



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΣΤΟ  
ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
«ΣΙΣΜΑΝΟΓΛΕΙΟ»

Διπλωματική εργασία  
της  
Μπαλάνου Ευαγγελίας

Υπεύθυνος καθηγητής: Περικλής Μπούρκας  
Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2007





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ «ΣΙΣΜΑΝΟΓΛΕΙΟ»

Διπλωματική εργασία  
της  
Μπαλάνου Ευαγγελίας

Υπεύθυνος καθηγητής: Περικλής Μπούρκας  
Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12<sup>η</sup> Ιουλίου 2007

.....  
Μπούρκας Περικλής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Θεοδώρου Νικόλαος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Καραγιαννόπουλος  
Κωνσταντίνος  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2007

.....  
Μπαλάνου Ευαγγελία

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Μπαλάνου Ευαγγελία

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.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κ. Περικλή Μπούρκα, για την πολύτιμη συμβολή του για την ολοκλήρωση της παρούσης εργασίας. Παράλληλα ευχαριστώ θερμά την κ. Αικατερίνη Πολυκράτη, μέλος του ΕΕΔΙΠ, για την βοήθεια και υποστήριξή της κατά την διάρκεια της εργασίας.

Η επίβλεψη της εργασίας έγινε από τον κ. Γιάννη Κατσάνη, υποψήφιο διδάκτορα, τον οποίο ευχαριστώ ιδιαίτερα για τη συνεργασία και για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Τέλος ευχαριστώ την Τεχνική Υπηρεσία του Γενικού Νοσοκομείου Αθηνών «Σισμανόγλειο» για την συμβολή της στη συγκέντρωση των απαραίτητων πληροφοριών στα πλαίσια της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαπραγματεύεται το αντικείμενο της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Περιέχει τις βασικές αρχές που διέπουν τη συμπαραγωγή και παρέχει τη βάση για την κατανόηση των επιλογών που σχετίζονται με αυτή.

Κύριος στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η οικονομοτεχνική μελέτη εγκατάστασης ενός συστήματος συμπαραγωγής στο Γενικό Νοσοκομείο Αθηνών «Σισμανόγλειο». 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 και της τριπαραγωγής, καθώς και τις ευρύτερες επιπτώσεις της συγκεκριμένης τεχνολογίας, επιπτώσεις οι οποίες σχετίζονται με την κατανάλωση καυσίμων, το σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας, την οικονομία και το περιβάλλον. Τέλος αναφέρονται οι τομείς στους οποίους μπορεί να βρει εφαρμογή η συγκεκριμένη τεχνολογία.

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.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται το κόστος ενός συστήματος συμπαραγωγής. Το συνολικό κόστος μιας μονάδας συμπαραγωγής αφορά το κόστος της επένδυσης, τις δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης, καθώς και κάποια απρόβλεπτα έξοδα.

Το τέταρτο κεφάλαιο ασχολείται με την οικονομική βιωσιμότητα ενός συστήματος συμπαραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται οι ορισμοί βασικών οικονομικών παραμέτρων, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια προκειμένου να διαπιστωθεί αν η επένδυση είναι οικονομικά συμφέρουσα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται ο βέλτιστος σχεδιασμός και λειτουργία των συστημάτων συμπαραγωγής. Συγκεκριμένα αναλύεται η διαδικασία επιλογής ενός συστήματος συμπαραγωγής και επισημαίνονται οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε να αποφασιστεί το είδος και η λειτουργία του συστήματος, δηλαδή το ποσοστό κάλυψης του θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου από το σύστημα.

Το έκτο κεφάλαιο ασχολείται με την κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας στα νοσοκομεία και παρατίθενται οι λόγοι που ενθαρρύνουν την εγκατάσταση μονάδων συμπαραγωγής σε αυτόν τον τομέα. Τέλος αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να ενταχθεί ένα σύστημα συμπαραγωγής στα υπάρχοντα συστήματα και δίκτυα.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής παρουσίαση του Γενικού Νοσοκομείου Αθηνών «Σισμανόγλειο». Πιο συγκεκριμένα, επισημαίνονται στοιχεία σχετικά με την οργανική και λειτουργική δομή του νοσοκομείου, καθώς και ο υπάρχων ενεργειακός εξοπλισμός.

Στο όγδοο κεφάλαιο καταγράφονται οι ενεργειακές καταναλώσεις του νοσοκομείου και υπολογίζεται το κόστος για την κάλυψη των ηλεκτρικών, θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Τέλος αναφέρονται μερικοί πιθανοί τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας, πριν την εφαρμογή ενός συστήματος συμπαραγωγής.

Στο ένατο κεφάλαιο εξετάζεται η οικονομική βιωσιμότητα και δυνατότητα επένδυσης μονάδας συμπαραγωγής με καύση φυσικού αερίου στο Γενικό Νοσοκομείο Αθηνών «Σισμανόγλειο». Αναλύεται το ενεργειακό και περιβαλλοντικό κόστος των συστημάτων αεριομηχανών που επιλέχθηκαν για την κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών του νοσοκομείου και υπολογίζεται η περίοδος αποπληρωμής σε κάθε περίπτωση.

## Abstract

The present dissertation treats the subject of combined heat and power. It includes the basic principles of the cogeneration and provides the base in order to understand the options that are related to that.

The main goal of this dissertation is the techno-economical design of the installation of a cogeneration plant in General Hospital of Athens 'Sismanogleio'. 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 and trigeneration, as well as the various impacts of the particular technology on fuel consumption, on the electricity system of the country, on the economy and on the surrounding environment. Finally the fields, in which cogeneration can be applied, are presented.

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.

In the third chapter there is an economic analysis of the cogeneration systems. Their overall cost includes investment costs, installation costs and operation and maintenance costs, as well as any unexpected expenses.

The fourth chapter deals with the economical viability of a cogeneration plant. More specifically, there are definitions of certain economic parameters and measures of economic performance, which are going to be used afterwards in order to conclude whether the investment is worth, as far as the economical factor is concerned.

The fifth chapter analyses the optimal design and operation of cogeneration systems. The procedure for system selection is analyzed thoroughly and the factors that have to be taken into account in order to decide the type and the operation of a system are described.

The sixth chapter describes the electrical and thermal consumption in hospitals and presents the reasons that promote the installation of combined heat and power plants in this specific field. Finally the chapter deals with the way a cogeneration plant can be integrated into the hospital system.

In the seventh chapter an extent presentation of the General Hospital of Athens 'Sismanogleio' takes place. It provides data relative to the organic and functional structure of the hospital and the existing equipment, in order to satisfy the thermal and electrical requirements of the hospital, is being described.

The eighth chapter provides data of the hospital's energy consumption and calculates the cost of this consumption. Finally various ways of saving energy are being presented, before the application of any cogeneration system.

The ninth chapter examines the economical viability and the potential of investment of a cogeneration plant using natural gas in the General Hospital of Athens 'Sismanogleio'. There is also the analysis of the operation and maintenance costs of the gas engines, that were chosen to satisfy the thermal and electrical requirements of the hospital, and the payback period is estimated for each case. Finally their environmental impact, as far as exhaust gas emissions are concerned, is calculated.

## Λέξεις κλειδιά

Συμπαραγωγή, τριπαραγωγή, συστήματα συμπαραγωγής, εφαρμογή συμπαραγωγής, κτιριακός τομέας, νοσοκομεία, επιλογή συστήματος συμπαραγωγής, οικονομική βιωσιμότητα συστήματος συμπαραγωγής

## Keywords

Cogeneration, trigeneration, cogeneration systems, application of cogeneration, building sector, hospitals, selection of a cogeneration system, economic viability of a cogeneration system



# Περιεχόμενα

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ** **1**

---

<b>1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	<b>1</b>
<b>1.2 ΤΡΟΠΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	<b>3</b>
<b>1.3 ΟΙ ΣΗΜΕΡΙΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ</b>	<b>4</b>
<b>1.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	<b>4</b>
1.4.1 ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	4
1.4.2 ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	8
<b>1.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ</b>	<b>9</b>
1.5.1 ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	9
1.5.2 ΙΣΟΡΡΟΠΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ	14
<b>1.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	<b>18</b>
1.6.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ	19
1.6.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ	19
1.6.3 ΕΜΠΟΡΙΚΟΣ – ΚΤΙΡΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ (ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ)	20
1.6.4 ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ	21

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ** **22**

---

<b>2.1 ΓΕΝΙΚΑ</b>	<b>22</b>
<b>2.2 ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ</b>	<b>24</b>
<b>2.3 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ, ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ</b>	<b>26</b>
<b>2.4 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	<b>27</b>
2.4.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	28
2.4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	32
2.4.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ	34
2.4.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ	36
2.4.5 ΜΟΝΤΕΡΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ	38
2.4.6 ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ («ΠΑΚΕΤΑ», «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ» )	41
2.4.7 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ	44
<b>2.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ</b>	<b>46</b>
<b>2.6 ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ</b>	<b>47</b>
<b>2.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ</b>	<b>47</b>
<b>2.8 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	<b>48</b>
2.8.1 ΨΥΚΤΕΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ	48
2.8.2 ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ ΕΝΟΣ ΨΥΚΤΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ	48
2.8.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΨΥΚΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ	50
2.8.4 ΨΥΚΤΕΣ Li-Br	50
2.8.5 ΨΥΚΤΕΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ – ΝΕΡΟΥ	51

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ** **53**

---

<b>3.1 ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ</b>	<b>53</b>
3.1.1 ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	53

3.1.2 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	53
3.1.3 ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	54
3.1.4 ΑΠΡΟΒΛΕΠΤΑ ΕΞΟΔΑ	54
3.2 ΔΑΠΑΝΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	57

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

4.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΒΑΣΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	59
4.1.1 ΤΟΚΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΤΟΚΙΟ(D)	59
4.1.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (N)	59
4.1.3 ΠΛΗΘΩΡΙΣΜΟΣ (I)	59
4.1.4 ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ(P)	59
4.1.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΑΞΙΑΣ	60
4.1.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΟΚΟΧΡΕΩΛΥΤΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ(CAPITAL RECOVERY FACTOR,CRF)	60
4.1.7 ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΚΑΙ ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΤΙΜΕΣ	61
4.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	61
4.2.1 ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ (NET PRESENT VALUE,NPV)	62
4.2.2 ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ (INTERNAL RATE OF RETURN, IRR)	62
4.2.3 ΛΟΓΟΣ ΟΦΕΛΟΥΣ /ΚΟΣΤΟΥΣ (BENEFIT TO COST RATIO, BCR)	62
4.2.4 ΈΝΤΟΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ (DISCOUNTED PAY BACK PERIOD, DPB)	63
4.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΙΔΙΩΤΗ ΕΠΕΝΔΥΤΗ	63
4.3.1 ΕΤΗΣΙΟ ΚΑΘΑΡΟ ΟΦΕΛΟΣ ( $F_T$ )	64
4.3.2 ΕΤΗΣΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ( $F_T$ )	65
4.3.3 ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΚΑΛΥΨΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ	65
4.3.4 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	66

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

5.1 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	68
5.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	68
5.3 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΦΟΡΤΙΩΝ	69
5.3.1 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΩΝ	69
5.3.2 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	71
5.3.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΣΧΥΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	72
5.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	72
5.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ**

6.1 Η ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ	74
6.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ	75
6.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ	76
6.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ	77
6.5 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ	78

<b>6.6 ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ</b>	<b>78</b>
<b>6.7 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ</b>	<b>79</b>
6.7.1 ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ	80
6.7.2 ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	82
6.7.3 ΧΩΡΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	84

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ «ΣΙΣΜΑΝΟΓΛΕΙΟ»**

<b>7.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ</b>	<b>85</b>
<b>7.2 ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ</b>	<b>86</b>
<b>7.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΔΟΜΗ</b>	<b>90</b>
<b>7.4 ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΛΙΝΩΝ</b>	<b>91</b>
<b>7.5 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	<b>92</b>
7.5.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ	92
7.5.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	95
<b>7.6 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ</b>	<b>96</b>
7.6.1 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	96

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ**

<b>8.1 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>	<b>98</b>
<b>8.2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ DIESEL</b>	<b>100</b>
<b>8.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ</b>	<b>102</b>
<b>8.4 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ</b>	<b>102</b>
<b>8.5 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ</b>	<b>106</b>
<b>8.6 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΙΝ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	<b>107</b>
<b>8.7 ΠΙΘΑΝΑ ΜΕΤΡΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>	<b>108</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 - ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

<b>9.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ</b>	<b>110</b>
<b>9.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	<b>111</b>
9.2.1 ΣΕΝΑΡΙΟ Α	114
9.2.2 ΣΕΝΑΡΙΟ Β	125
<b>9.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>134</b>

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ΄ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ**

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ΄ ΤΙΜΕΣ ΠΩΛΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΓΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ**

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε΄ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ**

## Πίνακες

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. 1 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΈΝΩΣΗΣ ΣΕ (%) .....	6
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. 2 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....	10
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. 3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO <sub>2</sub> .....	11
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. 4 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ NO <sub>x</sub> [5] .....	13
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. 5 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....	16
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. 6 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΤΜΟΥ .....	16
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. 7 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΤΡΟΠΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ .....	17
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. 8 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (GR/KWh ΩΦΕΛΙΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ) .....	17
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. 9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ ΚΑΥΣΙΜΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΣΕ ΣΦΑΙΡΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ ΜΕ ΤΡΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ ΧΩΡΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (KG/ΕΤΟΣ) .....	18
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. 10 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ ΚΑΥΣΙΜΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΣΕ ΤΟΠΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ ΜΕ ΤΡΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ ΧΩΡΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (KG/ΕΤΟΣ) .....	18
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. 11 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΟΥΣ .....	19
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. 1 ΣΥΜΒΟΛΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ .....	24
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. 2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. 3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ [1] .....	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. 4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ. [1][6] .....	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. 5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ. [5] .....	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. 6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΨΥΚΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ .....	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 3. 1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ ΓΙΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ .....	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 3. 2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ ΣΕ ΔΥΟ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ. .....	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 3. 3 ΔΑΠΑΝΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ. ....	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 1 Το χρονικό του Γενικού Νοσοκομείου Αθηνών «Σισμανογλείο» .....	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ .....	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 3 ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΛΙΝΩΝ ΑΝΑ ΚΛΙΝΙΚΗ .....	91
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 4 ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΩΣ ΤΟ 2005 .....	91
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ .....	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 6 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ .....	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 7 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΤΗΡΩΝ .....	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 8 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΑΕΡΟΨΥΚΤΩΝ ΨΥΚΤΩΝ .....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 9 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΥΔΡΟΨΥΚΤΩΝ ΨΥΚΤΩΝ .....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 10 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΠΥΡΓΩΝ ΨΥΞΗΣ .....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 11 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ .....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 12 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΛΥΨΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ .....	95
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 13 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ .....	97
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. 1 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ (ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ, ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΩΝ ΕΤΩΝ 2003-2004) .....	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. 2 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΗ ΣΕ LT ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΤΡΟΠΟ .....	100

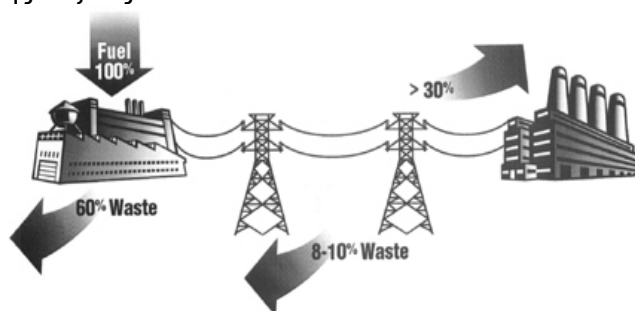
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. 3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΠΟ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ (ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ).....	102
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. 4 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ (ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ).....	103
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. 5 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟ (ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ) .....	103
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. 6 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΚΑΥΣΙΜΟ DIESEL (ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ) .....	103
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. 7 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΛΟΓΩ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΤΟΥΣ ΛΕΒΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ.....	106
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. 8 ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ (KG) ΤΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ .....	106
 ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΗΣ 380 kW .....	114
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΩΡΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	114
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 3 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ 380 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 5000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ.....	115
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 4 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ 380 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 5000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ.....	115
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 5 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ 380 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 6000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ.....	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 6 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ 380 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 6000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ.....	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 7 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ 380 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 7000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ.....	117
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 8 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ 380 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 7000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ.....	117
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 9 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ 380 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 8000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ.....	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 10 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ 380 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 8000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ.....	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 11 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ, 380 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ, ΓΙΑ 5000, 6000, 7000 ΚΑΙ 8000 ΩΡΕΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΚΑΙ ΣΕ ΦΟΡΤΙΟ ΙΣΟ ΜΕ ΤΗΝ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΙΣΧΥΟΣ .....	119
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 12 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ 380 kW <sub>E</sub> (ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΕ ΣΤΑΘΕΡΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΙ ΙΣΟ ΜΕ ΤΗΝ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΙΣΧΥ) ΓΙΑ 6000 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ/ΕΤΟΣ .....	120
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 13 ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ 380kW ΜΕ ΨΥΚΤΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ 70RT .....	121
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 14 ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ 380kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 6000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ .....	122
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 15 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ 380 kW <sub>E</sub> (ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΕ ΣΤΑΘΕΡΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΙ ΙΣΟ ΜΕ ΤΗΝ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΙΣΧΥ) ΓΙΑ 7000 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ/ΕΤΟΣ .....	123
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 16 ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ 380kW ΜΕ ΨΥΚΤΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ 125RT .....	124
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 17 ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ 380kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 7000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ .....	124
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 18 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΗΣ (490kW).....	125
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 19 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ 490 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 5000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ (ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ 75% ΤΟΥ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ).....	126
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 20 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ 490 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 5000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ (ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ 75% ΤΟΥ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ).....	126
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 21 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ 490 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 6000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ(ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ 75% ΤΟΥ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ).....	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 22 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ 490 kW <sub>E</sub> ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 6000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ(ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ 75% ΤΟΥ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ).....	127

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 23 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ $490 \text{ kW}_E$ ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 7000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ(ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ 75% ΤΟΥ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ).....	128
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 24 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ $490 \text{ kW}_E$ ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 7000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ(ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ 75% ΤΟΥ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ).....	128
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 25 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ $490 \text{ kW}_E$ ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 8000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ(ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ 75% ΤΟΥ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ).....	129
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 26 ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ $490 \text{ kW}_E$ ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 8000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ(ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ 75% ΤΟΥ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ).....	129
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 27 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ, $490 \text{ kW}_E$ ΕΚΑΣΤΗ, ΓΙΑ 5000, 6000, 7000 ΚΑΙ 8000 ΩΡΕΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΚΑΙ ΣΕ ΦΟΡΤΙΟ 75% ΤΗΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΤΟΥΣ ΙΣΧΥΟΣ	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 28 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ $490 \text{ kW}_E$ (ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΕ ΣΤΑΘΕΡΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΙ ΙΣΟ ΜΕ ΤΟ 75%ΤΗΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΤΟΥΣ ΙΣΧΥΟΣ) ΓΙΑ 6000 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ/ΕΤΟΣ.....	131
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 29 ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ $490 \text{ kW}$ ΜΕ ΨΥΚΤΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ 104RT .....	131
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 30 ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ $490 \text{ kW}_E$ ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 6000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ .....	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 31 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ $490 \text{ kW}_E$ (ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΕ ΣΤΑΘΕΡΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΙ ΙΣΟ ΜΕ ΤΟ 75%ΤΗΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΤΟΥΣ ΙΣΧΥΟΣ) ΓΙΑ 7000 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ/ΕΤΟΣ .....	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 32 ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ $490 \text{ kW}$ ΜΕ ΨΥΚΤΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ 165RT .....	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. 33 ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ $490 \text{ kW}_E$ ΕΚΑΣΤΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ 7000 ΩΡΕΣ/ΕΤΟΣ .....	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ [5].....	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΤΙΜΕΣ ΠΩΛΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΕΤΗΣΙΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ $< 1.100 \text{ MWh}^*$ (ΕΤΟΣ 2005) .....	139
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΤΙΜΕΣ ΠΩΛΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΕΤΗΣΙΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ $< 1.100 \text{ MWh}^*$ (ΕΤΟΣ 2005).....	139
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ ΑΓΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2006).....	142
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ ΠΩΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΠΕ ΚΑΙ ΧΡΕΩΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2006)[49] .....	143
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ.....	144
ΠΙΝΑΚΑΣ 7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥ $380 \text{ kW}$ . .....	145
ΠΙΝΑΚΑΣ 8 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥ $490 \text{ kW}$ . .....	146

## Κεφάλαιο 1 -Εισαγωγή

### 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 ή κλίβανο, κ.λ.π.) για την παραγωγή θερμότητας. Οι συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής έχουν βαθμό απόδοσης 30-45% εκπέμποντας μεγάλες ποσότητες ρύπων από την κατανάλωση των καυσίμων. Οι απώλειες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τον σταθμό στον καταναλωτή είναι της τάξεως του 8-10%.



**Σχήμα 1. 1 Σχηματική απεικόνιση του συμβατικού τρόπου κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων**

Συνεπώς μια τεχνολογία ικανή να μειώσει την συνολική κατανάλωση των καυσίμων με ταυτόχρονη αύξηση του βαθμού απόδοσης από την ανεξάρτητη παραγωγή καθεμίας από τις ανωτέρω μορφές ενέργειας είναι ιδιαίτερα επιθυμητή. Λύση στα παραπάνω έρχεται να δώσει η τεχνολογία της συμπαραγωγής, η οποία εάν εφαρμοστεί σωστά, όχι μόνο βελτιώνει σημαντικά τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης αλλά και συμβάλλει στη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων ανά μονάδα χρήσιμης μορφής ενέργειας.

**Συμπαραγωγή** ονομάζουμε την συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας.

Ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης σημαίνει κατανάλωση μικρότερης ποσότητας καυσίμων για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας με προφανή οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Η απόδοση των συστημάτων συμπαραγωγής φτάνει το 80-85%, εξοικονομώντας ενέργεια κατά 15%-40%, σε σχέση με την παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια από ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς και λέβητες αντίστοιχα. Η εξοικονόμηση αυτή προκύπτει από την ανάκτηση και αξιοποίηση θερμότητας, που διαφορετικά θα αποβαλλόταν στο περιβάλλον κατά την λειτουργία των συμβατικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής. Επιπροσθέτως, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια μονάδα συμπαραγωγής συνήθως καλύπτει τις τοπικές ανάγκες για ηλεκτρισμό, με συνέπεια οι απώλειες μεταφοράς και διανομής να είναι αμελητέες.

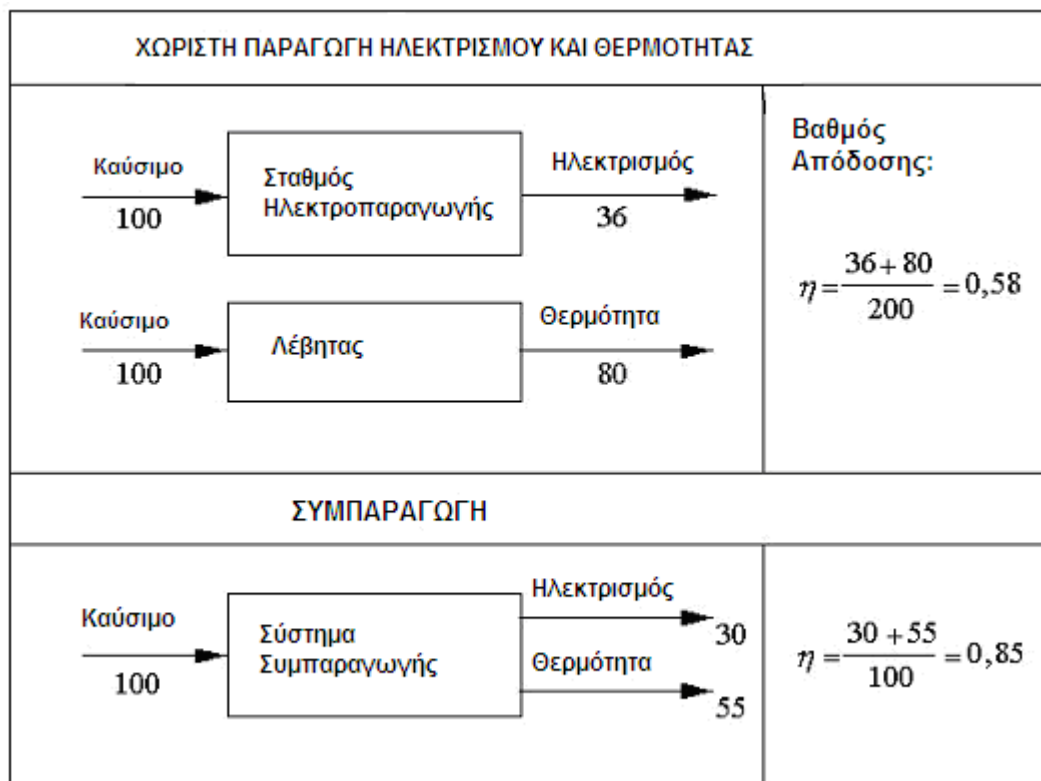
Η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη ή κλιματισμό. Η ψύξη ή ο κλιματισμός επιτυγχάνονται με μηχανές απορρόφησης, που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό (**τριπαραγωγή**). [1][2]

Επειδή η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ευκολότερη και φτηνότερη από την μεταφορά θερμικής, οι εγκαταστάσεις συμπαραγωγής βρίσκονται συνήθως όσο πιο κοντά γίνεται στο χώρο όπου θα καταναλωθεί η θερμική ενέργεια και διαστασιολογούνται έτσι ώστε να καλύπτουν το θερμικό φορτίο. Όταν παράγεται λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από αυτή που απαιτείται, είναι απαραίτητο να αγοραστεί

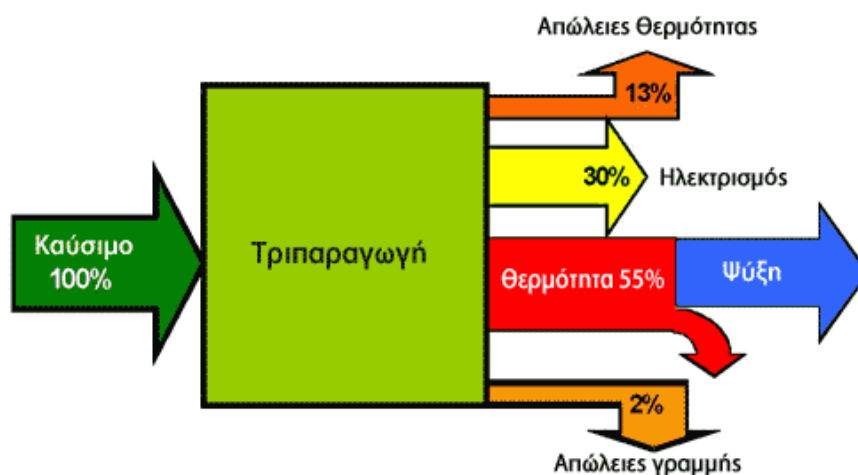
επιπρόσθετη από το δίκτυο. Όμως όταν η μονάδα σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύπτει το θερμικό φορτίο, συνήθως παράγεται πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μπορεί είτε να πουληθεί στο δίκτυο είτε να παρασχεθεί σε άλλον καταναλωτή μέσω του συστήματος διανομής (wheeling).[3]

Όταν οι συμπαραγωγικοί σταθμοί καλύπτουν τις θερμικές (ή ψυκτικές) ανάγκες πόλεων ή οικισμών, ο όρος που χρησιμοποιείται είναι η **τηλεθέρμανση** (ή **τηλεψύξη**).

Η **τηλεθέρμανση** (ή η **τηλεψύξη**) είναι η εφαρμογή μεθόδων κεντρικής παραγωγής θερμότητας (ή ψύξης) και η διανομή της (συνήθως με τη μορφή ζεστού ή ψυχρού νερού) για θέρμανση ή ψύξη σε κατοικίες ή άλλες εφαρμογές.



