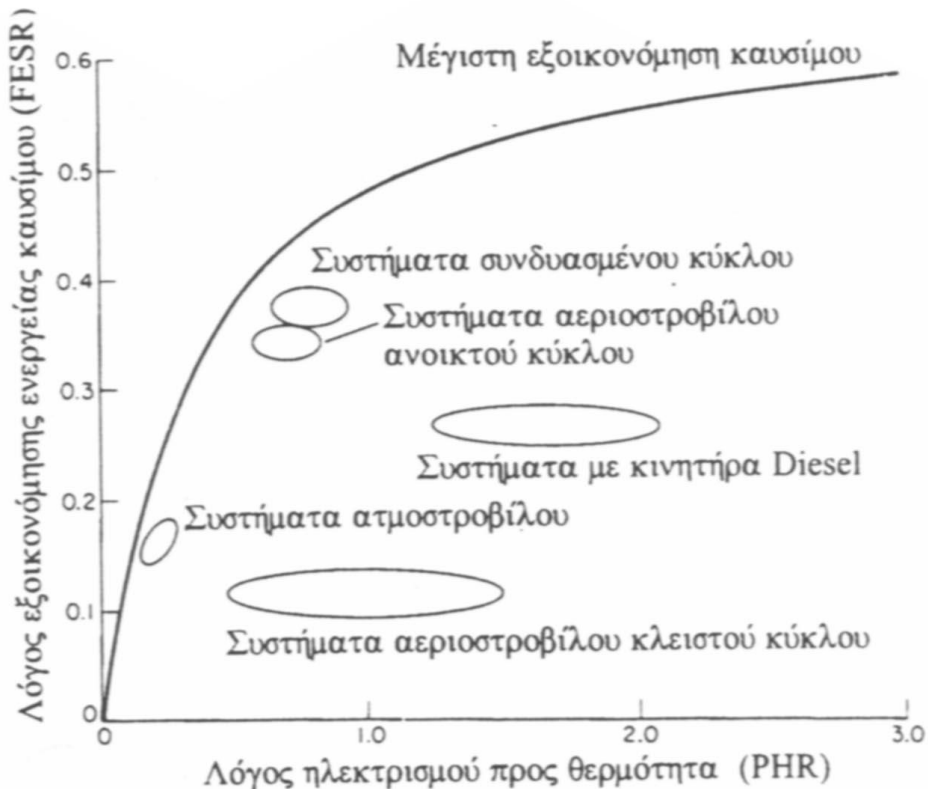
U: Έκτακτη παύση λειτουργίας (ώρες/χρόνο)

A: Το χρονικό διάστημα που όντως λειτουργεί ικανοποιητικά μέσα στο χρονικό διάστημα

3.2.4 Σημασία των δεικτών ενεργειακής αποδοτικότητας

Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο ή κάποια από τα συστήματα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2. Καθοριστικά κριτήρια επιλογής αποτελούν τα φορτία αιχμής που πρέπει να καλυφθούν, ο λόγος των φορτίων ηλεκτρισμού και θερμότητας (PHR), ο λόγος συνολικής εξοικονόμησης καυσίμου (FESR) πέρα από το αρχικό κόστος και οι λειτουργικές δαπάνες. Στο σχήμα απεικονίζονται οι περιοχές των δύο βασικών λόγων που καλύπτουν οι πέντε βασικοί τύποι συστημάτων συμπαραγωγής που συναντώνται σήμερα στην αγορά. Τα όρια αυτών δεν είναι ανελαστικά αλλά χαρακτηρίζουν την μεγάλη πλειοψηφία των εφαρμογών.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μια πρώτη κατευθυντήρια γραμμή για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος. Είναι, ωστόσο, αυτονόητο ότι η τελική επιλογή πρέπει να στηρίζεται στη μελέτη των συγκεκριμένων ενεργειακών μεγεθών κάθε περίπτωσης και στις προδιαγραφές των συγκεκριμένων συστημάτων που δίνουν οι κατασκευαστές.



Σχήμα 3.1 Η σχέση των δύο σημαντικότερων ενεργειακών δεικτών για τα σημαντικότερα ΣΗΘ

3.3 Οικονομική βιωσιμότητα συστημάτων Συμπαραγωγής

Παρ' όλη την καλή ενεργειακή απόδοση, που μπορεί να έχει ένα σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας, είναι δύσκολο να αποφασίσει κανείς την εγκατάστασή του, εάν δεν προβλέπεται ότι η επένδυση θα είναι και οικονομικά συμφέρουσα. Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσεται μια απλοποιημένη μεθοδολογία για την οικονομική αξιολόγηση συστημάτων συμπαραγωγής.

3.3.1 Ορισμοί βασικών οικονομικών παραμέτρων

Η οικονομική αξιολόγηση στηρίζεται σε ορισμένους δείκτες ή κριτήρια. Για να αποφευχθούν παραπλανητικά αποτελέσματα και λανθασμένα συμπεράσματα, ο κάθε δείκτης πρέπει να υπολογίζεται με αναγωγή μελλοντικών αξιών και όρων σε παρούσες αξίες.

3.3.1.1 Τόκος και επιτόκιο(d)

Επιτόκιο είναι ο τόκος ανά μονάδα χρόνου και κεφαλαίου. Συνήθως, εκφράζεται επί τοις εκατό ανά έτος.

Υπάρχουν δύο όψεις του επιτοκίου: το επιτόκιο δανεισμού, που ο δανειζόμενος καταβάλλει για χρήματα που δανείσθηκε και επομένως αποτελεί δαπάνη, και το επιτόκιο αγοράς που κερδίζει κάποιος όταν δανείζει ή επενδύει χρήματα. Το επιτόκιο

αγοράς μπορεί να είναι επίσης ο επιθυμητός ή αναμενόμενος βαθμός απόδοσης μιας επένδυσης.

3.3.1.2 Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης (N)

Ως οικονομικός κύκλος ζωής μιας επένδυσης θεωρείται η χρονική περίοδος κατά τη διάρκεια της οποίας ανακτάται το αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο καθώς και η επιθυμητή απόδοση αυτού. Ο οικονομικός κύκλος ζωής πρέπει να είναι ίσος ή μικρότερος της πραγματικής ζωής του βασικού εξοπλισμού της επένδυσης.

3.3.1.3 Πληθωρισμός (i)

Πληθωρισμός είναι η αύξηση του κόστους των αγαθών και υπηρεσιών ανά μονάδα χρόνου. Ο πληθωρισμός των επιμέρους συνιστωσών κόστους μιας επένδυσης μπορεί να διαφέρει από συνιστώσα σε συνιστώσα και από έτος σε έτος.

Για λόγους ευκολίας, συνηθίζεται ο πληθωρισμός να αναφέρεται σε ένα έτος και σε συγκεκριμένη ομάδα δαπανών, π.χ., μισθοδοσία, καύσιμα, ανταλλακτικά, και άλλα.

3.3.1.4 Παρούσα αξία(P)

Εάν σήμερα επενδυθεί ποσό P, το άθροισμα κεφαλαίου και τόκων μετά από N περιόδους θα είναι

$$F = P \cdot \prod_{t=1}^N (1 + d_t)$$

όπου d_t είναι το επιτόκιο αγοράς κατά το έτος t.

Αντίστροφα, για να αποκτηθεί ποσό F μετά από N περιόδους, πρέπει σήμερα να επενδυθεί ποσό

$$P = \frac{F}{\prod_{t=1}^N (1 + d_t)}$$

Το P λέγεται παρούσα αξία του μελλοντικού ποσού F. Εάν το επιτόκιο θεωρηθεί σταθερό, τότε

$$P = \frac{F}{(1 + d)^N}$$

Το επιτόκιο d λέγεται και επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία.

3.3.1.5 Συντελεστής τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης (capital recovery factor, CRF)

Λέγεται επίσης και συντελεστής ανάκτηση κεφαλαίου. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ετήσιου κόστους(ή ετήσια αξίας) κεφαλαίου μιας επένδυσης. Ισχύει η σχέση:

$$A = P \cdot CRF(N, d)$$

A: ετήσιο κόστος κεφαλαίου

P: ποσό της επένδυσης

CRF: συντελεστής τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης

και

$$CRF(N, d) = \frac{d \cdot (1 + d)^N}{(1 + d)^N - 1}$$

Οι ίδιες σχέσεις χρησιμοποιούνται επίσης και για τον προσδιορισμό των ισόποσων δόσεων A , που πρέπει να καταβάλλονται στο τέλος κάθε περιόδου ώστε σε N περιόδους, να εξοφληθεί δάνειο ύψους P με επιτόκιο δανεισμού d .

3.3.2 Οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης

Διάφοροι οικονομικοί δείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση συστημάτων συμπαράγωγής : καθαρή παρούσα αξία, απόδοση κεφαλαίου, λόγος οφέλους/κόστους, έντοκη περίοδος αποπληρωμής, κ.λ.π.. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται σύστημα αναφοράς με το οποίο συγκρίνεται αυτό της συμπαράγωγής. Ως σύστημα αναφοράς θεωρείται εδώ ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ενεργειακών αναγκών: αγορά ηλεκτρισμού από τη Δ.Ε.Η. και παραγωγή θερμότητας με λέβητα του χρήστη.

3.3.2.1 Καθαρή Παρούσα Αξία (Κ.Π.Α.)

Καθαρή παρούσα αξία είναι το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης, που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης. Όλα τα ποσά εκφράζονται σε παρούσα αξία, ανηγμένη συνήθως στην αρχή του πρώτου έτους λειτουργίας του συστήματος. Η καθαρή παρούσα αξία προσδιορίζεται από τη σχέση

$$Κ. Π. Α. = -K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{KTP_n}{(1+d)^t}, \text{ όπου}$$

K_0 : το κόστος αρχικής επένδυσης,

KTP : οι καθαρές ταμειακές ροές,

N : οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης,

d : επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (επιθυμητή απόδοση κεφαλαίου).

Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- $Κ.Π.Α.>0$ Η επένδυση είναι βιώσιμη κάτω από τις δεδομένες συνθήκες (οικονομικός κύκλος ζωής N και βαθμός απόδοσης ίσος με d)
- $Κ.Π.Α.=0$ Η επένδυση είναι βιώσιμη με μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης ίσο με d
- $Κ.Π.Α.<0$ Η επένδυση είναι αντισυμβατική

3.3.2.2 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Ε.Β.Α.)

Η απόδοση κεφαλαίου είναι η τιμή του επιτοκίου αγοράς, IRR , που κάνει την παρούσα αξία μιας σειράς πληρωμών και εισπράξεων ίση με το μηδέν. Προσδιορίζεται ως λύση της εξίσωσης : $Κ.Π.Α.(d=EBA)=0$
όπου $Κ.Π.Α.$ η παρούσα αξία, ενώ η ένδειξη $d=EBA$ υπονοεί ότι η εξίσωση λύνεται ως προς d .

ίσο με το επιτόκιο πληθωρισμού.

3.3.2.3 Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (discounted payback period, DPB)

Έντοκη περίοδος αποπληρωμής είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης καθώς και των τόκων που θα μπορούσαν να ληφθούν από μια εναλλακτική τοποθέτηση του αρχικού κεφαλαίου. Προσδιορίζεται ως λύση της εξίσωσης:

$$K.P.A._{(N=DPB)}=0$$

όπου K.P.A. η παρούσα αξία, ενώ η ένδειξη $N=DPB$ υπονοεί ότι η εξίσωση λύνεται ως προς N .

$$DPB = \frac{-\ln\left(1 - \frac{d \cdot K_0}{KTP}\right)}{\ln(1 + d)}$$

3.3.3 Αξιολόγηση συστημάτων συμπαραγωγής σε επίπεδο ιδιώτη επενδυτή

Η οικονομική βιωσιμότητα επενδύσεων σε συστήματα συμπαραγωγής εξαρτάται από:

- τα ετήσια λειτουργικά οφέλη που προκύπτουν από την υποκατάσταση αγοράς ηλεκτρικής ισχύος και ενέργειας από την επιχείρηση ηλεκτρισμού καθώς και από την εξοικονόμηση καυσίμου για παραγωγή θερμικής ενέργειας με συμβατικό λέβητα,
- το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του συστήματος συμπαραγωγής. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος προσδιορισμού των ετήσιων δαπανών και του ετήσιου λειτουργικού οφέλους.

3.3.3.1 Ετήσιο καθαρό όφελος (F_t)

Προκειμένου να αξιολογηθεί μια επένδυση συμπαραγωγής σε επίπεδο ιδιώτη επενδυτή, είναι αναγκαίο να προσδιορισθεί η ταμιακή εξυπηρέτησή της και κατόπιν να υπολογισθεί η καθαρή απόδοση των ιδίων κεφαλαίων. Τα ίδια κεφάλαια μιας ιδιωτικής επένδυσης εξαρτώνται από τη δυνατότητα του ίδιου του επενδυτή να δεσμεύσει κεφάλαια σε μονάδα συμπαραγωγής, από τα επίπεδα επιχορηγήσεων, που προσφέρονται μέσω αναπτυξιακών νόμων ή άλλων προγραμμάτων, και από τη δυνατότητα πρόσβασης του επενδυτή στην εγχώρια ή διεθνή χρηματαγορά. Το ύψος των ιδίων κεφαλαίων, K_0 , μιας επένδυσης προσδιορίζεται από τη σχέση Το ύψος των ιδίων κεφαλαίων, k , μιας επένδυσης προσδιορίζεται από τη σχέση

$$K_0 = C - C_e - L = (1 - \pi_e - I) C$$

όπου

C : κόστος του συστήματος συμπαραγωγής

C_e : ποσό επένδυσης

L : ποσό προερχόμενο από δανεισμό

π_e : ποσοστό επένδυσης

I : ποσοστό δανεικού κεφαλαίου: $I=L/C$

Η ετήσια δόση αποπληρωμής του δανείου προκύπτει από τη σχέση:

$$A_L = L \cdot \text{CRF}(N_L, r)$$

όπου

N_L : περίοδος αποπληρωμής του δανείου

r : επιτόκιο δανεισμού

Η δόση αυτή αποτελείται από ένα μέρος του δανεικού κεφαλαίου και από τους τόκους. Οι τόκοι μειώνονται σταδιακά κατά τη διάρκεια της περιόδου αποπληρωμής του δανείου, διότι εξαρτώνται από το ποσό δανεισμού που έχει απομείνει στην αρχή του κάθε έτους. Είναι χρήσιμα τα εξής μεγέθη:

L_t : υπολειπόμενο ποσό δανείου στην αρχή του έτους t

ΔL_t : μείωση του ποσού του δανείου στο τέλος του έτους t

L_{t+1} : υπολειπόμενο ποσό δανείου στην αρχή του έτους $t+1$: $L_{t+1} = L_t - \Delta L_t$

Το ετήσιο καθαρό όφελος το προκύπτει από την ένταξη ενός συστήματος συμπαραγωγής στο ενεργειακό σύστημα μιας επιχείρησης προσδιορίζεται από τη σχέση

$$F_t = f_t - A_L - \varphi f_{\varphi t}$$

όπου

F_t : καθαρό όφελος κατά το έτος t

f_t : λειτουργικό όφελος κατά το έτος t

φ : φορολογική κλίμακα του επενδυτή

$f_{\varphi t}$: φορολογητέα κέρδη κατά το έτος t : $f_{\varphi t} = f_t - A - I_{L_t}$

A ετήσια λογιστικής απόσβεσης

n χρονική διάρκεια λογιστικής απόσβεσης

Άρα τελικά προκύπτει

$$F_t = (1 - \varphi)f_t + \varphi A - (A_L - \varphi I_{L_t})$$

3.3.1.2 Ετήσιο λειτουργικό όφελος (f_t)

Το ετήσιο λειτουργικό όφελος για τον τελικό χρήστη του συστήματος συμπαραγωγής είναι η διαφορά μεταξύ της ετήσιας αξίας της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και του κόστους λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος:

$$F_t = (K_{\eta} + \Pi + K_{\theta} - K_f - \Delta)_t$$

όπου

K_{η} : αξία ηλεκτρικής ενέργειας που έχει παραχθεί από το σύστημα συμπαραγωγής,

Π : πρόσδοδος από την πώληση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας,

K_{θ} : αξία θερμικής ενέργειας που έχει παραχθεί από το σύστημα συμπαραγωγής,

K_f : κόστος καυσίμου του συστήματος συμπαραγωγής,

Δ : δαπάνες συντήρησης και λειτουργίας (πλην καυσίμου) του συστήματος συμπαραγωγής

Ο δείκτης t σημαίνει ότι τα μεγέθη μέσα στην παρένθεση αναφέρονται στο έτος t . Εάν κάποια δαπάνη αυξάνει διαδοχικά με ρυθμό διάφορο του γενικού πληθωρισμού, ο οποίος είναι ίσος με μηδέν κατά την ανάλυση σε σταθερές τιμές, τότε το ύψος της δαπάνης αυτής κατά το έτος t υπολογίζεται με τη σχέση

$$K_t = K(1+i)^t$$

όπου

κ: αρχική τιμή της δαπάνης

i: ετήσιος διαφορικός (ως προς το γενικό) δείκτης πληθωρισμού

3.4 Επιλογή ΣΗΘ

Ένα σημαντικό πρόβλημα για τον ενεργειακό σύμβουλο που εκπονεί τη μελέτη είναι η διαστασιολόγηση του συστήματος ΣΗΘ στο κτήριο, δηλαδή, η επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας για τη μονάδα ΣΗΘ και συνεπώς ο σχεδιασμός όλου του συστήματος.