Σχήμα 1. 2 Σύγκριση βαθμού απόδοσης συμπαραγωγής με χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (οι αριθμοί κάτω από τα βέλη παριστάνουν μονάδες ενέργειας)



Σχήμα 1. 3 Η βασική αρχή της τριπαραγωγής [4]



Ως ενεργειακή πηγή μπορεί να είναι οποιοδήποτε καύσιμο, ωστόσο στα πλαίσια εξοικονόμησης φυσικών πόρων και προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κρίνεται αποδοτικότερη και πιο συμφέρουσα η χρήση καυσίμων φιλικότερων προς το περιβάλλον, όπως το φυσικό αέριο και η βιομάζα. [2]

Οι επιπτώσεις της συμπαραγωγής σε οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο είναι πολλαπλές. Οι εφαρμογές της διακρίνονται σε τέσσερις κύριους τομείς: στο σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας, τον βιομηχανικό τομέα, τον εμπορικό-κτηριακό τομέα (τρίτογενής) και τον αγροτικό.

Η εξοικονόμηση της ενέργειας και η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, σε σφαιρική κλίμακα, δεν είναι αρκετά κίνητρα για μια επένδυση σε σύστημα συμπαραγωγής, εάν και η ίδια η επένδυση δεν είναι οικονομικά βιώσιμη. Οι οικονομικές και νομοθετικές ρυθμίσεις εκ μέρους της πολιτείας, η εξεύρεση πόρων για τις σχετικές επενδύσεις και οι οικονομικές συνθήκες κάτω από τις οποίες θα λειτουργήσει μια μονάδα συμπαραγωγής, είναι κρίσιμης σημασίας για την βιωσιμότητα της επένδυσης. [1]

## 1.2 Τρόποι εφαρμογής της συμπαραγωγής

Η συμπαραγωγή δεν απαρτίζει μία συγκεκριμένη τεχνολογία, αλλά εφαρμογή τεχνολογιών που σε συνδυασμό καλύπτουν ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες, με σκοπό την βελτίωση του βαθμού απόδοσης. Οι ανάγκες αυτές διαφοροποιούνται από εγκατάσταση σε εγκατάσταση, συνεπώς ο τύπος και ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος θα πρέπει να επιλεγθούν προσεκτικά.

Ένα σύστημα συμπαραγωγής αποτελείται κυρίως από τέσσερα στοιχεία:

### ➤ **Τον κινητήρα (prime mover):**

Ο κινητήρας μπορεί να είναι ατμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος, παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης, συνδυασμένος κύκλος, κυκλές καυσίμου, μηχανή Stirling ή micro-turbine. Ο κινητήρας κινεί τη γεννήτρια.

### ➤ **Τη γεννήτρια :**

Αυτή μπορεί να είναι σύγχρονη, ασύγχρονη ή αυτοδιεγειρόμενη ασύγχρονη. Αυτή παράγει την ηλεκτρική ενέργεια.

### ➤ **Το σύστημα ανάκτησης θερμότητας :**

Αυτό ανακτά την απορριπτόμενη θερμότητα από τα ρευστά που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής (με εναλλάκτες ανάκτησης θερμότητας) και από τα καυσαέρια (με λέβητα ανάκτησης θερμότητας που αποκαλείται και λέβητας καυσαερίων).

### ➤ **Το σύστημα ελέγχου :**

Αυτό διασφαλίζει την ασφαλή και ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος συμπαραγωγής.

Οι μονάδες συμπαραγωγής γενικά κατατάσσονται με βάση το είδος του κινητήρα, της γεννήτριας και του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Αναλυτική περιγραφή των συστημάτων ακολουθεί στο δεύτερο κεφάλαιο.

Η συνολική απόδοση του συστήματος προκύπτει από μια αλληλεπίδραση μεταξύ των μεμονωμένων βαθμών απόδοσης των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής και ανάκτησης θερμότητας. Δεδομένου ότι από ένα σύστημα συμπαραγωγής προκύπτουν δύο ή περισσότερα χρησιμοποιήσιμα ενεργειακά προϊόντα, ο καθορισμός του συνολικού βαθμού απόδοσης των συστημάτων αυτών είναι πιο σύνθετος απ' ό,τι στα απλά συστήματα. Το όλο σύστημα μπορεί να αντιμετωπισθεί ως δύο υποσυστήματα, το σύστημα ηλεκτρικής ισχύος (συνήθως μια μηχανή ή ένας στρόβιλος) και το σύστημα ανάκτησης θερμότητας (συνήθως κάποιος τύπος λέβητα). Η απόδοση του συνολικού συστήματος προκύπτει από την αλληλεπίδραση μεταξύ

των μεμονωμένων βαθμών απόδοσης των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής και ανάκτησης θερμότητας. [5]

### 1.3 Οι σημερινές συνθήκες

Αν και η συμπαραγωγή ήταν γνωστή από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, τα τελευταία 20 χρόνια έχει σημειωθεί τεχνολογική πρόοδος που επιτρέπει την ευρύτερη εφαρμογή της.

Το 1995 η COGEN Europe εκπόνησε μελέτη με τίτλο “The Barriers to Combined Heat and Power in Europe”, όπου παρουσιάζει τα βασικά εμπόδια που ανέστελλαν την εξάπλωση της συμπαραγωγής στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα εκείνη την περίοδο. Τα περισσότερα πηγάζαν από την ύπαρξη μονοπωλίου στην αγορά ηλεκτρισμού.

Είναι γεγονός ότι οι συνθήκες στην αγορά ενέργειας μεταβάλλονται διαρκώς και με γρήγορους ρυθμούς. Οδεύουμε σταδιακά προς την ολική απελευθέρωση αγοράς ενέργειας. Διαφανή και σαφή νομικά πλαίσια, που ορίζουν τους κανονισμούς και την λειτουργία των αγορών ενέργειας, απαιτούνται έτσι ώστε να επιτευχθεί σχετική σταθερότητα και δυνατότητα μελλοντικής πρόβλεψης των τιμών στην αγορά ενέργειας. Μακροχρόνια, με την προϋπόθεση ότι η αγορά θα προσαρμοστεί κατάλληλα στις νέες συνθήκες και οι ιθύνοντες θα λάβουν τα απαραίτητα μέτρα για την ρύθμιση της λειτουργίας της, η συμπαραγωγή θα γνωρίσει σημαντική εξάπλωση. [3][6]

### 1.4 Επιπτώσεις συμπαραγωγής και τριπαραγωγής

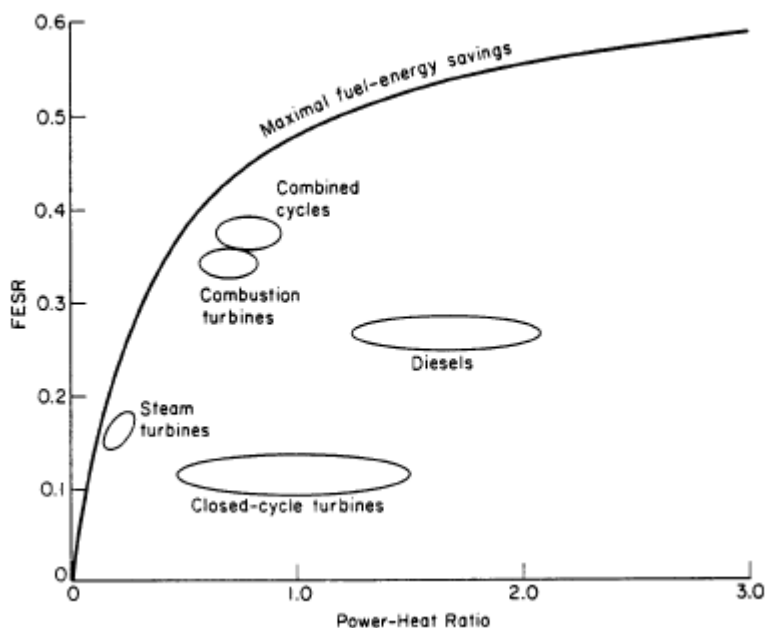
Η συμπαραγωγή μπορεί να έχει τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιπτώσεις στην εξάντληση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στο σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας, στο περιβάλλον και στην κοινωνία. Οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις μπορούν να μετριασθούν ή και να εξαλειφθούν με σωστή επιλογή του είδους και της θέσης του συστήματος συμπαραγωγής, την προσεκτική ένταξή του στο ευρύτερο ενεργειακό σύστημα της περιοχής ή της χώρας και με την επιμελημένη συντήρηση κατά τη διάρκεια της ζωής του.[1]

#### 1.4.1 Θετικές επιπτώσεις

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα της συμπαραγωγής, αν εφαρμοστεί σωστά, είναι:

**Βαθμός απόδοσης:** Υψηλότερος βαθμός απόδοσης σε σχέση με συμβατικές τεχνολογίες χωριστής ηλεκτροπαραγωγής και παραγωγής θερμότητας.[2]

**Εξοικονόμηση καυσίμου:** Με τα συστήματα συμπαραγωγής επιτυγχάνεται η καλύτερη αξιοποίηση της πρωτογενούς πηγής ενέργειας, δεδομένου ότι αξιοποιείται και η θερμική, η οποία αναπόφευκτα παράγεται κατά την διαδικασία μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική. Με αυτόν τον τρόπο συμβάλλουν στην εξοικονόμηση καυσίμων και εμμέσως στην αποφυγή εξάντλησης των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.[2]



**Σχήμα 1. 4 Σχέση μεταξύ του λόγου εξοικονόμησης καυσίμου (FESR) και του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής (βλ.κεφάλαιο 2)**

**Ελαχιστοποίηση απωλειών:** Τα συστήματα συμπαραγωγής βρίσκονται κοντά στον καταναλωτή σε σχέση με τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που είναι της τάξης του 8–10%. Οι μειωμένες απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας άλλος παράγοντας που συμβάλλει στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. [2] Ο πίνακας 1.1 δίνει τις απώλειες του δικτύου (εκφρασμένες σε ποσοστά) διαφόρων ευρωπαϊκών χωρών.

**Ενίσχυση του ενεργειακού δυναμικού:** Παρέχει ευελιξία και προσαρμοστικότητα σε τοπικές ενεργειακές ανάγκες και ασφάλεια εφοδιασμού. Τα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να σχεδιάζονται και να εγκαθίστανται ακόμα και σε γεωγραφικά απόμακρες περιοχές, εξυπηρετώντας τις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών. Προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμοστικότητα σε απρόβλεπτες μεταβολές της ζήτησης του ηλεκτρισμού. Σε κρατικό επίπεδο, η συμπαραγωγή αυξάνει το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής και περιορίζει τις ανάγκες κατασκευής νέων μεγάλων κεντρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, αυξάνει τη σταθερότητα του ηλεκτρικού δικτύου της χώρας και την αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. [2]

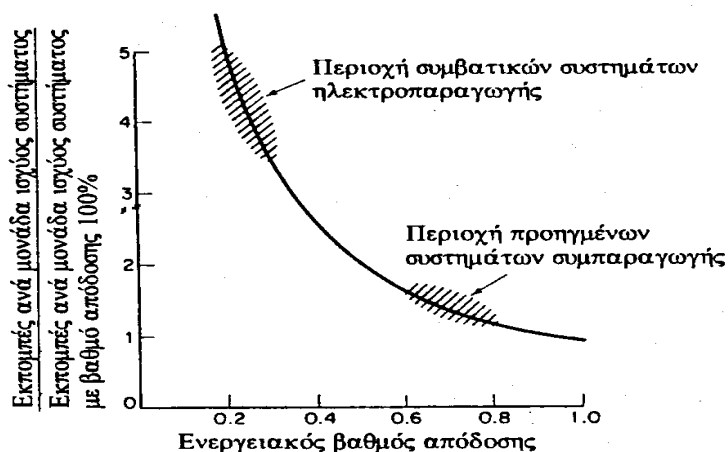
**Αύξηση της αξιοπιστίας ηλεκτροδότησης των καταναλωτών:** Αυξάνεται η αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με την παράλληλη λειτουργία συστημάτων συμπαραγωγής και των κεντρικών σταθμών. Η σύνδεση της μονάδας συμπαραγωγής με το ηλεκτρικό δίκτυο εγγυάται την αδιάκοπη παροχή ηλεκτρισμού, αφού σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας της μονάδας, το δίκτυο μπορεί να παρέχει την ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Απαιτείται όμως ιδιαίτερη προσοχή στη σύνδεση των συστημάτων συμπαραγωγής με το δίκτυο έτσι ώστε να μην δημιουργηθούν προβλήματα στην ευστάθεια του δικτύου. Τα προβλήματα αυτά περιορίζονται ή και αποφεύγονται, όταν το σύστημα συμπαραγωγής και η σύνδεσή του με το δίκτυο πληρούν ορισμένες προδιαγραφές. [1][4]

**Αύξηση της σταθερότητας ηλεκτρικών δικτύων:** Η «Διανεμημένη Παραγωγή» της ηλεκτρικής ενέργειας μειώνει την φόρτιση και τις απώλειες των δικτύων μεταφοράς και διανομής. [4]

Απώλειες δικτύου σε διάφορες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε (%)						
Έτος Χώρες	1990	1994	1995	1996	1997	1998
Αυστρία	8,0	6,8	6,5	6,2	6,2	6,2
Βέλγιο	6,5	5,6	5,4	5,2	5,2	5,2
Δανία	9,5	8,2	7,9	7,6	7,5	7,4
Φιλανδία	4,5	4,1	4,0	3,9	3,9	3,9
Γαλλία	10,0	10,0	10,0	10,0	9,7	9,4
Γερμανία	5,5	4,6	4,3	4,1	4,1	4,1
Ελλάδα	1,0	8,7	8,4	8,0	7,9	7,7
Ιταλία	8,0	6,9	6,7	6,4	6,4	6,3
Ιρλανδία	10,0	9,6	9,5	9,4	9,2	8,9
Ολλανδία	4,5	4,1	4,0	3,9	3,9	3,9
Πορτογαλία	10,2	10,2	10,2	10,2	9,9	9,6
Ισπανία	10,0	9,1	8,9	8,6	8,4	8,2
Σουηδία	9,0	7,7	7,4	7,1	7,0	6,9
Ηνωμένο Βασίλειο	9,5	8,97	8,16	7,6	7,86	7,51
Ευρωπαϊκός μέσος όρος (χωρίς το Λουξεμβούργο)	8,2	7,46	7,24	7	6,4	6,8

Πίνακας 1. 1 Απώλειες δικτύου σε διάφορες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε (%) [7]

**Μείωση εκπομπόμενων ρύπων προς το περιβάλλον:** Επιτυγχάνεται με την αποδοτικότερη εκμετάλλευση καυσίμου μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων προς το περιβάλλον σε σφαιρική κλίμακα, με την προϋπόθεση ότι το καύσιμο που χρησιμοποιείται δεν είναι κατώτερης ποιότητας από εκείνο της χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου συνοδεύεται από μια έμμεση μείωση των ρύπων από τον υπόλοιπο κύκλο του καυσίμου (εξόρυξη, επεξεργασία, μεταφορά, αποθήκευση). [1] Το πλεονέκτημα αυτό καθίσταται ιδιαίτερα σημαντικό σήμερα, ενόψει της ραγδαίας επιβάρυνσης και καταστροφής του περιβάλλοντος σε παγκόσμια κλίμακα. Η μείωση των μολυσματικών ρύπων είναι ένας στόχος άλλωστε που έχει τεθεί και από το Πρωτόκολλο του Κιότο. [2]



**Σχήμα 1. 5 Εκπομπή χημικών ρύπων ως συνάρτηση του βαθμού απόδοσης συστημάτων**

**Κοινωνικά οφέλη:** Η γεωγραφική διασπορά των συστημάτων συμπαραγωγής δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας, συγκρατεί εκεί το εργατικό δυναμικό και συμβάλλει στην οικονομική ανάπτυξη του τόπου με την ανάπτυξη νέων δραστηριοτήτων, που σχετίζονται με την κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία των μονάδων. [2]

**Συμβολή στην αποκέντρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας («Διανεμημένη Παραγωγή»):** τα συστήματα συμπαραγωγής σχεδιάζονται έτσι ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, αποφεύγοντας τις απώλειες μεταφοράς και αυξάνοντας την ευελιξία του συστήματος που χρησιμοποιείται.[6] Επακόλουθο της Διανεμημένης Παραγωγής είναι η αποκέντρωση της λήψης σχετικών αποφάσεων και η ενδυνάμωση του ρόλου της τοπικής αυτοδιοίκησης. [1]

**Οικονομικά οφέλη στη εθνική οικονομία:** Η συμπαραγωγή προσφέρει όφελος στην εθνική οικονομία μειώνοντας το σύνολο των δαπανών για τα εισαγόμενα καύσιμα. Αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία στα πλαίσια της ελληνικής ενεργειακής πολιτικής, καθώς η μειωμένη ανάγκη καυσίμων αποτελεί λύση για την μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από εισαγωγές.[1]

**Οικονομικά οφέλη για τον χρήστη:** Επιτυγχάνεται ο περιορισμός του χρηματοοικονομικού κόστους χάρη στον μικρό χρόνο εγκατάστασης των συστημάτων συμπαραγωγής σε σχέση με αυτόν που απαιτείται για την κατασκευή ενός κεντρικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Αυτό με την σειρά του συμβάλλει στην μείωση του μοναδιαίου κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. [4]

**Ανατρέπει τα οποιαδήποτε μονοπώλια στην αγορά:** Αποτελεί ευκαιρία να δημιουργηθούν συνθήκες ανταγωνισμού και ποικιλότητα στην ηλεκτροπαραγωγή. Το γεγονός αυτό την καθιστά από τα πιο σημαντικά εργαλεία στην προώθηση της απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας. [6]

Στην περίπτωση της τριπαραγωγής μπορούμε να προσθέσουμε στα παραπάνω πλεονεκτήματα και την ανακούφιση του δικτύου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες: Χάρη στην τριπαραγωγή, κατά την διάρκεια του θέρους, κυρίως στις Μεσογειακές χώρες, δεν θα παρουσιάζεται τόσο αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για να καλυφθούν οι ανάγκες ψύξης. Το γεγονός αυτό αυξάνει τη σταθερότητα των δικτύων ηλεκτρισμού και βελτιώνει την αποδοτικότητα του συστήματος, αφού οι καλοκαιρινές αιχμές ως τώρα καλύπτονται από τις εταιρείες ηλεκτρισμού μέσω εφεδρικών μονάδων και το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατά την περίοδο του καλοκαιριού είναι υπερφορτωμένο. [4]

### 1.4.2 Αρνητικές επιπτώσεις

Όπως προαναφέρθηκε εάν δεν γίνει προσεκτική επιλογή του είδους και της θέσης της μονάδας, υπάρχει η περίπτωση η τεχνολογία της συμπαραγωγής όχι μόνο να μην έχει τα παραπάνω αποτελέσματα, αλλά οι επιπτώσεις της να είναι ιδιαίτερα επιζήμιες κυρίως σε οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο.

Η εξάπλωση της συμπαραγωγής μπορεί να έχει αρνητικές οικονομικές επιπτώσεις στο εθνικό σύστημα ηλεκτρισμού, εάν αυτό έχει ικανότητα παραγωγής μεγαλύτερη από τη ζήτηση ή εάν ο ρυθμός αύξησης της ικανότητας με την 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.

Επίσης μπορεί εν γένει η συμπαραγωγή να συντελεί στην μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, αλλά είναι ενδεχόμενη η αύξηση των ρύπων σε τοπική κλίμακα. 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 αστικά κέντρα και οι υψηλές καπνοδόχοι συντελούν σε ικανοποιητικό διασκορπισμό των ρύπων. Αντίθετα, οι μικρές μονάδες συμπαραγωγής, που έχουν σχετικά χαμηλότερες καπνοδόχους, είναι εγκατεστημένες κοντά ή και μέσα σε κατοικημένες περιοχές, επιβαρύνοντας το περιβάλλον τους.

Η επίπτωση της συμπαραγωγής στο περιβάλλον εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως από την τεχνολογία συμπαραγωγής και το καύσιμο που χρησιμοποιεί, σε σχέση με την συμβατική χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, και τις τοπικές συνθήκες.

Τα διάφορα συστήματα συμπαραγωγής έχουν διαφορετικές εκπομπές ρύπων. Από την άλλη, ένα σύστημα συμπαραγωγής μπορεί να μειώνει την εκπομπή ενός ρύπου αλλά να αυξάνει την εκπομπή ενός άλλου. Από τις διαθέσιμες τεχνολογίες συμπαραγωγής οι κινητήρες Diesel και Otto έχουν τις υψηλότερες εκπομπές ρύπων. Καθώς οι κινητήρες αυτοί είναι πιο κατάλληλοι για εφαρμογές συμπαραγωγής στον εμπορικό-βιομηχανικό τομέα, ο κίνδυνος από τις εκπομπές τους είναι αυξημένος διότι στις κατοικημένες περιοχές οι κάτοικοι είναι άμεσα εκτεθειμένοι στους ρύπους του αέρα, οι διασπορά των οποίων εμποδίζεται από τα μεγάλα κτίρια.

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 όσο και από την κίνηση, που αναπτύσσεται για την εξυπηρέτησή του, αυξάνει την ηχητική ρύπανση. Επομένως απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός έτσι ώστε να μειωθεί η ενόχληση από την κίνηση. Συγκεκριμένα μέτρα μπορούν επίσης να μειώσουν τον θόρυβο του ίδιου του συστήματος. Τα συστήματα συμπαραγωγής θα πρέπει να πληρούν προδιαγραφές που ορίζονται από νομικά πλαίσια και σχετίζονται με τα επίπεδα θορύβου, για να προφυλαχθούν τα άτομα που ζουν στο γύρω χώρο ή δουλεύουν εκεί. Για παράδειγμα ο θόρυβος που εκπέμπεται από μια μηχανή εσωτερικής καύσης είναι συνήθως μεγαλύτερος από 95 db. Στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις το υψηλότερο επίπεδο θορύβου που θεωρείται ότι δεν προκαλεί μακροσκοπικά προβλήματα ακοής είναι 80db. Στις κατοικημένες περιοχές τα όρια είναι χαμηλότερα και εξαρτώνται από την τοποθεσία και την ώρα της ημέρας. Οπότε απαραίτητα είναι τα μέτρα μείωσης θορύβου στα επιτρεπτά επίπεδα. Όταν το σύστημα συμπαραγωγής τοποθετηθεί στο υπόγειο ενός κτιρίου θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα αντίστοιχα υλικά που μειώνουν τον θόρυβο στο ίδιο το δωμάτιο, να ενισχυθεί η κατασκευή των τοίχων, ταβανιών και πατωμάτων για να προφυλαχτούν από τον θόρυβο και τα γειτονικά δωμάτια και να χρησιμοποιηθεί κατάλληλος εξοπλισμός στην έξοδο καυσαερίων, μειώνοντας τον θόρυβο προς τα έξω. Παράλληλα με τα παραπάνω μέτρα, εάν το σύστημα συμπαραγωγής

τοποθετηθεί στο υπόγειο ή στη ταράτσα ενός κτιρίου, επιπλέον εξοπλισμός για την μείωση των κραδασμών είναι απαραίτητος. Η πιο φτηνή λύση στα παραπάνω προβλήματα και εφόσον δεν διατίθεται εσωτερικός χώρος είναι η τοποθέτηση του συστήματος συμπαραγωγής εξωτερικά του κτιρίου, μέσα σε container και εξοπλισμένο με τα αντίστοιχα συστήματα μείωσης θορύβου.

Επομένως η εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής σε κατοικημένες περιοχές, πρέπει να πληρεί ορισμένες προϋποθέσεις:

- επιλογή τεχνολογίας με χαμηλές εκπομπές ρύπων
- προσεκτική επιλογή του τόπου εγκατάστασης
- τοποθέτηση εξοπλισμού ελέγχου και περιορισμού των εκπεμπόμενων ρύπων
- ελαστική έδραση και ηχητική μόνωση του συστήματος
- κατασκευή καπνοδόχου υψηλότερης των γειτονικών κτιρίων
- εγκατάσταση μέσων συλλογής και αποκομιδής των στερεών και υγρών καταλοίπων

Αυτά τα μέτρα ενδέχεται να είναι δαπανηρά και ίσως οι εμπλεκόμενοι να επιδιώξουν να τα παραβλέψουν. Για αυτόν το λόγο θα πρέπει η κυβέρνηση να υιοθετήσει κατάλληλη διαδικασία αδειοδότησης, η οποία θα υποχρεώνει την εφαρμογή των παραπάνω μέτρων. [3]

## 1.5 Επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα

Το πιο σημαντικό ζήτημα όσον αφορά τις επιπτώσεις της συμπαραγωγής στο περιβάλλον είναι η επίδρασή της στην ποιότητα του αέρα του περιβάλλοντος. Το ζήτημα αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα κυρίως στις κατοικημένες περιοχές, όπου ο αέρας μπορεί να είναι ήδη επιβαρυνμένος από ρύπους. Η ποσοτικοποίηση της επίπτωσης είναι πολύπλοκη καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η ανάλυση οφείλει να γίνει σε δύο επίπεδα, σε τοπικό και σε σφαιρικό.

Αρχικά θα πρέπει να υπολογιστούν οι εκπομπές ρύπων του συστήματος συμπαραγωγής και οι εκπομπές των συμβατικών συστημάτων χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, λαμβάνοντας υπόψη το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιεί το καθένα από αυτά.

### 1.5.1 Εκπεμπόμενοι ρύποι από την παραγωγή ενέργειας

Οι κυριότεροι εκπεμπόμενοι ρύποι από την ανάφλεξη των καυσίμων, που θεωρούνται επιβλαβής, είναι:

- το διοξείδιο του άνθρακα  $\text{CO}_2$
- το μονοξείδιο του άνθρακα  $\text{CO}$
- τα οξείδια του αζώτου  $\text{NO}_x$
- τα οξείδια του θείου  $\text{SO}_x$ , συνήθως διοξείδιο του θείου  $\text{SO}_2$
- οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες ( $\text{C}_x\text{H}_y$ , ή αλλιώς συμβολίζονται με τα αρχικά HC ή UHC)
- τα στερεά σωματίδια

Νόμοι και κανονισμοί καθορίζουν τα μέγιστα επίπεδα εκπομπής τους για τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και συνήθως εφαρμόζονται και στα συστήματα συμπαραγωγής. Μερικές χώρες έχουν θεσπίσει ειδικούς νόμους για τα συστήματα συμπαραγωγής. Ο πίνακας 1.2 δίνει τις τυπικές μη ελεγχόμενες εκπομπές ρύπων των διάφορων τεχνολογιών. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα επίπεδα εκπομπής εξαρτώνται από την τεχνολογία συμπαραγωγής, τον χρόνο κατασκευής, την κατάσταση του συστήματος, το φορτίο λειτουργίας, το είδος και η ποιότητα του καυσίμου, την αντιρρυπαντική τεχνολογία κτλ. Επομένως ο πίνακας 1.2 χρησιμεύει μόνο για μια πρώτη εκτίμηση. Η ακριβής εκτίμηση θα πρέπει να βασίζεται σε πληροφορίες από

τους κατασκευαστές των συγκεκριμένων συστημάτων ή από σχετικές μετρήσεις. [1][3]

Εκπομπές ρύπων συστημάτων συμπαραγωγής								
Σύστημα	Καύσιμο	Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης (%)	Εκπομπές (gr/kWh <sub>e</sub> )					
			CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC	SO <sub>x</sub>	Σωμα- τίδια
Diesel	Diesel 0.2% S	35	738,15	4,08	15,56 <sup>(2)</sup>	0,46	0,91	0,32
	Διπλό <sup>(1)</sup>		593,35	3,81	11,30 <sup>(3)</sup>	3,95	0,09	0,04
Αεριοστρόβι- λου	Αέριο	25	808,16	0,13	2,14	0,10	≈0	0,07
	Diesel 0.2% S		1033,41	0,05	4,35	0,10	0,91	0,18
Αεριοστρόβιλο υ χαμηλού NO <sub>x</sub>	Αέριο	35	577,26	0,30	0,50	0,05	≈0	0,05
Ατμοστρόβιλου νέου	Άνθρακας	25	1406,40	0,26	4,53	0,07	7,75	0,65
	Μαζούτ		1100,00	≈0	1,94	0,07	5,18	0,65
	Αέριο		808,16	≈0	1,29	0,26	0,46	0,07
Κυψέλες καυσίμου (PAFC)	Αέριο	40	505,10	0,03	0,03	0,05	≈0	≈0

(1) 90% της ενέργειας από φυσικό αέριο και 10% από καύσιμο Diesel  
(2) νεότεροι κινητήρες εκπέμπουν 11-12 gr NO<sub>x</sub>/kWh<sub>e</sub>  
(3) νεότεροι κινητήρες εκπέμπουν 7-8 gr NO<sub>x</sub>/kWh<sub>e</sub>

**Πίνακας 1. 2 Εκπομπές ρύπων συστημάτων συμπαραγωγής**

#### 1.5.1.1 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα εξαρτώνται από το είδος, την ποιότητα και την ποσότητα του καυσίμου. Πλήρης καύση, δηλαδή όταν όλος ο άνθρακας που περιέχεται στο καύσιμο μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα, πραγματοποιείται όταν γίνεται με περίσσεια αέρα και τα συστήματα καύσης είναι σε καλή κατάσταση και ρυθμισμένα σωστά. Αυτό είναι κάτι που βρίσκεται πολύ κοντά στην πραγματικότητα και στηριζόμενοι σε αυτήν την παραδοχή η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται υπολογίζεται από την σχέση:

$$m_{CO_2} = \mu_{CO_2} \cdot m_f \quad (1.1)$$

όπου

$$\mu_{CO_2} = \frac{44}{12} c \quad (1.2)$$

$$m_f = \frac{E}{nH_u} \quad (1.3)$$

και

$\mu_{CO_2}$	Μάζα εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα μάζας καυσίμου
$c$	Περιεκτικότητα κατά μάζα του καυσίμου σε άνθρακα
$m_f$	Κατανάλωση καυσίμου
$E$	Ενέργεια-προϊόν συστήματος
$n$	Βαθμός απόδοσης του συστήματος
$H_u$	Κατώτερη θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου
$m_{CO_2}$	Μάζα του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα



Με τις παραπάνω σχέσεις υπολογίζονται οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα για οποιοδήποτε σύστημα (όπως κεντρικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής ή λέβητα), όχι μόνο για σύστημα συμπαραγωγής. Τιμές των  $c$ ,  $\mu_{CO_2}$ , και  $H_u$  για ορισμένα καύσιμα δίνονται στον πίνακα 1.3. [1][3]

Χαρακτηριστικά ορισμένων καυσίμων για υπολογισμό των εκπομπών CO <sub>2</sub>			
Καύσιμο	Περιεκτικότητα σε άνθρακα (c-100) %	Εκπομπές του CO <sub>2</sub> ( $\mu_{CO_2}$ ) σε kg CO <sub>2</sub> / kg καυσίμου	Κατώτερη θερμογόνο ικανότητα ( $H_u$ ) σε kJ / kg
Φυσικό αέριο	75	2.75	49.000
Πετρέλαιο Diesel	83	3.05	42.500
Μαζούτ 0,7%S	86.5	3.17	41.500
Μαζούτ 2% S	85	3.12	41.000
Τύρφη *	58	2.13	7.800
Λιγνίτης *	64	2.35	24.000
Άνθρακας *	80	2.93	30.000
* οι τιμές αφορούν καύσιμο ελεύθερο υγρασίας και τέφρας.			

Πίνακας 1. 3 Χαρακτηριστικά ορισμένων καυσίμων για υπολογισμό των εκπομπών CO<sub>2</sub>

#### 1.5.1.2 Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Ο μόνος τρόπος να μειωθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που δημιουργούνται κατά την παραγωγή μιας συγκεκριμένης ποσότητας ωφέλιμης ενέργειας είναι να αυξηθεί ο βαθμός απόδοσης, με την παραδοχή ότι το καύσιμο παραμένει το ίδιο. Παρόλαυτα η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται στο περιβάλλον θα ήταν μικρότερη εάν μπορούσαμε να την χρησιμοποιήσουμε ολόκληρη ή μέρος αυτής σε διάφορες διεργασίες. Για παράδειγμα το διοξείδιο του άνθρακα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην ενίσχυση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών σε θερμοκήπια. [3]

#### 1.5.1.3 Εκπομπές των μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και άκαυστων υδρογονανθράκων (HC)

Παρά την ύπαρξη περίσσειας αέρα, κατά την καύση δημιουργούνται τέτοιες συνθήκες που τα μόρια μονοξειδίου του άνθρακα δεν οξειδώνονται περαιτέρω και μόρια υδρογονανθράκων παραμένουν άκαυστα. Οι ποσότητες αυτών των δύο ρύπων είναι μικρές στα καυσαέρια. Εντοπισμός μεγαλύτερων ποσοτήτων στα καυσαέρια σημαίνει χαμηλή απόδοση της καύσης εξαιτίας ακατάλληλης ανάμιξης καυσίμου και αέρα ή και κακής λειτουργίας του συστήματος. Ο υπολογισμός των εκπομπών των δύο αυτών ρύπων είναι δύσκολος και βασίζεται κυρίως σε μετρήσεις από τους κατασκευαστές των συστημάτων. [3]

#### 1.5.1.4 Μείωση των εκπομπών των μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και άκαυστων υδρογονανθράκων (HC)

Η καλή συντήρηση του συστήματος είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τον περιορισμό των εκπομπών του CO και των HC. Κατάλληλος καταλύτης ή επιπλέον αέρας μπορούν να συμβάλλουν στην οξείδωσή τους. [3]

### 1.5.1.5 Εκπομπές των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ )

Τα οξείδια του αζώτου παράγονται κατά την καύση από το άζωτο που βρίσκεται στο καύσιμο ή στον αέρα. Υπάρχουν τρεις κύριοι μηχανισμοί για το σχηματισμό τους:

- Θερμικά  $\text{NO}_x$ ,
- $\text{NO}_x$  του καυσίμου,
- Άμεσα  $\text{NO}_x$ .

Ο ρυθμός με τον οποίο λαμβάνουν χώρα αυτές οι διαφορετικές αντιδράσεις επηρεάζεται πολύ από τη διαδικασία της καύσης, με τη θερμοκρασία και το λόγο αέρα-καυσίμου να αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικούς παράγοντες.

Τα θερμικά  $\text{NO}_x$  είναι τα πιο σημαντικά και σχηματίζονται από την αντίδραση του αζώτου και του οξυγόνου στον αέρα της καύσης. Αυτή εκκινεί στην αρχική ζώνη της καύσης, αλλά κατά το μεγαλύτερο μέρος της λαμβάνει χώρα στη δευτερεύουσα ζώνη. Η θερμοκρασία επηρεάζει έντονα το σχηματισμό τους και η αντίδραση προχωρά πολύ γρήγορα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των  $1.300^\circ\text{C}$ . Τα  $\text{NO}_x$  του καυσίμου σχηματίζονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (γύρω στους  $700^\circ\text{C}$ ) και εμφανίζονται μέσα στη φλόγα μέσω της αντίδρασης με το χημικά δέσμιο άζωτο του καυσίμου. Ο τρίτος τύπος, τα άμεσα  $\text{NO}_x$ , είναι και ο λιγότερο σημαντικός. Αυτά σχηματίζονται λόγω της παρουσίας ελεύθερων ριζών υδρογονανθράκων στο μέτωπο της φλόγας. Τα διαφορετικά καύσιμα έχουν και διαφορετικό αδρανειακό περιεχόμενο, επομένως καίγονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες φλόγας, γεγονός που έχει επίδραση στο σχηματισμό των  $\text{NO}_x$ . Ο άνθρακας και τα βαριά πετρελαϊκά έλαια δίνουν υψηλότερα επίπεδα εκπομπών  $\text{NO}_x$  σε σχέση με τα ελαφρότερα πετρελαϊκά καύσιμα και το φυσικό αέριο, και αυτό απεικονίζεται στην αντιρρυπαντική/περιβαλλοντική νομοθεσία που καθορίζει διαφορετικά όρια εκπομπών για τους διαφορετικούς τύπους καυσίμων (η νομοθεσία θέτει επίσης όρια στις εκπομπές  $\text{SO}_2$ ). Η παρουσία αυτών των οξειδίων στην ατμόσφαιρα θεωρείται ότι έχει επιβλαβή αποτελέσματα και υπάρχει ένας γενικός στόχος ελαχιστοποίησης των εκπομπών  $\text{NO}_x$  από όλες τις εγκαταστάσεις καύσης, συμπεριλαμβανομένων και των μονάδων συμπαραγωγής.[5]

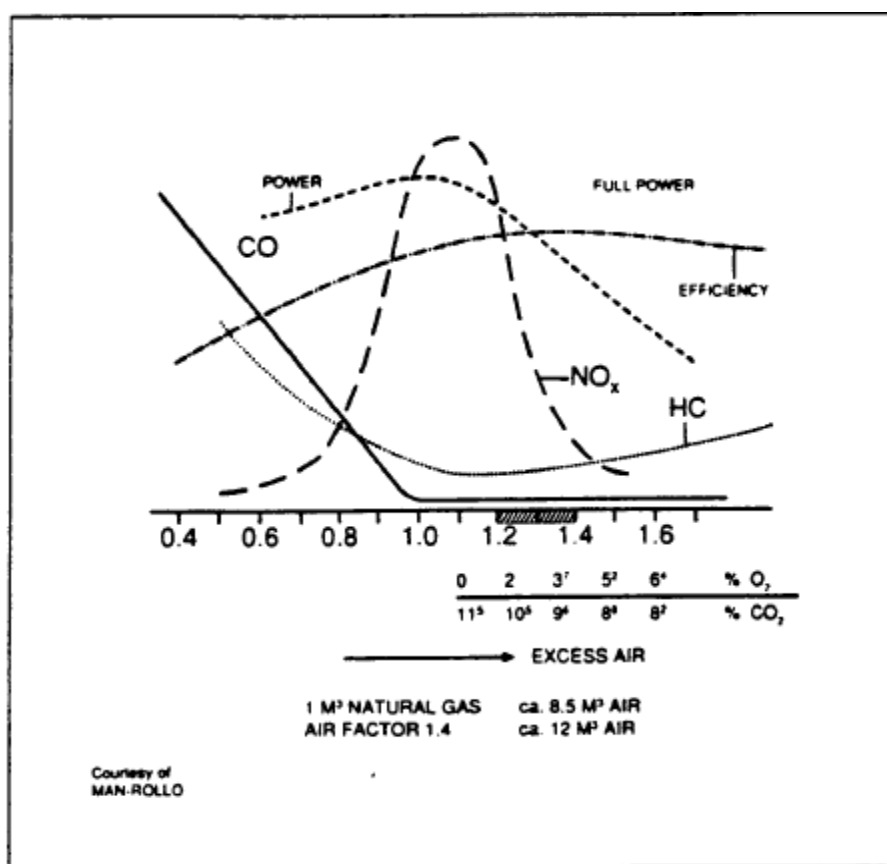
Οι ρύποι αυτοί, λοιπόν, προκαλούν ιδιαίτερη ανησυχία και την προσοχή της νομοθεσίας, καθώς οι τοξικές τους επιπτώσεις λαμβάνουν χώρα σε πυκνότητα κατά 10 φορές μικρότερη από αυτήν του CO. Από τις διαθέσιμες τεχνολογίες, οι κινητήρες Diesel και οι αεριομηχανές έχουν τις υψηλότερες εκπομπές εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης κατά την καύση. Πρέπει να σημειωθεί πως αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούνται στην συμπαραγωγή κυρίως στον κτιριακό τομέα όπου το πρόβλημα της ποιότητας του αέρα είναι έντονο. Οι πιο σημαντικές παράμετροι για τον υπολογισμό των επιπέδων των οξειδίων του αζώτου στους κινητήρες Diesel και στις αεριομηχανές είναι:

- η θερμοκρασία καύσης στην αρχική ζώνη του θαλάμου καύσης
- ο χρόνος παραμονής στην αρχική ζώνη καύσης
- η πίεση κατά την καύση
- η αναλογία αέρα προς καύσιμο

Ο στοιχειομετρικός λόγος αέρα

$$\lambda = \text{πραγματική μάζα αέρα καύσης} / \text{στοιχειομετρική μάζα αέρα καύσης} \quad (1.4)$$

που συχνά αποκαλείται «λόγος λάμδα», έχει άμεση και έμμεση σχέση με τις προηγούμενες παραμέτρους και επομένως με τις ίδιες εκπομπές των οξειδίων του αζώτου. Παράλληλα επηρεάζει τις εκπομπές των CO και HC, την παραγόμενη ισχύ και τον βαθμό απόδοσης του συστήματος.



Διάγραμμα 1. 1 Η επίδραση του λόγου λάμδα στις εκπομπές των NO<sub>x</sub>, CO και HC, στην παραγόμενη ισχύ και στην απόδοση μιας αεριομηχανής.

#### 1.5.1.6 Μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>)

Οι μέθοδοι περιορισμού των εκπομπών οξειδίων του αζώτου στις μηχανές Diesel και στις αεριομηχανές μπορούν να διαχωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- ενεργητική μείωση των εκπομπών μέσω τροποποιημένης κατασκευής των μηχανών και λειτουργίας
- παθητική μείωση στα καυσαέρια

Στον πίνακα 1.4 γίνεται μια σύνοψη των υφιστάμενων τεχνικών μείωσης των NO<sub>x</sub>. [5]

Περίληψη των τεχνικών μείωσης των NO <sub>x</sub>		
	Παλινδρομικές Μηχανές	Αεριοστροβίλοι
Άνευ ορίων	<ul style="list-style-type: none"> <li>Στοιχειομετρικοί κινητήρες</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Τυποποιημένοι στροβίλοι</li> </ul>
TA-Air 500 mg/m <sup>3</sup> , 5% O <sub>2</sub> και 150 mg/m <sup>3</sup> , 15% O <sub>2</sub> αντίστοιχα	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μηχανές φτωχού μείγματος και αυτομάτου ελέγχου –λ.</li> <li>Στοιχειομετρικοί κινητήρες με τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ξηροί καυστήρες χαμηλών NO<sub>x</sub></li> <li>Ψεκασμός ατμού/νερού</li> </ul>
Μισό TA-Air 250 mg/m <sup>3</sup> , 5% O <sub>2</sub> και 75 mg/m <sup>3</sup> , 15% O <sub>2</sub> αντίστοιχα	<ul style="list-style-type: none"> <li>Κινητήρες φτωχής καύσης με αισθητήρα λ και δίοδο καταλυτικό μετατροπέα.</li> <li>Στοιχειομετρικοί κινητήρες με τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ξηροί καυστήρες χαμηλών NO<sub>x</sub></li> <li>Ψεκασμός ατμού/νερού</li> </ul>
Ειδικές μετατροπές	<ul style="list-style-type: none"> <li>Επιλεκτική καταλυτική περιστολή (SCR) – εφαρμόζεται στο πλούσιο σε CO<sub>2</sub> περιβάλλον των θερμοκηπίων.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Επιλεκτική καταλυτική περιστολή (SCR)</li> </ul>

Πίνακας 1. 4 Περίληψη των τεχνικών μείωσης των NO<sub>x</sub> [5]

### 1.5.1.7 Εκπομπές των οξειδίων του θείου ( $\text{SO}_x$ )

Το θείο που υπάρχει στο καύσιμο, εμφανίζεται στα καυσαέρια ως οξείδια του θείου, και κυρίως ως διοξείδιο του θείου. Με την παραδοχή ότι όλο το θείο με την καύση μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου, τότε η μάζα του εκπεμπόμενου  $\text{SO}_2$  δίνεται από τον τύπο:

$$m_{\text{SO}_2} = 2(1 - r_{\text{SO}_2}) s m_f \quad (1.5)$$

όπου

$m_{\text{so2}}$	η μάζα του $\text{SO}_2$ που εκπέμπεται
$r_{\text{so2}}$	ένας δείκτης κατακράτησης του $\text{SO}_2$ (retention factor)
$s$	η μάζα του θείου που περιέχεται στο καύσιμο
$m_f$	η μάζα του καυσίμου που καταναλώθηκε

Για τα υγρά και αέρια καύσιμα ισχύει  $r_{\text{so2}} = 0$ , ενώ για τα στερεά καύσιμα υπάρχει η περίπτωση να ισχύει  $r_{\text{so2}} > 0$ . Για το φυσικό αέριο οι εκπομπές των οξειδίων του θείου είναι αμελητέες καθώς η περιεκτικότητά του σε θείο είναι εξαιρετικά χαμηλή. [3]

### 1.5.1.8 Μείωση των εκπομπών των οξειδίων του θείου ( $\text{SO}_x$ )

Με διάφορες τεχνικές είναι δυνατή η απομάκρυνση του 95% του  $\text{SO}_2$  από τα καυσαέρια, οι οποίες όμως εφαρμόζονται σε μεγάλες μονάδες. Για μονάδες μικρής και μεσαίας κλίμακας η πιο οικονομική λύση είναι η χρήση καυσίμου με μικρή περιεκτικότητα σε θείο. [3]

### 1.5.1.9 Εκπομπές σωματιδίων

Η εκπομπή σωματιδίων αφορά κυρίως μονάδες που χρησιμοποιούν στερεά καύσιμα, όπως μαζούτ και πετρέλαιο Diesel. [3]

### 1.5.1.10 Μείωση των εκπομπών των σωματιδίων

Μπορεί να περιοριστεί η εκπομπή τους με χρήση κατάλληλων φίλτρων, με τη χρήση καλής ποιότητας καυσίμου και με έλεγχο της καύσης.

## 1.5.2 Ισορροπίες εκπομπών

Είναι χρήσιμο να γίνει σύγκριση μεταξύ του συστήματος συμπαραγωγή και των συστημάτων χωριστής παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας που αντικαθιστά, από την πλευρά των εκπεμπόμενων ρύπων. Η εκτίμηση αυτής της σύγκρισης εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση των συστημάτων. Στην χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, η ηλεκτρική συνήθως προέρχεται από κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, ενώ η θερμική παράγεται τοπικά από τους λέβητες. Αν λάβουμε υπόψη όλους τους ρύπους που εκπέμπονται στο σύνολο της παραγωγής και συμπαραγωγής, τότε επιβάλλεται μια σφαιρική εκτίμηση. Αν πάλι λάβουμε υπόψη μόνο τους ρύπους που παράγονται στην εγκατάσταση, τότε επιβάλλεται μια τοπική εκτίμηση. [3]

### 1.5.2.1 Σφαιρική Ισορροπία

Η επίδραση της συμπαραγωγής από πλευράς ρύπων εκφράζεται με τη διαφορά εκπομπών, η οποία ορίζεται από τη σχέση :

$$\Delta m_X = m_{XC} - m_{XW} - m_{XQ} \quad (1.6)$$

όπου

$\Delta m_X$	Η διαφορά εκπομπών του ρύπου X
$m_{XC}$	Η εκπομπή του ρύπου X του συστήματος συμπαραγωγής
$m_{XW}$	Η εκπομπή του ρύπου X του συστήματος παραγωγής ηλεκτρισμού, το οποίο αντικαθίσταται από το σύστημα συμπαραγωγής
$m_{XQ}$	Η εκπομπή του ρύπου του συστήματος παραγωγής θερμότητας, το οποίο αντικαθίσταται από το σύστημα συμπαραγωγής

Εάν ο προσδιορισμός των εκπομπών πρόκειται να στηριχθεί στα δεδομένα των πινάκων 1.2, 1.5 και 1.6, τότε ισχύουν οι σχέσεις:

$$m_{XC} = \hat{\mu}_{XC} W \quad (1.7)$$

$$m_{XW} = \hat{\mu}_{XW} W \quad (1.8)$$

$$m_{XQ} = \hat{\mu}_{XQ} Q \quad (1.9)$$

όπου

$\hat{\mu}_{XC}$	Οι εκπομπές του ρύπου X σε gr ανά ωφέλιμη KWh του συστήματος συμπαραγωγής
$\hat{\mu}_{XW}$	Οι εκπομπές του ρύπου X σε gr ανά ωφέλιμη KWh του συστήματος παραγωγής ηλεκτρισμού
$\hat{\mu}_{XQ}$	Οι εκπομπές του ρύπου X σε gr ανά ωφέλιμη KWh του συστήματος παραγωγής θερμότητας
W	Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής
Q	Η ωφέλιμη θερμική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί σε συγκεκριμένες τεχνολογίες, όπως στους κινητήρες Diesel, η οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση των εκπομπών CO, NOx και HC. Εάν το σύστημα πρόκειται να εγκατασταθεί σε ευαίσθητη περιοχή, τότε επιβάλλεται να εφαρμοστούν τεχνικές περιορισμού των ρύπων. Όταν το φυσικό αέριο αντικαθιστά άλλα καύσιμα, όπως το μαζούτ, οι εκπομπές των οξειδίων του θείου και στερεών σωματιδίων, που παρουσιάζονται από την καύση άνθρακα ή άλλων υγρών καυσίμων, σχεδόν εξαφανίζονται. Επιτυγχάνεται μια μείωση των ρύπων της τάξης του 90-99.8%.

### 1.5.2.2 Τοπική Ισορροπία

Στην περίπτωση της χωριστής παραγωγής, ο ηλεκτρισμός προέρχεται από κεντρικούς σταθμούς, που βρίσκονται μακριά από την θέση που θα εγκατασταθεί η μονάδα συμπαραγωγής. Επομένως σε τοπική κλίμακα η εκτίμηση γίνεται κυρίως λαμβάνοντας υπόψη την μονάδα συμπαραγωγής και τον λέβητα, που παρείχε πριν την αντικατάσταση, την θερμική ενέργεια. Έτσι η σχέση 1.6 απλοποιείται :

$$\Delta m_X = m_{XC} - m_{XQ} \quad (1.10)$$

Εάν δεν υπάρχουν πληροφορίες από τους κατασκευαστές των συγκεκριμένων συστημάτων ή από σχετικές μετρήσεις, πρώτες εκτιμήσεις των εκπεμπόμενων ρύπων μπορούν να γίνουν με τα στοιχεία του πίνακα 1.2 και με αυτά που δίνουν οι πίνακες 1.5 και 1.6. Τονίζεται ότι οι τιμές είναι ενδεικτικές. [1][3]

Εκπομπές ρύπων κεντρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής								
Σύστημα	Καύσιμο	Βαθμός Απόδοσης (%)	Εκπομπές (gr/100kWh)					
			CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC	SO <sub>x</sub>	Σωματίδια
Ατμοστρόβιλου παλαιό	Άνθρακας 3% S	34	103412	313	18	5	1987	141
Ατμοστρόβιλου νέο	Άνθρακας	31*	113420	250	18	5	600	14
Ατμοστρόβιλου παλαιό	Μαζούτ 1%S	31	88706	318	18	5	476	23
Ατμοστρόβιλου νέο	Μαζούτ χαμηλού θείου	31	88706	136	18	5	363	14
Ατμοστρόβιλου παλαιό	Φυσικό αέριο	31	65174	304	9	18	≈0	5
Αεριοστρόβιλου	Diesel	34	75986	240	55	18	14	18
	Αέριο	34	59424	195	55	≈0	≈0	5
Αεριοστρόβιλου χαμηλού NO <sub>x</sub>	Αέριο	38	53168	50	30	≈0	≈0	4

(\*) Ο μικρότερος βαθμός απόδοσης των νέων συστημάτων ατμοστρόβιλου οφείλεται στις συσκευές εξουδετέρωσης εκπομπών NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub>.

Πίνακας 1. 5 Εκπομπές ρύπων κεντρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής

Εκπομπές ρύπων λεβήτων νερού και ατμού							
Σύστημα	Καύσιμο	Εκπομπές (gr/100kWh ωφέλιμης ενέργειας)					
		CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC	SO <sub>x</sub>	Σωματίδια
Λέβητας νερού	Αέριο	25255	19	3	2	≈0	2
	Diesel 0,2%S	32294	25	6	2	37	3
Ατμολέβητας	Άνθρακας	43950	136	8	2	232	20
	Μαζούτ	34373	57	6	2	155	20
	Αέριο	25255	39	3	≈0	≈0	2
Βιομηχανικός λέβητας	Άνθρακας 2%S	43950	112	16	8	565	98
	Μαζούτ 1%S	34373	78	6	2	203	30
	Αέριο	25255	33	3	≈0	≈0	3

Ο βαθμός απόδοσης θεωρείται 80%

Πίνακας 1. 6 Εκπομπές ρύπων λεβήτων νερού και ατμού

Ο Πίνακας 1.7 περιλαμβάνει συγκρίσεις εκπομπών συστημάτων συμπαραγωγής με συστήματα χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Παραδείγματα σύγκρισης εκπομπών μεταξύ συστημάτων συμπαραγωγής και συστημάτων χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας												
Ρύπος	Συνδυασμοί συστήματος συμπαραγωγής - χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας											
	1-A		1-B		2-A		2-B		3-A		3-B	
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%
CO <sub>2</sub>	-51024	-46,2	-88458	-59,9	-62454	-52	-99888	-63,4	-70791	-46,7	-108225	-57,2
NO <sub>x</sub>	812	255	802	244,5	-290	-85,3	-300	-85,7	-283	-68,7	-293	-69,4
CO	320	525	357	1487	-33	-52,4	4	15,4	-68	-100	-31	-100
HC	375	1875	388	5543	-15	-75	-2	-28,6	4	18,2	17	188,9
SO <sub>x</sub>	-208	-95,9	-794	-98,9	-273	-99,3	-859	-99,8	-415	-90	-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 $\eta_e=\eta_h=0,35$ (PHR=1) 2. Νέος αεριοστρόβιλος φυσικού αερίου με $\eta_e=0,35$ , $\eta_h=0,55$ (PHR=0,778) 3. Νέος ατμοστρόβιλος φυσικού αερίου με $\eta_e=0,25$ , $\eta_h=0,55$ (PHR=0,455)  Συστήματα χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας Α. Αεριοστρόβιλος με καύσιμο Diesel και βιομηχανικός ατμολέβητας με καύσιμο μαζούτ Β. 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 - $\eta_e, \eta_h, \eta$ : ηλεκτρικός, θερμικός και ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης αντίστοιχα -οι τιμές αναφέρονται σε παραγωγή 100kWh ηλεκτρικής ενέργειας												

**Πίνακας 1. 7 Παραδείγματα σύγκρισης εκπομπών μεταξύ συστημάτων συμπαραγωγής και συστημάτων χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας**

Οι εκπομπές ενός συστήματος συμπαραγωγής αεριομηχανής με καύσιμο φυσικό αέριο, σε σφαιρική και τοπική κλίμακα, συγκρίνονται με τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς χωριστής παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 1.8 - 1.10.[3]

Διευκρινίζεται ότι σε αυτήν την περίπτωση οι τιμές των εκπομπών έχουν προέλθει από διαθέσιμες πληροφορίες για το συγκεκριμένο σύστημα.