Πρέπει να τονισθεί ότι είναι απαραίτητο να υλοποιηθούν εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας στο περίβλημα του κτηρίου, 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, ΖΝΧ, ατμό, θερμική/ψυκτική ενέργεια στους ενοίκους του κτηρίου
- περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα από τη χρήση της ΣΗΘ.

Επίσης, απαιτούνται γνώσεις του ισχύοντος νομοθετικού πλαισίου και των ρυθμιστικών διατάξεων που αφορούν την εγκατάσταση και λειτουργία της μονάδας ΣΗΘ στο κτήριο. Είναι πιθανόν οι προαναφερόμενες διατάξεις να θέτουν όρια στο σχεδιασμό και στη λειτουργία της μονάδας ΣΗΘ (πχ επίπεδα θορύβου, όριο εκπομπών αερίων ρύπων, κλπ).

Από την αρχική ιδέα για την εγκατάσταση συστήματος ΣΗΘ στο κτήριο έως τη μελέτη εφαρμογής, υπάρχουν τρία στάδια που πρέπει να υλοποιηθούν με επιτυχία:

- α. προμελέτη,
- β. τεχνοοικονομική μελέτη με επιλογή του συστήματος ΣΗΘ,
- γ. μελέτη εφαρμογής.

Αναλυτικότερα:

α. Κατά τη διάρκεια της προμελέτης για ένα υφιστάμενο κτήριο, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ενεργειακή διαγνωστική (energy audit) για τη συλλογή πληροφοριών και στοιχείων από τις προηγούμενες ενεργειακές καταναλώσεις του. Το αποτέλεσμα της ενεργειακής διαγνωστικής θα δείξει αν στο κτήριο, πριν την εγκατάσταση μονάδας ΣΗΘ, η εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (πχ μόνωση οροφής και περιβλήματος του κτηρίου, βελτίωση συστημάτων θέρμανσης / ψύξης / αερισμού, κλπ) ήταν επιτυχής, ή απαιτούνται πρόσθετα μέτρα. Επίσης, θα καταγράψει τις ηλεκτρικές και θερμικές / ψυκτικές καταναλώσεις, καθώς και τις ελάχιστες, μέσες και μέγιστες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και θερμικής / ψυκτικής ενέργειας ανά m² ή άτομο. Τέλος, η προμελέτη θα καθορίσει τη δυνατότητα διασύνδεσης του συστήματος ΣΗΘ με τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμου. Για τα κτήρια που βρίσκονται στη φάση σχεδιασμού ή αρχικής κατασκευής, παρόμοια πολιτική θα πρέπει να ακολουθηθεί κατά τη διάρκεια της προμελέτης, όμως η εγκατάσταση και η διασύνδεση του συστήματος ΣΗΘ με την υπόλοιπη εγκατάσταση είναι ευκολότερη και η πιθανότητα για οικονομική βιωσιμότητα πιο μεγάλη.

Σημασία έχει, οι υποθέσεις και παραδοχές για τον υπολογισμό των ηλεκτρικών/ψυκτικών/θερμικών φορτίων, να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερες προς την πραγματικότητα. Κατά τη διάρκεια της προμελέτης παράγονται τεχνικά σχέδια για την κατανόηση των πιθανών εμποδίων ή προβλημάτων που θα προκύψουν.

β. Κατά τη διάρκεια της τεχνοοικονομικής μελέτης επιλέγεται η μηχανή (ή οι μηχανές) ΣΗΘ που καλύπτει απόλυτα το θερμικό προφίλ του κτηρίου. Υπολογίζονται όλα τα περιφερειακά εξαρτήματα ή/και συστήματα που απαιτούνται, ώστε η μονάδα να λειτουργήσει χωρίς προβλήματα (πχ αντλίες, συνδέσεις με δίκτυα ενέργειας, κλπ). Με βάση τις διαστάσεις της επιλεγμένης μηχανής ΣΗΘ υπολογίζεται η χωροταξική τοποθέτησή της στο λεβητοστάσιο / ψυχροστάσιο καθώς και τα έργα πολιτικού μηχανικού, εφόσον απαιτούνται.

Υπολογίζονται όλα τα πιθανά κόστη της επένδυσης, λαμβάνονται υπόψη:

- τα ίδια κεφάλαια,
- το τυχόν δανειακό κεφάλαιο, και εφόσον υπάρχει,
- η κρατική επιχορήγηση για το έργο

και υπολογίζονται:

- η απόσβεση της επένδυσης με τις ισχύουσες ενεργειακές τιμές (αγορά/πώληση ΗΕ),
- ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης και
- η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης.

Κατά τη διάρκεια της τεχνοοικονομικής μελέτης σχεδιάζονται γενικά σχέδια (μηχανολογικά, ηλεκτρολογικά, κλπ), υπό κλίμακα. Τέλος, συμπληρώνονται τα απαιτούμενα έντυπα παραγγελίας του εξοπλισμού, ώστε ο επενδυτής να μπορεί άμεσα να απευθυνθεί στην τράπεζα για την πληρωμή του, μέσω τραπεζικής εντολής.

γ. Κατά τη διάρκεια της μελέτης εφαρμογής, ο ενεργειακός μελετητής της εγκατάστασης ΣΗΘ σχεδιάζει τα τελικά σχέδια, με την καλύτερη δυνατή λεπτομέρεια. Τα σχέδια αφορούν κυρίως:

- στη χωροθέτηση του συστήματος ΣΗΘ στο χώρο εγκατάστασης, με βάση τα ισχύοντα από τις πολεοδομικές, πυροσβεστικές και άλλες διατάξεις για συστήματα παραγωγής ενέργειας (πχ αερισμός χώρου, πυρόσβεση, κλπ),
- στη διασύνδεση του συστήματος ΣΗΘ με το υφιστάμενο εντός κτηρίου σύστημα παροχής καυσίμου (πετρελαίου ή αερίου), με βάση του ισχύοντες κανονισμούς,
- στη διασύνδεση του συστήματος ΣΗΘ με το υφιστάμενο δίκτυο, με βάση τους Κώδικες Διασύνδεσης και τις διατάξεις του Διαχειριστή του Ηλεκτρικού Δικτύου,
- στη σύνδεση του συστήματος ΣΗΘ με το δίκτυο ύδρευσης του κτηρίου, με βάση τις ισχύουσες διατάξεις,
- το σύστημα απαγωγής των καυσαερίων του συστήματος ΣΗΘ και της διαδρομής του από το χώρο εγκατάστασης στο εξωτερικό περιβάλλον,
- στη διασύνδεση της παραγόμενης χρήσιμης θερμότητας από το σύστημα ΣΗΘ με το δίκτυο θέρμανσης και ΖΝΧ ή, αν εγκαθίσταται σύστημα τριπαραγωγής, με τη μονάδα απορρόφησης,
- στο σύστημα ελέγχου και αυτοματισμών, τόσο της μονάδας ΣΗΘ, όσο και όλης της εγκατάστασης,
- όποιο άλλο σχεδιάγραμμα απαιτείται από τις αρμόδιες αρχές (πολεοδομία, ΔΕΗ, ΕΠΑ, κ.λ.π.).

Κεφάλαιο 4 – Φορτία ξενοδοχείου και κόστος συμβατικής λύσης

4.1 Εισαγωγή

Το ξενοδοχείο, που λειτούργησε το 1991 και επεκτάθηκε το 1995, είναι τριών αστέρων και η δυναμικότητά του είναι 140 δωμάτια και 280 κλίνες. Λειτουργεί όλο το χρόνο και βρίσκεται σε απόσταση 2 χιλιομέτρων από την πόλη του Ρεθύμνου. Τα στοιχεία κατασκευής και κατανάλωσης του ξενοδοχείου έχουν παρθεί από ενεργειακή επιθεώρηση του ΚΑΠΕ.

Αποτελείται από το κεντρικό κτίριο και από τέσσερα μικρότερα συγκροτήματα, ανεξάρτητα μεταξύ τους. Στο ισόγειο του κεντρικού κτιρίου στεγάζονται η υποδοχή, η καφετέρια, το εστιατόριο και η κουζίνα, στο υπόγειο οι αίθουσες ψυχαγωγίας και συνεδριάσεων καθώς και οι μηχανολογικές εγκαταστάσεις. Στους άλλους δύο ορόφους βρίσκονται 30 δωμάτια.

Στα υπόλοιπα κτίρια, που είναι διάφορα, η κατανομή των δωματίων ανά συγκρότημα είναι αντίστοιχα 49, 11, 41 και 9 δωμάτια (110 δωμάτια συνολικά). Η συνολική δομημένη επιφάνεια είναι 3.821 m², από την οποία τα 2.572 m² αφορούν τα δωμάτια (67%), τα 908 m² (24%) τους κοινόχρηστους χώρους -διάδρομοι, εστιατόρια, χώροι υποδοχής-, τα 150 m² τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις -μαγειρεία, λεβητοστάσια (4%) και τα υπόλοιπα 191 m² τους λοιπούς χώρους (5%).

Η ηλεκτροδότηση του ξενοδοχείου γίνεται από το δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΗ. Η εγκαταστημένη ισχύς είναι 468 kVA, ενώ η συμφωνημένη με τη ΔΕΗ ισχύς είναι 400 kW. Η μέγιστη ζήτηση ισχύος στην περίοδο αιχμής (Αύγουστος) φτάνει περίπου τα 160 kW. Οι αιχμές μέγιστης ζήτησης εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των πρώτων πρωινών και απογευματινών ωρών. Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι, κατά μέσο όρο, 300.000 kWh το χρόνο. Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται από μέρος του εξοπλισμού της κουζίνας, από τα ψυγεία-καταψύκτες, τις αντλίες-κυκλοφορητές, τον κλιματισμό, τα πλυντήρια και το φωτισμό.

Η οροφή του κτιρίου αποτελείται από τσιμεντένια πλάκα, χωρίς την απαιτούμενη μόνωση. Τα δωμάτια έχουν πλαίσια αλουμινίου και ξύλινες πόρτες εισόδου. Τα περισσότερα έχουν κακή στεγανότητα και πολλά ανοίγματα, λόγω παλαιότητας και έκθεσης στην αλμύρα της θάλασσας. Στην οροφή του κτιρίου είναι εγκατεστημένο ένα κεντρικό ηλιακό σύστημα, του οποίου η δυναμικότητα είναι πολύ μικρότερη από την απαιτούμενη, κάνοντας αναγκαία τη συμπληρωματική λειτουργία ενός λέβητα. Τέλος, χρησιμοποιείται και υγραέριο για τη λειτουργία του εξοπλισμού της κουζίνας.



Σχήμα 4.1 Κατανομή επιφάνειας ξενοδοχείου ανά χρήση

4.2 Ηλεκτρικά φορτία

Η ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά τμήμα του ξενοδοχείου αναγράφεται στον ακόλουθο πίνακα. Καταγράφηκαν τα μηχανήματα και οι συσκευές που λειτουργούν με ηλεκτρισμό και οι ώρες λειτουργίας τους υπολογίστηκαν, για μια τυπική ημέρα λειτουργίας του ξενοδοχείου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε και συναντάμε και ζήτηση κλιματισμού, κατόπιν σχετικών ερωτήσεων στους υπεύθυνους του κάθε τμήματος. Παρατηρείται ότι το τμήμα με τη σημαντικότερη κατανάλωση είναι ο κλιματισμός (46%) και τα πλυντήρια (25%).

Πίνακας 4.1 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ξενοδοχείου ανά τμήμα

ΤΜΗΜΑ	Κατανάλωση (kwh/ημέρα)
ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ	1128
ΠΛΥΝΤΗΡΙΑ	612
ΚΟΥΖΙΝΑ	361
ΑΝΤΛΙΕΣ	143
ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟ	76
SNACK BAR, Παρασκευαστήριο	71
MINI MARKET	12
ΑΛΛΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	52

Παρακάτω παρατίθεται σε ραβδόγραμμα και η συνολική κατανάλωση του ξενοδοχείου σε kWh ανά μήνα.



Σχήμα 4.2 Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh

4.2.1 Φωτισμός

Οι τύποι των λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται στο ξενοδοχείο και η κατανομή τους στους διάφορους χώρους του εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 4.2 Τύποι χρησιμοποιούμενων λαμπτήρων και ώρες λειτουργίας

Τύπος Λαμπτήρα	Αριθμός Λαμπτήρων	Ώρες λειτουργίας / ημέρα	Εγκατεστημένη Ισχύς(KW)
Πυρακτώσεως	790	5	31
Φθορίου	210	5	7,56
Χαμηλής Κατανάλωσης	250	16	5
Χαμηλής Κατανάλωσης(9Watt)	300	3	2,7
Αλογόνου	6	11	1,8

Πίνακας 4.3 Κατανομή λαμπτήρων ανά χώρο και ανά τύπο

Χώρος Εγκατάστασης	Τύπος Λαμπτήρων	Ώρες λειτουργίας / ημέρα	Εγκατεστημένη Ισχύς(KW)
Διάδρομοι	Χαμηλής κατανάλωσης	12	2
Δωμάτια	Πυρακτώσεως + Φθορίου	3	28
Χώροι Υποδοχής	Χαμηλής καταναλ./ πυρακτώσεως	10	3,5
Χώροι Ψυχαγωγίας	Πυρακτώσεως + Φθορίου	10	2,5
Εστιατόρια	Χαμηλής κατανάλωσης	5	0,5
Μαγειρεία	Φθορισμού	8	1,5
Γραφεία & Αποθήκες	Φθορισμού	5	2,2
Πλυντήρια	Πυρακτώσεως	8	0,8
Περιβάλλον Χώρος	Αλογόνου, πυρακτώσεως	11	5,4

Στο σχήμα 4.3 εμφανίζεται η κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό ανά χρήση (διάδρομοι, δωμάτια, κ.ά.). Παρατηρείται ότι η κατανάλωση για το φωτισμό στους διαδρόμους, τους χώρους υποδοχής και τον περιβάλλοντα χώρο είναι αρκετά υψηλή, κυρίως λόγω των πολλών ωρών λειτουργίας.

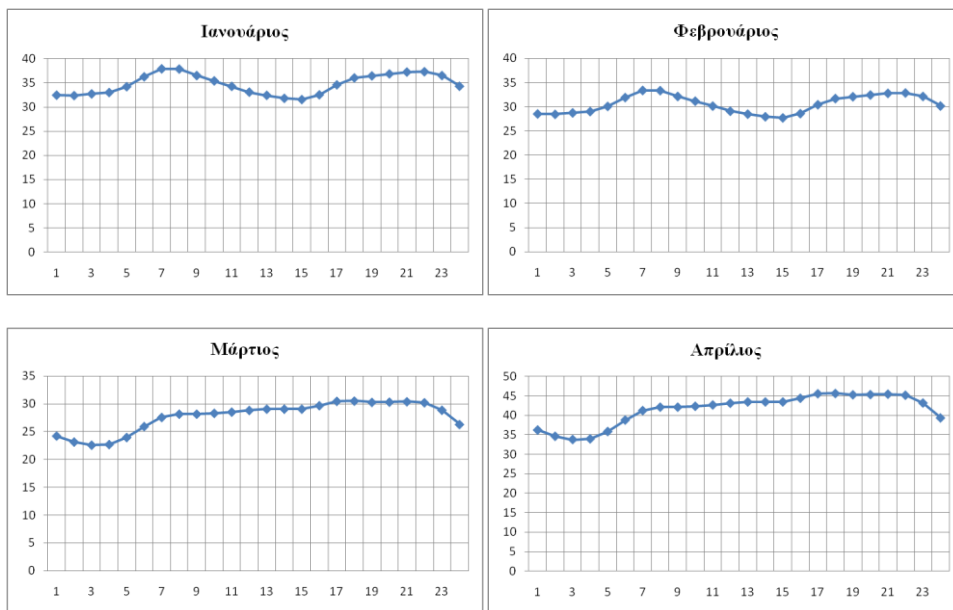
Στα δωμάτια, όπου κυρίως χρησιμοποιούνται λαμπτήρες πυρακτώσεως, η κατανάλωση βρίσκεται στις 82 kWh ημερησίως, αφού οι ώρες λειτουργίας ανά ημέρα είναι λίγες (3-4 ώρες/ ημέρα).



Σχήμα 4.3 Κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρισμού για φωτισμό

4.2.2 Καμπύλες ηλεκτρικού φορτίου

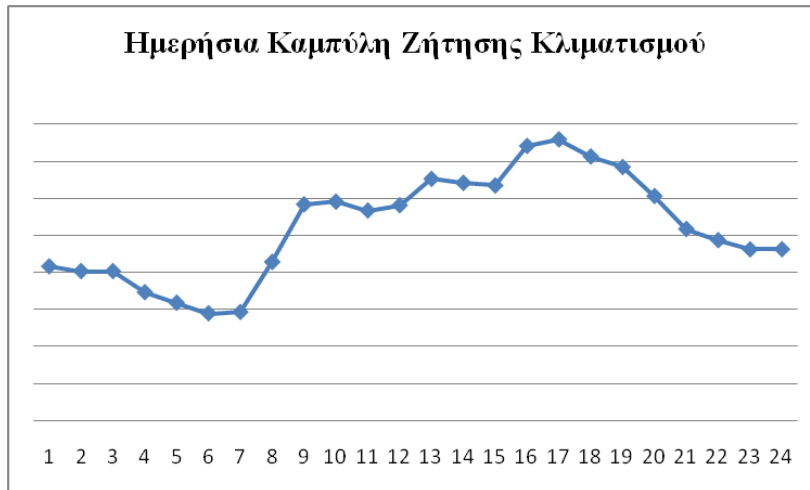
Οι καμπύλες ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου που φαίνονται στα σχήματα 4.4 έχουν ληφθεί από ξενοδοχείο σε θερμή περιοχή της Ισπανίας και είναι χωρισμένες σε τέσσερις εποχές. Σε αυτές έχει προσαρμοστεί το πραγματικό φορτίο ημέρας κάθε μήνα, ώστε να προκύψει ακριβής κατανομή. Συμπεριλαμβάνεται και ο κλιματισμός τους μήνες Απρίλιο-Οκτώβριο.