Εκπομπές διαφόρων συστημάτων (gr/kWh ωφέλιμης ενέργειας)						
Σύστημα	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	HC	Σωματίδια
Αεριομηχανή	531,7	2,5	1,7	≈0	4,5	≈0
Σταθμός ηλεκτροπαραγωγής – λιγνίτης	1250	0,18	1,2	1,5	0,05	1,5
Σταθμός ηλεκτροπαραγωγής – μαζούτ	900	0,18	1,6	14,5	0,05	1,4
Λέβητας – πετρέλαιο Diesel (0,2% S)	323	0,06	0,25	0,37	0,02	0,03
Λέβητας – φυσικό αέριο	253	0,03	0,19	≈0	0,02	≈0
Στοιχεία της αεριομηχανής Φυσικό αέριο, ηλεκτρική ισχύς 1000kWe, θερμική ισχύς 1300kWth, $\eta_e=0,38$ , $\eta_h=0,494$ , λειτουργία 5000ώρες/έτος						

**Πίνακας 1. 8 Εκπομπές διαφόρων συστημάτων (gr/kWh ωφέλιμης ενέργειας)**

Εκπομπές σε σφαιρική κλίμακα (kg/έτος)								
A/A	Σταθμός	Λέβητας	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	HC	Σωματίδια
1	Λιγνίτης	Πετρέλαιο Diesel	-5.691.500	+11.210	+875	-9.905	+22.120	-7.695
2	Μαζούτ	Πετρέλαιο Diesel	-3.941.500	+11.210	-1.125	-74.905	+22.120	-7.195
3	Μαζούτ	Φυσικό αέριο	-3.486.500	+11.405	-735	-72.500	+22.120	-7.000

**Πίνακας 1. 9 Σύγκριση των εκπομπών ενός συστήματος συμπαραγωγής αεριομηχανής με καύσιμο φυσικό αέριο σε σφαιρική κλίμακα με τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς χωριστής παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (kg/έτος).**

Εκπομπές σε τοπική κλίμακα (kg/έτος)								
A/A	Σταθμός	Λέβητας	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	HC	Σωματίδια
1	Λιγνίτης	Πετρέλαιο Diesel	+558.500	+12.110	+6.875	-2.405	+22.370	-195
2	Μαζούτ	Πετρέλαιο Diesel	+558.500	+12.110	+6.875	-2.405	+22.370	-195
3	Μαζούτ	Φυσικό αέριο	+1.013.500	+12.305	+7.265	0	+22.370	0

**Πίνακας 1. 10 Σύγκριση των εκπομπών ενός συστήματος συμπαραγωγής αεριομηχανής με καύσιμο φυσικό αέριο σε τοπική κλίμακα με τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς χωριστής παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (kg/έτος).**

## 1.6 Εφαρμογές συμπαραγωγής

Η συμπαραγωγή πρωτοεμφανίστηκε γύρω στο 1890 στον βιομηχανικό τομέα, κυρίως σε χημικές βιομηχανίες και χάρτου, όπου υπάρχει συνεχής ζήτηση ηλεκτρισμού και θερμότητας. Σήμερα οι διαθέσιμες τεχνολογίες προσφέρουν μεγάλη δυνατότητα επιλογών οπότε και την δυνατότητα να εφαρμοστούν σε περισσότερους τομείς. Οι τέσσερις κύριοι τομείς εφαρμογής της συμπαραγωγής αναλύονται παρακάτω. [6]

Οι εφαρμογές της συμπαραγωγής μπορούν να καταταγούν βάσει της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος των συστημάτων συμπαραγωγής. Η ηλεκτρική ισχύς των συστημάτων συμπαραγωγής κυμαίνεται από 1 kWe έως 500 MWe. Για την συμπαραγωγή μεγάλης κλίμακας, δηλαδή για ισχείς μεγαλύτερες των 1 MWe, τα χαρακτηριστικά των συστημάτων προσδιορίζονται με σκοπό την βελτιστοποίηση της εφαρμογής για κάθε ξεχωριστή περίπτωση. Για εφαρμογές συμπαραγωγής μικρής κλίμακας, δηλαδή για ισχείς μικρότερες των 1 MWe, τα συστήματα έχουν τυποποιημένη μορφή («πακέτα»), γεγονός που διευκολύνει την εγκατάστασή τους. Τα συστήματα για βιομηχανικές εφαρμογές έχουν εύρος 1-50 MWe, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις. Είναι δύσκολη η διάκριση ανάμεσα σε μικρή και μεγάλη κλίμακα, καθώς αυτή διαφοροποιείται από χώρα σε χώρα. Σε γενικές γραμμές όμως μπορούμε να θεωρήσουμε ότι από 1 MWe έως 10 MWe μιλάμε για συμπαραγωγή μεσαίας κλίμακας και άνω των 10 MWe για συμπαραγωγή μεγάλης κλίμακας. Οι μη βιομηχανικές εφαρμογές έχουν μεγάλο εύρος, από 1 kWe (οικιακή εφαρμογή) μέχρι 10 MWe (εφαρμογές τηλεθέρμανσης). Ισχείς μικρότερες των 1 MWe θεωρούνται εφαρμογές μικρής κλίμακας. «Mini» κλίμακα έχουμε για εφαρμογές μικρότερες των 500 kWe και «micro» για εφαρμογές μικρότερες των 20 kWe. Συνοπτικά έχουμε τον πίνακα 1.11. [6]



Κατηγοριοποίηση των εφαρμογών συμπαραγωγής βάσει της εγκατεστημένης ισχύος τους	
Κλίμακα εφαρμογής συμπαραγωγής	Εύρος ισχύος
Μεγάλη	>10 MWe
Μεσαία	1 MWe -10 MWe
Μικρή	500 kWe -1 MWe
Mini	20 kWe - 500 kWe
micro	< 20 kWe

**Πίνακας 1. 11 Κατηγοριοποίηση των εφαρμογών συμπαραγωγής βάσει της εγκατεστημένης ισχύος τους**

### 1.6.1 Σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας

Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να κατασκευαστούν ή να μετατραπούν σε συμπαραγωγικούς και να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες πόλεων ή οικισμών, βιομηχανιών, μονάδων αφαλάτωσης νερού, θερμοκηπίων κτλ., που βρίσκονται στην περιοχή τους. Η απόσταση των καταναλωτών θερμότητας από τον σταθμό και η διασπορά τους είναι κρίσιμης σημασίας για τη σκοπιμότητα του όλου έργου. Ειδικότερα για τη θέρμανση πόλεων και οικισμών (τηλεθέρμανση) επιπλέον της απόστασης και διασποράς, κρίσιμης σημασίας είναι και ο ετήσιος αριθμός βαθμοημερών και η απαιτούμενη θερμική ισχύς. Στις περισσότερες περιπτώσεις η οικονομική απόσταση μεταφοράς θερμικής ενέργειας δεν ξεπερνά τα 10km. [1]

Σε θερμά κλίματα, η τηλεψύξη κατά την διάρκεια του θέρους, θα μπορούσε να είναι οικονομικά εφικτή. Σε αυτή την περίπτωση η παραγόμενη θερμική ενέργεια από το σταθμό μπορεί να τροφοδοτεί έναν ψύκτη απορρόφησης ή μια μονάδα κλιματισμού. Ενδέχεται είτε οι ψύκτες να είναι κεντρικοί και να διανέμεται το κρύο νερό στους καταναλωτές, είτε να υπάρχουν τοπικές ψυκτικές μονάδες, οπότε στην τελευταία περίπτωση δεν απαιτείται ξεχωριστό δίκτυο κρύου νερού, καθώς το δίκτυο ζεστού νερού ή ατμού, θα χρησιμοποιείται όλο το χρόνο. [6]

Στην Ελλάδα έχουν κατασκευαστεί συστήματα τηλεθέρμανσης στην Πτολεμαΐδα, στην Κοζάνη, στη Μεγαλόπολη και στο Αμύνταιο, ύστερα από τροποποίηση των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων της ΔΕΗ. Εκτός των σταθμών που τροφοδοτούν τα δίκτυα της Πτολεμαΐδας και της Κοζάνης, κανείς άλλος σταθμός της ΔΕΗ δεν είναι συμπαραγωγικός. [1]

### 1.6.2 Βιομηχανικός τομέας

Πολλές βιομηχανικές διεργασίες απαιτούν θερμότητα, παράλληλα με τις ανάγκες για ηλεκτρισμό, για να ολοκληρωθούν. Κατατάσσονται ανάλογα με την απαιτούμενη θερμοκρασία:

- Διεργασίες χαμηλών θερμοκρασιών (<100°C)
- Διεργασίες μέτριων θερμοκρασιών (100-300°C)
- Διεργασίες υψηλών θερμοκρασιών (300-700°C)
- Διεργασίες πολύ υψηλών θερμοκρασιών (>700°C)

Οι περισσότερες βιομηχανίες με σημαντικό δυναμικό παραγωγής έχουν ορισμένες παραγωγικές διεργασίες, που παράγουν ή αποβάλλουν θερμότητα σε ικανοποιητική ποσότητα και ποιότητα (θερμοκρασιακή στάθμη), η οποία μπορεί να προστεθεί σε εκείνη που παράγεται άμεσα από το σύστημα συμπαραγωγής, με ανάκτησή της. Ορισμένες χημικές διεργασίες παράγουν καύσιμα αέρια, που μπορούν να

αποτελέσουν καύσιμο είτε για τους λέβητες είτε για το ίδιο το σύστημα συμπαραγωγής. [1]

Στην Ελλάδα το σύνολο της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος των μονάδων βιομηχανικής συμπαραγωγής είναι 245MW και αποτελεί περίπου το 2,4% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος.

Οι εφαρμογές της συμπαραγωγής στη βιομηχανία αναφέρονται κυρίως σε μεγάλα βιομηχανικά συστήματα (>50MWe) και μόνο στο μέλλον μπορούμε να αναμένουμε την ανάπτυξη μικρότερου και μεσαίου μεγέθους συστημάτων (1MWe – 50MWe), με την ανάπτυξη νέων μικρότερων τεχνολογιών, καινοτόμων σχημάτων ενεργειακών υπηρεσιών, κ.α. [2]

### 1.6.3 Εμπορικός – κτιριακός τομέας (τριτογενής τομέας)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας που εγκαθίστανται σε μεγάλα ξενοδοχεία, νοσοκομεία, πανεπιστημιουπόλοι, κολυμβητήρια, γυμναστήρια, εμπορικά κτίρια, σχολεία, κτίρια γραφείων, κατοικίες, κτλ. Κατάλληλες για την εξυπηρέτηση των κτιρίων είναι οι μονάδες συμπαραγωγής σε μορφή πακέτου.

Από πλευρά αναγκών θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας ο τομέας διακρίνεται σε τρεις υποτομείς:

- Νοσοκομεία και ξενοδοχεία
- Πολυκατοικίες
- Κτίρια γραφείων

Ο καθένας από αυτούς χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη μορφή της καμπύλης φορτίου. Άλλου είδους κτίρια έχουν καμπύλες φορτίου, που προκύπτουν με συνδυασμό των τριών υποτομέων. Η συμπαραγωγή εδώ μπορεί να καλύπτει ανάγκες ηλεκτρισμού, θέρμανσης και ψύξης (τριπαραγωγή). Η μελέτη σκοπιμότητας και ο τελικός σχεδιασμός του συστήματος πρέπει να βασίζονται στην καμπύλη φορτίου του συγκεκριμένου κτιρίου. Οι μέγιστες τιμές ή ένας μέσος όρος των τιμών που αφορούν το φορτίο δεν επαρκούν καθώς ενδέχεται να οδηγήσουν σε λανθασμένα αποτελέσματα και επιλογές. [1]

Μελέτες σκοπιμότητας έχουν δείξει ότι στα ψυχρά κλίματα, οι μεγάλες χρονικές περίοδοι ζήτησης θερμικής ενέργειας για θέρμανση συμβάλλουν στην βιωσιμότητα των συστημάτων συμπαραγωγής. Στα θερμά κλίματα, η απαίτηση ψυκτικής ισχύος με ταυτόχρονη κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό και θερμότητα, είναι οι παράγοντες που κάνουν ένα σύστημα συμπαραγωγής βιώσιμο.

Η διαθεσιμότητα του φυσικού αερίου και των μονάδων συμπαραγωγής σε μορφή πακέτου, καθώς επίσης και η δυνατότητα παρακολούθησης εξ αποστάσεως της λειτουργίας των συστημάτων έχουν συντελέσει στην προώθηση των εφαρμογών της συμπαραγωγής στον τριτογενή τομέα. [6]

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

Στην Ελλάδα υπάρχουν, προς το παρόν, δύο πειραματικές εγκαταστάσεις, στο Ηλιακό χωριό της Λυκόβρυσης και στο Αμερικάνικο Κολλέγιο της Αγ.Παρασκευής στην Αττική. Αλλαγές στο νομοθετικό πλαίσιο διαμορφώνουν ένα πιο ευνοϊκό κλίμα για περαιτέρω μελέτες στον τριτογενή τομέα. Συγκεκριμένα μελέτες σκοπιμότητας σε ελληνικά νοσοκομεία δείχνουν ότι η εγκατάσταση μονάδων συμπαραγωγής είναι συμφέρουσα όταν η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται τόσο τον χειμώνα (για θέρμανση) όσο και το καλοκαίρι (για δροσισμό). [1]

#### 1.6.4 Αγροτικός τομέας

Αν και δεν είναι πολύ διαδεδομένη η συμπαραγωγή σε αυτόν τον τομέα, η εφαρμογή της ωστόσο μπορεί να εξοικονομήσει καύσιμα και να έχει θετικές οικονομικές επιπτώσεις σε αγροτικές κοινότητες. Υπολείμματα αγροτικών διεργασιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο. Πολλά υποσχόμενες εφαρμογές περιλαμβάνουν την παραγωγή αιθανόλης, την ξήρανση γεωργικών προϊόντων και την θέρμανση θερμοκηπίων, οικιών κτλ.

Ενισχύει την οικονομική ανάπτυξη του τόπου, καθώς χρησιμοποιεί τοπικές πηγές ενέργειας και δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας. Τέλος έχει ευνοϊκή επίδραση στο περιβάλλον με πολλαπλούς τρόπους. [1]

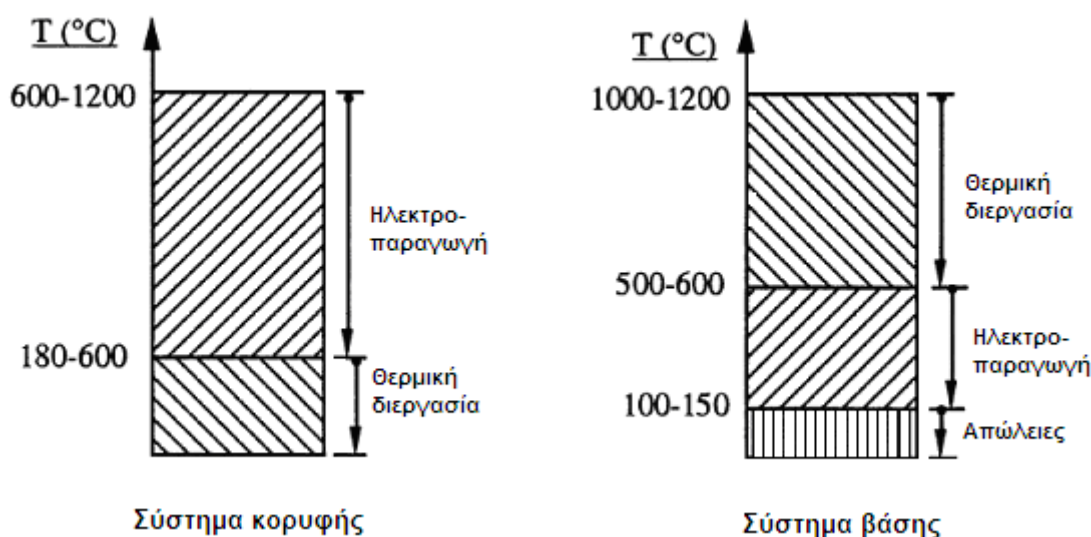
## Κεφάλαιο 2 -Συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

### 2.1 Γενικά

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 ατμοστροβιλογεννήτρια. Επίσης, είναι δυνατόν τα θερμά αέρια να διοχετευτούν σε αεριοστρόβιλο, που κινεί την ηλεκτρογεννήτρια χωρίς την παρεμβολή λέβητα.[1][3]



**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 ατμοστρόβιλου. 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 ατμοστρόβιλο παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Η εξαγωγή παρέχει ατμό διεργασιών χαμηλής πίεσης. Αυτό είναι ένα ατμοστροβιλικό σύστημα αιχμής.

Ο τρίτος τύπος καταναλώνει καύσιμα όπως είναι το φυσικό αέριο, το diesel, τα ξύλα, ο αεριοποιημένος άνθρακας, ή το αέριο ΧΥΤΑ. Το ζεστό νερό από το σύστημα

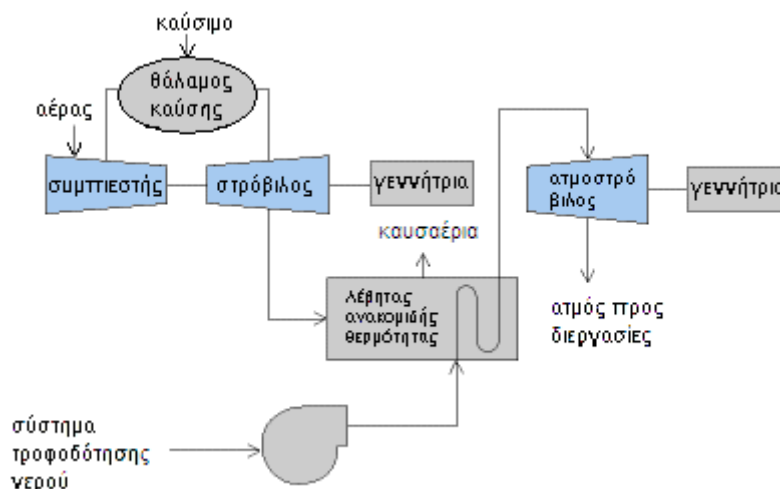
ψύξης των χιτωνίων της μηχανής οδηγείται σε έναν λέβητα ανάκτησης θερμότητας, όπου μετατρέπεται σε ατμό διεργασιών και ζεστό νερό για θέρμανση χώρων.

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.

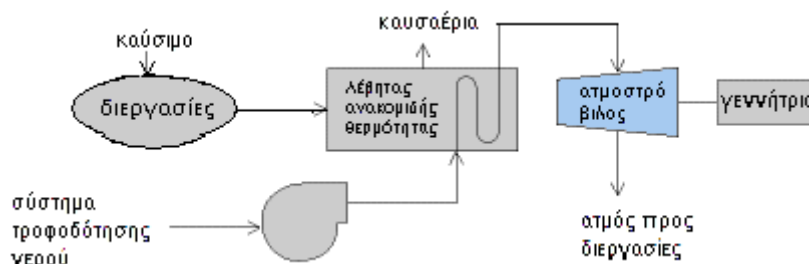
Τα συστήματα «βάσης» είναι πολύ λιγότερο συνηθισμένα από τα αντίστοιχα «κορυφής». Τέτοια συστήματα συναντώνται σε βαριές βιομηχανίες, όπως αυτές του γυαλιού ή οι μεταλλουργικές, όπου χρησιμοποιούνται φούρνοι πολύ υψηλών θερμοκρασιών. Ένας λέβητας ανάκτησης της απόβλητης θερμότητας συλλέγει τη θερμότητα που αποβάλλεται από κάποια θερμική παραγωγική διεργασία. Αυτή η απορριπτόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να παραχθεί ατμός ο οποίος κινεί έναν ατμοστρόβιλο 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.[5]

Τα συστήματα συμπαραγωγής συνήθως ταξινομούνται βάσει του κινητήρα (prime mover), της γεννήτριας και του καυσίμου που χρησιμοποιούν. [8]

Στο ίδιο κεφάλαιο ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των συστημάτων που υπάρχουν αυτήν τη στιγμή στην αγορά, βάσει των κινητήρων. Παρεμβάλλονται δυο παράγραφοι με βασικούς ορισμούς, για την καλύτερη κατανόηση των περιγραφών.



Σχήμα 2. 2 Σχεδιάγραμμα λειτουργίας ενός τυπικού συστήματος κορυφής [9]



Σχήμα 2. 3 Σχεδιάγραμμα λειτουργίας ενός τυπικού συστήματος βάσης [9]

## 2.2 Δείκτες Ενεργειακής Συμπεριφοράς

Πριν από την περιγραφή των τεχνολογιών της συμπαραγωγής, 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. Χρησιμοποιούνται τα σύμβολα που παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1.

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,
$H_{f\Sigma}$	Ισχύς καυσίμου που καταναλώνεται από το σύστημα συμπαραγωγής
$m_f$	Παροχή καυσίμου για την χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ισχύος
$m_{f\Sigma}$	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 θερμογόνος ικανότητα (δύναμη) καυσίμου

Πίνακας 2. 1 Σύμβολα που χρησιμοποιούνται στους δείκτες ενεργειακής συμπεριφοράς

Στην Ευρώπη η ανάλυση συνήθως γίνεται με την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (ΚΘΔ). Στις ΗΠΑ συνήθως χρησιμοποιείται η ανώτερη θερμογόνο δύναμη (ΑΘΔ) Ho. [5]

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

$$H_{fW} = m_f H_u \quad (2. 1)$$

$$H_{fQ} = m_f H_u \quad (2. 2)$$

$$H_{fX} = H_{fW} + H_{fQ} \quad (2. 3)$$

ενώ σε ένα σύστημα συμπαραγωγής έχουμε:

$$H_{f\Sigma} = m_{f\Sigma} H_u \quad (2. 4)$$

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

$$\eta_m = \frac{W_s}{H_{f\Sigma}} \quad (2. 5)$$

➤ Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής ( $\eta_e$ ):

$$\eta_e = \frac{W}{H_{f\Sigma}} \quad (2.6)$$

- Θερμικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής ( $\eta_h$  ή  $\eta_{th}$ ):

$$\eta_h = \frac{Q}{H_{f\Sigma}} \quad (2.7)$$

- Ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης ( $\eta$ ):

$$\eta = \eta_h + \eta_e = \frac{W + Q}{H_{f\Sigma}} \quad (2.8)$$

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. 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.

- Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR, Power to heat ratio: ):

$$PHR = \frac{W}{Q} = \frac{\eta_e}{\eta_h} \quad (2.9)$$

- Λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου (FESR, Fuel energy savings ratio):

$$FESR = \frac{H_{fX} - H_{f\Sigma}}{H_{fX}} \quad (2.10)$$

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

Οι εξισώσεις 2.6 έως 2.10 οδηγούν στις παρακάτω σχέσεις:

$$\eta = \eta_e \left( 1 + \frac{1}{PHR} \right) \quad (2.11)$$

$$PHR = \frac{\eta_e}{\eta_{th} - \eta_e} \quad (2.12)$$

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  $\eta_w$  και  $\eta_a$ , αντίστοιχα, τότε αποδεικνύεται ότι

$$FESR = 1 - \frac{PHR + 1}{\eta \left( \frac{PHR}{\eta_W} + \frac{1}{\eta_Q} \right)} \quad (2.13)$$

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  $\eta=0,80$  και λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα  $PHR=0,60$  υποκαθιστά μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με απόδοση  $\eta_W=0,35$  και έναν λέβητα με απόδοση  $\eta_Q=0,85$ , τότε από την εξίσωση (1.16) 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 2.8 μπορεί να γραφτεί επίσης ως εξής:

$$\eta_a = \frac{W_{ea} + Q_a}{H_{fa}} \quad (2.14)$$

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 2.14 παρέχει τον ετήσιο ολικό βαθμό απόδοσης  $\eta_a$  του συστήματος συμπαραγωγής.[1][3][5]

## 2.3 Αξιοπιστία, διαθεσιμότητα και χρησιμοποίηση

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.[1][10]



$$\text{αξιοπιστία (\%)} = \frac{T - (S + U)}{T - S} \cdot 100 \quad (2. 15)$$

➤ **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).[1][10]

$$\text{διαθεσιμότητα (\%)} = \frac{T - (S + U)}{T} \cdot 100 \quad (2. 16)$$

➤ **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) [10]

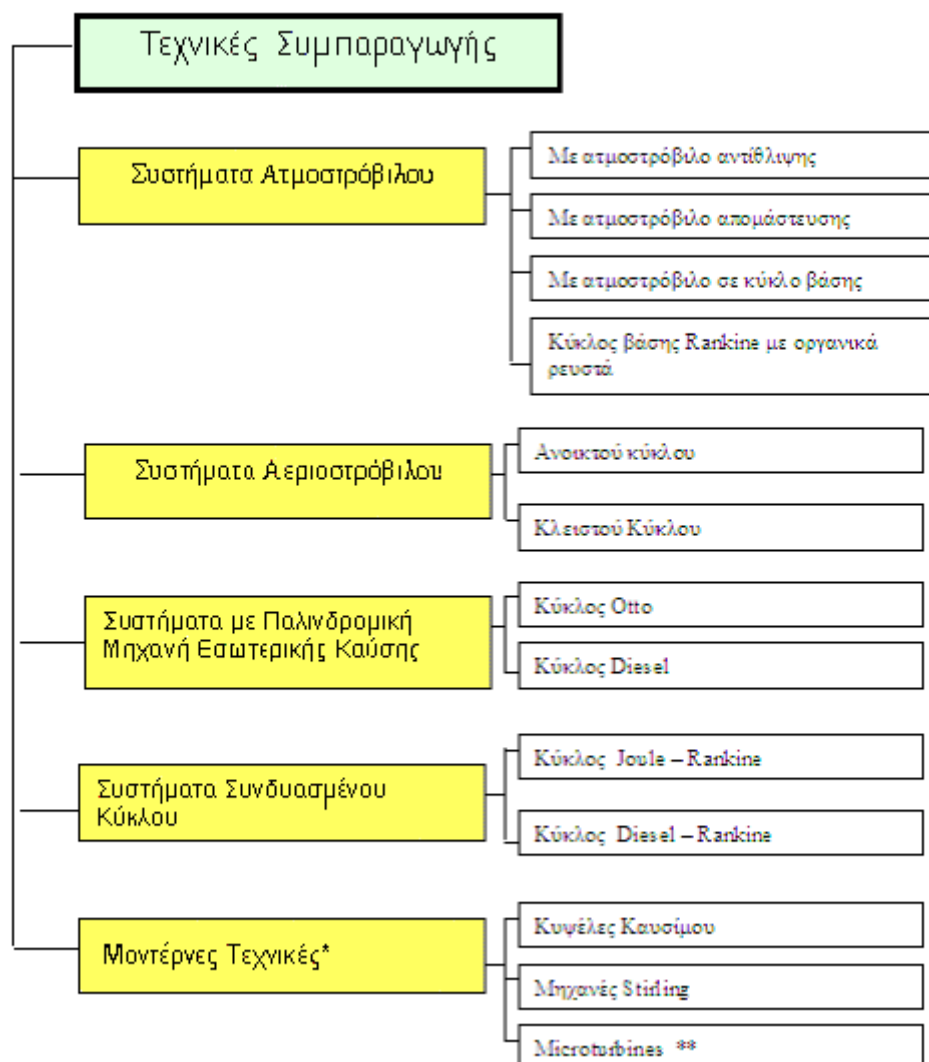
$$\text{χρησιμοποίηση (\%)} = \frac{A}{T} \cdot 100 \quad (2. 17)$$

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 T

## 2.4 Τεχνικές συμπαραγωγής

Στην παράγραφο 1.2 αναφέρθηκε συνοπτικά από τι αποτελείται ένα τυπικό σύστημα συμπαραγωγής. Με κριτήριο τον κινητήρα, είναι διαθέσιμες διάφορες τεχνικές συμπαραγωγής, οι οποίες σχηματικά θα μπορούσαν να παρασταθούν ως εξής :



(\*) Οι μοντέρνες τεχνικές δεν είναι ακόμα ώριμες διαδικασίες για να μπου σε εφαρμογή. Οι περισσότερες από αυτές βρίσκονται στο στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης.

(\*\*) Αυτή η τεχνολογία κατατάσσεται στους αεριοστρόβιλους, παρόλαυτα είναι πολύ πρόσφατη τεχνολογία

**Σχήμα 2. 4 Τεχνικές συμπαραγωγής**

### 2.4.1 Συστήματα ατμοστρόβιλου

Αποτελείται από μια πηγή θερμότητας (heat source), τον ατμοστρόβιλο και τη διάταξη απομάκρυνσης θερμότητας (heat sink). Ο θερμοδυναμικός κύκλος του ατμοστρόβιλου 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 ατμοστρόβιλος 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  $450^{\circ}\text{C}$  (σε μεγάλες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής μέχρι  $540^{\circ}\text{C}$ )

Είναι κατάλληλα για ισχείς 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 ( $\text{PHR} = 0.1\text{--}0.5$ ). 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.