Σχήματα 4.4 Ημερήσιες καμπύλες ηλεκτρικού φορτίου (σε kWh)

Παρατηρούμε ότι τους καλοκαιρινούς μήνες είναι ιδιαίτερα αυξημένη η ζήτηση ηλεκτρισμού, με αποκορύφωμα τις πρώτες απογευματινές ώρες όπου σημειώνεται η μέγιστη ζήτηση. Τους υπόλοιπους μήνες επικρατεί μεγαλύτερη ομαλότητα. Μεγάλο μέρος της ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου αφορά τον κλιματισμό κατά τους θερμούς μήνες Απρίλιο έως Οκτώβριο, δεδομένου ότι αναφερόμαστε στην περιοχή της Κρήτης. Γι' αυτό το λόγο εξετάζεται παρακάτω και η δυνατότητα τριπαραγωγής. Η καμπύλη του κλιματισμού αντιστοιχεί σε εκείνη ξενοδοχείων της Ευρώπης εκτός των βόρειων χωρών. Η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που καταναλώνεται για κλιματισμό, όμως, προκύπτει από την επιθεώρηση του ΚΑΠΕ για το εν λόγω ξενοδοχείο και η κατανομή στους 7 μήνες από άλλη ξενοδοχειακή μονάδα στην Κρήτη.



Σχήμα 4.5 Ημερήσια καμπύλη ζήτησης κλιματισμού σε kWh για τους μήνες Απρίλιο-Οκτώβριο

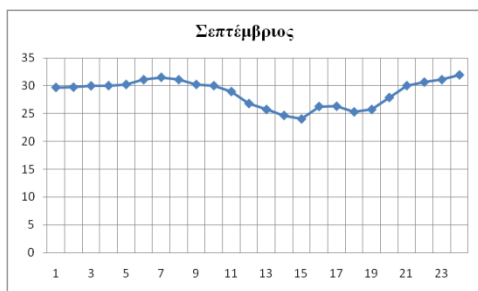
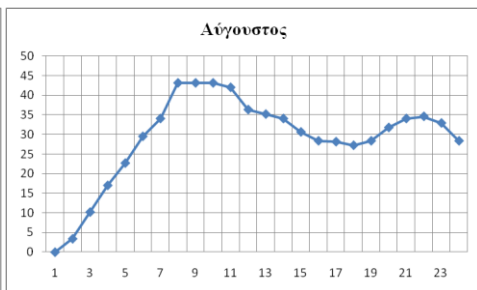
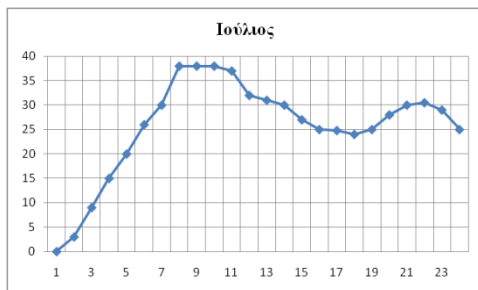
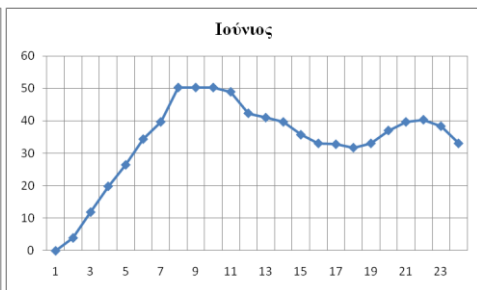
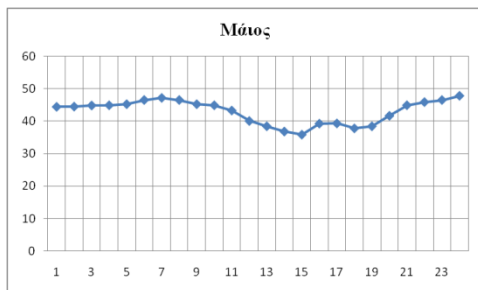
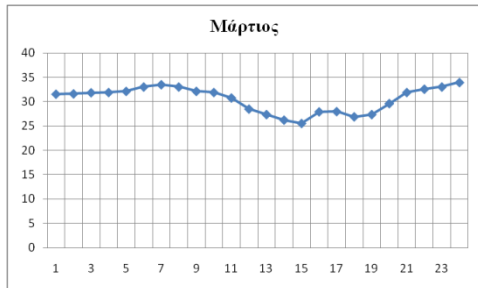


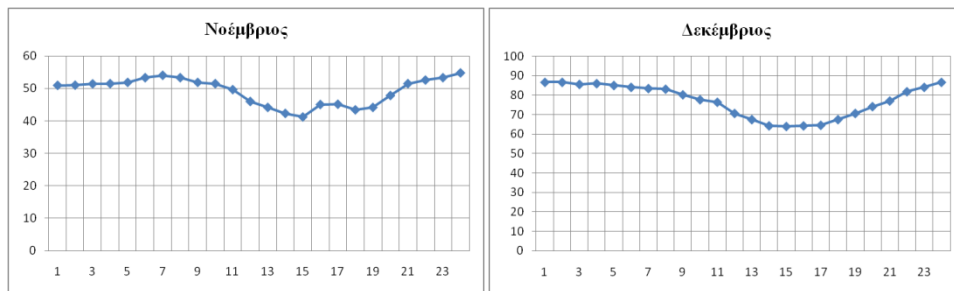
Σχήμα 4.6 Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό σε kWh

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη του κλιματισμού είναι σε συμφωνία όσον αφορά την ώρα της ημέρας για την αιχμή του ηλεκτρικού φορτίου. Επίσης, παρατηρούμε ότι η ζήτηση τους καλοκαιρινούς μήνες και το Σεπτέμβριο αποτελούν σχεδόν το σύνολο όλης της ζήτησης.

4.3 Θερμικά φορτία

Για τη θέρμανση όλων των χώρων του ξενοδοχείου, αλλά και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης χρησιμοποιούνται λέβητες και καυστήρες πετρελαίου. Από τους ηλιακούς συλλέκτες παράγονται περίπου 20000 kWh ετησίως, ποσό ελάχιστο σε σχέση με τις ανάγκες της μονάδας. Παρακάτω παρατίθενται οι καμπύλες κατανάλωσης θερμότητας (προερχόμενη από πετρέλαιο) ανά ημέρα και ώρα του κάθε μήνα. Δε γίνεται διαχωρισμός θέρμανσης και ΖΝΧ για λόγους μεγαλύτερης απλοποίησης.





Σχήματα 4.7 Ημερήσιες καμπύλες θερμικού φορτίου ανά μήνα σε kWh

4.3.1 Υπάρχον σύστημα θέρμανσης

Ο κλιματισμός των κτιριακών εγκαταστάσεων καλύπτεται από μια υδρόψυκτη κεντρική κλιματιστική μονάδα ισχύος 84 kW. Η ψύξη γίνεται μέσω fan-coils, με ισχύ περίπου 7.000 Btu/h. Ακόμη, χρησιμοποιείται ένας λέβητας για την παραγωγή ζεστού νερού και ένας για την κεντρική θέρμανση των χώρων του κτιρίου. Ο πρώτος λέβητας είναι ονομαστικής ισχύος 160.000 kcal/h και λειτουργεί περίπου 8 ώρες την ημέρα, καλύπτοντας τις ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης του κεντρικού κτιρίου και των υπόλοιπων κτιριακών συγκροτημάτων, δεδομένου ότι το κεντρικό σύστημα ηλιακών συλλεκτών αφενός δεν έχει ικανοποιητική απόδοση και αφετέρου η επιφάνεια των συλλεκτών δεν είναι η απαιτούμενη. Το ζεστό νερό χρήσης έχει θερμοκρασία 60°C. Ο δεύτερος λέβητας, ονομαστικής ισχύος 410.000 kcal/h, καλύπτει τις ανάγκες κεντρικής θέρμανσης του κεντρικού κτιρίου και των υπόλοιπων συγκροτημάτων, σε περίπτωση βλάβης του πρώτου και στις περιπτώσεις μέγιστης ζήτησης θερμικού φορτίου. Οι λέβητες και οι καυστήρες Νο 1 & 2 είναι των ιδίων κατασκευαστών και έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Πίνακας 4.3 Χαρακτηριστικά Λεβήτων-Καυστήρων

	Λέβητας Νο 1		Λέβητας Νο 2	
Έτος Εγκατάστασης	1990		1990	
Ισχύς	160000 kcal/h		410000 kcal/h	
Πίεση λειτουργίας	5 atm		5 atm	
Θερμ/σία λειτουργίας	Έως 110 °C		Έως 110 °C	
Θερμ/σία λεβητοστασίου	25 °C		25 °C	
Υγρασία λεβητοστασίου	58%		58%	
	Καυστήρας Νο1		Καυστήρας Νο2	
Παροχή καυσίμου	Min	Max	Min	Max
	11kg/h	21kg/h	13kg/h	55kg/h
Απόδοση	93%		93%	

4.3.2 Καταναλώσεις καυσίμων

Το καύσιμο που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χώρων και σε μεγάλο βαθμό για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης είναι το πετρέλαιο. Το υγραέριο χρησιμοποιείται για τον βασικό εξοπλισμό της κουζίνας και ο ηλεκτρισμός για το φωτισμό του κτιρίου, τον υπόλοιπο εξοπλισμό της κουζίνας, τα πλυντήρια -στεγνωτήρια, τον κλιματισμό, την κίνηση των μηχανών και άλλες χρήσεις.

Δευτερεύουσα παραγωγή ζεστού νερού χρήσης πραγματοποιείται από το κεντρικό σύστημα ηλιακών συλλεκτών.

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η μηνιαία κατανάλωση πετρελαίου και υγραερίου. Υπάρχουν διαφορές κάθε μήνα ανάλογα με τη ζήτηση θερμότητας, αλλά και με την πληρότητα του ξενοδοχείου.



Σχήμα 4.8 Μηνιαία κατανάλωση πετρελαίου σε λίτρα



Σχήμα 4.9 Μηνιαία κατανάλωση υγραερίου σε kg

4.4 Υπολογισμός κόστους παροχής ενέργειας συμβατικής λύσης

Οι μορφές ενέργειας που καταναλώνονται στην ξενοδοχειακή μονάδα στη “συμβατική περίπτωση” είναι η ηλεκτρική ενέργεια που προμηθεύεται από το δίκτυο της ΔΕΗ και η θερμική που προέρχεται από την καύση πετρελαίου και υγραερίου σε λέβητα και από το σύστημα ηλιακών συλλεκτών.

4.4.1 Υπολογισμός κόστους θερμικής ενέργειας

Αφού γνωρίζουμε την κατανάλωση πετρελαίου και υγραερίου σε λίτρα και κιλά αντίστοιχα, μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε πόσο κοστίζουν πολλαπλασιάζοντας τις ποσότητες με τις κατάλληλες τιμές. Από το διάγραμμα παραπάνω φάνηκε ότι οι δύο λέβητες έχουν βαθμό απόδοσης 93%, αρκετά ικανοποιητικό δηλαδή για το μέγεθος και την ηλικία τους. Η συντήρηση τους κοστίζει περίπου 500 € το χρόνο. Η τιμή για το πετρέλαιο και το υγραέριο λήφθηκε ως η μέση τιμή πετρελαίου θέρμανσης και υγραερίου στην Κρήτη το Μάιο του 2011, συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ.

Πίνακας 4.4 Κόστος καυσίμων συμβατικής μεθόδου

	Ποσότητα πετρελαίου (λίτρα)	Τιμή πετρελαίου (€/λίτρο)	Ποσότητα υγραερίου (kg)	Τιμή υγραερίου (€/kg)	Κόστος πετρελαίου (ευρώ)	Κόστος Υγραερίου (ευρώ)
Ιανουάριος	4.658	0,85	872	0,8	3.960	698
Φεβρουάριος	2.927	0,85	685	0,8	2.488	548
Μάρτιος	2.048	0,85	384	0,8	1.741	307
Απρίλιος	2.700	0,85	379	0,8	2.295	303
Μάιος	2.882	0,85	567	0,8	2.450	453
Ιούνιος	2.273	0,85	426	0,8	1.932	341
Ιούλιος	1.721	0,85	548	0,8	1.463	438
Αύγουστος	1.952	0,85	768	0,8	1.658	614
Σεπτέμβριος	1.927	0,85	722	0,8	1.638	577
Οκτώβριος	1.715	0,85	225	0,8	1.458	180
Νοέμβριος	3.304	0,85	742	0,8	2.808	594
Δεκέμβριος	5.177	0,85	824	0,8	4.400	659
Σύνολο	33.283		7.141		28.291	5.712

Άρα το σύνολο κόστους σε χρήματα για όλο το χρόνο είναι 34.000 € περίπου, χωρίς βεβαίως να συνυπολογίζεται το κόστος ηλεκτρισμού για κλιματισμό.

4.4.2 Υπολογισμός κόστους ηλεκτρικής ενέργειας

Το ξενοδοχείο αγοράζει όλη την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του από τη ΔΕΗ, σύμφωνα με το γενικό τιμολόγιο Μέσης Τάσης εμπορικής χρήσης, το οποίο αντικατέστησε τα τιμολόγια τύπου Β το 2011, για το οποίο ισχύουν τα παρακάτω:

Πίνακας 4.5 Τιμολόγιο ΔΕΗ για γενική εμπορική χρήση

Ζώνη	Χρέωση Ισχύος (€/kW/μήνα)	Χρέωση ενέργειας (€/kWh)
7:00 - 23:00 τις εργάσιμες μέρες της περιόδου Ιούνιος – Σεπτέμβριος	6,06	
7:00 - 23:00 τις εργάσιμες μέρες της περιόδου Οκτώβριος – Μάιος	2,65	
7:00-23:00 τις εργάσιμες μέρες όλο το έτος		0,06183
23:00-7:00 τις εργάσιμες μέρες και όλες τις ώρες του Σαββατοκύριακου και των αργιών του έτους		0,05103

$XZ = MZ * [(1 - \text{Συντ. Χρησ/σης}) \times 1,7 + 0,1] * \text{Ημέρες Περιόδου Κατανάλωσης} / 30$
 Συντ. Χρησ/σης: Κατανάλωση Περιόδου / 24 * Ημέρες Περιόδου Κατανάλωσης * KMZ

XZ: Χρεωστέα Ζήτηση, MZ: Καταμετρηθείσα Μέγιστη Ζήτηση στις εργάσιμες μέρες μεταξύ 7:00-23:00

KMZ: Καταμετρηθείσα Μέγιστη Ζήτηση, οποιαδήποτε ώρα ημέρας ή νύχτας
 Κατώτατο όριο του Συντ. Χρησ/σης είναι ίσο με 0,25 (25%) για τον υπολογισμό της XZ

Σύμφωνα με το τιμολόγιο αυτό ισχύει:

Πίνακας 4.6 Κόστος ενέργειας και ισχύος

	Συντελεστής Χρησιμοποίησης	Καμετρηθείσα Μέγιστη Ζήτηση(kW)	Συνολική Ζήτηση Ενέργειας(kWh)	Κόστος Ισχύος (ευρώ)	Κόστος Ενέργειας (ευρώ)	Συνολικό Κόστος (ευρώ)
Ιανουάριος	0,630368	60	25.834	75,5	1.505,9	1.513,4
Φεβρουάριος	0,630368	60	20.529	60	1.324,9	1.384,9
Μάρτιος	0,630368	60	20.668	60,9	1.212,1	1.273,0
Απρίλιος	0,630368	60	29.901	88,1	1.812,1	1.900,2
Μάιος	0,630368	60	35.872	105,7	2.103,8	2.209,5
Ιούνιος	0,488308	158	47.020	677,8	2.858,4	3.536,2
Ιούλιος	0,488308	158	56.827	819,2	3.343,1	4.162,3
Αύγουστος	0,488308	158	67.195	968,7	3.953,1	4.921,8
Σεπτέμβριος	0,488308	158	57.000	496,6	3.442,5	3.939,1
Οκτώβριος	0,630368	60	41.331	118,3	2.415,7	2.534,0
Νοέμβριος	0,630368	60	18.014	51,6	1.088,0	1.139,6
Δεκέμβριος	0,630368	60	25.834	75,5	1.505,9	1.581,4
Σύνολο			446.025	3.597,9	26.565,5	30.095,4

Στους παραπάνω υπολογισμούς υπολογίστηκαν τέσσερα Σαββατοκύριακα σε κάθε μήνα με την ανάλογη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ γενικά οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στο τιμολόγιο .

Κεφάλαιο 5 – Επιλογή ΣΗΘ και εξέταση επένδυσης

5.1 Επιλογή Μονάδας ΣΗΘ

Η διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συστήματος συμπαραγωγής για τη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι αρκετά περίπλοκη και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Το σύστημα συμπαραγωγής που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι μια τυποποιημένη μονάδα συμπαραγωγής ολοκληρωμένη που ανήκει στην κατηγορία των συστημάτων συμπαραγωγής πολύ μικρής κλίμακας.

Για την εκτίμηση του συστήματος συμπαραγωγής πρέπει να μελετήσουμε τα παρακάτω :

1. τα χαρακτηριστικά του θερμικού και του ηλεκτρικού φορτίου που καλείται να καλύψει το σύστημα
2. το είδος του συστήματος ΣΗΘ, τον τρόπο λειτουργίας του και την απαιτούμενη ισχύ του
3. αν η τοποθεσία είναι απομονωμένη, οπότε χρειάζονται μπαταρίες, ή αν το σύστημα μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο.

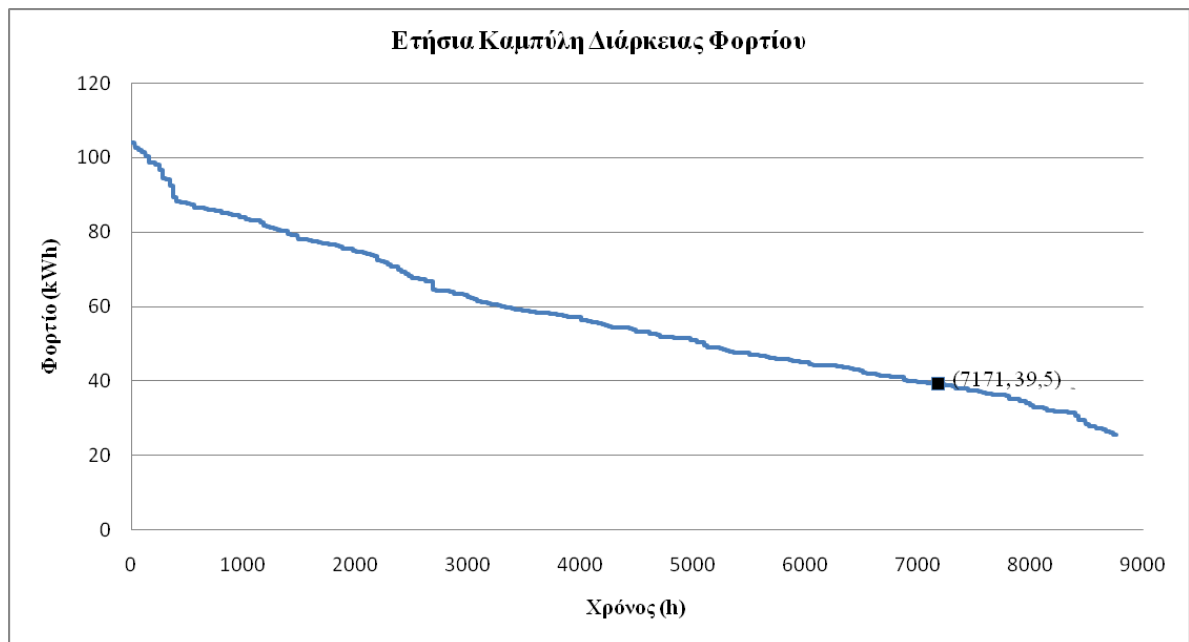
Το θερμικά φορτία που καλείται να καλύψει η μονάδα συμπαραγωγής έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά στην εξέταση της περίπτωσης αναφοράς στο Κεφάλαιο 4. Υπενθυμίζουμε ότι τα προφίλ των θερμικών και των ηλεκτρικών φορτίων υπολογίστηκαν προσεγγιστικά και τα πραγματικά φορτία είναι δυνατόν να παρουσιάσουν αποκλίσεις.

Το σύστημα συμπαραγωγής που θα επιλέξουμε θα είναι ένα σύστημα συμπαραγωγής πολύ μικρής κλίμακας που θα λειτουργεί με φυσικό αέριο και θα έχει ως κύρια λειτουργία την παραγωγή θερμότητας, κάτι που οδηγεί σε καλύτερη οικονομική απόδοση του συστήματος, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Στο σημείο αυτό πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν το γεγονός ότι οι μηχανές των συστημάτων μικρής κλίμακας είναι συνήθως σχεδιασμένες να καλύπτουν το φορτίο βάσης και όχι τις αιχμές. Κάτι τέτοιο μεγιστοποιεί τις ώρες λειτουργίας σε πλήρες φορτίο, καθιστά όμως ταυτόχρονα αναγκαίο το συνδυασμό της συμπαραγωγικής μονάδας με κάποια πρόσθετη πηγή θερμότητας, ικανή να καλύψει τις αιχμές του θερμικού φορτίου. Στην περίπτωσή μας θα θεωρήσουμε ότι η μονάδα συμπαραγωγής που θα επιλέξουμε θα συνδυαστεί με το λέβητα πετρελαίου που προϋπήρχε και μελετήθηκε στη συμβατική λύση.

Επίσης, αν και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πωλείται εξ ολοκλήρου, καθώς η τιμή που προσφέρεται είναι πολύ συμφέρουσα και μεγιστοποιεί το κέρδος, λόγω της εγκατάστασης του συστήματος ψύξης από απορρόφηση και τη χρησιμοποίηση μέρους της παραγόμενης θερμότητας για κλιματισμό, για τη διαστασιολόγηση της μονάδας θα ληφθεί υπόψη και το φορτίο κλιματισμού.

Για τη διαστασιολόγηση του συστήματος ΣΗΘ είναι απαραίτητο να κατασκευάσουμε την ετήσια καμπύλη διάρκειας θερμικού φορτίου, συμπεριλαμβανομένου και του ψυκτικού φορτίου. Από τις διαθέσιμες ωριαίες τιμές του φορτίου προκύπτει η καμπύλη διάρκειας φορτίου του Σχήματος 5.1.



Σχήμα 5.1 Ετήσια καμπύλη διάρκειας φορτίου θερμικού και ψυκτικού

Από την καμπύλη του Σχήματος , η ισχύς του συστήματος ΣΗΘ προκύπτει από το σημείο εκείνο της καμπύλης για το οποίο μεγιστοποιείται το περικλειόμενο εμβαδόν μεταξύ των αξόνων x και y, μεγιστοποιείται με άλλα λόγια η παρεχόμενη στο πλήρες φορτίο ενέργεια. Στην περίπτωσή μας το μέγιστο εμβαδόν προκύπτει κατόπιν υπολογισμών στο Excel για το σημείο (7171,39,5).

Σύμφωνα με τα θερμικά φορτία τα οποία έχουν προβλεφθεί για την λειτουργία της ξενοδοχειακής μονάδας και τα οποία αναλυτικά εξετάστηκαν προηγουμένως, αλλά και αφού με δοκιμές εξετάστηκαν και υπερδιαστασιολογημένες μονάδες κρίνεται ως το καταλληλότερο σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας μια μονάδα με θερμική παραγόμενη ισχύ περίπου 55 kW και ηλεκτρική 26 kW.

Αναζητώντας μια τέτοια μονάδα ΣΗΘ καταλήγουμε στην Mephisto G26 της Kraftwerk GmbH, που αποτελεί ένα παλινδρομικό σύστημα. Η συγκεκριμένη μονάδα λειτουργεί με μηχανή κύκλου Otto, έχει μέγιστη ηλεκτρική ισχύ 26 kW_e, μέγιστη θερμική παραγόμενη ισχύ 55 kW_{th} και βαθμό απόδοσης $\eta = 98\%$ σε καθαρή εκμεταλλεύσιμη ενέργεια (30,5% ηλεκτρική και 67,5% θερμική). Η μονάδα αυτή είναι Γερμανικής προέλευσης και έχει τα τεχνικά χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 5.1

Πίνακας 5.1 Στοιχεία επιλεγμένης μονάδας ΣΗΘ

Κινητήρας	4-κύλινδρος Perkins 1004 Si 3990cm ³
Γεννήτρια	Τετραπολική επαγωγής
Απόδοση Γεννήτριας	>94%
Ηλεκτρική Ισχύς	10-26 kW
Θερμική Ισχύς	38-55 kW
Ισχύς καυσίμου	46-79 kW
Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης	30,5%
Θερμικός Βαθμός Απόδοσης	67,5%
Συνολικός Βαθμός Απόδοσης	98%
Καύσιμο Λειτουργίας	Φυσικό αέριο
Διαστάσεις	1800 × 1040 × 1300 mm
Βάρος	1200 kg

5.2 Παραγωγή μονάδας ΣΗΘ

Στους Πίνακες 5.2- 5.13 παρουσιάζονται σε ωριαία βάση για όλους τους μήνες του έτους η θερμική και η ηλεκτρική παραγωγή της μονάδας ΣΗΘ, η παραγωγή του βοηθητικού λέβητα πετρελαίου, η παραγόμενη από τη ΣΗΘ ηλεκτρική ενέργεια η οποία πωλείται εξ ολοκλήρου στο δίκτυο της ΔΕΗ, η εισαγόμενη από το δίκτυο της ΔΕΗ ηλεκτρική ενέργεια πριν και μετά την εγκατάσταση της ΣΗΘ, και η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία οφείλεται στην ψύξη απορρόφησης. Δηλαδή, μειώνεται μετά την εγκατάσταση της ΣΗΘ η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από κλιματισμό.

Η παραγωγή θερμότητας της μονάδας ΣΗΘ ακολουθεί σε κάθε χρονική στιγμή τη ζήτηση θερμότητας. Εάν η παραγόμενη θερμότητα δεν επαρκεί, επιπλέον θερμότητα παράγεται από το βοηθητικό λέβητα. Παρατηρούμε στα τεχνικά χαρακτηριστικά της συμπαραγωγικής μονάδας ότι η θερμική απόδοση κυμαίνεται μεταξύ 38 και 55 kW. Στην περίπτωση που οι θερμικές απαιτήσεις των χρηστών είναι μικρότερες των 38 kW, θεωρούμε ότι η συμπαραγωγική μονάδα αποδίδει την κατώτατη θερμική ισχύ, τα 38 kW δηλαδή, για κατάλληλο χρονικό διάστημα έως ότου καλύψει τις απαιτήσεις του ξενοδοχείου.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται κάθε στιγμή από τη μονάδα ΣΗΘ υπολογίζεται από την παραγόμενη θερμική ενέργεια με βάση την αναλογία ηλεκτρικής ισχύος-θερμότητας, όπου $PHR = \frac{26}{55} = 0,4727$.

Πίνακας 5.2 Παραγωγή συμβατικών μέσων και ΣΗΘ Ιανουαρίου

Ιανουάριος	Θερμικό φορτίο ξενοδοχείου (kwh)	Θερμική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)	Θερμική Παραγωγή Λέβητα (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ πριν τη ΣΗΘ (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ μετά τη ΣΗΘ (kwh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού Από Ψύξη απορρόφησης (kwh)	Ηλεκτρική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)
0-1	77,97	55,00	22,97	32,44	32,44	0,00	26,00
1-2	77,97	55,00	22,97	32,35	32,35	0,00	26,00
2-3	77,04	55,00	22,04	32,70	32,70	0,00	26,00
3-4	77,39	55,00	22,39	32,99	32,99	0,00	26,00
4-5	76,53	55,00	21,53	34,19	34,19	0,00	26,00
5-6	75,66	55,00	20,66	36,25	36,25	0,00	26,00
6-7	75,08	55,00	20,08	37,91	37,91	0,00	26,00
7-8	74,79	55,00	19,79	37,86	37,86	0,00	26,00
8-9	72,20	55,00	17,20	36,51	36,51	0,00	26,00
9-10	69,89	55,00	14,89	35,40	35,40	0,00	26,00
10-11	68,73	55,00	13,73	34,26	34,26	0,00	26,00
11-12	63,53	55,00	8,53	33,06	33,06	0,00	26,00
12-13	60,65	55,00	5,65	32,40	32,40	0,00	26,00
13-14	57,75	55,00	2,75	31,78	31,78	0,00	26,00
14-15	57,47	55,00	2,47	31,52	31,52	0,00	26,00
15-16	57,72	55,00	2,72	32,51	32,51	0,00	26,00
16-17	58,02	55,00	3,02	34,58	34,58	0,00	26,00
17-18	60,65	55,00	5,65	36,02	36,02	0,00	26,00
18-19	63,53	55,00	8,53	36,44	36,44	0,00	26,00
19-20	66,71	55,00	11,71	36,85	36,85	0,00	26,00
20-21	69,30	55,00	14,30	37,24	37,24	0,00	26,00
21-22	73,64	55,00	18,64	37,31	37,31	0,00	26,00
22-23	75,66	55,00	20,66	36,51	36,51	0,00	26,00
23-24	77,97	55,00	22,97	34,28	34,28	0,00	26,00

Πίνακας 5.3 Παραγωγή συμβατικών μέσων και ΣΗΘ Φεβρουαρίου

Φεβρουάριος	Θερμικό φορτίο ξενοδοχείου (kwh)	Θερμική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)	Θερμική Παραγωγή Λέβητα (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ πριν τη ΣΗΘ (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ μετά τη ΣΗΘ (kwh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού Από Ψύξη απορρόφησης (kwh)	Ηλεκτρική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)
0-1	48,98	48,98	0,00	28,54	28,54	0,00	23,16
1-2	48,98	48,98	0,00	28,46	28,46	0,00	23,16
2-3	48,40	48,40	0,00	28,76	28,76	0,00	22,88
3-4	48,61	48,61	0,00	29,03	29,03	0,00	22,98
4-5	48,07	48,07	0,00	30,08	30,08	0,00	22,72
5-6	47,54	47,54	0,00	31,90	31,90	0,00	22,47
6-7	47,17	47,17	0,00	33,35	33,35	0,00	22,30
7-8	47,00	47,00	0,00	33,31	33,31	0,00	22,22
8-9	45,36	45,36	0,00	32,12	32,12	0,00	21,44
9-10	43,89	43,89	0,00	31,15	31,15	0,00	20,75
10-11	43,17	43,17	0,00	30,14	30,14	0,00	20,41
11-12	39,92	39,92	0,00	29,09	29,09	0,00	18,87
12-13	38,10	38,10	0,00	28,50	28,50	0,00	18,01
13-14	36,29	36,29	0,00	27,96	27,96	0,00	17,16
14-15	36,09	36,09	0,00	27,73	27,73	0,00	17,06
15-16	36,27	36,27	0,00	28,60	28,60	0,00	17,15
16-17	36,45	36,45	0,00	30,42	30,42	0,00	17,23
17-18	38,10	38,10	0,00	31,69	31,69	0,00	18,01
18-19	39,92	39,92	0,00	32,06	32,06	0,00	18,87
19-20	41,91	41,91	0,00	32,42	32,42	0,00	19,81
20-21	43,54	43,54	0,00	32,76	32,76	0,00	20,58
21-22	46,25	46,25	0,00	32,83	32,83	0,00	21,87
22-23	47,54	47,54	0,00	32,12	32,12	0,00	22,47
23-24	48,98	48,98	0,00	30,16	30,16	0,00	23,16

Πίνακας 5.4 Παραγωγή συμβατικών μέσων και ΣΗΘ Μαρτίου

Μάρτιος	Θερμικό φορτίο ξενοδοχείου (kwh)	Θερμική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)	Θερμική Παραγωγή Λέβητα (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ πριν τη ΣΗΘ (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ μετά τη ΣΗΘ (kwh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού Από Ψύξη απορρόφησης (kwh)	Ηλεκτρική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)
0-1	31,57	31,57	0,00	24,22	24,22	0,00	14,92
1-2	31,63	31,63	0,00	23,14	23,14	0,00	14,95
2-3	31,86	31,86	0,00	22,57	22,57	0,00	15,06
3-4	31,91	31,91	0,00	22,69	22,69	0,00	15,09
4-5	32,15	32,15	0,00	23,96	23,96	0,00	15,20
5-6	33,05	33,05	0,00	25,94	25,94	0,00	15,62
6-7	33,52	33,52	0,00	27,58	27,58	0,00	15,84
7-8	33,05	33,05	0,00	28,18	28,18	0,00	15,62
8-9	32,15	32,15	0,00	28,18	28,18	0,00	15,20
9-10	31,91	31,91	0,00	28,33	28,33	0,00	15,09
10-11	30,78	30,78	0,00	28,55	28,55	0,00	14,55
11-12	28,49	28,49	0,00	28,85	28,85	0,00	13,47
12-13	27,36	27,36	0,00	29,08	29,08	0,00	12,93
13-14	26,21	26,21	0,00	29,08	29,08	0,00	12,39
14-15	25,52	25,52	0,00	29,08	29,08	0,00	12,07
15-16	27,92	27,92	0,00	29,71	29,71	0,00	13,20
16-17	27,97	27,97	0,00	30,50	30,50	0,00	13,22
17-18	26,89	26,89	0,00	30,54	30,54	0,00	12,71
18-19	27,36	27,36	0,00	30,31	30,31	0,00	12,93
19-20	29,63	29,63	0,00	30,35	30,35	0,00	14,01
20-21	31,91	31,91	0,00	30,42	30,42	0,00	15,09
21-22	32,60	32,60	0,00	30,24	30,24	0,00	15,41
22-23	33,05	33,05	0,00	28,89	28,89	0,00	15,62
23-24	33,97	33,97	0,00	26,31	26,31	0,00	16,06