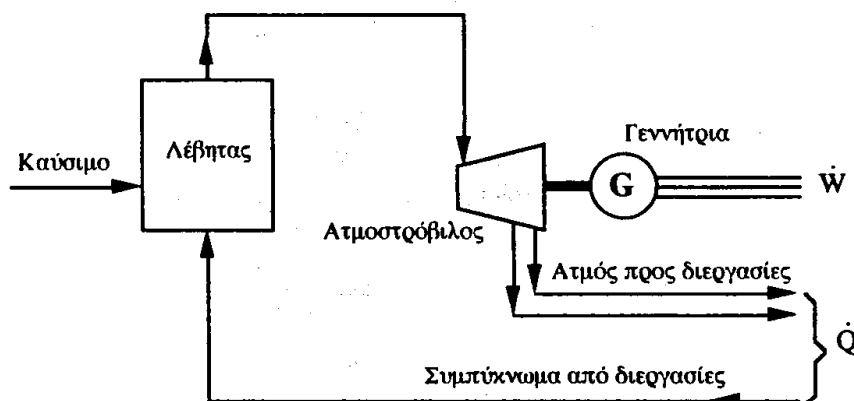
Τα συστήματα αμοστροβίλου έχουν υψηλή αξιοπιστία, που φτάνει το 95%, υψηλή διαθεσιμότητα (90-95%) και μεγάλη διάρκεια ζωής (25-35 έτη). Όμως, ο χρόνος εγκατάστασης είναι σχετικά μεγάλος: 12-18 μήνες για μικρές μονάδες και μέχρι τρία έτη για μεγαλύτερα συστήματα.

Υπάρχουν τέσσερις βασικές διατάξεις συστημάτων της κατηγορίας αυτής: το σύστημα συμπαραγωγής με αμοστροβίλο αντίθλιψης, όπου ο ατμός εξέρχεται του στροβίλου σε πιέσεις υψηλότερες της ατμοσφαιρικής, το σύστημα συμπαραγωγής με αμοστροβίλο απομάστευσης, όπου ο ατμός εξέρχεται του στροβίλου σε πιέσεις χαμηλότερες της ατμοσφαιρικής, το σύστημα με αμοστροβίλο σε κύκλο βάσης (Bottoming Cycle) και το σύστημα με αμοστροβίλο σε κύκλο βάσης Rankine με οργανικά ρευστά (Bottoming Rankine Cycle ή Organic Rankine Cycle, ORC). [1][6]

#### 2.4.1.1 Σύστημα συμπαραγωγής με αμοστροβίλο αντίθλιψης

Ατμός υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας παράγεται σε λέβητα με κατανάλωση καυσίμου και χρησιμοποιείται για την κίνηση αμοστροβίλου στον άξονα του οποίου είναι συνδεδεμένη η ηλεκτρογεννήτρια. Ο ατμός βγαίνει από τον στροβίλο 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. [1]

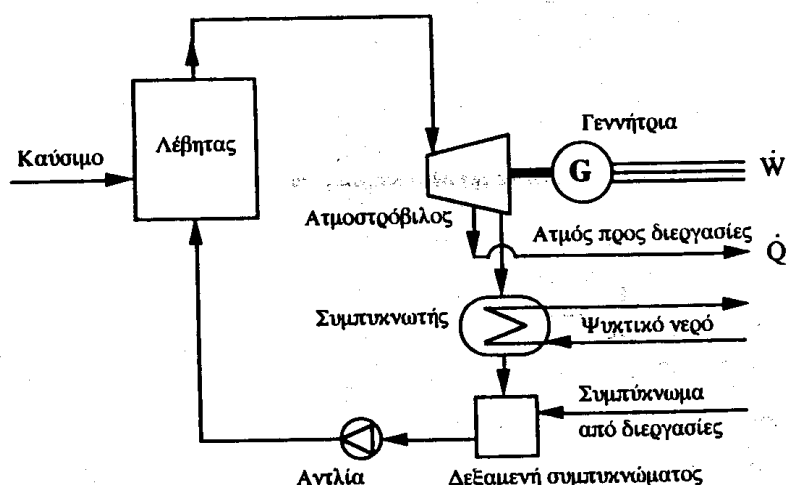


Σχήμα 2. 5 Σύστημα συμπαραγωγής με αμοστροβίλο αντίθλιψης

### 2.4.1.2 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. [1]

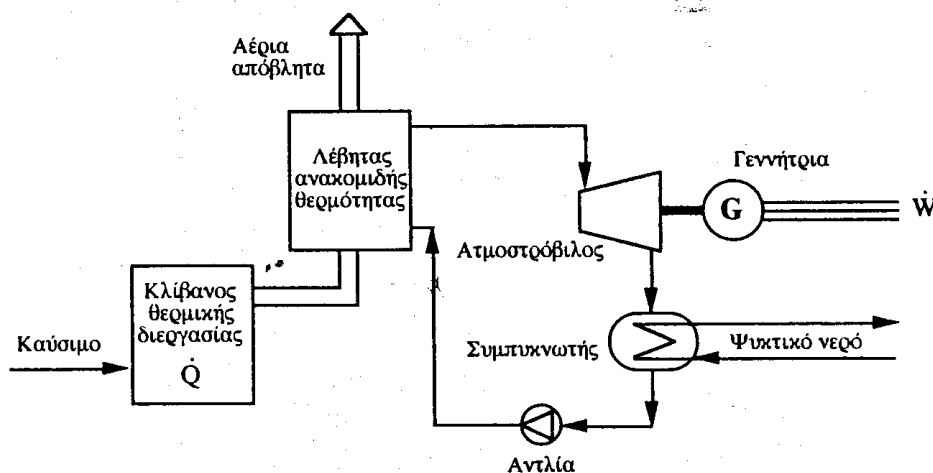


Σχήμα 2. 6 Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης

### 2.4.1.3 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. [1]



Σχήμα 2. 7 Σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού

#### 2.4.1.4 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. [3]

#### 2.4.1.5 Συνοπτικά

Συνοπτικά για τα συστήματα ατμοστροβίλου έχουμε :

##### Πλεονεκτήματα

- Χρήση οποιουδήποτε καυσίμου
- Έξοδος ατμού στην επιθυμητή θερμοκρασία και πίεση
- Μεγάλο εύρος ισχύων
- Υψηλή αξιοπιστία και διαθεσιμότητα
- Μεγάλος κύκλος ζωής

##### Μειονεκτήματα

- Ογκώδης κατασκευή
- Αργή ανταπόκριση σε μεταβολές φορτίου
- Υψηλό αρχικό κόστος
- Ανάγκη για ατμό υψηλής ενθαλπίας
- Μικρός λόγος PHR
- Χαμηλή απόδοση σε μερικό φορτίο

### 2.4.2 Συστήματα αεριοστροβίλου

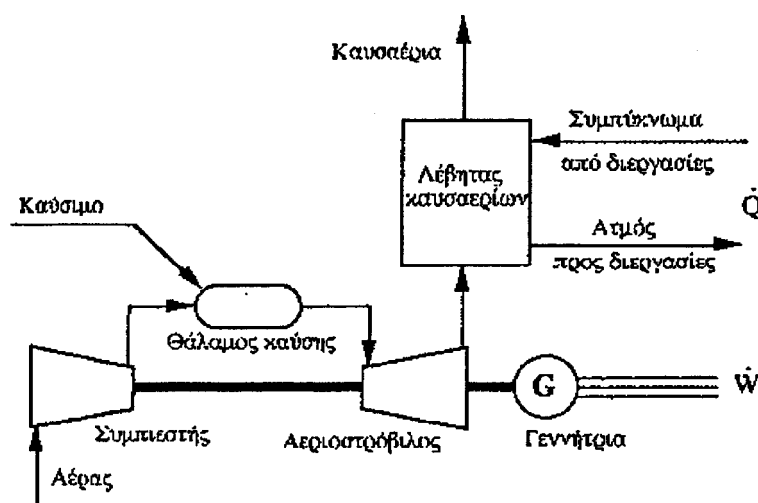
Είναι από τα πιο διαδεδομένα συστήματα για μεσαίες ή μεγαλύτερες ισχύεις. (κυμαίνονται από μερικές εκατοντάδες kilowatts μέχρι μερικές εκατοντάδες megawatts). Πρόσφατες έρευνες στοχεύουν στην ανάπτυξη των micro turbines, που έχουν ισχύ μερικά kilowatts. Οι τυποποιημένες μονάδες έχουν συμβάλει στην εξάπλωση αυτού του συστήματος. [3]

Υπάρχουν δύο βασικές διατάξεις: ανοικτού και κλειστού κύκλου.

#### 2.4.2.1 Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου

Ο θερμοδυναμικός κύκλος που σχετίζεται με την πλειοψηφία των αεριοστροβιλικών 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 αεριοστροβιλικές μονάδες είναι ανοικτού τύπου: αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης. Τα καυσάεiria αποτονώνονται στον αεριοστρόβιλο (που κινεί τη γεννήτρια), από τον οποίο βγαίνουν με θερμοκρασία 300-600 °C. 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%).



**Σχήμα 2. 8 Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου**

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 ατμοστροβίλου 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

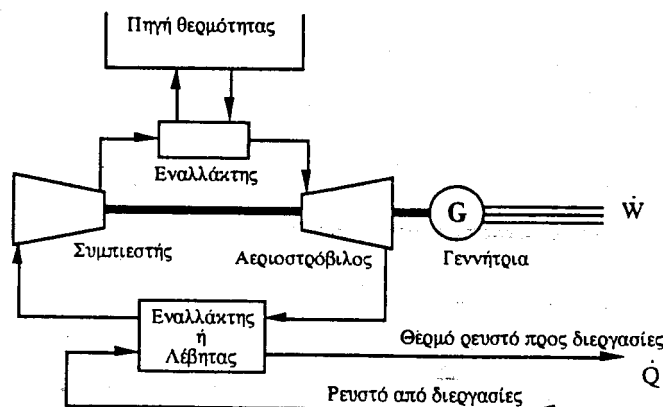
πετρελαίου, ενώ ευοίωνες παρουσιάζονται οι προοπτικές για χρήση γαιανθράκων σε εξαεριωμένη μορφή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει δοθεί στο γεγονός ότι τα πετρώγεια του στροβίλου είναι άμεσα εκτεθειμένα στα καυσαέρια, επομένως τα προϊόντα καύσης δεν πρέπει να περιέχουν συστατικά που προκαλούν διάβρωση και τα στερεά σωματίδια πρέπει να είναι αρκετά μικρού μεγέθους ώστε να μην προκαλούν φθορά κατά την πρόσκρουσή τους στα πετρώγεια.

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 ατμοστροβίλου. Τέλος, ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι υψηλότερος από αυτόν του συστήματος ατμοστροβίλου. [1][3]

#### 2.4.2.2 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 εναλλακτή θερμότητας, πριν από την είσοδο στον αεριοστρόβιλο, 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.



Σχήμα 2. 9 Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού τύπου

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. [1][3][4]

### 2.4.2.3 Συνοπτικά

Συνοπτικά για τα συστήματα αεριοστροβίλου έχουμε :

#### Πλεονεκτήματα

- Χαμηλό αρχικό κόστος
- Μεγάλη διαθεσιμότητα
- Υψηλός βαθμός απόδοσης σε μεγάλα μεγέθη
- Ικανότητα αλλαγής καυσίμου
- Γρήγορη κατασκευή και εγκατάσταση
- Μικρό βάρος και όγκος
- Υψηλή θερμοκρασία καυσαερίων
- Άμεση ανταπόκριση σε μεταβολές φορτίου

#### Μειονεκτήματα

- Ανάγκη για καυσάεριο «υψηλής ποιότητας»
- Ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό λειτουργίας
- Ανάγκη για υψηλή πίεση φυσικού αερίου εάν εφόσον αυτό είναι το καύσιμο που χρησιμοποιείται

### 2.4.3 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.[5]

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. [3]

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 καυσάερια 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.

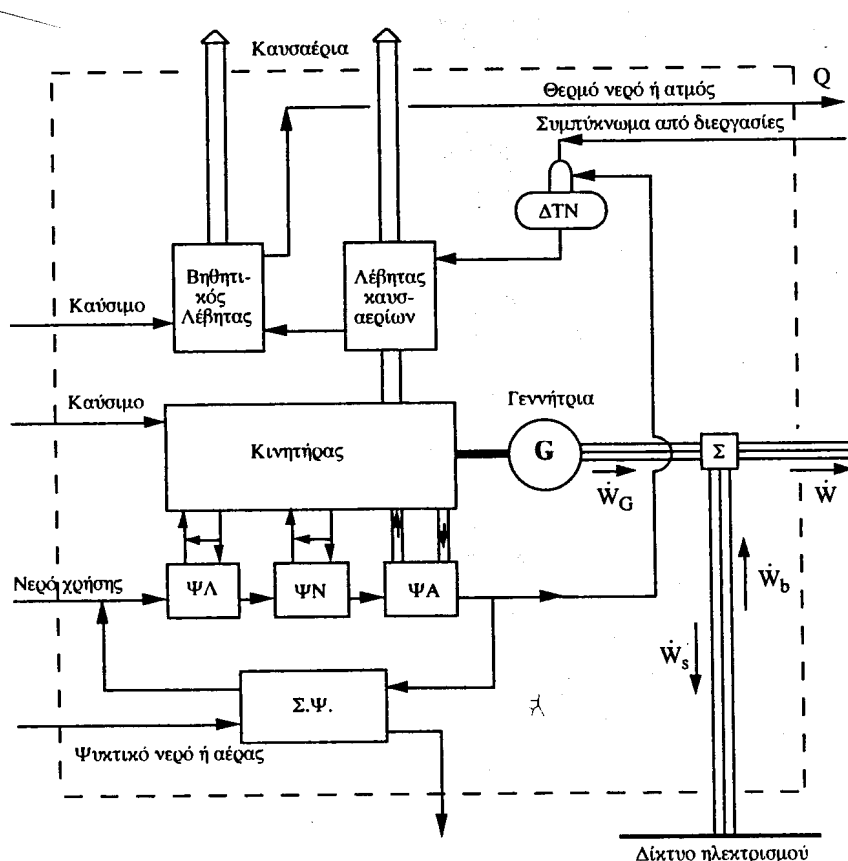
Το σχήμα 2.10 απεικονίζει ένα γενικό διάγραμμα ροής ενός τέτοιου συστήματος, χωρίς να αποτελεί τη μόνη δυνατή διάταξη. Ο κινητήρας κινεί τη γεννήτρια. Τέσσερις εναλλάκτες ανακτούν θερμότητα από ρευστά που έχουν σχέση με τη λειτουργία της



μηχανής: ψυγείο λαδιού, ψυγείο νερού(του κλειστού κυκλώματος του κινητήρα), ψυγείο αέρα υπερπλήρωσης και εναλλάκτης ανακομιδής θερμότητας από τα καυσαέρια του κινητήρα(ή λέβητας καυσαερίων). Με τη θερμότητα αυτή θερμαίνεται το νερό που προορίζεται για διάφορες χρήσεις.

Η συγκέντρωση ισχύος του κινητήρα αυξάνει με υπερπλήρωση του θαλάμου καύσης. Ο στροβιλοπληρωτής (λέγεται και ζεύγος υπερπλήρωσης) αποτελείται από αεριοστρόβιλο που κινείται με τα καυσαέρια του κινητήρα και κινεί φυγοκεντρικό αεροσυμπιεστή. Για να αυξηθεί ο βαθμός πληρότητας των κυλίνδρων, ο αέρας ψύχεται σε ειδικό ψυγείο προσφέροντας θερμότητα στο νερό χρήσης.

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις από πλευράς θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από το ψυγείο: χαμηλή θερμοκρασία (περίπου 45 °C) ή υψηλή θερμοκρασία (περίπου 90 °C). Η χαμηλή θερμοκρασία συντελεί σε υψηλότερο βαθμό πληρότητας και επομένως υψηλότερη συγκέντρωση ισχύος. Όμως, η ανακτώμενη θερμότητα βρίσκει περιορισμένη χρήση, διότι το νερό στην έξοδο του ψυγείου έχει χαμηλή θερμοκρασία. Η λύση αυτή μπορεί να επιλεγεί όταν υπάρχει ανάγκη προθέρμανσης νερού, που έρχεται στο σύστημα με θερμοκρασία 20-25 °C. Εάν το νερό έρχεται στο σύστημα με θερμοκρασία 60-70 °C, τότε η λύση της υψηλής θερμοκρασίας είναι προτιμότερη από πλευράς εκμεταλλεύσεως της ενέργειας του καυσίμου, καθώς αυξάνει τον ολικό βαθμό απόδοσης του συστήματος κατά 3-5%. [1][3]



όπου

ΨΛ: ψυγείο λαδιού

ΨΝ: ψυγείο νερού

ΨΑ: ψυγείο αέρα υπερπλήρωσης

ΣΨ: συμπληρωματικό ψυγείο είτε νερού είτε αέρα

ΔΤΝ: δεξαμενή τροφ. νερού

Σ: σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρισμού

Σχήμα 2. 10 Σύστημα συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης

Με ανάκτηση θερμότητας από τα τρία ψυγεία, το νερό θερμαίνεται μέχρι τους 75-80 °C. Κατόπιν έρχεται στον εναλλάκτη ανακομιδής θερμότητας των καυσαερίων, όπου θερμαίνεται μέχρι τους 85-90 °C ή και ατμοποιείται.

Η ελάχιστη επιτρεπτή θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του εναλλάκτη εξαρτάται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο. Για καύσιμο Diesel, το όριο είναι 160-170 °C, ενώ για φυσικό αέριο είναι 90 - 100°C.

Ο βαθμός απόδοσης μικρών και μεσαίων κινητήρων είναι 35-45%, ενώ σε σύγχρονους μεγάλους κινητήρες φθάνει το 50%. Ο βαθμός απόδοσης ενός συστήματος συμπαραγωγής με εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσης βρίσκεται στην περιοχή του 80%.

Η διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας, την ποιότητα του καυσίμου και την ποιότητα της συντήρησης. Οι παλινδρομικοί κινητήρες απαιτούν τακτικότερη συντήρηση απ' ό,τι τα άλλα συστήματα με αποτέλεσμα μικρότερη μέση ετήσια διαθεσιμότητα 80-90%. Είναι διαθέσιμα σε ένα μεγάλο εύρος ισχύων (75 kW - 50 MW) και μπορούν να χρησιμοποιήσουν αέρια και υγρά καύσιμα. Ο λόγος PHR κυμαίνεται από 0,8–2,4 και ο χρόνος εγκατάστασης από 9-12 μήνες. Αυτά τα χαρακτηριστικά συνέβαλαν στο να εξαπλωθούν ιδιαίτερα στον εμπορικό και κτιριακό τομέα. [3]

#### 2.4.3.1 Συνοπτικά

Συνοπτικά για τα συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης έχουμε:

##### Πλεονεκτήματα

- Η ανακτόμενη θερμότητα δεν επηρεάζει τη μηχανική ενέργεια
- Υψηλή διαθεσιμότητα
- Θερμότητα διαθέσιμη σε δύο επίπεδα θερμοκρασίας (καυσαέρια και ψυκτικά υγρά μηχανής)
- Καλή ανταπόκριση σε μεταβολές φορτίου
- Πολλαπλή χρησιμότητα από πολλές μηχανές συνδεδεμένες παράλληλα
- Μικρός χρόνος εγκατάστασης
- Μεγάλη ποικιλία αέριων και υγρών καυσίμων

##### Μειονεκτήματα

- Πιο πολύπλοκες μηχανές από τους στρόβιλους
- Δυσκολία στον έλεγχο θορύβου, ιδίως σε μηχανές Diesel.

#### 2.4.4 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.

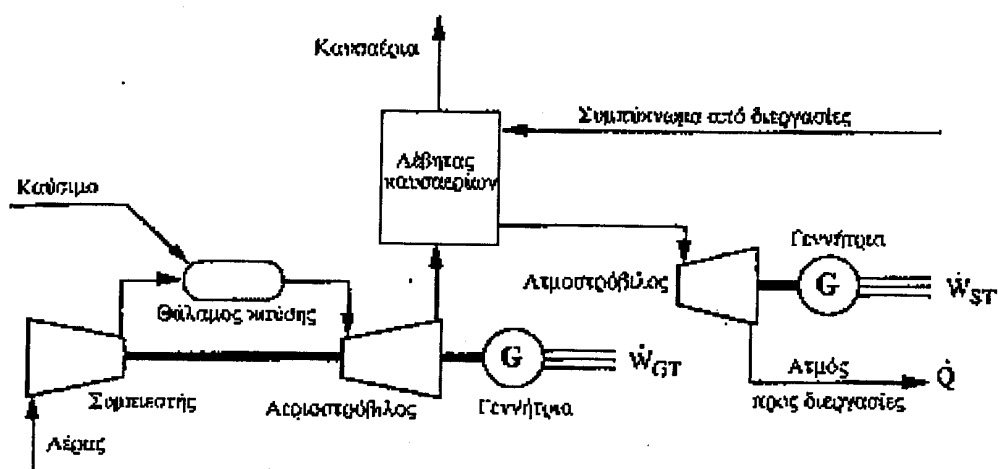
Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι εκείνα με συνδυασμό αεριοστρόβιλου-ατμοστρόβιλου (κύκλοι Joule-Rankine).

#### 2.4.4.1 Συστήματα συνδυασμένων κύκλων Joule-Rankine

Το σχήμα 2.11 δείχνει τα βασικά χαρακτηριστικά ενός τέτοιου συστήματος. 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.



Σχήμα 2. 11 Σύστημα συμπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

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.[1][3]

#### 2.4.4.2 Συστήματα συνδυασμένων κύκλων Diesel – Rankine

Επίσης είναι δυνατός ο συνδυασμός κύκλου Diesel με κύκλο Rankine. Στην διάταξη 2.11 η μονάδα συμπίεστη – θαλάμου καύσης – αεριοστροβίλου αντικαθίσταται από τον κινητήρα Diesel και τους εναλλακτές θερμότητας που τον συνοδεύουν.

#### 2.4.4.3 Συνοπτικά

##### Πλεονεκτήματα

- Υψηλότερος ολικός βαθμός απόδοσης από αεριοστροβίλους και ατμοστροβίλους

##### Μειονεκτήματα

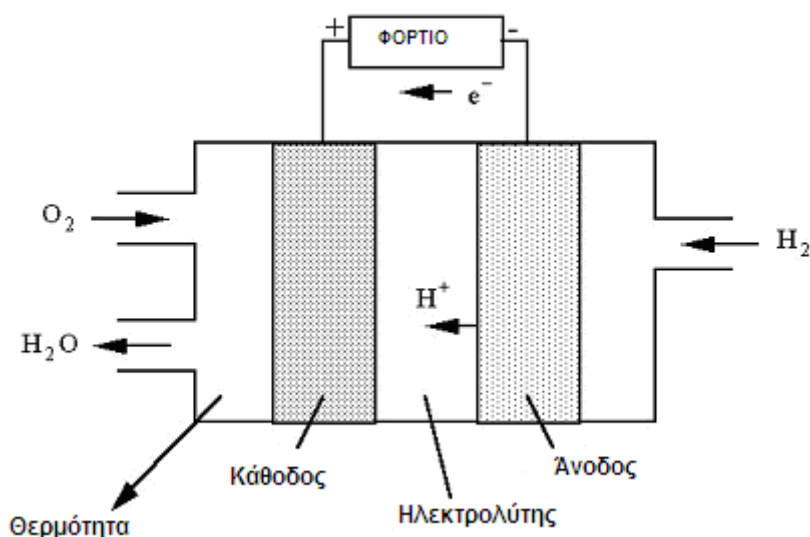
- Δεν συμφέρει οικονομικά σε μικρά μεγέθη

## 2.4.5 Μοντέρνες τεχνικές

### 2.4.5.1 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.



Σχήμα 2. 12 Απλοποιημένη απεικόνιση κυψέλης καυσίμου

Το απαιτούμενο υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα και συνήθως από μεθάνιο, που αποτελεί το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου. Ορισμένοι τύποι κυψελών μπορούν να λειτουργήσουν και με μονοξείδιο του άνθρακα ή υδρογονάνθρακες.

Οι κυψέλες χαρακτηρίζονται από τον ηλεκτρολύτη και τη θερμοκρασία λειτουργίας. Διάφοροι τύποι κυψελών είναι :

- Αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC)
- Κυψέλες μεμβράνης (PEM)
- Κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)
- Κυψέλες καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC)
- Κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC)

Από τους παραπάνω τύπους μόνο οι PAFC έχουν αναπτυχθεί σε βαθμό που να είναι ήδη κατάλληλες για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και είναι εμπορικά διαθέσιμες.

Οι κυψέλες δεν έχουν κινητά μέρη ενώ η λειτουργία τους είναι ήσυχη και χωρίς ιδιαίτερη συντήρηση. Οι PAFC έχουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης της τάξης του 37 -

45% και εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου και τη θερμοκρασία λειτουργίας. Ο ολικός βαθμός απόδοσης φτάνει το 85-90%, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα βρίσκεται στην περιοχή 0,8-1,0. Οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και η χαμηλή στάθμη θορύβου κάνουν τις κυψέλες καυσίμου κατάλληλες για εγκατάσταση σε κατοικημένες περιοχές και σε κτίρια, όπως ξενοδοχεία, νοσοκομεία, κτλ. [1][3][4]

#### 2.4.5.1.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

## Πλεονεκτήματα

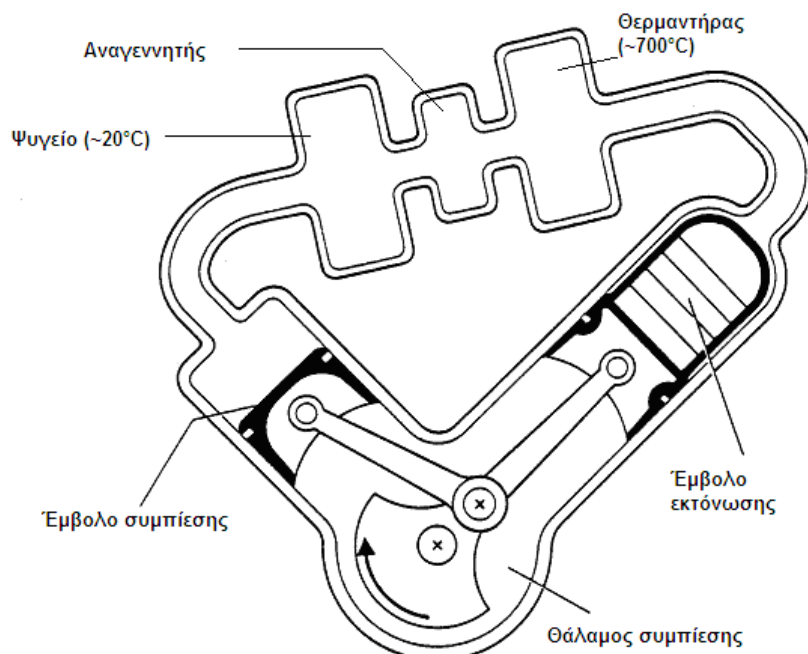
- Αρθρωτή δομή
- Μικρός χρόνος εγκατάστασης
- Ευκολία αυτοματισμού
- Χαμηλές εκπομπές ρύπων
- Χαμηλή στάθμη θορύβου
- Δεν έχει κινητά μέρη
- Διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης ακόμη και σε μερικό φορτίο

## Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος κατασκευής
- Μικρή διάρκεια ζωής
- Πολύ υψηλό κόστος συντήρησης
- Βρίσκεται ακόμα στο στάδιο ανάπτυξης

#### 2.4.5.2 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 θερμότητας χωρίς να συμμετέχει στην καύση (κινητήρας εξωτερικής καύσης).