Πίνακας 5.5 Παραγωγή συμβατικών μέσων και ΣΗΘ Απριλίου

Απρίλιος	Θερμικό φορτίο ξενοδοχείου (kwh)	Θερμική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)	Θερμική Παραγωγή Λέβητα (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ πριν τη ΣΗΘ (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ μετά τη ΣΗΘ (kwh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού Από Ψύξη απορρόφησης (kwh)	Ηλεκτρική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)
0-1	41,61	41,61	0,00	36,21	33,69	2,52	21,37
1-2	41,67	41,67	0,00	34,59	32,15	2,44	21,35
2-3	42,00	42,00	0,00	33,75	31,31	2,44	21,50
3-4	42,06	42,06	0,00	33,92	31,82	2,10	21,30
4-5	42,36	42,36	0,00	35,82	33,89	1,92	21,32
5-6	43,57	43,57	0,00	38,78	37,03	1,75	21,78
6-7	44,17	44,17	0,00	41,24	39,46	1,77	22,08
7-8	43,57	43,57	0,00	42,13	39,54	2,59	22,35
8-9	42,36	42,36	0,00	42,13	38,59	3,54	22,41
9-10	42,06	42,06	0,00	42,35	38,77	3,58	22,30
10-11	40,56	40,56	0,00	42,69	39,25	3,43	21,49
11-12	37,56	37,56	0,00	43,14	39,61	3,52	20,13
12-13	36,05	36,05	0,00	43,47	39,52	3,95	19,71
13-14	34,55	34,55	0,00	43,47	39,58	3,89	18,96
14-15	33,65	33,65	0,00	43,47	39,63	3,84	18,50
15-16	36,81	36,81	0,00	44,42	39,93	4,49	20,44
16-17	36,87	36,87	0,00	45,59	40,99	4,60	20,54
17-18	35,45	35,45	0,00	45,65	41,33	4,32	19,68
18-19	36,05	36,05	0,00	45,31	41,17	4,15	19,84
19-20	39,06	39,06	0,00	45,37	41,70	3,67	20,94
20-21	42,06	42,06	0,00	45,48	42,35	3,13	22,00
21-22	42,97	42,97	0,00	45,20	42,25	2,95	22,30
22-23	43,57	43,57	0,00	43,19	40,39	2,80	22,49
23-24	44,77	44,77	0,00	39,34	36,54	2,80	23,05

Πίνακας 5.6 Παραγωγή συμβατικών μέσων και ΣΗΘ Μαΐου

Μάιος	Θερμικό φορτίο ξενοδοχείου (kwh)	Θερμική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)	Θερμική Παραγωγή Λέβητα (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ πριν τη ΣΗΘ (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ μετά τη ΣΗΘ (kwh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού Από Ψύξη απορρόφησης (kwh)	Ηλεκτρική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)
0-1	44,42	44,42	0,00	42,04	34,63	7,41	26,00
1-2	44,48	44,48	0,00	40,15	32,79	7,36	26,00
2-3	44,83	44,83	0,00	39,18	32,06	7,12	26,00
3-4	44,90	44,90	0,00	39,38	32,31	7,07	26,00
4-5	45,22	45,22	0,00	41,58	34,74	6,85	26,00
5-6	46,50	46,50	0,00	45,02	39,07	5,95	26,00
6-7	47,14	47,14	0,00	47,87	42,37	5,50	26,00
7-8	46,50	46,50	0,00	48,91	42,96	5,95	26,00
8-9	45,22	45,22	0,00	48,91	42,07	6,85	26,00
9-10	44,90	44,90	0,00	49,17	42,10	7,07	26,00
10-11	43,29	43,29	0,00	49,56	41,36	8,20	26,00
11-12	40,09	40,09	0,00	50,08	39,64	10,44	26,00
12-13	38,48	38,48	0,00	50,47	38,90	11,56	26,00
13-14	36,88	36,88	0,00	50,47	37,78	12,68	26,00
14-15	35,92	35,92	0,00	50,47	37,11	13,36	26,00
15-16	39,29	39,29	0,00	51,57	40,57	11,00	26,00
16-17	39,35	39,35	0,00	52,93	41,98	10,96	26,00
17-18	37,84	37,84	0,00	53,00	40,99	12,01	26,00
18-19	38,48	38,48	0,00	52,61	41,05	11,56	26,00
19-20	41,69	41,69	0,00	52,67	43,36	9,32	26,00
20-21	44,90	44,90	0,00	52,80	45,73	7,07	26,00
21-22	45,86	45,86	0,00	52,48	46,08	6,40	26,00
22-23	46,50	46,50	0,00	50,14	44,19	5,95	26,00
23-24	47,78	47,78	0,00	45,67	40,61	5,05	26,00

Πίνακας 5.7 Παραγωγή συμβατικών μέσων και ΣΗΘ Ιουνίου

Ιούνιος	Θερμικό φορτίο ξενοδοχείου (kwh)	Θερμική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)	Θερμική Παραγωγή Λέβητα (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ πριν τη ΣΗΘ (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ μετά τη ΣΗΘ (kwh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού Από Ψύξη απορρόφησης (kwh)	Ηλεκτρική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)
0-1	0,00	0,00	0,00	56,24	29,78	26,46	17,87
1-2	3,96	3,96	0,00	54,39	28,75	25,65	19,19
2-3	11,89	11,89	0,00	53,12	27,47	25,65	22,94
3-4	19,82	19,82	0,00	52,13	30,12	22,01	24,24
4-5	26,42	26,42	0,00	52,42	32,42	20,01	26,00
5-6	34,35	34,35	0,00	54,39	39,94	14,46	26,00
6-7	39,63	39,63	0,00	56,71	45,95	10,76	26,00
7-8	50,20	50,20	0,00	58,38	55,02	3,36	26,00
8-9	50,20	50,20	0,00	59,37	56,01	3,36	26,00
9-10	50,20	50,20	0,00	60,29	56,93	3,36	26,00
10-11	48,88	48,88	0,00	68,66	64,38	4,28	26,00
11-12	42,28	42,28	0,00	68,77	59,86	8,90	26,00
12-13	40,95	40,95	0,00	69,46	59,63	9,84	26,00
13-14	39,63	39,63	0,00	70,15	59,39	10,76	26,00
14-15	35,67	35,67	0,00	70,97	57,44	13,53	26,00
15-16	33,03	33,03	0,00	85,52	70,14	15,38	26,00
16-17	32,76	32,76	0,00	115,33	99,76	15,57	26,00
17-18	31,71	31,71	0,00	85,90	69,59	16,30	26,00
18-19	33,03	33,03	0,00	70,08	54,70	15,38	26,00
19-20	36,99	36,99	0,00	69,27	56,66	12,61	26,00
20-21	39,63	39,63	0,00	60,74	49,98	10,76	26,00
21-22	40,29	40,29	0,00	60,25	49,95	10,30	26,00
22-23	38,31	38,31	0,00	58,76	47,08	11,68	26,00
23-24	33,03	33,03	0,00	56,02	40,64	15,38	26,00

Πίνακας 5.8 Παραγωγή συμβατικών μέσων και ΣΗΘ Ιουλίου

Ιούλιος	Θερμικό φορτίο ξενοδοχείου (kwh)	Θερμική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)	Θερμική Παραγωγή Λέβητα (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ πριν τη ΣΗΘ (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ μετά τη ΣΗΘ (kwh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού Από Ψύξη απορρόφησης (kwh)	Ηλεκτρική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)
0-1	0,00	0,00	0,00	65,78	30,50	35,28	23,82
1-2	3,00	3,00	0,00	63,61	29,43	34,19	24,51
2-3	9,00	9,00	0,00	62,13	29,93	32,20	26,00
3-4	15,00	15,00	0,00	60,98	32,98	28,00	26,00
4-5	20,00	20,00	0,00	61,31	36,81	24,50	26,00
5-6	26,00	26,00	0,00	63,61	43,31	20,30	26,00
6-7	30,00	30,00	0,00	66,32	48,82	17,50	26,00
7-8	38,00	38,00	0,00	68,28	56,38	11,90	26,00
8-9	38,00	38,00	0,00	69,43	57,53	11,90	26,00
9-10	38,00	38,00	0,00	70,52	58,62	11,90	26,00
10-11	37,00	37,00	0,00	80,31	67,71	12,60	26,00
11-12	32,00	32,00	0,00	80,43	64,33	16,10	26,00
12-13	31,00	31,00	0,00	81,24	64,44	16,80	26,00
13-14	30,00	30,00	0,00	82,05	64,55	17,50	26,00
14-15	27,00	27,00	0,00	83,01	63,41	19,60	26,00
15-16	25,00	25,00	0,00	100,03	79,03	21,00	26,00
16-17	24,80	24,80	0,00	134,89	113,75	21,14	26,00
17-18	24,00	24,00	0,00	100,46	78,76	21,70	26,00
18-19	25,00	25,00	0,00	81,97	60,97	21,00	26,00
19-20	28,00	28,00	0,00	81,02	62,12	18,90	26,00
20-21	30,00	30,00	0,00	71,04	53,54	17,50	26,00
21-22	30,50	30,50	0,00	70,46	53,31	17,15	26,00
22-23	29,00	29,00	0,00	68,73	50,53	18,20	26,00
23-24	25,00	25,00	0,00	65,52	44,52	21,00	26,00

Πίνακας 5.9 Παραγωγή συμβατικών μέσων και ΣΗΘ Αυγούστου

Αύγουστος	Θερμικό φορτίο ξενοδοχείου (kwh)	Θερμική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)	Θερμική Παραγωγή Λέβητα (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ πριν τη ΣΗΘ (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ μετά τη ΣΗΘ (kwh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού Από Ψύξη απορρόφησης (kwh)	Ηλεκτρική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)
0-1	0,00	0,00	0,00	77,78	39,28	38,50	26,00
1-2	3,40	3,40	0,00	75,22	39,10	36,12	26,00
2-3	10,21	10,21	0,00	73,46	42,11	31,35	26,00
3-4	17,01	17,01	0,00	72,10	45,51	26,59	26,00
4-5	22,69	22,69	0,00	72,50	49,88	22,62	26,00
5-6	29,49	29,49	0,00	75,22	57,36	17,86	26,00
6-7	34,03	34,03	0,00	78,42	63,74	14,68	26,00
7-8	43,10	43,10	0,00	80,74	72,41	8,33	26,00
8-9	43,10	43,10	0,00	82,10	73,77	8,33	26,00
9-10	43,10	43,10	0,00	83,38	75,05	8,33	26,00
10-11	41,97	41,97	0,00	94,96	85,84	9,12	26,00
11-12	36,30	36,30	0,00	95,10	82,01	13,09	26,00
12-13	35,16	35,16	0,00	96,06	82,17	13,89	26,00
13-14	34,03	34,03	0,00	97,02	82,34	14,68	26,00
14-15	30,62	30,62	0,00	98,15	81,09	17,07	26,00
15-16	28,36	28,36	0,00	118,28	99,63	18,65	26,00
16-17	28,13	28,13	0,00	159,50	140,69	18,81	26,00
17-18	27,22	27,22	0,00	118,79	99,35	19,45	26,00
18-19	28,36	28,36	0,00	96,92	78,28	18,65	26,00
19-20	31,76	31,76	0,00	95,80	79,53	16,27	26,00
20-21	34,03	34,03	0,00	84,00	69,32	14,68	26,00
21-22	34,59	34,59	0,00	83,32	69,03	14,29	26,00
22-23	32,89	32,89	0,00	81,27	65,79	15,48	26,00
23-24	28,36	28,36	0,00	77,47	58,82	18,65	26,00

Πίνακας 5.10 Παραγωγή συμβατικών μέσων και ΣΗΘ Σεπτεμβρίου

Σεπτέμβριος	Θερμικό φορτίο ξενοδοχείου (kwh)	Θερμική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)	Θερμική Παραγωγή Λέβητα (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ πριν τη ΣΗΘ (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ μετά τη ΣΗΘ (kwh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού Από Ψύξη απορρόφησης (kwh)	Ηλεκτρική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)
0-1	29,70	29,70	0,00	72,07	54,36	17,71	26,00
1-2	29,74	29,74	0,00	71,11	53,42	17,68	26,00
2-3	29,98	29,98	0,00	71,11	53,59	17,51	26,00
3-4	30,02	30,02	0,00	71,11	53,62	17,49	26,00
4-5	30,23	30,23	0,00	72,84	55,53	17,31	25,98
5-6	31,09	31,09	0,00	78,24	62,49	15,75	25,33
6-7	31,52	31,52	0,00	82,76	66,82	15,94	25,67
7-8	31,09	31,09	0,00	82,96	66,22	16,74	26,00
8-9	30,23	30,23	0,00	81,70	64,37	17,34	26,00
9-10	30,02	30,02	0,00	81,13	63,64	17,49	26,00
10-11	28,95	28,95	0,00	80,74	62,51	18,24	26,00
11-12	26,80	26,80	0,00	80,36	60,62	19,74	26,00
12-13	25,73	25,73	0,00	80,16	59,67	20,49	26,00
13-14	24,66	24,66	0,00	79,30	58,06	21,24	26,00
14-15	24,02	24,02	0,00	78,72	57,03	21,69	26,00
15-16	26,27	26,27	0,00	79,78	59,67	20,11	26,00
16-17	26,31	26,31	0,00	81,22	61,14	20,08	26,00
17-18	25,30	25,30	0,00	82,28	61,49	20,79	26,00
18-19	25,73	25,73	0,00	83,05	62,56	20,49	26,00
19-20	27,88	27,88	0,00	83,82	64,84	18,98	26,00
20-21	30,02	30,02	0,00	84,50	67,01	17,49	26,00
21-22	30,66	30,66	0,00	83,82	66,79	17,04	26,00
22-23	31,09	31,09	0,00	81,13	64,39	16,74	26,00
23-24	31,95	31,95	0,00	76,12	59,98	16,14	26,00

Πίνακας 5.11 Παραγωγή συμβατικών μέσων και ΣΗΘ Οκτωβρίου

Οκτώβριος	Θερμικό φορτίο ξενοδοχείου (kwh)	Θερμική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)	Θερμική Παραγωγή Λέβητα (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ πριν τη ΣΗΘ (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ μετά τη ΣΗΘ (kwh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού Από Ψύξη απορρόφησης (kwh)	Ηλεκτρική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)
0-1	26,44	26,44	0,00	50,57	40,49	10,08	19,31
1-2	26,48	26,48	0,00	49,90	40,13	9,77	19,12
2-3	26,69	26,69	0,00	49,90	40,13	9,77	19,21
3-4	26,73	26,73	0,00	49,90	41,51	8,39	18,30
4-5	26,91	26,91	0,00	51,11	43,42	7,69	17,92
5-6	27,68	27,68	0,00	54,90	47,90	7,00	17,81
6-7	28,07	28,07	0,00	58,08	50,99	7,09	18,06
7-8	27,68	27,68	0,00	58,21	47,84	10,37	20,09
8-9	26,91	26,91	0,00	57,33	43,18	14,15	22,28
9-10	26,73	26,73	0,00	56,93	42,60	14,32	22,31
10-11	25,77	25,77	0,00	56,66	42,91	13,74	21,46
11-12	23,86	23,86	0,00	56,39	42,30	14,09	20,79
12-13	22,91	22,91	0,00	56,25	40,43	15,82	21,51
13-14	21,96	21,96	0,00	55,64	40,08	15,56	20,89
14-15	21,39	21,39	0,00	55,24	39,85	15,39	20,50
15-16	23,39	23,39	0,00	55,98	38,00	17,98	23,20
16-17	23,43	23,43	0,00	57,00	38,58	18,41	23,51
17-18	22,53	22,53	0,00	57,74	40,45	17,29	22,33
18-19	22,91	22,91	0,00	58,28	41,68	16,60	22,04
19-20	24,82	24,82	0,00	58,82	44,13	14,70	21,66
20-21	26,73	26,73	0,00	59,29	46,76	12,53	21,10
21-22	27,30	27,30	0,00	58,82	47,02	11,80	20,87
22-23	27,68	27,68	0,00	56,93	45,73	11,19	20,64
23-24	28,44	28,44	0,00	53,41	42,21	11,20	21,01

Πίνακας 5.12 Παραγωγή συμβατικών μέσων και ΣΗΘ Νοεμβρίου

Νοέμβριος	Θερμικό φορτίο ξενοδοχείου (kwh)	Θερμική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)	Θερμική Παραγωγή Λέβητα (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ πριν τη ΣΗΘ (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ μετά τη ΣΗΘ (kwh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού Από Ψύξη απορρόφησης (kwh)	Ηλεκτρική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)
0-1	50,93	50,93	0,00	22,78	22,78	0,00	24,08
1-2	51,00	51,00	0,00	22,47	22,47	0,00	24,11
2-3	51,41	51,41	0,00	22,47	22,47	0,00	24,30
3-4	51,48	51,48	0,00	22,47	22,47	0,00	24,34
4-5	51,85	51,85	0,00	23,02	23,02	0,00	24,51
5-6	53,31	53,31	0,00	24,73	24,73	0,00	25,20
6-7	54,05	54,05	0,00	26,16	26,16	0,00	25,55
7-8	53,31	53,31	0,00	26,22	26,22	0,00	25,20
8-9	51,85	51,85	0,00	25,82	25,82	0,00	24,51
9-10	51,48	51,48	0,00	25,64	25,64	0,00	24,34
10-11	49,63	49,63	0,00	25,52	25,52	0,00	23,46
11-12	45,96	45,96	0,00	25,40	25,40	0,00	21,73
12-13	44,13	44,13	0,00	25,33	25,33	0,00	20,86
13-14	42,28	42,28	0,00	25,06	25,06	0,00	19,99
14-15	41,18	41,18	0,00	24,88	24,88	0,00	19,47
15-16	45,03	45,03	0,00	25,21	25,21	0,00	21,29
16-17	45,12	45,12	0,00	25,67	25,67	0,00	21,33
17-18	43,38	43,38	0,00	26,00	26,00	0,00	20,51
18-19	44,13	44,13	0,00	26,25	26,25	0,00	20,86
19-20	47,81	47,81	0,00	26,49	26,49	0,00	22,60
20-21	51,48	51,48	0,00	26,70	26,70	0,00	24,34
21-22	52,58	52,58	0,00	26,49	26,49	0,00	24,86
22-23	53,31	53,31	0,00	25,64	25,64	0,00	25,20
23-24	54,78	54,78	0,00	24,06	24,06	0,00	25,90

Πίνακας 5.13 Παραγωγή συμβατικών μέσων και ΣΗΘ Δεκεμβρίου

Δεκέμβριος	Θερμικό φορτίο ξενοδοχείου (kwh)	Θερμική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)	Θερμική Παραγωγή Λέβητα (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ πριν τη ΣΗΘ (kwh)	Ηλεκτρικό Φορτίο από ΔΕΗ μετά τη ΣΗΘ (kwh)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρισμού Από Ψύξη απορρόφησης (kwh)	Ηλεκτρική Παραγωγή ΣΗΘ (kwh)
0-1	86,66	55,00	31,66	32,44	32,44	0,00	26,00
1-2	86,66	55,00	31,66	32,35	32,35	0,00	26,00
2-3	85,62	55,00	30,62	32,70	32,70	0,00	26,00
3-4	86,01	55,00	31,01	32,99	32,99	0,00	26,00
4-5	85,05	55,00	30,05	34,19	34,19	0,00	26,00
5-6	84,09	55,00	29,09	36,25	36,25	0,00	26,00
6-7	83,45	55,00	28,45	37,91	37,91	0,00	26,00
7-8	83,12	55,00	28,12	37,86	37,86	0,00	26,00
8-9	80,24	55,00	25,24	36,51	36,51	0,00	26,00
9-10	77,67	55,00	22,67	35,40	35,40	0,00	26,00
10-11	76,38	55,00	21,38	34,26	34,26	0,00	26,00
11-12	70,61	55,00	15,61	33,06	33,06	0,00	26,00
12-13	67,40	55,00	12,40	32,40	32,40	0,00	26,00
13-14	64,19	55,00	9,19	31,78	31,78	0,00	26,00
14-15	63,87	55,00	8,87	31,52	31,52	0,00	26,00
15-16	64,16	55,00	9,16	32,51	32,51	0,00	26,00
16-17	64,47	55,00	9,47	34,58	34,58	0,00	26,00
17-18	67,40	55,00	12,40	36,02	36,02	0,00	26,00
18-19	70,61	55,00	15,61	36,44	36,44	0,00	26,00
19-20	74,13	55,00	19,13	36,85	36,85	0,00	26,00
20-21	77,03	55,00	22,03	37,24	37,24	0,00	26,00
21-22	81,84	55,00	26,84	37,31	37,31	0,00	26,00
22-23	84,09	55,00	29,09	36,51	36,51	0,00	26,00
23-24	86,66	55,00	31,66	34,28	34,28	0,00	26,00

5.3 Εξέταση επένδυσης

Η εγκατάσταση της μονάδας ΣΗΘ είναι μια επενδυτική κίνηση που θα αποφέρει κέρδος και στην Εταιρεία Παροχής Ενεργειακών Υπηρεσιών, αλλά και στον ιδιοκτήτη του ξενοδοχείου μακροπρόθεσμα. Το σημαντικότερο κέρδος προέρχεται από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο Δίκτυο, αλλά και από εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος, λόγω της μειωμένης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό από το δίκτυο, όπως επίσης και καυσίμου.

Η μονάδα που επιλέχθηκε μετά τη μελέτη μας για την κάλυψη των αναγκών του ξενοδοχείου έχει μέγιστη θερμική ισχύ 55 kW, ηλεκτρική ισχύ 26 kW και παράγει περίπου 205.370 kwh ηλεκτρισμού ετησίως. Ακολουθεί ανάλυση των παραμέτρων που κρίνουν την επιλογή της μονάδας.

5.3.1 Αρχικό Κόστος Εγκατάστασης

Το συνολικό κόστος της επένδυσης είναι περίπου 63.800 € και διαμορφώνεται ως εξής:

Κόστος Μονάδας

Για τις μονάδες- ολοκληρωμένα πακέτα το κόστος τους μπορεί να εξαχθεί από συνάρτηση, η οποία έχει προκύψει από προσφορές διαφορετικών εταιρειών για μονάδες διαφορετικής ονομαστικής ισχύος. Για όλα τα παρακάτω κόστη ισχύει, όπως φαίνεται και από τη συνάρτηση που ακολουθεί, ότι το κόστος ανά kW εγκατεστημένο μειώνεται όσο μεγαλώνει η ισχύς της μονάδας. Συγκεκριμένα:

Κόστος Εγκατάστασης και λειτουργίας

Δίνεται από τη συνάρτηση $C = 4361 * p_{el}^{-0,33}$ [€/kW_{el}] και περιλαμβάνει:

- Γεννήτρια και κινητήρα με όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό ασφαλείας και εξοπλισμό παρακολούθησης και όργανα απόσβεσης θορύβου και κραδασμών. Πλήρως συναρμολογημένους εναλλάκτη θερμότητας νερού και εναλλάκτη εξάτμισης αερίου, αντλία ψύξης νερού και σύστημα ελέγχου φυσικού αερίου.
- Κόστος αντιστάθμισης άεργου ισχύος
- Ηχομόνωση για τη μείωση της ηχητικής πίεσης σε επίπεδο μικρότερο από 75 dB Κόστος του καταλύτη (SCR, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργικών δαπανών) για συμμόρφωση με τα απαιτούμενα όρια εκπομπών
- Κόστος λέβητα και αντλιών
- Κόστος παράλληλης λειτουργίας με έλεγχο και παρακολούθηση
- Εάν είναι απαραίτητο, πλήρες σύστημα εξαερισμού
- Μεταφορά, διανομή και εγκατάσταση στο χώρο

Κόστος Τεχνολογίας Συμπύκνωσης

Δίνεται από τη συνάρτηση $C = 724,1 * p_{el}^{-0,566}$ [€/kW_{el}]

Η τεχνολογία συμπύκνωσης σε μονάδες συμπαραγωγής μπορεί να μεγιστοποιήσει την ενεργειακή απόδοση ώστε να επιτευχθεί βέλτιστη απόδοση.

Κόστος παρακολούθησης

Το κόστος της εξ' αποστάσεως παρακολούθησης, συμπεριλαμβανομένης και της εγκατάστασης, κυμαίνεται από 1790 έως 5000 ευρώ. Στη δική μας μελέτη έχει ληφθεί 3000 ευρώ.

Κόστος Chiller

Επιλέγεται ένα chiller μονού σταδίου 15 RT (περίπου 53 kW) , όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2 ,με το παρακάτω κόστος:

- Σύστημα chiller 10.500 €
- Πύργος ψύξης 1.825 €
- Εγκατάσταση 2.750 €

Άρα το συνολικό κόστος είναι 15.075 €.

Επίσης, απαιτούνται περίπου 700 € για τη σύνδεση φυσικού αερίου, και υπολογίζονται 1000 € για άλλες εργασίες. Κόστος μελέτης και αδειοδοτήσεων δεν συμπεριλαμβάνεται, αφού το αναλαμβάνει εξ ' ολοκλήρου η Ε.Π.Ε.Υ. Συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.14 Ανάλυση του αρχικού κόστους επένδυσης

Είδος εργασιών	Κόστος (€)
Αγορά και εγκατάσταση μονάδας	38.692
Τεχνολογία Συμπύκνωσης μονάδας	5.826
Εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης	3.000
Εγκατάσταση chiller	15.075
Σύνδεση Φ.Α.	700
Άλλα	1000
Συνολικό κόστος	64.293

5.3.2 Συμβόλαιο ιδιοκτήτη-Ε.Π.Ε.Υ. και Χρηματοδοτικό σχήμα

Το αρχικό κόστος επένδυσης το αναλαμβάνει εξ' ολοκλήρου η Ε.Π.Ε.Υ. και θα λαμβάνει το κέρδος από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τα πρώτα 7 χρόνια. Για τα υπόλοιπα 13 χρόνια της εικοσαετούς σύμβασης το κέρδος από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας θα το παίρνει ο ιδιοκτήτης του ξενοδοχείου.

Όσον αφορά στα ετήσια έξοδα, για τα 7 πρώτα χρόνια χρόνια ο ιδιοκτήτης αναλαμβάνει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος, το κόστος πετρελαίου του συμπληρωματικού λέβητα και το 80% του κόστους του φυσικού αερίου. Η Ε.Π.Ε.Υ. αναλαμβάνει το υπόλοιπο κόστος καυσίμου και τη συντήρηση της ΣΗΘ και του chiller. Με αυτό το συμβόλαιο επιτυγχάνεται ενεργειακό και οικονομικό κέρδος, το οποίο μοιράζονται οι δύο συμβαλλόμενοι. Όσον αφορά στο χρηματοδοτικό σχήμα, η Ε.Π.Ε.Υ. θα βάλει το 50% του κόστους από ίδια κεφάλαια και όχι από χρηματοδότηση από τρίτους, και το 50% από δανεισμό.

5.3.3 Εξυπηρέτηση δανείου

Το τραπεζικό δάνειο των 32.147 € το οποίο συνάπτεται έχει διάρκεια 5 ετών και σταθερό επιτόκιο δανεισμού ύψους 7%. Αρχίζει να αποπληρώνεται μετά το τέλος του πρώτου χρόνου, άρα η αποπληρωμή του γίνεται σε 5 ισόποσα χρεολύσια. Πληρώνεται κατά προτεραιότητα από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 5.15 Εξυπηρέτηση του δανείου

Έτος	Χρεολύσιο	Τόκος	Υπόλοιπο Δανείου
1	6429,29	2250,25	25717,15
2	6429,29	1800,20	19287,87
3	6429,29	1350,15	12858,58
4	6429,29	900,10	6429,29
5	6429,29	450,05	0,00

5.3.4 Υπολογισμός εσόδων

Τα βασικά έσοδα προκύπτουν από την πώληση της ενέργειας, καθώς όπως ήδη υπολογίστηκε στο υποκεφάλαιο 1.5, με βάση το νόμο 3851/2010, η ηλεκτρική ενέργεια από Σ.Η.Θ.Υ.Α. πωλείται στην τιμή των 0,133654245 €/kWh τον Μάιο του 2011, χρονική στιγμή στην οποία θεωρούμε ότι έχει γίνει η εγκατάσταση της ΣΗΘ και αρχίζει η παραγωγή. Σε ανάλυση ευαισθησίας που γίνεται παρακάτω λαμβάνεται υπόψη ο ρυθμός αύξησης της τιμής των καυσίμων, άρα και η ετήσια αύξηση κατά ένα ποσοστό και της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς εξαρτάται από τη μέση τριμηνιαία τιμή του φυσικού αερίου. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι για τη διάρκεια των 20 ετών, οι καταναλώσεις του ξενοδοχείου έχουν διατηρηθεί σταθερές, άρα και η παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας της ΣΗΘ. Έσοδα, όμως, προκύπτουν και από την εξοικονόμηση ηλεκτρισμού και πετρελαίου, αφού το ξενοδοχείο καταναλώνει λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.16, αλλά και πετρέλαιο, αφού πλέον είναι συμπληρωματικό καύσιμο.

Πίνακας 5.16 Έσοδα από την εγκατάσταση της ΣΗΘ για 20 έτη

Έτος	Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας (€)	Εξοικονόμηση Πετρελαίου (€)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής ενέργειας (€)	Εξοικονόμηση Ισχύος (€)	Σύνολο
1	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
2	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
3	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
4	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
5	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
6	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
7	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
8	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
9	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
10	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
11	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
12	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
13	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
14	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
15	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
16	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
17	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
18	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
19	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56
20	27.953,84	26.205,51	4.070,18	339,03	58.568,56

5.3.5 Έξοδα λειτουργίας**Κόστος φυσικού αερίου**

Το κυριότερο έξοδο λειτουργίας της μονάδας είναι το φυσικό αέριο. Διατίθεται προς 0,056 € ανά kWh, συμπεριλαμβανομένης της ισχύος και του ΦΠΑ. Το συνολικό ετήσιο κόστος για αγορά φυσικού αερίου είναι 37.233,37 €.

Κόστος Συντήρησης ΣΗΘ

Δίνεται από τη συνάρτηση $C = 5,88 * p_{el}^{-0,27}$ [cents/kWh_{el}]

Η σύμβαση συντήρησης περιλαμβάνει όλες τις εργασίες συντήρησης, επισκευές, ανταλλακτικά και αναλώσιμα (εκτός καυσίμων) που απαιτούνται για την ομαλή λειτουργία της μονάδας ΣΗΘ.

Για παραγωγή 205.373 kWh ηλεκτρικής ενέργειας είναι 5.010,45 €

Κόστος Γενικής Επισκευής ΣΗΘ

Δίνεται από τη συνάρτηση $C = 1112,1 * p_{el}^{-0,36}$ [€/kW_{el}]

Γενική επισκευή απαιτείται μετά τις 25000-120000 ώρες λειτουργίας, ανάλογα με το μέγεθος του κινητήρα και το φορτίο. Στη μελέτη μας έχει υποθεθεί ότι γίνεται κάθε 10 έτη.

Σε αυτά προστίθεται και το κόστος συντήρησης του chiller που φθάνει τα 450 € ετησίως.

Συγκεντρωτικά τα παραπάνω φαίνονται στον πίνακα:

Πίνακας 5.17 Ετήσια έξοδα μονάδας ΣΗΘ

Είδος εξόδου	Ποσό (€)
Κόστος φυσικού αερίου	37.233,37
Κόστος Συντήρησης ΣΗΘ	5.010,45
Κόστος συντήρησης του chiller	450,00
Σύνολο	42.693,82
Κόστος Γενικής Επισκευής ΣΗΘ κάθε 10 χρόνια	8.948,02
Σύνολο (έτος 10 και 20)	51.641,84

Κεφάλαιο 6- Οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης

6.1 Υπολογισμός Καθαρών Ταμειακών Ροών

Για την οικονομική ανάλυση της επένδυσης χρησιμοποιήθηκε φύλλο εργασίας του Excel, όπου ελήφθησαν υπόψη όλα τα παραπάνω στοιχεία και με κατάλληλες συναρτήσεις πραγματοποιήθηκε η κατάστρωση και αξιολόγηση των οικονομικών δεικτών που περιγράφονται στο κεφάλαιο 3. Παρακάτω περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και παρατίθενται τα αποτελέσματα με τη μορφή πινάκων.

Υπολογισμός Καθαρών Ταμειακών Ροών

Γενικά, οι Καθαρές Ταμειακές Ροές εξάγονται ως εξής:

$$KTP = Έσοδα - Λειτουργικά έξοδα - Τόκοι - Χρεολύσια$$

Λαμβάνοντας υπόψη όσα προαναφέρθηκαν, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα οι KTP και τα στοιχεία από τα οποία αποτελούνται:

Πίνακας 6.1 Ετήσιες ταμειακές ροές

Έτος	Ετήσια Έσοδα	Λειτουργικές Δαπάνες	Τόκοι	Χρεολύσια	KTP
1	58568,56	42693,82	2250,25	6429,29	7195,20
2	58568,56	42693,82	1800,20	6429,29	7645,25
3	58568,56	42693,82	1350,15	6429,29	8095,30
4	58568,56	42693,82	900,10	6429,29	8545,35
5	58568,56	42693,82	450,05	6429,29	8995,40
6	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
7	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
8	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
9	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
10	58568,56	51641,84	0,00	0,00	6926,72
11	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
12	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
13	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
14	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
15	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
16	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
17	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
18	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
19	58568,56	42693,82	0,00	0,00	15874,74
20	58568,56	51641,84	0,00	0,00	6926,72

6.2 Οικονομικοί δείκτες

Αφού υπολογίστηκαν οι καθαρές ταμειακές ροές μπορούν να υπολογιστούν οι οικονομικοί δείκτες για αξιολόγηση της επένδυσης. Οι δείκτες που παρατίθενται παρακάτω είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται συνήθως και αυτοί χρησιμοποιήθηκαν και σε τούτη τη μελέτη.

6.2.1 Υπολογισμός Κ.Π.Α.

Καθαρή παρούσα αξία είναι το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης, που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης. Όλα τα ποσά εκφράζονται σε παρούσα αξία, ανηγμένη συνήθως στην αρχή του πρώτου έτους λειτουργίας του συστήματος. Η καθαρή παρούσα αξία προσδιορίζεται από τη σχέση

$$K. Π. Α. = -K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{KTP_n}{(1+d)^t}, \text{ όπου}$$

K_0 : το κόστος αρχικής επένδυσης,

KTP : οι καθαρές ταμειακές ροές,

N : οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης,

d : επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (επιθυμητή απόδοση κεφαλαίου).

Η Κ.Π.Α. για διαφορετικό κύκλο ζωής επένδυσης είναι

1. Για 4 έτη Κ.Π.Α.= -2.953,66 €
2. Για 5 έτη Κ.Π.Α.= 4.805,84 €
3. Για 6 έτη Κ.Π.Α.= 18.100,7 €

Η αποπληρωμή της επένδυσης γίνεται μετά τα τέσσερα χρόνια όπως θα φανεί παρακάτω.

6.2.2 Υπολογισμός Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (E.B.A.)

Ο E.B.A. δείχνει την απόδοση κεφαλαίου, δηλαδή είναι η τιμή του επιτοκίου αγοράς που κάνει την παρούσα αξία μιας σειράς πληρωμών και εισπράξεων ίση με το μηδέν.

Προσδιορίζεται ως λύση της εξίσωσης :

$$K.Π.Α.(d=EBA)=0$$

όπου Κ.Π.Α. η παρούσα αξία, ενώ η ένδειξη $d=EBA$ υπονοεί ότι η εξίσωση λύνεται ως προς d .