**Σχήμα 2. 13 Απλοποιημένη απεικόνιση κινητήρα Stirling**

Καθώς τα συστήματα βρίσκονται στο στάδιο ανάπτυξης δεν υπάρχουν συγκεντρωμένα στοιχεία για την αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητά τους.

Πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής είναι η δυνατότητα υψηλότερου βαθμού απόδοσης σε σχέση με τις παλαιότερες, μεγαλύτερη ευελιξία καυσίμου (όπως υγρά, αέρια, άνθρακας), καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο, χαμηλές εκπομπές ρύπων, χαμηλή στάθμη θορύβων και κραδασμών. Χάρη στην εξωτερική καύση και τον κλειστό κύκλο λειτουργίας, τα κινούμενα μέρη του κινητήρα δεν εκτίθενται στα προϊόντα καύσης, με αποτέλεσμα οι φθορές να είναι περιορισμένες. Όμως απαιτούνται στεγανωτικές διατάξεις για την αποφυγή διαρροών.

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται στο 40% και ο ολικός στα 60- 80%, ενώ ο κύκλος υπολογίζεται στα 20 έτη. [1]

#### 2.4.5.2.1 Συνοπτικά

##### **Πλεονεκτήματα**

- Ευελιξία καυσίμου
- Καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο
- Χαμηλές εκπομπές ρύπων
- Χαμηλή στάθμη θορύβων και κραδασμών
- Υψηλός βαθμός απόδοσης
- Μικρός χρόνος εγκατάστασης

##### **Μειονεκτήματα**

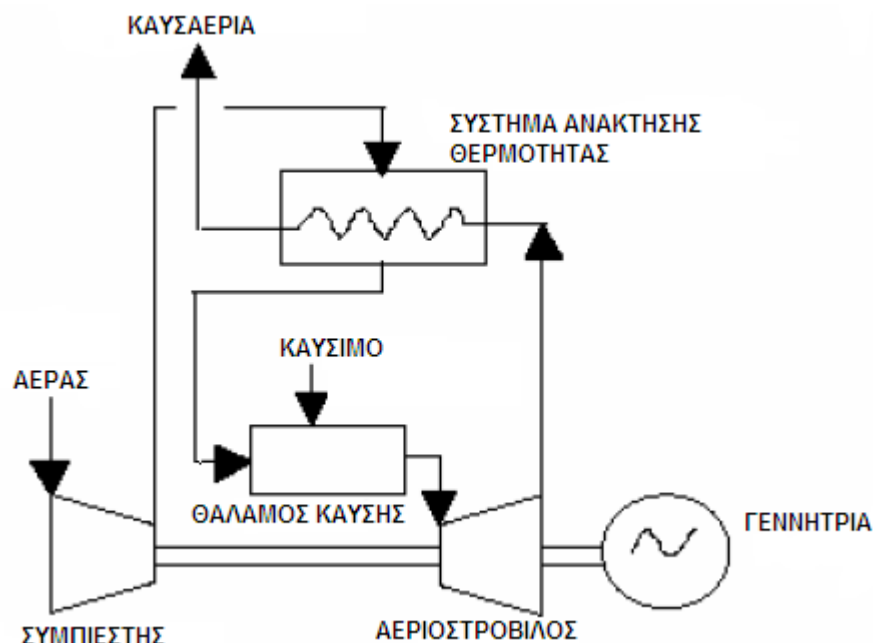
- Ανάγκη για στεγανωτικές διατάξεις
- Ακόμη βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο

#### 2.4.5.3 Micro turbines

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 αξιόλογη μελέτη για την ανάπτυξη και βελτίωση της συγκεκριμένης τεχνικής.[4]

Τα συστήματα αεριοστροβίλων μικρότερων των 1 MWe έχει αποδειχθεί ως τώρα ότι δεν συμφέρουν οικονομικά. Έρευνες οδήγησαν στην κατασκευή micro turbines, 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. [5][11]



Σχήμα 2. 14 Απεικόνιση συστήματος Micro turbine [5]

#### 2.4.5.3.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

##### Πλεονεκτήματα

- Μικρό μέγεθος και βάρος
- Εύκολη εγκατάσταση
- Χαμηλό κόστος συντήρησης

##### Μειονεκτήματα

- Βρίσκεται ακόμα στο στάδιο έρευνας και ανάπτυξης
- Μικρός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης

#### 2.4.6 Τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής («Πακέτα», «συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας».)

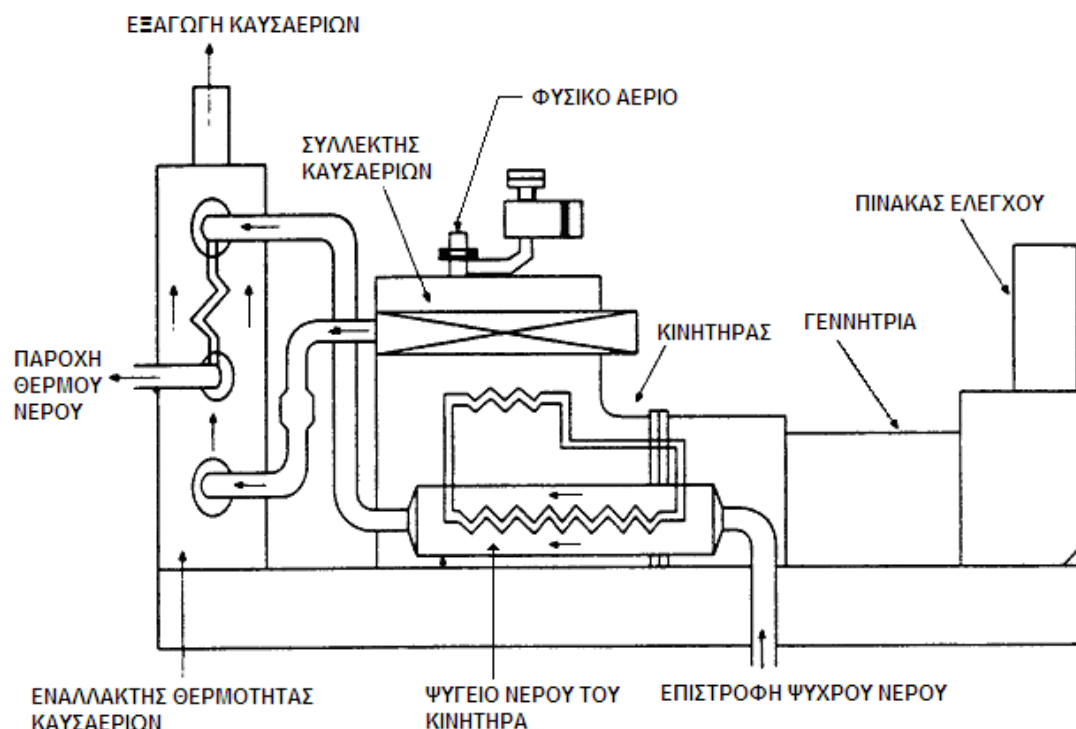
Μεγάλη ώθηση στη διάδοση της συμπαραγωγής αναμένεται ότι θα δώσει η μαζική παραγωγή τυποποιημένων μονάδων σε μορφή πακέτου με ηλεκτρική ισχύ 10-1000kW, που έχουν χαμηλό κόστος, μικρό όγκο, εύκολη εγκατάσταση (το μόνο που απαιτείται είναι η σύνδεσή τους με τα υδραυλικά και ηλεκτρικά δίκτυα) και αυτοματοποιημένη 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 τεχνικές που εφαρμόζονται στις τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής μικρής κλίμακας φαίνονται σχηματικά. [1][11]



**Σχήμα 2. 15** Οι τεχνικές που εφαρμόζονται στις τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής μικρής κλίμακας

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.



**Σχήμα 2. 16** Σχηματική απεικόνιση τυποποιημένης μονάδας συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης.

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 ελέγχου για ασφαλή και ικανοποιητική λειτουργία



- Το σύστημα εξάτμισης για την εξαγωγή των προϊόντων καύσης
- Την θερμική και ηχητική μόνωση για να μειώνονται τα επίπεδα θορύβου και για να προφυλλάσσεται 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).[1][11]

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 – κτιριακού 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%.

Οι εφαρμογές των τυποποιημένων πακέτων συμπαραγωγής παρουσιάζεται στον πίνακα 2.2. Τα πακέτα, δηλαδή, βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στον τριτογενή τομέα.

Εφαρμογές τυποποιημένων μονάδων συμπαραγωγής	
Εφαρμογή	Περιοχή ισχύος (kW)
Εστιατόρια	50-80
Πολυκατοικίες	50-100
Καταστήματα τροφίμων	90-120
Ξενοδοχείων	100-2000
Νοσοκομεία	300-1000
Εμπορικά κέντρα	500-1500
Εκπαιδευτικά Ιδρύματα	500-1500
Κτίρια γραφείων	500-2000

**Πίνακας 2. 2 Εφαρμογές τυποποιημένων μονάδων συμπαραγωγής**

### 2.4.7 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ

Στον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των παραπάνω τεχνολογιών.

Σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών των διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής						
Χαρακτηριστικά	Ηλεκτρική ισχύς (MW)	Μέση ετήσια διαθεσιμότητα (**) (%)	Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (%)		Ολικός βαθμός απόδοσης (%)	Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR)
Σύστημα			Πλήρες φορτίο	Φορτίο 50%		
Ατμοστρόβιλος	0,5-100 <sup>+</sup>	90-95	14-30	13-25	60-85	0,1-0,3
Αεριοστρόβιλος ανοικτού κύκλου	0,1-100	90-95	20-35	15-29	60-80	0,5-0,8
Αεριοστρόβιλος κλειστού κύκλου	0,5-100	90-95	30-35	30-35	60-80	0,5-0,8
Συνδυασμένου κύκλου	4-100 <sup>+</sup>	77-85	35-45	25-35	70-88	0,6-1,1
Κινητήρας Diesel	0,07-40	80-90	35-45	32-40	60-80	1,2-2,4
Πακέτο με παλινδρομικό κινητήρα	0,0015-2	80-85	27-35	25-32	60-80	0,5-0,7
Κυψέλες καυσίμου	0,04-50	90-92	37-45	37-45	85-90	0,8-1,0
Μηχανές Stirling	0,003-1,5	85-90 (αναμενόμενη)	35-50	34-49	60-80	1,2-1,7

(\*)Η τιμή των 100MW είναι το πιο συνηθισμένο άνω όριο σε βιομηχανικές εφαρμογές. Συστήματα του είδους αυτού κατασκευάζονται και με μεγαλύτερες ισχύεις

(\*\*)Μέση ετήσια διαθεσιμότητα: το ποσοστό του έτους κατά το οποίο το σύστημα μπορεί να λειτουργεί ικανοποιητικά.

**Πίνακας 2. 3 Σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών των διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής [1]**

Σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών των διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής		
Μηχανή	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<b>Ατμοστρόβιλος</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-υψηλός ολικός βαθμός απόδοσης</li> <li>-οποιοδήποτε καύσιμο</li> <li>-ποικιλία μεγεθών</li> <li>-υψηλή αξιοπιστία</li> <li>-υψηλή διαθεσιμότητα</li> <li>-μεγάλη διάρκεια ζωής</li> <li>-μεγάλο εύρος θερμοκρασιακών σταθμών</li> <li>-ο λόγος PHR μπορεί να ποικίλλει σε ευέλικτη λειτουργία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-χαμηλός λόγος PHR</li> <li>-υψηλό κόστος εγκατάστασης</li> <li>-μεγάλος χρόνος εγκατάστασης</li> <li>- αργή εκκίνηση</li> </ul>
<b>Αεριοστρόβιλος</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-υψηλή αξιοπιστία</li> <li>-υψηλή θερμοκρασιακή στάθμη</li> <li>-χαμηλό κόστος εγκατάστασης</li> <li>-ποικιλία καυσίμων</li> <li>-χαμηλές εκπομπές ρύπων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-περιορισμένο εύρος μεγεθών</li> <li>-υψηλά επίπεδα θορύβου</li> <li>-πιθανό το μεγάλο χρονικό διάστημα διακοπής λειτουργίας για συντήρηση (χαμηλή διαθεσιμότητα)</li> </ul>
<b>Παλινδρομικές</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-υψηλός βαθμός απόδοσης, επηρεάζεται ελάχιστα από τις μεταβολές του φορτίου</li> <li>-σχετικά χαμηλό κόστος εγκατάστασης</li> <li>-μεγάλο εύρος μεγεθών</li> <li>-γρήγορη απόκριση στις μεταβολές φορτίου</li> <li>-γρήγορη εκκίνηση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-υψηλός κόστος συντήρησης</li> <li>-υψηλό επίπεδο θορύβου χαμηλής συχνότητας</li> </ul>
<b>Μηχανή Stirling</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-κατάλληλες για μαζική παραγωγή</li> <li>-χαμηλή στάθμη θορύβων και κραδασμών</li> <li>-υψηλός βαθμός απόδοσης</li> <li>-ευελιξία καυσίμου</li> <li>-καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο</li> <li>-χαμηλές εκπομπές ρύπων</li> <li>- περιορισμένες φθορές</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-υψηλό κόστος</li> <li>-πρόσφατη τεχνολογία, δεν έχει αναπτυχθεί αρκετά</li> </ul>
<b>Micro turbines</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-υψηλή αξιοπιστία</li> <li>-απλή εγκατάσταση</li> <li>-μικρό μέγεθος και βάρος</li> <li>-ανεκτά επίπεδα θορύβου</li> <li>-χαμηλές εκπομπές ρύπων</li> <li>-καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας</li> <li>-χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-υψηλό κόστος</li> </ul>
<b>Κυψέλες καυσίμου</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-χαμηλές εκπομπές ρύπων</li> <li>-χαμηλή στάθμη θορύβου</li> <li>-μικρός χρόνος κατασκευής</li> <li>-αυτοματοποιημένη λειτουργία</li> <li>-λίγες απαιτήσεις συντήρησης</li> <li>-ευελιξία στον λόγο PHR</li> <li>-αρθρωτή δομή</li> <li>-διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης και σε μερικό φορτίο</li> <li>-γρήγορη απόκριση στις μεταβολές του φορτίου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-υψηλό κόστος</li> <li>-αργή εκκίνηση</li> <li>-διάβρωση στην περίπτωση υγρών ηλεκτρολυτών</li> <li>-μικρή διάρκεια ζωής</li> <li>-δεν έχει αναπτυχθεί αρκετά</li> <li>-μικρή συγκέντρωση ισχύος (ισχύς ανά μονάδα όγκου)</li> </ul>

Πίνακας 2. 4 Σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών των διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής. [1][6]

Σύγκριση μεταξύ των χαρακτηριστικών λειτουργίας διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής						
Τεχνολογία Χαρακτηριστικά	Μηχανή Diesel	Αεριομηχανή	Ατμοστρόβιλος	Αεριοστρόβιλος	Micro turbine	Κυψέλες καυσίμου
Ηλ.βαθμός απόδοσης (%)	30-50	25-45	30-42	25-40 (απλός κύκλος) 40-60 (συνδυασμένος κύκλος)	20-30	40-70
Ισχύς (MW)	0,05-5	0,05-5	οποιαδήποτε	3-200	0,025 – 0,25	0,2-2
Καταλαμβάνόμενος χώρος (m <sup>2</sup> /kW)	0,02	0,02 – 0,029	<0,01	0,002-0,06	0,014 – 0,14	0,06-0,37
Κόστος εγκατάστασης (euro /kW)	700-1350	700-1350	700-900	650-850	450-1150	>2700
Κόστος λειτουργίας (euro /kWh)	0,005-0,007	0,007-0,014	0,004	0,002-0,007	0,002-0,01	0,003-0,014
Διαθεσιμότητα (%)	90-95	92-97	99-100	90-98	90-98	>95
Χρόνος μεταξύ συντηρήσεων	25.000 – 30.000	24.000 – 60.000	>50.000	30.000 – 50.000	5.000 – 40.000	10.000 – 40.000
Χρόνος εκκίνησης	10sec	10sec	1hr-1day	10min-1hr	60 sec	3hrs - 2days
Καύσιμα	πετρέλαιο-κατάλοιπα διύλισης πετρελαίου	φυσικό αέριο, βιοαέριο, προπάνιο	οποιοδήποτε	φυσικό αέριο, βιοαέριο, προπάνιο	Φυσικό αέριο, βιοαέριο, προπάνιο	φυσικό αέριο, προπάνιο, υδρογόνο
Επίπεδα θορύβου	Μέτριος ως υψηλός (απαιτείται ηχομόνωση)	Μέτριος ως υψηλός (απαιτείται ηχομόνωση)	Μέτριος ως υψηλός (απαιτείται ηχομόνωση)	Μέτριος (απαιτείται ηχομόνωση)	Μέτριος (απαιτείται ηχομόνωση)	Χαμηλός
Εκπομπές NO <sub>x</sub> (kg/MWh)	1,4 – 15	1-12,7	0,8	0,14-1,8	0,18-1	<0,01
Χρήσεις της ανακτόμενης θερμότητας	Ζεστό νερό, ατμός χαμηλής πίεσης, τηλεθέρμανση	Ζεστό νερό, ατμός χαμηλής πίεσης, τηλεθέρμανση	Ατμός χαμηλής και υψηλής πίεσης, τηλεθέρμανση	Θέρμανση, ζεστό νερό, ατμός χαμηλής και υψηλής πίεσης, τηλεθέρμανση	Θέρμανση, ζεστό νερό, ατμός χαμηλής πίεσης	Ζεστό νερό, ατμός χαμηλής και υψηλής πίεσης
Απόδοση (Btu/kWh)	3.400	1.000-5.000	Άγνωστο	3.400-12.000	4.000-15.000	500-3700
Ωφέλιμη θερμοκρασία για συμπαραγωγή (oC)	80-480	150-260	Άγνωστο	260-600	205-345	60-370

Πίνακας 2. 5 Σύγκριση μεταξύ των χαρακτηριστικών λειτουργίας διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής. [5]

## 2.5 Σύστημα ανάκτησης απορριπτόμενης θερμότητας

Συστήματα ανάκτησης θερμότητας ονομάζουμε τα συστήματα μέσω των οποίων μπορεί να γίνει εκμετάλλευση μέρους της θερμότητας που αποβάλλεται από κάποια επιμέρους μονάδα παραγωγής ενέργειας (συνήθως θερμότητας) προς όφελος του κύριου συστήματος παραγωγής. Στα συστήματα αυτά, η διαδικασία επανάκτησης γίνεται μέσω θερμοεναλλαγής μεταξύ των ρευστών που αποβάλλονται (αερίων ή υγρών) και ρευστών που συμμετέχουν στην παραγωγική διαδικασία (π.χ. αέρας καύσης, νερά διεργασιών κλπ).

Η επιτυχία της συμπαραγωγής στηρίζεται στην χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας, καθώς παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμότητα περιέχεται στα καυσαέρια ή και στα ψυγεία των μηχανών. Άμεση χρήση της θερμότητας λαμβάνει χώρα εκεί που υπάρχουν θερμικές διεργασίες (όπως ξήρανση, θέρμανση). Όμως η άμεση χρήση των καυσαερίων εμπεριέχει την επαφή τους με το αντικείμενο που θέλουμε να θερμανθεί και η άμεση χρήση των ρευστών των ψυγείων μπορεί να προκαλέσει διάβρωση στο σύστημα θέρμανσης. Για αυτό τον λόγο είναι απαραίτητος ο εξοπλισμός ανακομιδής θερμότητας, που μετατρέπει την θερμότητα που παράγεται από τον κύριο κινητήρα σε άλλες μορφές και έπειτα την διανέμει για κατανάλωση. Οι πιο συνήθεις μέθοδοι ανακομιδής θερμότητας είναι η παραγωγή ατμού (από τους αεριοστρόβιλους και τα καυσαέρια μηχανών) και η θέρμανση νερού από πηγές θερμότητας μεσαίας και χαμηλής στάθμης.

Ο λέβητας ανακομιδής θερμότητας είναι απαραίτητο στοιχείο σε μια εγκατάσταση συμπαραγωγής. Ανακτά την θερμότητα από τα καυσαέρια των αεριοστρόβιλων ή των παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης. Η πιο απλή μορφή του είναι ο εναλλάκτης ανακομιδής θερμότητας, μέσα από τον οποίο περνούν τα καυσαέρια και η ανακτώμενη θερμοκρασία θερμαίνει το νερό που προορίζεται για διάφορες χρήσεις. Έπειτα τα καυσαέρια διοχετεύονται στην καμινάδα εξαγωγής καυσαερίων και εκλύονται στην ατμόσφαιρα, περιέχοντας ακόμα κάποια ποσότητα θερμοκρασίας. Σε αυτή την περίπτωση τα προϊόντα καύσης του κινητήρα δεν έχουν μεταβληθεί.

Οι λέβητες καυσαερίων σχεδιάζονται ανάλογα με την επιλογή του είδους του κινητήρα. [1][3][12]

## 2.6 Γεννήτριες

Όλα τα συστήματα συμπαραγωγής, με εξαίρεση τις κυψέλες καυσίμου, απαιτούν μια γεννήτρια, η οποία κινείται από τον κινητήρα. [5]

Οι γεννήτριες μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και μπορεί να είναι σύγχρονες ή ασύγχρονες.

Η σύγχρονη γεννήτρια μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα από άλλη μονάδα παραγωγής και από το δίκτυο. Η τάση και η συχνότητα καθορίζονται αποκλειστικά από τον εξοπλισμό ελέγχου του συστήματος. Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα καθορίζει την συχνότητα και παραμένει σταθερή με την μεταβολή του φορτίου. Συνεπώς μπορεί να παρέχει ηλεκτρισμό σε περίπτωση διακοπής παροχής από το δίκτυο και για αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εφεδρική γεννήτρια.

Η ασύγχρονη γεννήτρια μπορεί να λειτουργεί μόνο σε παραλληλία με άλλες μονάδες παραγωγής, συνήθως με το δίκτυο. Το δίκτυο διεγείρει την γεννήτρια και καθορίζει την τάση και τη συχνότητά της. Αν η τάση του δικτύου μηδενισθεί ή εάν αποσυνδεθεί η γεννήτρια, η τελευταία παύει να λειτουργεί. Συνεπώς δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εφεδρική. Η σύνδεσή της με το δίκτυο είναι απλή.

Οι σύγχρονες γεννήτριες με ισχύ λιγότερη από 200 kW<sub>e</sub> είναι πιο ακριβές από τις αντίστοιχες ασύγχρονες. Πάνω από 200 kW<sub>e</sub> ισχύ δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις στις τιμές. Ο πιο συνηθισμένος τύπος γεννήτριας σε μονάδες συμπαραγωγής μικρής κλίμακας είναι η ασύγχρονη. [3]

## 2.7 Σύστημα ελέγχου

Για τη λειτουργία των συστημάτων συμπαραγωγής, διατίθενται συστήματα ελέγχου βασισμένα σε μικροεπεξεργαστές. Αυτά παρέχουν τη δυνατότητα τα διάφορα συστήματα συμπαραγωγής να λειτουργούν για την κάλυψη κάποιου φορτίου βάσης, να παρακολουθούν τα ηλεκτρικά ή τα θερμικά φορτία, είτε να λειτουργούν κατά ένα οικονομικότερο βέλτιστο τρόπο (τρόπος μικτής κάλυψης).

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

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

Με βάση τα δεδομένα αυτά, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να καθορίσει ποιος τρόπος λειτουργίας είναι ο πιο οικονομικός, ακόμη και το κατά πόσο η μονάδα πρέπει να διακόψει τη λειτουργία της. Επιπλέον, με την παρακολούθηση των παραμέτρων λειτουργίας, όπως είναι η αποδοτικότητα, οι ώρες λειτουργίας, η θερμοκρασία των καυσαερίων, οι θερμοκρασίες του νερού ψύξης, κλπ., ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να βοηθήσει στον προγραμματισμό της συντήρησης του συστήματος. Εάν το σύστημα λειτουργεί χωρίς άμεση επίβλεψη, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να συνδεθεί μέσω τηλεφωνικής γραμμής με ένα κέντρο τηλε-παρακολούθησης, όπου η ανάλυση των δεδομένων μέσω Η/Υ μπορεί να προειδοποιήσει το εξειδικευμένο προσωπικό για μία επικείμενη ανάγκη προγραμματισμένης ή μη συντήρησης. Επιπλέον, ως τμήμα ενός συστήματος καταγραφής δεδομένων, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να συντάσσει εκθέσεις για την τεχνική και την οικονομική απόδοση του συστήματος. [1][5]

## 2.8 Τεχνολογίες τριπαραγωγής

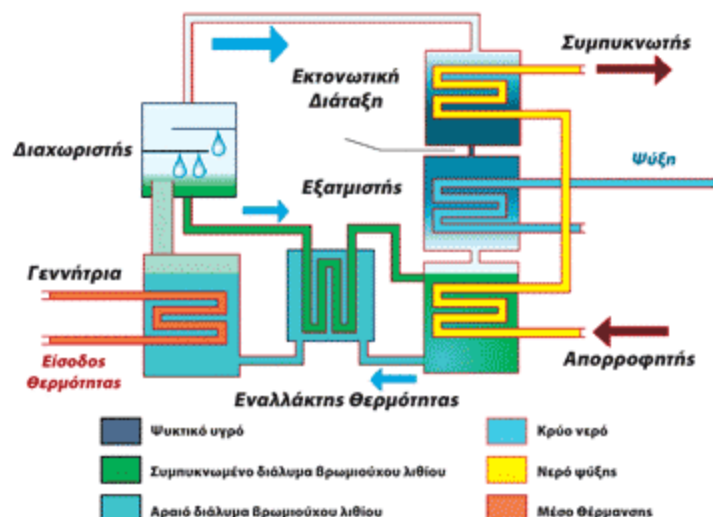
Η εφαρμογή της τριπαραγωγής συνδυάζει συστήματα συμπαραγωγής με ψυκτικά συστήματα που λειτουργούν με απορρόφηση θερμικής ενέργειας. Τα πιο διαδεδομένα ψυκτικά συστήματα είναι οι ψύκτες απορρόφησης.

### 2.8.1 Ψύκτες απορρόφησης

Οι ψύκτες απορρόφησης, ο μηχανισμός που παρέχει ψύξη, χρησιμοποιώντας τη θερμική ενέργεια από την συμπαραγωγή, είναι το δεύτερο σημαντικότερο κομμάτι σε μια εγκατάσταση τριπαραγωγής, μετά από την μονάδα συμπαραγωγής. Οι ψύκτες απορρόφησης βασίζονται στη συμπύκνωση και την εξάτμιση για να παράγουν ψύξη. Έχουν έναν εξατμιστή, έναν συμπυκνωτή, που διαστέλλει το ψυκτικό μέσο για να παράγει ψύξη, και μια πηγή θερμότητας (καυστήρας, ατμός, ζεστό νερό, απορριπτόμενη θερμότητα). Οι ψύκτες απορρόφησης που παρέχονται στο εμπόριο λειτουργούν με ατμό, ζεστό νερό ή αέρια-προϊόντα καύσης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι ψύκτες Li-Br και οι ψύκτες αμμωνίας-νερού.

### 2.8.2 Βασική αρχή ενός ψύκτη απορρόφησης

Στην απλή του μορφή, ένας ψύκτης απορρόφησης αποτελείται από έναν εξατμιστή, έναν συμπυκνωτή, έναν απορροφητή, μια γεννήτρια και μια αντλία διαλύματος. Στον κύκλο απορρόφησης, η συμπίεση του ατμοποιημένου ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται στον απορροφητή, στην αντλία και την γεννήτρια. Ο ατμός που παράγεται στον εξατμιστή απορροφάται από το υγρό μέσο απορρόφησης στον απορροφητή, το οποίο στη συνέχεια οδηγείται στην γεννήτρια, όπου το ψυκτικό μέσο απελευθερώνεται ως ατμός και εν συνεχεία συμπυκνώνεται. Το μέσο απορρόφησης οδηγείται πάλι στον απορροφητή για να ανακτήσει και πάλι το ψυκτικό μέσο. Θερμότητα παρέχεται στην γεννήτρια σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία και απορρίπτεται από τον απορροφητή σε χαμηλή θερμοκρασία.