Αντίστοιχα για τα ίδια χρόνια ο E.B.A. είναι

1. Για 4 χρόνια EBA=-0,81%
2. Για 5 χρόνια EBA= 7,89%
3. Για 6 χρόνια EBA=16,46%

6.2.3 Αποπληθωρισμένος εσωτερικός βαθμός απόδοσης

Ο E.B.A. μπορεί να υπολογιστεί και σε αποπληθωρισμένη βάση. Για να γίνει αυτό, ανάγονται όλες οι ταμειακές ροές με έτος βάσης το πρώτο έτος με επιτόκιο αναγωγής ίσο με το επιτόκιο πληθωρισμού. Στη συνέχεια, η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται με τις ανηγμένες όμως ταμειακές ροές.

6.2.4 Απλή περίοδος αποπληρωμής

Αποτελεί τον απλούστερο τρόπο εκτίμησης μιας επένδυσης. Χρησιμοποιείται κυρίως όταν συγκρίνεται μια καινούργια πρόταση με ένα υπάρχον κτίριο και σχέδιο. Αντιπροσωπεύει το χρόνο ώστε η αρχική επένδυση να έχει αποπληρώσει το αρχικό κόστος της. Ωστόσο, ο απλός χρόνος αποπληρωμής δεν αποτελεί έναν πολύ καλό δείκτη για την αποτίμηση της επένδυσης γιατί δεν λαμβάνει υπόψη τις αποδόσεις πέρα από την περίοδο αποπληρωμής και αγνοεί την χρονική αξία του χρήματος.

Υπολογίστηκε στα 4,07 χρόνια, με τη διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο 6.2.5.

6.2.5 Ανηγμένη περίοδος αποπληρωμής

Αντιπροσωπεύει επίσης το χρόνο ώστε η αρχική επένδυση να έχει αποπληρώσει το αρχικό κόστος της. Όμως, σε αντίθεση με τον προηγούμενο δείκτη, οι ταμειακές ροές δεν υπολογίζονται στην ονομαστική αξία τους, αλλά ανάγονται με κατάλληλο επιτόκιο αναγωγής.

Το επιτόκιο μπορεί να είναι το επιτόκιο πληθωρισμού, οπότε πρόκειται για την αποπληθωρισμένη περίοδο αποπληρωμής, ή να εκφράζει ένα κόστος ευκαιρίας. Στην παρούσα μελέτη έχει υπολογιστεί η αποπληθωρισμένη περίοδος αποπληρωμής με τη βοήθεια του Πίνακα 6.2. Αρχικά αποπληθωρίστηκαν όλες οι ταμειακές ροές και εκφράστηκαν σε τιμές έτους βάσης. Λαμβάνεται και το αρχικό κόστος επένδυσης στο έτος 0 ως αρνητικό. Στη συνέχεια αθροίστηκαν μέχρι το άθροισμα να γίνει θετικό και στη συνέχεια με γραμμική παρεμβολή μεταξύ του πρώτου θετικού και τελευταίου αρνητικού βρέθηκε η αποπληθωρισμένη περίοδος αποπληρωμής.

Πίνακας 6.2 Ταμειακές ροές για υπολογισμό απλής περιόδου αποπληρωμής και αποπληθωρισμένη περιόδου αποπληρωμής.

Έτος	Ταμειακές ροές	Ταμειακές ροές αθροιστικά	Αποπληθωρισμένες Ταμειακές ροές	Αποπληθωρισμένες Ταμειακές ροές αθροιστικά
0	-32146,44	-32146,44	-32146,44	-32146,44
1	7195,20	-24951,24	7195,20	-24951,24
2	7645,25	-17305,99	7422,57	-17528,67
3	8095,30	-9210,69	7630,59	-9675,40
4	8545,35	-665,34	7820,20	-1390,49
5	8995,40	8330,06	7992,29	7326,95

6.2.6 Αξιολόγηση οικονομικών δεικτών

Εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε παραπάνω προκύπτουν οι οικονομικοί δείκτες που φαίνονται στον πίνακα για επιτόκιο αναγωγής 3% και 7%.

Πίνακας 6.3 Δείκτες οικονομικής απόδοσης για επιτόκια αναγωγής 3% και 7%.

Δείκτης	Τιμή
Απλή περίοδος αποπληρωμής σε έτη	4,07
Αποπληθωρισμένη περίοδος αποπληρωμής σε έτη (πληθωρισμός 3%)	4,26
E.B.A.	7,89%
Αποπληθωρισμένος E.B.A. (πληθωρισμός 3%)	5,8%
Ανηγμένη περίοδος αποπληρωμής σε έτη (επιτόκιο 7%)	4,55
Κ.Π.Α. (αποπληθωρισμένη) σε ευρώ	4.805,84
Κ.Π.Α. (επιτόκιο αναγωγής 7%) σε ευρώ	796,96

Ο Ε.Β.Α. βρίσκεται στο 7,89% χωρίς αναπροσαρμογή για τον πληθωρισμό. Λαμβάνοντας υπόψη πληθωρισμό της τάξεως του 3% και ανάγοντας τις ΚΤΡ στο 1^ο έτος, ο αποπληθωρισμένος Ε.Β.Α. υπολογίζεται στο 5,8%.

Για την αξιολόγηση της επένδυσης θα τεθεί ως βάση επιτόκιο καταθέσεων σε τράπεζα, της τάξεως του 3-3,5%. Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι ο Ε.Β.Α. βρίσκεται σε ικανοποιητικό επίπεδο, αφού υπερβαίνει αρκετά το επιτόκιο αυτό και προσφέρει και μία επιπλέον ασφάλεια.

Όσον αφορά στην απλή περίοδο αποπληρωμής, είναι 4,07 χρόνια. Είναι ικανοποιητικό διάστημα για μία Ε.Π.Ε.Υ., ώστε να αποσβέσει το αρχικό κόστος και να αρχίσει να έχει κέρδος. Η ανηγμένη στο ύψος του πληθωρισμού περίοδος αποπληρωμής είναι μόλις 4,26 χρόνια, δηλαδή πολύ κοντά στην απλή. Για αναγωγή με το ακόμα μεγαλύτερο επιτόκιο 7%, πάλι η περίοδος αποπληρωμής αυξάνεται κατά ένα εξάμηνο περίπου, γεγονός πολύ ενθαρρυντικό για την αξία και το ρίσκο της επένδυσης. Η Κ.Π.Α. είναι θετική για τα 5 χρόνια σε όλες τις περιπτώσεις, το οποίο είναι λογικό, αφού 7% < Ε.Β.Α.

6.3 Ανάλυση ευαισθησίας προς κρίσιμες παραμέτρους της επένδυσης

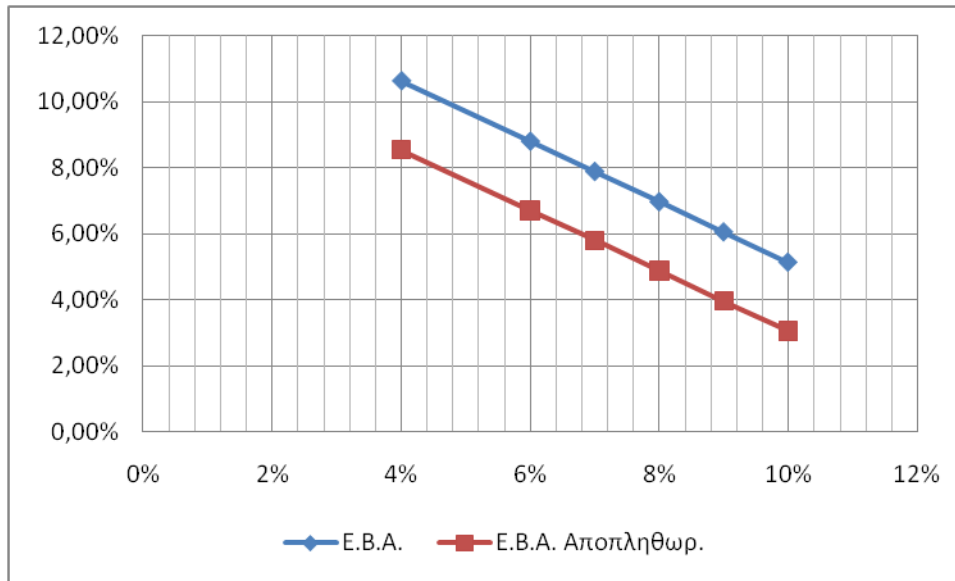
Όπως φάνηκε, η απόδοση της επένδυσης εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες. Έχει ενδιαφέρον να διερευνήσουμε με ποιο τρόπο μεταβάλλονται οι οικονομικοί δείκτες σε σχέση με αυτούς τους παράγοντες. Είναι σημαντικό, γιατί κάποιες παράμετροι μπορεί να διαφέρουν από επένδυση σε επένδυση, ή να μεταβάλλονται στο πεδίο του χρόνου.

6.3.1 Επιτόκιο τραπεζικού δανεισμού

Όπως φαίνεται στον πίνακα, το επιτόκιο δανεισμού παίζει σημαντικό ρόλο κυρίως ως προς τον Ε.Β.Α. Με ένα ακραίο επιτόκιο 10%, ο αποπληθωρισμένος Ε.Β.Α. είναι μόλις 3,06%, ενώ από την άλλη με χαμηλό επιτόκιο 4% εκτοξεύεται στο 10,65%. Γενικά για κάθε ποσοστιαία μονάδα του επιτοκίου, ο Ε.Β.Α. μεταβάλλεται περίπου κατά 0,9%. Η απλή και αποπληθωρισμένη περίοδος αποπληρωμής μεταβάλλονται μεν, αλλά μεταξύ των ακραίων επιτοκίων 4 και 10%, υπάρχει μία διαφορά των 8 μηνών περίπου.

Πίνακας 6.4 Μεταβολή οικονομικών δεικτών ανάλογα με κόστος δανεισμού

Επιτόκιο δανεισμού	Ε.Β.Α.	Ε.Β.Α. Αποπληθ.	Κ.Π.Α. σε € (Αποπληθ.)	Απλή περίοδος αποπληρωμής σε έτη	Αποπληθωρ. περίοδος αποπληρωμής σε έτη
4%	10,65%	8,55%	7508,03	3,77	3,93
6%	8,81%	6,71%	5706,57	3,97	4,15
7%	7,89%	5,80%	4.805,84	4,07	4,16
8%	6,97%	4,88%	3905,12	4,17	4,37
9%	6,05%	3,97%	3004,39	4,28	4,48
10%	5,13%	3,06%	2103,66	4,38	4,6



Σχήμα 6.1 Μεταβολή E.B.A. με μεταβολή του κόστους δανεισμού

6.3.2 Μόχλευση (αναλογία ιδίων κεφαλαίων και χρέους)

Λόγω του μηχανισμού της μόχλευσης και επειδή η απόδοση των επενδυμένων κεφαλαίων είναι μεγαλύτερη από το τραπεζικό κόστος δανεισμού, όσο λιγότερα είναι τα ίδια κεφάλαια, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσής τους, καθώς ο επενδυτής καρπώνεται τη διαφορά μεταξύ απόδοσης και επιτοκίου δανεισμού. Βέβαια οι τράπεζες δεν είναι διατεθειμένες να χρηματοδοτήσουν εξ 'ολοκλήρου ή σε μεγάλο ποσοστό μία επένδυση, καθώς ζημιώνονται από τυχόν καθυστερήσεις ή άλλα προβλήματα.

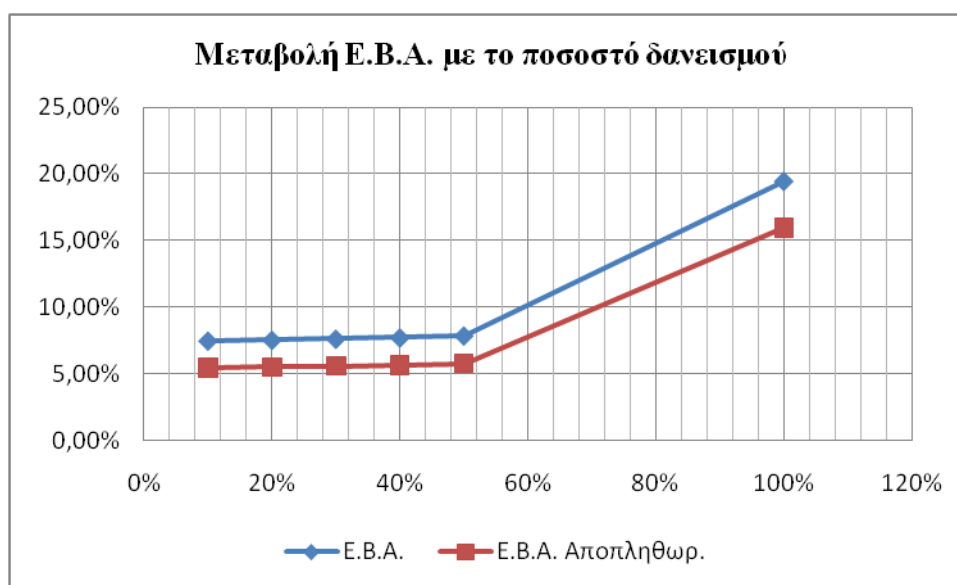
Πίνακας 6.5 Μεταβολή οικονομικών δεικτών με το ποσοστό δανεισμού

Ποσό Δανεισμού/ Συνολική Επένδυση (%)	E.B.A.	E.B.A. Αποπληθ.	Κ.Π.Α. σε € (Αποπληθ.)	Απλή περίοδος αποπληρωμής σε έτη	Αποπληθωρ. περίοδος αποπληρωμής σε έτη
10%	7,51%	5,46%	7688,17	4,05	4,25
20%	7,57%	5,52%	6967,59	4,06	4,25
30%	7,65%	5,59%	6247,01	4,07	4,25
40%	7,75%	5,68%	5526,43	4,06	4,26
50%	7,89%	5,80%	4805,84	4,07	4,26
100%	19,46%	15,98%	1202,93	4,25	4,34

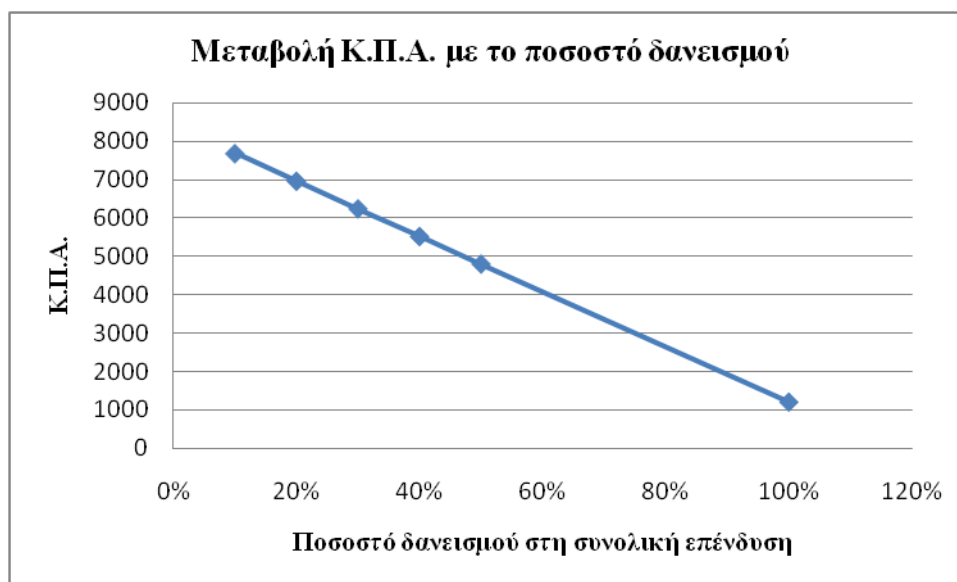
Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι, ενώ ο E.B.A. αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού δανεισμού, η Κ.Π.Α. μειώνεται. Αυτό συμβαίνει επειδή η Κ.Π.Α. είναι ένα οικονομικό μέγεθος εκφρασμένο σε χρηματικές μονάδες, στο οποίο παίζει σημαντικό ρόλο το ποσό της αρχικής επένδυσης. Όταν έχουμε 50% δανεισμό, για παράδειγμα, το αρχικό επενδυμένο κεφάλαιο είναι το μισό από την περίπτωση του 100% ιδίων

κεφαλαίων, άρα σε 5 χρόνια θα αποδώσει λιγότερα χρήματα, αφού λιγότερα επενδύθηκαν.

Άρα ο καλύτερος δείκτης για σύγκριση επενδύσεων διαφορετικού αρχικού κόστους είναι ο Ε.Β.Α. Φαίνεται, λοιπόν ότι μεγαλύτερο ποσοστό δανεισμού από την τράπεζα έχει μεγαλύτερη απόδοση στην επένδυση μας. Βέβαια, σε περιόδους κρίσης, οι τράπεζες δεν χρηματοδοτούν μεγάλα ποσοστά έργων, αφού είναι επισφαλής η αποπληρωμή τους.



Σχήμα 6.2 Μεταβολή Ε.Β.Α. με το ποσοστό δανεισμού στη συνολική επένδυση



Σχήμα 6.3 Μεταβολή της Κ.Π.Α. με το ποσοστό δανεισμού στη συνολική επένδυση

6.3.3 Πληθωρισμός

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η ανάλυση ευαισθησίας ως προς το ύψος του πληθωρισμού. Γενικά, με την αύξηση του πληθωρισμού οι χρηματοροές μας θα έχουν μικρότερη αξία όταν αποπληθωριστούν, δηλαδή όταν αναχθούν στο έτος βάσης με επιτόκιο αναγωγής ίσο με το ύψος του πληθωρισμού.