**Σχήμα 2. 17 Ψύξης απορρόφησης μονού κελύφους**

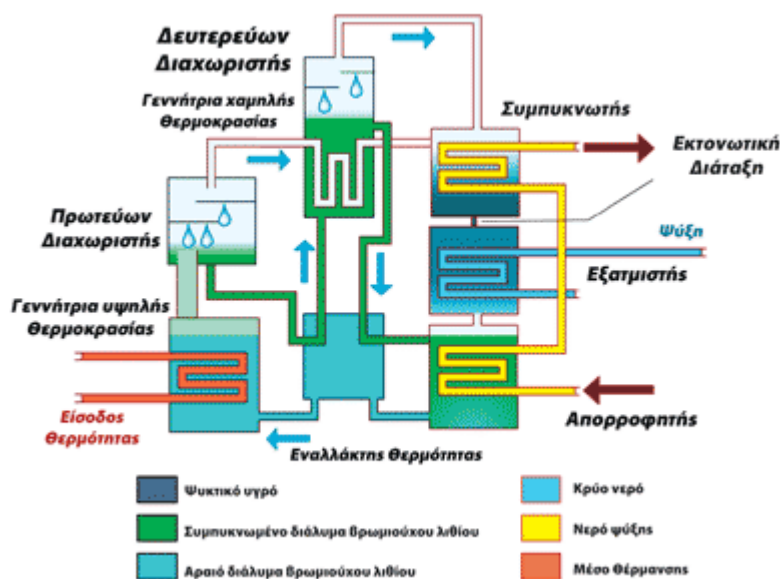
Σε έναν κύκλο απορρόφησης, το ψυκτικό μέσο και το μέσο απορρόφησης αποτελούν το ζεύγος εργασίας. Πολλά ζευγάρια έχουν προταθεί αλλά μόνο δύο χρησιμοποιούνται σήμερα: αμμωνία με νερό ως απορροφητή και νερό με διάλυμα βρωμιούχου λιθίου (LiBr) ως απορροφητή. Το ζεύγος αμμωνία/νερό συναντάται κυρίως σε εφαρμογές ψύξης με χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης (κάτω από  $0^{\circ}\text{C}$ ). Το ζεύγος νερό/LiBr χρησιμοποιείται ευρέως για κλιματισμό, όπου απαιτούνται θερμοκρασίες μεγαλύτερες από  $0^{\circ}\text{C}$ . Η πίεση στις συσκευές αμμωνίας/νερού είναι συνήθως μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής ενώ τα συστήματα με νερό/LiBr λειτουργούν κάτω από μερικό κενό.

Στα συστήματα ψύξης με απορρόφηση που χρησιμοποιούν LiBr/νερό η πηγή θερμότητας πρέπει να βρίσκεται σε θερμοκρασία  $60\text{--}80^{\circ}\text{C}$  ενώ μπορεί να φτάσει και έως  $150^{\circ}\text{C}$  σε σύστημα διπλού κελύφους. Για συστήματα που χρησιμοποιούν αμμωνία/νερό η απαιτούμενη θερμοκρασία είναι  $100\text{--}120^{\circ}\text{C}$ .

Ο βασικός κύκλος μπορεί να τροποποιηθεί με πολλούς τρόπους. Περαιτέρω βελτιώσεις μπορούν να επιτευχθούν αν εκμεταλλευτούμε πιο αποτελεσματικά την υψηλή θερμοκρασία της διαθέσιμης θερμότητας. Τα αποκαλούμενα συστήματα διπλού κελύφους έχουν δύο ζευγάρια γεννήτριας-απορροφητή με σκοπό την εκμετάλλευση της διαθέσιμης θερμότητας σε δύο στάδια. [4]

Το κόστος συντήρησης των ψυκτών απορρόφησης ποικίλλει κατά περίπτωση. Τα πλεονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης σε σύγκριση με τους συμβατικούς ψύκτες είναι:

- Πολύ μικρή κατανάλωση ηλεκτρισμού
- Αυξημένη αξιοπιστία
- Μικρό κόστος συντήρησης
- Χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών
- Μη εκπομπή ουσιών, επιβλαβών για το στρώμα του όζοντος



Σχήμα 2. 18 Ψύκτης απορρόφησης διπλού κελύφους

### 2.8.3 Απόδοση των ψυκτών απορρόφησης

Η ισχύς των ψυκτικών συστημάτων εκφράζεται σε kW και καθορίζεται από τη μέγιστη ποσότητα της θερμότητας που μπορεί να εξαχθεί. Οι κατασκευαστές των ψυκτικών συστημάτων εκφράζουν την ισχύ τους σε τόνους (RT, refrigeration tons) και την ενεργειακή τους απόδοση σε kW/ton. 1 ton είναι περίπου 3,516 kW. .

Ο συντελεστής απόδοσης (COP) καθορίζει την ενεργειακή αποδοτικότητα ενός ψυκτικού συστήματος και είναι ο λόγος της θερμότητας που επάγεται προς την απαιτούμενη παρεχόμενη ενέργεια. [5]

$$COP_{\text{ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ}} = \frac{\text{ΨΥΚΤΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ (kW)}}{\{\text{ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (kW)}\}}$$

Ο συντελεστής ψυκτικής συμπεριφοράς (COP) είναι αδιάστατο μέγεθος.

### 2.8.4 Ψύκτες Li-Br

Τα περισσότερα συστήματα με νερό/ βρωμιούχο λιθίο ως ζεύγος εργασίας έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές κλιματισμού.

#### 2.8.4.1 Συσκευές μονού κελύφους

Οι περισσότεροι κατασκευαστές προσφέρουν συσκευές μονού κελύφους από περίπου 100 RT έως 1500 RT, δηλαδή από 350 kWth έως 5.2 MWth. Αυτές τροφοδοτούνται από ατμό με πίεση από 135 έως 205 kPa g (2-3 bar), ο οποίος αντιστοιχεί σε θερμοκρασία ατμού από 110 έως 120°C. Εναλλακτικά μπορούν να τροφοδοτηθούν από ζεστό νερό θερμοκρασίας από 115 έως 150°C και μέγιστη πίεση 9 bar. Ο συντελεστής απόδοσης τους (COP) κυμαίνεται από 0.6 έως 0.7. Η κατανάλωση ατμού μιας μηχανής μονού κελύφους είναι περίπου 2.3 kg/h ανά kWth. Η παροχή του ζεστού νερού κυμαίνεται από 30 έως 72 kg/h ανά kWth.

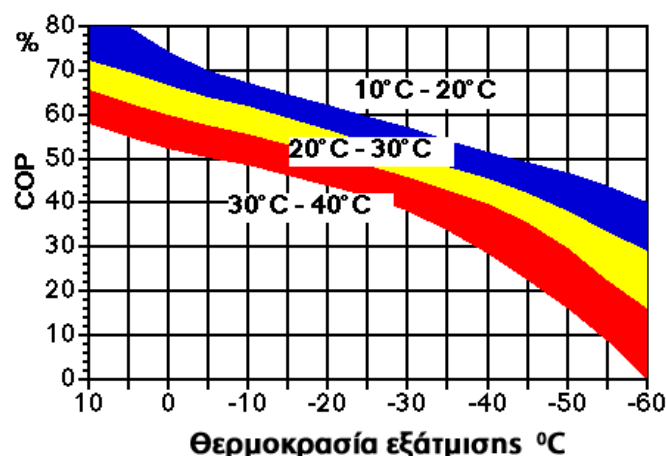


### 2.8.4.2 Συσσκευές διπλού κελύφους

Οι συσκευές διπλού κελύφους έχουν περίπου το ίδιο εύρος ψυκτικής ισχύος με τις μηχανές μονού κελύφους. Ο ατμός είναι το μέσο που προτιμάται για την παροχή θερμότητας. Ο ατμός εδώ θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 1100 -1200 kPa (10-11 bar), συνθήκες που αντιστοιχούν σε θερμοκρασία από 175 έως 185°C. Σύμφωνα με συλλεχθείσες πληροφορίες, είναι επίσης δυνατόν η τροφοδότηση των συσκευών αυτών με ζεστό νερό, θερμοκρασίας μεταξύ 155 και 205°C. Ο συντελεστής απόδοσης (COP) κυμαίνεται μεταξύ 0.9 και 1.2. Η κατανάλωση ατμού στις συσκευές διπλού κελύφους είναι περίπου 1.4 kg/h ανά kWth.

### 2.8.5 Ψύκτες αμμωνίας – νερού

Οι ψύκτες αμμωνίας - νερού σχεδιάστηκαν αρχικά για βιομηχανικές εφαρμογές ψύξης, όπως για την ψύξη τροφών. Αυτό το είδος είναι προτεινόμενο όταν απαιτούνται θερμοκρασίες κάτω από 0°C, αφού οι μονάδες με νερό/LiBr δεν μπορούν να λειτουργήσουν στις θερμοκρασίες αυτές. Η θερμοκρασία στην οποία πρέπει να παρέχεται ο ατμός για να τροφοδοτήσει μια μονάδα εξαρτάται από τη διαθέσιμη θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού και από τη θερμοκρασία ψύξης που θέλουμε να πετύχουμε.[4]



**Διάγραμμα 2. 1** Ο βαθμός απόδοσης του ψύκτη αμμωνία-νερό συναρτήσει της θερμοκρασίας εξάτμισης.

Τα χαρακτηριστικά των βασικών ψύκτων απορρόφησης παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 2.6.

Χαρακτηριστικά των βασικών ψυκτών απορρόφησης			
Παράμετροι	<i>NH<sub>3</sub>/νερό</i>	<i>Νερό/LiBr</i>	
Βαθμίδα*	Μονή	Μονή	Διπλή
Ψυκτική ισχύς (kW)	20 - 2500	300 - 5000	300 - 5000
COP	0.6 - 0.7	0.5 - 0.6	0.9 - 1.1
Θερμοκρασιακό εύρος (°C)	120 - 132	120 - 132	150 - 170
Κόστος μηχανημάτων (€/ton)	1250 to 1750	870 to 920	930 to 980

\*Οι ψύκτες τριπλού κελύφους δεν λαμβάνονται υπόψη αφού βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Τα μηχανήματα αυτά έχουν COP πάνω από 1.6 και λειτουργούν σε θερμοκρασιακό εύρος 170 έως 200 °C.

**Πίνακας 2. 6** Χαρακτηριστικά των βασικών ψυκτών απορρόφησης

Από τα συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας, μόνο οι στρόβιλοι μπορούν να τροφοδοτήσουν ψύκτες διπλού και τριπλού κελύφους. [5]

Οι περισσότερες τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής παράγουν ζεστό νερό σε θερμοκρασία περίπου 80-90°C, που είναι κατάλληλο για χρήση από έναν ψύκτη μονού κελύφους.

## Κεφάλαιο 3 -Κόστος συστημάτων συμπαραγωγής

Οι τιμές που αναφέρονται σε αυτό το κεφάλαιο είναι ενδεικτικές και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σαν μία πρώτη εκτίμηση. Η τελική απόφαση θα πρέπει να παρθεί με βάση τα τιμολόγια των εταιρειών, οι οποίες θα αναλάβουν την παροχή, εγκατάσταση και ίσως την συντήρηση των μονάδων συμπαραγωγής.

### 3.1 Κόστος επένδυσης

Το κόστος επένδυσης είναι το αρχικό κεφάλαιο. Αποτελείται από το κόστος των μηχανημάτων, της εγκατάστασης και το κόστος μελέτης και διαχείρισης της μονάδας (project, engineering and management costs).

#### 3.1.1 Κόστος εξοπλισμού

Αφορά την αγορά των μηχανημάτων, συμπεριλαμβανομένου ΦΠΑ, και την μεταφορά τους ως το μέρος εγκατάστασης. Εξαρτώνται κάθε φορά από τον τύπο της μονάδας συμπαραγωγής. Μερικές δαπάνες που αφορούν τον εξοπλισμό είναι:

- Ο τύπος του κινητήρα και της γεννήτριας (Prime mover and generator set). Εξαρτάται από την παραγόμενη ισχύ, την τάση της γεννήτριας, την δυνατότητα χρήσης εναλλακτικού καυσίμου, τις τεχνικές μείωσης εκπεμπόμενων ρύπων και θορύβου

- Σύστημα ανάκτησης και απόρριψης θερμότητας

Εξαρτάται από το απαιτούμενο μέσο (ατμός, ζεστό ή παγωμένο νερό), την ποιότητα θερμικής ενέργειας, τον αριθμό απαιτούμενων επιπέδων πίεσης και θερμοκρασίας, το σύστημα ελέγχου ρύπων και την παροχή νερού.

- Επιπρόσθετη «τροφοδότηση».

Δηλαδή το εάν απαιτείται επιπρόσθετη θερμική ισχύς ή η χρήση εναλλακτικού μέσου

- Παροχή καυσίμου.

Περιλαμβάνεται η σύνδεση με το σύστημα παροχής καυσίμου, η δυνατότητα αποθήκευσής του. Συγκεκριμένα για το φυσικό αέριο εξετάζεται η ανάγκη συμπίεσής, εφόσον η πίεση της γραμμής πρέπει να αυξηθεί.

- Πίνακας ελέγχου

Η ανάγκη για αυτοματοποίηση και η απαίτηση για λειτουργία χωρίς παρακολούθηση.

- Σύνδεση με την ηλεκτρική εγκατάσταση.

Αφορά την γραμμή σύνδεσης και τον εξοπλισμός ασφαλείας και μετρήσεων.

- Σωληνώσεις.

Αφορά την σύνδεση με το νερό, τον ατμό και τον συμπιεσμένο αέρα.

- Σύστημα εξάτμισης

- Συστήματα αερισμού και καύσης (Ventilation and combustion air systems)

- Οποιαδήποτε ναύλα

- Φόροι

#### 3.1.2 Κόστος εγκατάστασης

Αποτελείται από τα εξής:

- Άδεια εγκατάστασης

- Αγορά και προετοιμασία του χώρου εγκατάστασης
- Κατασκευή κτιρίου
- Εγκατάσταση της μονάδας
- Τα απαραίτητα σχέδια κατασκευής

### 3.1.3 Κόστος μελέτης

Περιλαμβάνει τα έξοδα για τον σχεδιασμό, την ανάλυση και την ανάπτυξη του συστήματος συμπαραγωγής. Αποτελεί το 15-30% του κόστους των μηχανημάτων και της κατασκευής. Ενδεικτικά κάποιες από αυτές τις δαπάνες είναι :

- Τα αρχιτεκτονικά και μηχανικά σχέδια
- Η επίβλεψη της κατασκευής
- Οι περιβαλλοντικές μελέτες και τα έξοδα αδείας
- Ειδικοί σύμβουλοι και ελεγκτές
- Νομικά έξοδα
- Εκπαίδευση προσωπικού

Επιπρόσθετα έξοδα μπορούν να προκύψουν από τον τρόπο χρηματοδότησης του όλου έργου, όπως τα έξοδα τράπεζας και η ασφάλιση.

### 3.1.4 Απρόβλεπτα έξοδα

Τα απρόβλεπτα έξοδα υπολογίζονται σε ποσοστό 15-20% από το συνολικό κόστος στην αρχή της σχεδιασμού της μονάδας, ενώ μετά την ολοκλήρωσή του μπορεί το ποσοστό αυτό να μειωθεί στα 5%.

Ο τρόπος με τον οποίο κατανέμονται τα ποσοστά των διάφορων δαπανών φαίνεται στον πίνακα 3.1. [3]

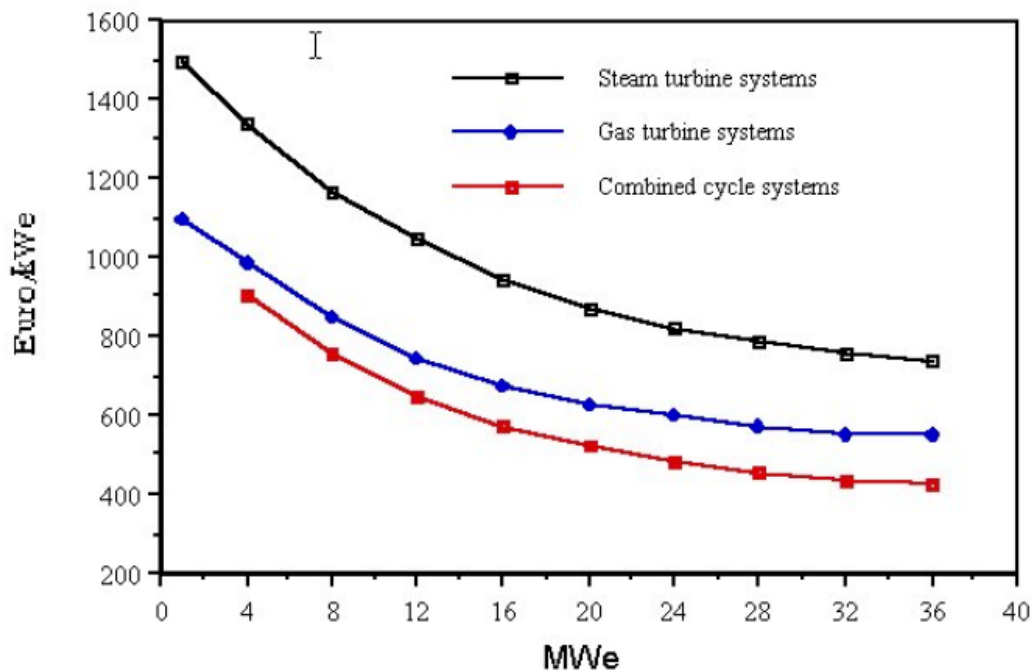
Ανάλυση των δαπανών για συμπαραγωγή μικρής κλίμακας	
Είδος δαπάνης	% από το συνολικό κόστος
Μονάδα συμπαραγωγής συμπεριλαμβανομένου και του συστήματος ανάκτησης θερμότητας	55
Γενική επίβλεψη της οργάνωσης, έλεγχος και νομικές διεργασίες	15
Επικουρικά συστήματα	5
Σύνδεση με το δίκτυο	5
Εργασίες στον χώρο εγκατάστασης	10
Εγκατάσταση και αποδοχές εξειδικευμένου προσωπικού	5
Το κόστος της μελέτης	5
<b>Σύνολο</b>	<b>100</b>

Πίνακας 3. 1 Ανάλυση των δαπανών για συμπαραγωγή μικρής κλίμακας

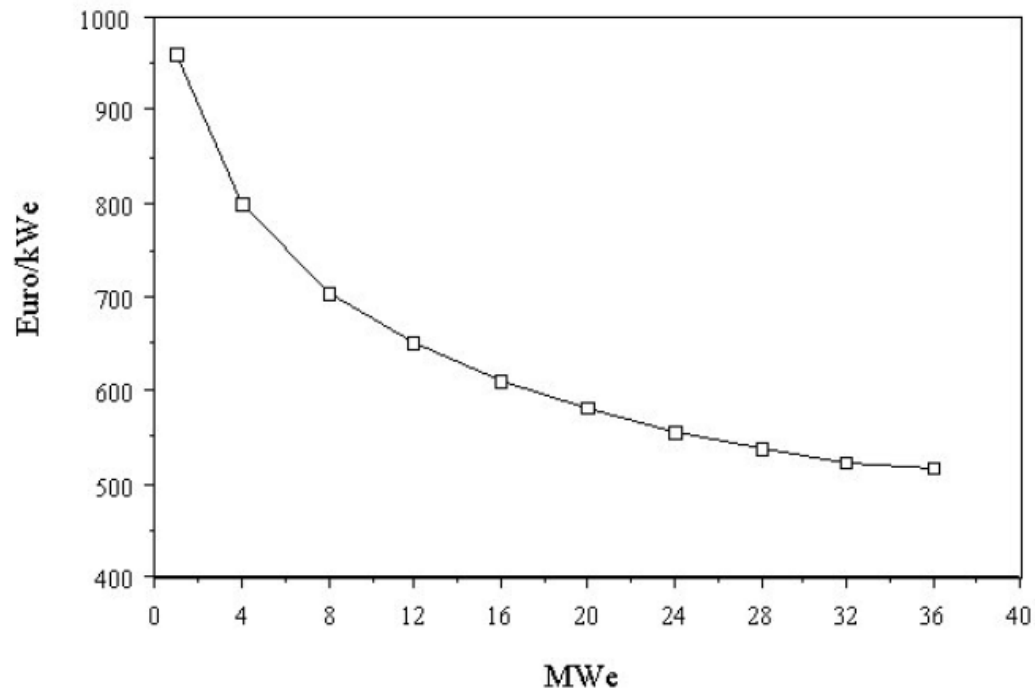
Παράδειγμα ανάλυσης των δαπανών σε δύο ενδεικτικά συστήματα συμπαραγωγής		
Είδος δαπάνης	% από το συνολικό κόστος	
	Αεριοστρόβιλος <sup>(1)</sup>	Ατμοστρόβιλος <sup>(2)</sup>
Στρόβιλος – γεννήτρια	34	50 <sup>(3)</sup>
Σύστημα ανάκτησης θερμότητας	20	--
Ενορχήστρωση, έλεγχος και νομικές διεργασίες	4	3
Επικουρικά συστήματα	7	4
Σύνδεση με το δίκτυο	3	6
Εργασίες στο χώρο εγκατάστασης	6	11
Μηχανική επίβλεψη και επίβλεψη της κατασκευής	11	11
Απρόβλεπτα έξοδα	15	15
<b>Σύνολο</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

(1) Ονομαστική ισχύς 10MW  
 (2) Ονομαστική ισχύς 30MW. Ο στρόβιλος δεν είναι συμπύκνωσης  
 (3) Το κόστος του λέβητα συμπεριλαμβάνεται

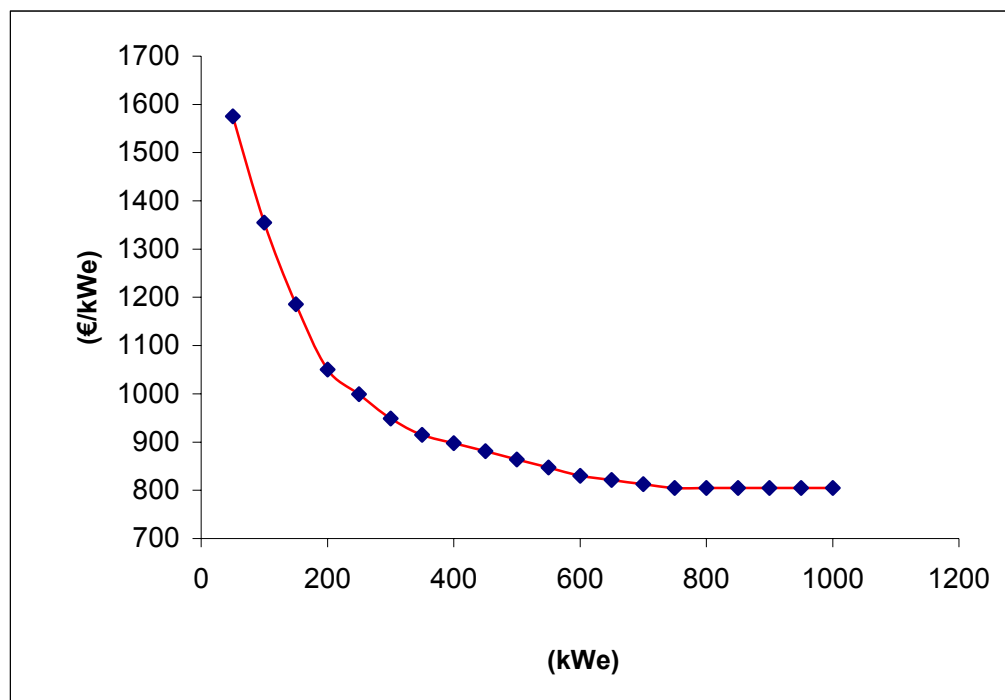
Πίνακας 3. 2 Παράδειγμα ανάλυσης των δαπανών σε δύο ενδεικτικά συστήματα συμπαραγωγής.



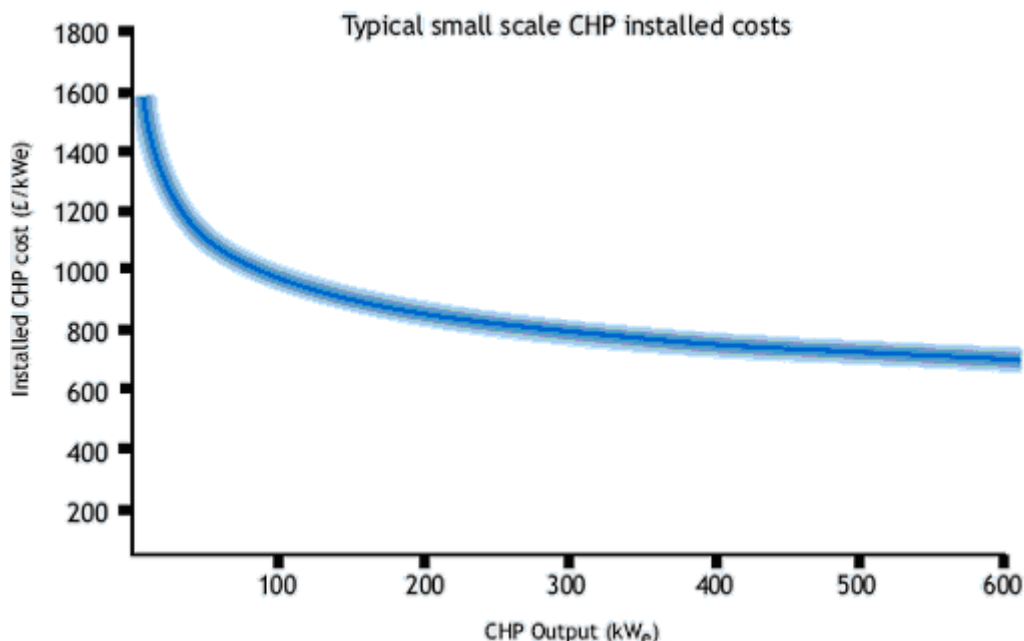
Διάγραμμα 3. 1 Το κόστος επένδυσης σε διάφορα συστήματα συμπαραγωγής μεσαίας και μεγάλης κλίμακας συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος



**Διάγραμμα 3. 2 Το κόστος επένδυσης συστημάτων συμπαραγωγής με κινητήρα Diesel συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος**



**Διάγραμμα 3. 3 Κόστος επένδυσης τυποποιημένων πακέτων συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος**



**Διάγραμμα 3. 4** Κόστος επένδυσης μονάδων συμπαραγωγής μικρής κλίμακας συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος [10]

### 3.2 Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης

Οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις επιλογές που έγιναν κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή του συστήματος. Υπάρχει περίπτωση οι ενέργειες που είχαν σκοπό την μείωση του αρχικού κόστους να οδηγήσουν σε αύξηση των δαπανών λειτουργίας και συντήρησης, με αποτέλεσμα να έχουν αρνητική επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα της μονάδας. Οι βασικές λειτουργικές δαπάνες και τα έξοδα συντήρησης είναι:

➤ Το καύσιμο

Αποτελεί το πιο βασικό λειτουργικό κόστος, το οποίο μπορεί να φτάνει και το 80% του συνολικού λειτουργικού κόστους. Θα πρέπει λοιπόν να λάβουμε σοβαρά υπόψη το τιμολόγιο του παροχέα καυσίμου στον υπολογισμό των δαπανών.