Πίνακας 6.6 Μεταβολή οικονομικών δεικτών με τον πληθωρισμό

Πληθωρισμός	E.B.A.	E.B.A. Αποπληθ.	Κ.Π.Α. σε € (Αποπληθ.)	Απλή περίοδος αποπληρωμής σε έτη	Αποπληθωρ. περίοδος αποπληρωμής σε έτη
1%	7,89%	7,18%	7100,06	4,07	4,13
2%	7,89%	6,48%	5926,41	4,07	4,19
3%	7,89%	5,80%	4805,84	4,07	4,26
4%	7,89%	5,13%	3735,32	4,07	4,32
6%	7,89%	3,82%	1733,29	4,07	4,47
10%	7,89%	1,32%	-1782,83	4,07	4,80

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση του πληθωρισμού, η Κ.Π.Α. μειώνεται πάρα πολύ, σε σημείο που με το ακραίο ποσοστό του 10% πληθωρισμό η επένδυση κρίνεται αντιοικονομική για τα 5 χρόνια. Μειώνεται πολύ και ο αποπληθωρισμένος E.B.A., γεγονός που δείχνει ότι με ότι με υψηλό ποσοστό πληθωρισμού, μεγαλύτερο δηλαδή του 6% η επένδυσή μας έχει πολύ μικρή απόδοση. Ο E.B.A. δεν επηρεάζεται από το ύψος του πληθωρισμού, γεγονός που μας παρακινεί να λάβουμε υπόψη και άλλες παραμέτρους, όπως η αύξηση της τιμής των καυσίμων ετησίως, ώστε οι χρηματοροές μας να μην είναι σταθερές κάθε έτος.

6.3.4 Ρυθμός Αύξησης της τιμής των καυσίμων

Έως τώρα είχαμε θεωρήσει ότι η τιμή των καυσίμων και της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει σταθερή με την πάροδο των 20 ετών, αδυνατώντας να προβλέψουμε πως θα συμπεριφερθούν οι τιμές των προϊόντων σε βάθος εικοσαετίας. Θεωρώντας, όμως ένα ρυθμό αύξησης στην τιμή των καυσίμων της τάξεως του 4%, δηλαδή μία ποσοστιαία μονάδα αυξημένο από τον πληθωρισμό, παρατηρούμε ότι η επένδυσή μας γίνεται ακόμα πιο συμφέρουσα. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους. Πρώτον, αν και κοστίζει περισσότερο το φυσικό αέριο εξοικονομούμε ταυτόχρονα και περισσότερα χρήματα από το πετρέλαιο. Αλλά κυρίως, επειδή η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζεται άμεσα από την τιμή του φυσικού αερίου και αυξάνεται όταν παρατηρείται άνοδος της τιμής των καυσίμων. Ο πίνακας των εσόδων και εξόδων διαμορφώνεται τώρα ως εξής:

Πίνακας 6.7 Έσοδα επένδυσης και κόστος φυσικού αερίου λαμβάνοντας υπόψη το ρυθμό αύξησης της τιμής των καυσίμων.

Έτος	Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας (€)	Εξοικονόμηση Πετρελαίου (€)	Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής ενέργειας (€)	Εξοικονόμηση Ισχύος (€)	Κόστος Φυσικού Αερίου
1	27953,84	26205,51	4070,18	339,03	37233,37
2	28916,09	27253,73	4070,18	339,03	38722,70
3	29911,47	28343,88	4070,18	339,03	40271,61
4	30941,11	29477,63	4070,18	339,03	41882,47
5	32006,20	30656,74	4070,18	339,03	43557,77
6	33107,95	31883,01	4070,18	339,03	45300,08
7	34247,62	33158,33	4070,18	339,03	47112,09
8	35426,52	34484,66	4070,18	339,03	48996,57
9	36646,01	35864,05	4070,18	339,03	50956,43
10	37907,47	37298,61	4070,18	339,03	52994,69
11	39212,36	38790,55	4070,18	339,03	55114,48
12	40562,17	40342,18	4070,18	339,03	57319,06
13	41958,44	41955,86	4070,18	339,03	59611,82
14	43402,77	43634,10	4070,18	339,03	61996,29
15	44896,82	45379,46	4070,18	339,03	64476,15
16	46442,31	47194,64	4070,18	339,03	67055,19
17	48040,99	49082,43	4070,18	339,03	69737,40
18	49694,70	51045,72	4070,18	339,03	72526,90
19	51405,34	53087,55	4070,18	339,03	75427,97
20	53174,87	55211,05	4070,18	339,03	78445,09

Οι ταμειακές ροές παρατίθενται στον πίνακα 6.9.

Γίνεται προφανές και από τους οικονομικούς δείκτες του πίνακα 6.8, ότι ενώ αυξάνεται η τιμή των καυσίμων ετησίως, η επένδυση γίνεται πιο συμφέρουσα.

Πίνακας 6.8 Δείκτες οικονομικής απόδοσης λαμβάνοντας υπόψη το ρυθμό αύξησης των καυσίμων.

Δείκτης	Τιμή
Απλή περίοδος αποπληρωμής σε έτη	3,75
Αποπληθωρισμένη περίοδος αποπληρωμής σε έτη (πληθωρισμός 3%)	3,90
Ε.Β.Α.	12,11%
Αποπληθωρισμένος Ε.Β.Α. (πληθωρισμός 3%)	9,93%
Κ.Π.Α. (αποπληθωρισμένη) σε ευρώ	9575,57

Πίνακας 6.9 Ετήσιες ταμειακές ροές λαμβάνοντας υπόψη το ρυθμό αύξησης της τιμής των καυσίμων

Έτος	Ετήσια Έσοδα	Λειτουργικές Δαπάνες	Τόκοι	Χρεολύσια	ΚΤΡ
1	58.568,56	42.693,82	2.250,25	6.429,29	7.195,20
2	60.579,03	44.183,16	1.800,20	6.429,29	8.166,39
3	62.664,56	45.732,06	1.350,15	6.429,29	9.153,06
4	64.827,96	47.342,93	900,10	6.429,29	10.155,64
5	67.072,15	49.018,23	450,05	6.429,29	11.174,58
6	69.400,16	50.760,54	0,00	0,00	18.639,62
7	71.815,16	52.572,54	0,00	0,00	19.242,62
8	74.320,40	54.457,03	0,00	0,00	19.863,37
9	76.919,27	56.416,89	0,00	0,00	20.502,38
10	79.615,29	67.403,16	0,00	0,00	12.212,13
11	82.412,13	60.574,93	0,00	0,00	21.837,19
12	85.313,55	62.779,51	0,00	0,00	22.534,04
13	88.323,51	65.072,28	0,00	0,00	23.251,24
14	91.446,08	67.456,75	0,00	0,00	23.989,33
15	94.685,50	69.936,60	0,00	0,00	24.748,90
16	98.046,16	72.515,65	0,00	0,00	25.530,51
17	101.532,62	75.197,85	0,00	0,00	26.334,77
18	105.149,64	77.987,35	0,00	0,00	27.162,29
19	108.902,10	42.693,82	0,00	0,00	28.013,68
20	112.795,13	51.641,84	0,00	0,00	19.941,57

6.4 Συνολικό κέρδος της Ε.Π.Ε.Υ. και του ιδιοκτήτη του ξενοδοχείου

Όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 5.3.2 το συμβόλαιο μεταξύ της Ε.Π.Ε.Υ. και του ιδιοκτήτη του ξενοδοχείου καθορίζει ότι η Ε.Π.Ε.Υ. αναλαμβάνει εξ ‘ ολοκλήρου το αρχικό κόστος επένδυσης και θα λαμβάνει το κέρδος από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τα πρώτα 7 χρόνια. Για τα υπόλοιπα 13 χρόνια της εικοσαετούς σύμβασης το κέρδος από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας θα το παίρνει ο ιδιοκτήτης του ξενοδοχείου.

Όσον αφορά στα ετήσια έξοδα, για τα 7 πρώτα χρόνια ο ιδιοκτήτης αναλαμβάνει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος, το κόστος πετρελαίου του συμπληρωματικού λέβητα και το 80% του κόστους του φυσικού αερίου. Με αυτό τον τρόπο τα έξοδα του είναι περίπου στα ίδια επίπεδα με αυτά πριν την εγκατάσταση της ΣΗΘ για 7 χρόνια, όμως στη συνέχεια αποκομίζει ένα σημαντικό κέρδος.

Η Ε.Π.Ε.Υ. αναλαμβάνει το υπόλοιπο κόστος καυσίμου και τη συντήρηση της ΣΗΘ και του chiller. Τα κέρδη από εξοικονόμηση και πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε έναν από τους δύο συμβαλλόμενους φαίνεται στον πίνακα 6.10.

Πίνακας 6.10 Κέρδος της Ε.Π.Ε.Υ. και του ιδιοκτήτη του ξενοδοχείου

	Έξοδα ιδιοκτήτη (€)	Έξοδα Ε.Π.Ε.Υ. (€)	Έσοδα ιδιοκτήτη (€)	Έσοδα Ε.Π.Ε.Υ. (€)	Κέρδος ιδιοκτήτη (€)	Κέρδος Ε.Π.Ε.Υ. (€)
0	0,00	64293				-64293,00
1	0,00	5460,4	828,02	27953,8	828,02	13813,86
2	0,00	5460,4	828,02	27953,8	828,02	14263,91
3	0,00	5460,4	828,02	27953,8	828,02	14713,96
4	0,00	5460,4	828,02	27953,8	828,02	15164,01
5	0,00	5460,4	828,02	27953,8	828,02	15614,06
6	0,00	5460,4	828,02	27953,8	828,02	22493,40
7	0,00	5460,4	828,02	27953,8	828,02	22493,40
8	12079,10		27953,84		15874,74	
9	12079,10		27953,84		15874,74	
10	12079,10		27953,84		15874,74	
11	12079,10		27953,84		15874,74	
12	12079,10		27953,84		15874,74	
13	12079,10		27953,84		15874,74	
14	12079,10		27953,84		15874,74	
15	12079,10		27953,84		15874,74	
16	12079,10		27953,84		15874,74	
17	12079,10		27953,84		15874,74	
18	12079,10		27953,84		15874,74	
19	12079,10		27953,84		15874,74	
20	12079,10		27953,84		15874,74	
Συνολικό κέρδος					212167,7	54.263,72

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι όσον αφορά την Ε.Π.Ε.Υ. τα 54.263 € είναι καθαρό κέρδος από την επένδυση, το οποίο έρχεται στο σύντομο χρονικό διάστημα των 7 ετών, αφού έτσι καθορίζει η σύμβαση. Αντίθετα, για τον ιδιοκτήτη το ποσό των 212167,7 € που καρπώνεται αντιστοιχεί σε διάστημα 20 ετών, με δυνατότητα σύμφωνα με το νόμο 3851/2010 περί παραγωγής να ανανεώσει τη σύμβασή του για πώληση στο δίκτυο για ακόμα 20 χρόνια. Συνεπώς, κρίνεται και για τις δύο πλευρές ως μία πολύ συμφέρουσα επένδυση.

6.5 Συμπεράσματα

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε είχε σαν σκοπό να διερευνήσει από τεchnοοικονομικής απόψεως τις δυνατότητες εγκατάστασης πολύ μικρής μονάδας ΣΗΘ και συστήματος ψύξης απορρόφησης σε ξενοδοχειακή μονάδα σε περιοχή της Κρήτης, ώστε να επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμου, ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος και πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στο Δίκτυο. Η μελέτη πραγματοποιείται από Εταιρεία Παροχής Ενεργειακών Υπηρεσιών (Ε.Π.Ε.Υ.) με σκοπό το κέρδος από την πώληση της ενέργειας για την εταιρεία σε μικρό χρονικό διάστημα, αλλά και για τον ιδιοκτήτη για τα επόμενα 20 χρόνια.

Το κύριο συμπέρασμα που εξάγεται είναι πως η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να καταστεί βιώσιμη ως επένδυση στον τριτογενή τομέα υπό προϋποθέσεις.

Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί το υψηλό αρχικό κόστος απόκτησης της μονάδας που ανέρχεται περίπου σε 1.800 € /kW_e. Σημειώνεται ωστόσο ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι καινούργια για τα περισσότερα Ευρωπαϊκά κράτη, οπότε αναμένουμε στο μέλλον μείωση του κόστους, γεγονός που θα την καταστήσει περισσότερο ανταγωνιστική.

Πολύ σημαντικός παράγοντας είναι η σωστή διαστασιολόγηση της εγκατάστασης, καθώς και ο υπολογισμός των ενεργειακών καταναλώσεων της εφαρμογής στην οποία πρόκειται να εγκατασταθεί το σύστημα ΣΗΘ. Τα συστήματα ΣΗΘ μεγιστοποιούν τα οφέλη όταν λειτουργούν για την κάλυψη των φορτίων βάσης και όχι για την κάλυψη αιχμών. Ένα σύστημα το οποίο είναι πολύ ακριβό γίνεται ιδιαίτερα ασύμφορο όταν παραμένει ανενεργό για μεγάλο χρονικό διάστημα και λειτουργεί στα μικρά χρονικά διαστήματα στα οποία παρουσιάζονται οι αιχμές.

Η πώληση του συνόλου της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο αποδίδει μεγάλο κέρδος. Σημαντικά βήματα προς την κατεύθυνση βιωσιμότητας της ΣΗΘ πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια με την αναθεώρηση του θεσμικού πλαισίου. Είναι πολύ σημαντικός ο Νόμος 3851/2010, ο οποίος προσφέρει εγγυημένα εικοσαετή τιμολόγια στους παραγωγούς και αυτοπαραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας.

Επίσης, έχει απλοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό η διαδικασία και ο χρόνος αδειοδότησης, θετικό βήμα όχι μόνο για Ε.Π.Ε.Υ., αλλά και για ιδιώτες.

Οι παραδοχές και προσεγγίσεις που πραγματοποιήθηκαν ελλείψει στοιχείων σε διάφορα στάδια της μελέτης (υπολογισμός θερμικών και ηλεκτρικών καταναλώσεων, παραγωγή μονάδας ΣΗΘ, δανειοδότηση κ.α.) φαίνεται να μην απέχουν πολύ από την πραγματικότητα. Βέβαια, στο σημείο αυτό ότι η συγκεκριμένη μελέτη αποτελεί μια ανάλυση πρώτου σταδίου για την εγκατάσταση συστημάτων μικρής κλίμακας τριπαραγωγής στον τριτογενή τομέα. Για μια ακριβέστερη προσέγγιση απαιτείται πληρέστερος ενεργειακός έλεγχος και οικονομική ανάλυση στα πλαίσια του ελληνικού οικονομικού συστήματος.

Πάντως, η εγκατάσταση συστήματος τριπαραγωγής σε περιοχές με μεγάλη ζήτηση ψυκτικού φορτίου είναι μία επένδυση που κατά πάσα πιθανότητα θα ανθήσει τα επόμενα χρόνια, σε συνδυασμό και με τις ευνοϊκές συνθήκες για πώληση ολόκληρης ή του πλεονάσματος της ηλεκτρικής παραγωγής στο δίκτυο.

Βιβλιογραφία

- [1] Φραγκόπουλος Χρήστος, Ηλίας Π. Καρυδογιάννης, Γιάννης Κ. Καραλής, “Συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού”, Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας, Αθήνα 1994
- [2] “*Trigeneration in the Mediterranean Countries, technologies and prospects for the tertiary sector*”, Save Programme Action No 4.1031/Z/01-130/2001 by LDK consultants, engineers and planners (GREECE)
- [3] Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), “*Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας*”, Zentrum fur rationelle Energieanwendung und Umwelt GmbH (ZREU), Ευρωπαϊκή Επιτροπή
- [4] Μπότσαρης Π., “*Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού – θερμότητας*”, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2003
- [5] M. Ozdenefe, U. Atikol, “*Applicability of Trigeneration Systems in the Hotel Buildings: The North Cyprus Case*”, 2005
- [6] Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), “*Οδηγός Ενεργειακής Επιθεώρησης Μέρος Γ’ Παραδείγματα*”, Κοινοτική Πρωτοβουλία ADAPT, Ευρωπαϊκή Επιτροπή
- [7] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, “*Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε κτήρια*”, 2010
- [8] E. Cardona, A. Piacentino, “*A methodology for sizing a trigeneration plant in Mediterranean areas*”, Pergamon, 2003
- [9] Good practice guide 227, “*How to appraise CHP, a simple investment appraisal methodology*”, Energy Efficiency, Best Practice Programme
- [10] Merrill Smith, Office of Distributed Energy and Electric Reliability, U.S. Department of Energy “*Gas turbines and micro turbines for distributed Energy Applications*”, March 5, 2003
- [11] Μπαλάνου Ευαγγελία, “*Εφαρμογή της συμπαραγωγής στο Γενικό Νοσοκομείο Αθηνών «ΣΙΣΜΑΝΟΓΛΕΙΟ»*”, Διπλωματική εργασία ΣΗΜΜΥ, 2007
- [12] Ευρωπαϊκή Κοινότητα Γενική Διεύθυνση Ενέργειας και Μεταφορών, “*Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα GREENBUILDING, Ενότητα Οικονομικών*”, 30 Αυγούστου 2005
- [13] Math Jennekens, “*Learning from experiences with small-scale cogeneration*”, Centre for the analysis and dissemination of demonstrated energy technologies, 1989

- [14] Νόμος υπ' αριθμόν 3851/2010, Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Ιούνιος 2006
- [15]“*Cogeneration (CHP)- A Technology Portrait*”, Institute for Thermal turbomachinery and Machine Dynamics, Graz University of Technology, Vienna, Mai 2002
- [16] CHP club Combined Heat and Power “*The manager’s guide to Packaged CHP Systems, Section E, Operating and Maintaining the CHP Installation*”
- [17] www.cogeneurope.eu
- [18] www.depa.gr
- [19] www.desmie.gr
- [20] www.hachp.gr
- [21] www.rae.gr