➤ Το προσωπικό

Εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας και το βαθμό στον οποίο αυτή είναι αυτοματοποιημένη. Μικρές μονάδες (μέχρι 10MW περίπου) μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς επίβλεψη. Μονάδες μεσαίας κλίμακας (10-30 MW) συνήθως απαιτούν την παρουσία ενός ατόμου για να ελέγχει την σωστή λειτουργία της μονάδας. Μεγαλύτερες μονάδες απαιτούν παραπάνω του ενός ατόμου. Εάν το σύστημα περιλαμβάνει και έναν ατμολέβητα ή χρησιμοποιείται στερεό καύσιμο, τότε το προσωπικό είναι απαραίτητο ακόμα και σε μικρές μονάδες. Είναι πολύ σημαντικό να διασαφηνιστεί εάν είναι απαραίτητο να προσληφθούν εξειδικευμένα άτομα ή εάν το ήδη υπάρχων προσωπικό είναι σε θέση να χειριστεί το σύστημα.

➤ Τα έξοδα συντήρησης

Εξαρτώνται κυρίως από τον τύπο της μονάδας, το είδος του καυσίμου, τον κύκλο λειτουργίας (το πόσο συχνά τίθεται σε λειτουργία και τερματίζεται αυτή) και το περιβάλλον μέσα στο οποίο λειτουργεί. Εάν υπάρχει εξειδικευμένο προσωπικό τότε το κόστος συντήρησης μπορεί να μειωθεί αισθητά. Από την άλλη υπάρχει η δυνατότητα να αναλάβει την συντήρηση κάποια εταιρεία, οπότε τα έξοδα εξαρτώνται σε αυτήν την περίπτωση από το εκάστοτε συμβόλαιο που θα υπογραφεί. Στην περίπτωση που υπάρχει ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου της λειτουργίας της

μονάδας, οι δαπάνες συντήρησης μειώνονται καθώς η συντήρηση δεν θα γίνεται για προληπτικούς λόγους, παρά μόνο όταν οι ενδείξεις του συστήματος ελέγχου δείχνουν ότι απαιτείται κάτι τέτοιο.

➤ Η ασφάλεια

Συνυπολογίζεται στα λειτουργικά έξοδα. Μπορεί να καλύπτει μόνο βλάβες των μηχανημάτων ή μπορεί να επεκταθεί η κάλυψη που προσφέρει και να περιλαμβάνει ακόμα και απώλεια εσόδων ή διακοπή λειτουργίας λόγω εργασιών. Το κόστος της ασφάλειας είναι ανάλογο της μονάδας, το ιστορικό λειτουργίας των μηχανημάτων και τον τρόπο λειτουργίας αυτών. Έχει εύρος 0,25-2% του αρχικού κεφαλαίου.

➤ Οι αποδοχές διοικητικού προσωπικού

➤ Οι φόροι

➤ Οι τόκοι (εάν έχει προηγηθεί δανεισμός για την χρηματοδότηση του όλου έργου)

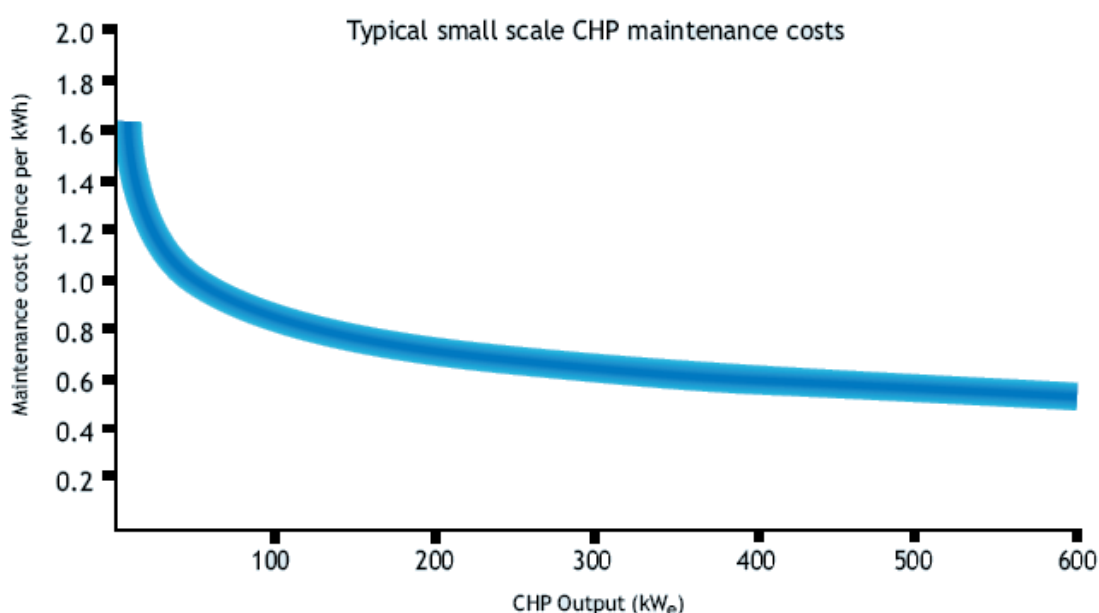
Γενικότερα οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης διακρίνονται σε σταθερές και μεταβλητές. Οι σταθερές είναι ανεξάρτητες από το εάν λειτουργεί το σύστημα ή όχι. Οι μεταβλητές εξαρτώνται από το φορτίο υπό το οποίο λειτουργεί το σύστημα και από τα διάφορα ανταλλακτικά και αναλώσιμα.

Για κάθε μονάδα συμπαραγωγής μπορούν να εκτιμηθούν οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης. Στον πίνακα 3.3 δεν γίνεται διάκριση μεταξύ σταθερών και μεταβλητών δαπανών αλλά δίνεται ένας μέσος όρος των εξόδων. [3]

Δαπάνες συντήρησης συστημάτων συμπαραγωγής	
Τύπος συστήματος	Δαπάνες συντήρησης *
	€/MWh
Ατμοστροβίλου	2,3-1,5
Αεριοστροβίλου	5,4-4,6
Συνδυασμένου κύκλου	5,4-4,6
Παλινδρομικής μηχανής	9,2-5,8

\* Οι μικρότερες τιμές αντιστοιχούν στα μεγαλύτερης ισχύς συστήματα

Πίνακας 3. 3 Δαπάνες συντήρησης συστημάτων συμπαραγωγής.



Διάγραμμα 3. 5 Κόστος συντήρησης μονάδων συμπαραγωγής μικρής κλίμακας συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος [10]



## Κεφάλαιο 4 -Οικονομική βιωσιμότητα συστημάτων συμπαράγωγής

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 δίνονται τιμές για το κόστος επένδυσης και τις δαπάνες συντήρησης και λειτουργίας και αναπτύσσεται μια απλοποιημένη μεθοδολογία για την οικονομική αξιολόγηση συστημάτων συμπαράγωγής.

### 4.1 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.

#### 4.1.1 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.

#### 4.1.2 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.

#### 4.1.3 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, κ.λ.π.

#### 4.1.4 Παρούσα αξία(P)

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

$$F=P \cdot \prod_{t=1}^N (1 + d_t) \quad (4. 1)$$

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

$$P = \frac{F}{\prod_{t=1}^N (1 + d_t)} \quad (4.2)$$

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

$$P = \frac{F}{(1 + d)^N} \quad (4.3)$$

Το επιτόκιο  $d$  λέγεται και επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία.

#### 4.1.5 Συντελεστής παρούσας αξίας

Εάν μια πληρωμή επαναλαμβάνεται κάθε χρονική περίοδο επί  $N$  περιόδους και δεν μεταβάλλεται παρά μόνο εξαιτίας πληθωρισμού, τότε η παρούσα αξία των  $N$  ποσών υπολογίζεται με τη σχέση

$$P = \sum_{t=1}^N P_t = A \cdot PWF(N, i, d) \quad (4.4)$$

όπου:

$A$	το ποσό της πρώτης πληρωμής
$PWF$	συντελεστής παρούσας αξίας
$i$	δείκτης πληθωρισμού μιας χρονικής περιόδου
$d$	επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία

Εάν μπορεί να θεωρηθεί ότι η πληρωμή επαναλαμβάνεται στο τέλος της κάθε περιόδου, τότε ο συντελεστής παρούσας αξίας υπολογίζεται με τη σχέση

$$PWF(N, i, d) = \sum_{t=1}^N \frac{(1+i)^{t-1}}{(1+d)^t} \quad (4.5)$$

#### 4.1.6 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

$$A = P \cdot CRF(N, d) \quad (4.6)$$

όπου:

A ετήσιο κόστος κεφαλαίου  
 P ποσό της επένδυσης  
 CRF συντελεστής τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης:

$$CRF(N, d) = \frac{d \cdot (1 + d)^N}{(1 + d)^N - 1} \quad (4.7)$$

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.

#### 4.1.7 Σταθερές και τρέχουσες τιμές

Σε μια οικονομική ανάλυση, οι χρηματοροές μπορούν να εκφραστούν είτε σε τρέχουσες είτε σε σταθερές τιμές.

Έκφραση σε τρέχουσες τιμές είναι το πραγματικό ποσό χρημάτων που καταβάλλεται ή εισπράττεται σε κάποια χρονική στιγμή.

Έκφραση σε σταθερές τιμές είναι το ποσό χρημάτων σε δεδομένη χρονική στιγμή, που είναι ισοδύναμο( από πλευράς αγοραστικής αξίας) με το πραγματικό. Η στιγμή αυτή( χρόνος αναφοράς) μπορεί να επιλεγεί αυθαίρετα. Συχνά ως χρόνος αναφοράς ορίζεται η αρχή του πρώτου έτους του οικονομικού κύκλου ζωής.

Η αναγωγή πραγματικών τιμών σε σταθερές τιμές με βάση N έτη πριν γίνεται με χρήση του δείκτη πληθωρισμού. Ισχύει η σχέση

$$F' = \frac{F}{\prod_{t=1}^N (1 + i_t)} = \frac{F}{(1 + \bar{i})^N} \quad (4.8)$$

όπου:

$F$  πραγματικό ποσό  
 $F'$  ανηγμένο σε σταθερές τιμές ποσό  
 $i_t$  δείκτης πληθωρισμού κατά το έτος t  
 $\bar{i}$  μέσος ετήσιος δείκτης πληθωρισμού των N ετών

Οι επενδύσεις σε συστήματα συμπαραγωγής είναι εντάσεως κεφαλαίου και επομένως μακροχρόνιας απόσβεσης. Είναι λοιπόν σκόπιμο, οι συνιστώσες κόστους και οφέλους να εκφράζονται σε σταθερές τιμές.

#### 4.2 Οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης

Διάφοροι οικονομικοί δείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση συστημάτων συμπαραγωγής : 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 συμπαραγωγής. 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.

### 4.2.1 Καθαρή παρούσα αξία (net present value, NPV)

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

$$NPV = -k + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+d)^t} + \frac{SV_N}{(1+d)^N} \quad (4.9)$$

όπου:

- k αρχική επένδυση
- $F_t$  ετήσιο καθαρό όφελος
- N οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης
- d επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (επιθυμητή απόδοση κεφαλαίου)
- $SV_N$  αξία εκποίησης (απομένουσα αξία) της επένδυσης στο τέλος του οικονομικού κύκλου ζωής N

Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- $NPV > 0$  Η επένδυση είναι βιώσιμη κάτω από τις δεδομένες συνθήκες (οικονομικός κύκλος ζωής N και επιθυμητός βαθμός απόδοσης της επένδυσης, d)
- $NPV = 0$  Η επένδυση είναι βιώσιμη με μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης ίσο με d
- $NPV < 0$  Η επένδυση είναι αντισυμβαλλόμενη

### 4.2.2 Απόδοση κεφαλαίου (internal rate of return, IRR)

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 :

$$NPV_{(d=IRR)} = 0 \quad (4.10)$$

όπου NPV η παρούσα αξία, ενώ η ένδειξη  $d=IRR$  υπονοεί ότι η εξίσωση λύνεται ως προς d.

### 4.2.3 Λόγος οφέλους /κόστους (benefit to cost ratio, BCR)

Το πηλίκο του συνολικού οφέλους προς το συνολικό κόστος μιας επένδυσης κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της, N, με όλα τα ποσά ανηγμένα σε παρούσα αξία, αποτελεί επίσης ένα κριτήριο οικονομικής βιωσιμότητας μιας επένδυσης. Ο λόγος αυτός ορίζεται από τη σχέση :

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{B_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+d)^t}} \quad (4.11)$$

όπου:

- $B_t$  όφελος κατά το έτος t
- $C_t$  κόστος κατά το έτος t ( η τιμή  $C_0$  αντιστοιχεί στην αρχική επένδυση)

Εάν οι ετήσιες δαπάνες αφαιρεθούν από τα κέρδη, τότε ο αριθμητής της παραπάνω σχέσης αποτελείται από το καθαρό όφελος και η σχέση απλουστεύεται στη μορφή:

$$BCR = \frac{NPV + k}{k} = 1 + \frac{NPV}{k} \quad (4.12)$$

Μια επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη, αν ο λόγος οφέλους/κόστους είναι μεγαλύτερος ή ίσος με τη μονάδα ( $BCR \geq 1$ ). Ειδικότερα για επενδύσεις συμπαραγωγής, «όφελος» είναι η παρούσα αξία του συνόλου της εξοικονόμησης λειτουργικών δαπανών, ενώ «κόστος» είναι η παρούσα αξία της αρχικής επένδυσης και του συνόλου των λειτουργικών δαπανών του συστήματος.

#### 4.2.4 Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (discounted pay back 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:

$$NPV_{(N=DPB)} = 0 \quad (4.13)$$

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

Αν η αξία εκποίησης είναι ίση με το μηδέν ( $SV_N=0$ ) και επιπλέον θεωρηθεί ότι το ετήσιο λειτουργικό όφελος  $F_t$  παραμένει σταθερό σε σταθερές τιμές, τότε η λύση της εξίσωσης παίρνει την αναλυτική μορφή:

$$DPB = \frac{-\ln(1 - \frac{d \cdot k}{F})}{\ln(1 + d)} \quad (4.14)$$

Μία επένδυση θεωρείται οικονομικά βιώσιμη, αν η τιμή του DPB ικανοποιεί τις προσδοκίες του επενδυτή ως προς το χρόνο αποπληρωμής.

#### 4.3 Αξιολόγηση συστημάτων συμπαραγωγής σε επίπεδο ιδιώτη επενδυτή

Η οικονομική βιωσιμότητα επενδύσεων σε συστήματα συμπαραγωγής εξαρτάται από: α) 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, β) το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του συστήματος συμπαραγωγής. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος προσδιορισμού των ετήσιων δαπανών και του ετήσιου λειτουργικού οφέλους.

### 4.3.1 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,  $k$ , μιας επένδυσης προσδιορίζεται από τη σχέση

$$k = C - C_\varepsilon - L = (1 - \pi_\varepsilon - I) C \quad (4.15)$$

όπου

- $C$  κόστος του συστήματος συμπαραγωγής
- $C_\varepsilon$  ποσό επένδυσης
- $L$  ποσό προερχόμενο από δανεισμό
- $\pi_\varepsilon$  ποσοστό επένδυσης
- $I$  ποσοστό δανεικού κεφαλαίου:  $I = L/C$

Η ετήσια δόση αποπληρωμής του δανείου προκύπτει από τη σχέση

$$A_L = L \cdot CRF(N_L, r) \quad (4.16)$$

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  $t$
- $\Delta L_t$  μείωση του ποσού του δανείου στο τέλος του έτους  $t$
- $L_{t+1}$  υπολειπόμενο ποσό δανείου στην αρχή του έτους  $t+1$ :

$$L_{t+1} = L_t - \Delta L_t \quad (4.17)$$

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

$$F_t = f_t - A_L - \varphi f_{\varphi t} \quad (4.18)$$

όπου

- $F_t$  καθαρό όφελος κατά το έτος  $t$
- $f_t$  λειτουργικό όφελος κατά το έτος  $t$
- $\varphi$  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
- $v$  χρονική διάρκεια λογιστικής απόσβεσης

Με αντικατάσταση του  $f_{\varphi t}$  έχουμε:

$$F_t = (1-\varphi)f_t + \varphi A - (A_L - \varphi I_{Lt}). \quad (4.19)$$

### 4.3.2 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:

$$F_t = (K_\eta + \Pi + K_\theta - K_f - \Delta)_t \quad (4.20)$$

όπου

- $K_\eta$  αξία ηλεκτρικής ενέργειας που έχει παραχθεί από το σύστημα συμπαραγωγής,
- $\Pi$  πρόσδοδος από την πώληση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας,
- $K_\theta$  αξία θερμικής ενέργειας που έχει παραχθεί από το σύστημα συμπαραγωγής,
- $K_f$  κόστος καυσίμου του συστήματος συμπαραγωγής,
- $\Delta$  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

$$k_t = k(1+i)^t \quad (4.21)$$

όπου

- $k$  αρχική τιμή της δαπάνης
- $i$  ετήσιος διαφορικός (ως προς το γενικό) δείκτης πληθωρισμού

### 4.3.3 Κόστος συμβατικού τρόπου κάλυψης ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών

Από την πλευρά του τελικού χρήστη, το σύστημα συμπαραγωγής θεωρείται ότι υποκαθιστά την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας από την επιχείρηση ηλεκτρισμού και την παραγωγή θερμότητας με λέβητα συμβατικού καυσίμου (συμβατικό τρόπος). Το κόστος για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό και θερμότητα με τον τρόπο αυτόν συμβολίζονται με  $K_\eta$  και  $K_\theta$  αντίστοιχα. Όταν υπάρχει περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα συμπαραγωγής, τότε αυτή πωλείται στο δίκτυο και αποφέρει κάποια πρόσδοδο  $\Pi$ .

Η τιμή του  $K_\eta$  είναι συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Προσδιορίζεται με βάση τα τιμολόγια καταναλωτών της επιχείρησης ηλεκτρισμού. Η τιμή του  $\Pi$  εξαρτάται από την πωλούμενη ηλεκτρική ενέργεια και προσδιορίζεται με βάση τα τιμολόγια αυτοπαραγωγών της Δ.Ε.Η.. Το κόστος θερμότητας  $K_\theta$ , θεωρείται εδώ ότι αποτελείται από το κόστος καυσίμου, δηλαδή δεν περιλαμβάνει το κόστος κεφαλαίου του λέβητα, διότι ο λέβητας μπορεί να υπάρχει ως εφεδρική πηγή ενέργειας ακόμη και όταν εγκατασταθεί σύστημα συμπαραγωγής. Δίνονται στη συνέχεια οι εκφράσεις προσδιορισμού των  $K_\eta$ ,  $K_\theta$  και  $\Pi$

στο επίπεδο του τελικού χρήστη καθώς και ορισμένων ενεργειακών μεγεθών που απαιτούνται για το σκοπό αυτό.

Το κόστος ηλεκτρισμού, που αποφεύγεται χάρη στο σύστημα συμπαραγωγής, υπολογίζεται με τη σχέση

$$K_{\eta} = \sum_{\mu=1}^{12} [\varepsilon_{\eta} \cdot T_{\Delta E H} \cdot I + \kappa_P \cdot P]_{\mu} \quad (4.22)$$

όπου

$\varepsilon_{\eta}$	μηνιαία παραγωγή ηλεκτρισμού του συστήματος συμπαραγωγής,
$T_{\Delta E H}$	τιμολόγιο κατανάλωσης της ΔΕΗ,
$I$	ποσοστό της παραγόμενης από το σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο ιδιοκαταναλίσκεται (εκφρασμένο σε δεκαδικό αριθμό),
$P$	συμβατική ισχύς (αποτελεί συμφωνία μεταξύ επιχείρησης και ΔΕΗ),
$\kappa_P$	τιμή μονάδας συμβατικής ισχύος,
$\mu$	δείκτης μήνα.

Η ετήσια πρόσοδος από την πώληση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας προσδιορίζεται με τη σχέση

$$\Pi = \sum_{\mu=1}^{12} [\varepsilon_{\eta} \cdot T_{\alpha \nu \tau} \cdot (1 - I)]_{\mu} \quad (4.23)$$

όπου  $T_{\alpha \nu \tau}$  είναι το τιμολόγιο αυτοπαραγωγών της ΔΕΗ.

Το κόστος θερμότητας, που αποφεύγεται χάρη στο σύστημα συμπαραγωγής, υπολογίζεται με τη σχέση

$$K_{\theta} = \frac{c_{f\lambda} \cdot E_{\theta}}{H_{u\lambda} \cdot \eta_{\lambda}} \quad (4.24)$$

όπου

$c_{f\lambda}$	κόστος μονάδας καυσίμου του λέβητα,
$E_{\theta}$	ετήσιο ποσό θερμότητας που προήλθε από το σύστημα συμπαραγωγής,
$H_{u\lambda}$	κατώτερη θερμογόνοος ικανότητα καυσίμου του λέβητα,
$\eta_{\lambda}$	ενεργειακός βαθμός απόδοσης συμβατικού λέβητα.

#### 4.3.4 Κόστος λειτουργίας και συντήρησης συστήματος συμπαραγωγής

Το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης των συστημάτων συμπαραγωγής αποτελείται από τις δαπάνες καυσίμου και τις υπόλοιπες δαπάνες (προσωπικού, συντήρηση, αναλώσιμων, ανταλλακτικών, κ.λ.π.). Το ετήσιο κόστος καυσίμου προσδιορίζεται από τη σχέση

$$K_{f\pi} = \frac{c_{f\pi} \cdot E_{\eta}}{H_{u\pi} \cdot \eta_e} \quad (4.25)$$

όπου



$c_{fs}$  κόστος μονάδας καυσίμου του συστήματος συμπαραγωγής,  
 $E_{\eta}$  ετήσια παραγωγή ηλεκτρισμού του συστήματος συμπαραγωγής,  
 $H_{u\Sigma}$  κατώτερη θερμογόνος ικανότητα καυσίμου του συστήματος  
συμπαραγωγής,  
 $\eta_e$  ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής.

Οι υπόλοιπες δαπάνες λειτουργίας και συντήρηση διακρίνονται σε δύο κατηγορίες

$$\Delta = \Delta_{\sigma} + \Delta_{\mu} \quad (4. 26)$$

όπου

$\Delta_{\sigma}$  σταθερές δαπάνες,  
 $\Delta_{\mu}$  μεταβλητές δαπάνες.

## Κεφάλαιο 5 -Βέλτιστος σχεδιασμός και λειτουργία των συστημάτων συμπαραγωγής

Η επιλογή του είδους του συστήματος, η διαστασιολόγησή του και ο τρόπος λειτουργίας του σε κάθε χρονική στιγμή είναι θέματα που πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσεκτική μελέτη έτσι ώστε να επιτευχθεί η βιωσιμότητα της κάθε εφαρμογής.

### 5.1 Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων συμπαραγωγής

Οι τρόποι λειτουργίας, δηλαδή οι τρόποι ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος σε κάθε χρονική στιγμή, είναι:

- Παραγωγή θερμότητας ίση με το θερμικό φορτίο (heat match).

Εάν παράγεται περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από το φορτίο, η περίσσεια πωλείται στο δίκτυο. Εάν παράγεται λιγότερη, τότε το έλλειμμα συμπληρώνεται από το δίκτυο.

- Παραγωγή ηλεκτρισμού ίσου με το ηλεκτρικό φορτίο (electricity match).

Πρόσθετες ανάγκες θερμότητας καλύπτονται από βοηθητικό λέβητα, ενώ η περίσσεια θερμότητα μπορεί να αποβάλλεται από ψυγεία.

- Μικτός τρόπος (Mixed-match mode).

Παρακολουθήση άλλοτε του θερμικού και άλλοτε του ηλεκτρικού φορτίου. Η απόφαση βασίζεται στην εκτίμηση παραμέτρων όπως είναι τα επίπεδα των φορτίων, η τιμή των καυσίμων και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την συγκεκριμένη ημέρα και ώρα.

- Πλήρης κάλυψη του θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου σε κάθε χρονική στιγμή χωρίς σύνδεση με το δίκτυο (Stand-alone mode ή Αυτόνομη Λειτουργία).

Απαιτείται επαρκής εφεδρεία ισχύος και πολύπλοκο σύστημα συμπαραγωγής.

Ο πρώτος τρόπος προσφέρει τη υψηλότερη ενεργειακή και οικονομική απόδοση για τα συστήματα στον βιομηχανικό και τριτογενή τομέα. Είναι φανερό ότι ο τρόπος λειτουργίας εξαρτάται από και επηρεάζει τον σχεδιασμό του συστήματος. Κρίσιμη για την οικονομικότητα του είναι η διαστασιολόγηση των μηχανημάτων, δηλαδή ποιο φορτίο θα καλύπτει (αιχμής, βάσης, κτλ). [1][5][11]

### 5.2 Διαδικασία επιλογής συστήματος και σχεδιασμός

Πριν από οποιαδήποτε εκτίμηση της εφαρμογής της συμπαραγωγής, πρέπει να μελετηθούν πιθανές αλλαγές στις ενεργειακές απαιτήσεις. Για παράδειγμα εάν ληφθούν μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, τότε το γεγονός αυτό όχι μόνο οδηγεί σε εξοικονόμηση χρημάτων, αλλά και επηρεάζει σημαντικά την επιλογή του συστήματος.

Η επιλογή του βέλτιστου συστήματος πρέπει να βασιστεί σε κριτήρια που έχουν σχέση με την οικονομική απόδοση, την ενεργειακή απόδοση, την αδιάκοπη λειτουργία και άλλα μέτρα απόδοσης.

Επομένως με σκοπό την βελτιστοποίηση πρέπει να ληφθούν αποφάσεις σχετικά με:

- Το είδος του συστήματος
- Το ποσοστό κάλυψης του θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου από το σύστημα
- Την σύνδεση ή μη του συστήματος με το ηλεκτρικό δίκτυο, καθώς και το είδος της σύνδεσης.
- Τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος

Επίσης πρέπει να ληφθούν υπόψη νόμοι και σχετικοί κανονισμοί ή αποφάσεις, που μπορεί να επιβάλλουν όρια στις σχεδιαστικές και λειτουργικές παραμέτρους, όπως το επίπεδο θορύβου, οι εκπομπές ρύπων κ.α.

Η όλη διαδικασία από την αρχική σκέψη μέχρι τον τελικό σχεδιασμό μπορεί να χωριστεί σε τρία στάδια:

- Αρχική εκτίμηση
- Μελέτη σκοπιμότητας και επιλογή συστήματος
- Αναλυτικός σχεδιασμός

Γενικά η επιλογή μπορεί να ακολουθήσει την εξής πορεία:

1. Προσδιορίζονται ποσοτικά και ποιοτικά τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία, όπως μεταβάλλονται με το χρόνο ή τουλάχιστον σε χαρακτηριστικές καταστάσεις (εργάσιμη μέρα, αργία). Έτσι υπολογίζεται μια μέση τιμή του λόγου P<sub>HR</sub>, με βάση τις σημαντικότερες περιόδους λειτουργίας από πλευράς φορτίου και διάρκειας.
2. Επιλέγεται σύστημα λειτουργίας με λόγο P<sub>HR</sub> πλησιέστερο σε αυτόν που προσδιορίστηκε στο βήμα 1.
3. Προσδιορίζεται η ηλεκτρική ισχύς του συστήματος, ώστε η αποδιδόμενη θερμική να χρησιμοποιείται ωφέλιμα.
4. Για κάθε επιθυμητό τρόπο λειτουργίας αξιολογείται το σύστημα από ενεργειακή και οικονομική πλευρά.
5. Επαναλαμβάνεται η αξιολόγηση για σύστημα άλλης τεχνολογίας ή άλλης ισχύος.
6. Επιλέγεται το σύστημα με την καλύτερη απόδοση (ενεργειακά και οικονομικά κριτήρια)
7. Μελετώνται οι ευρύτερες επιπτώσεις της εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος

Η μεγάλη ποικιλία λύσεων από πλευράς σχεδιασμού και λειτουργίας οδήγησε στην δημιουργία προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Η εφαρμογή μεθόδων μαθηματικής βελτιστοποίησης είναι απαραίτητη για την τεχνικά και οικονομικά καλύτερη λύση ανά περίπτωση. [1]

## 5.3 Καμπύλες φορτίων

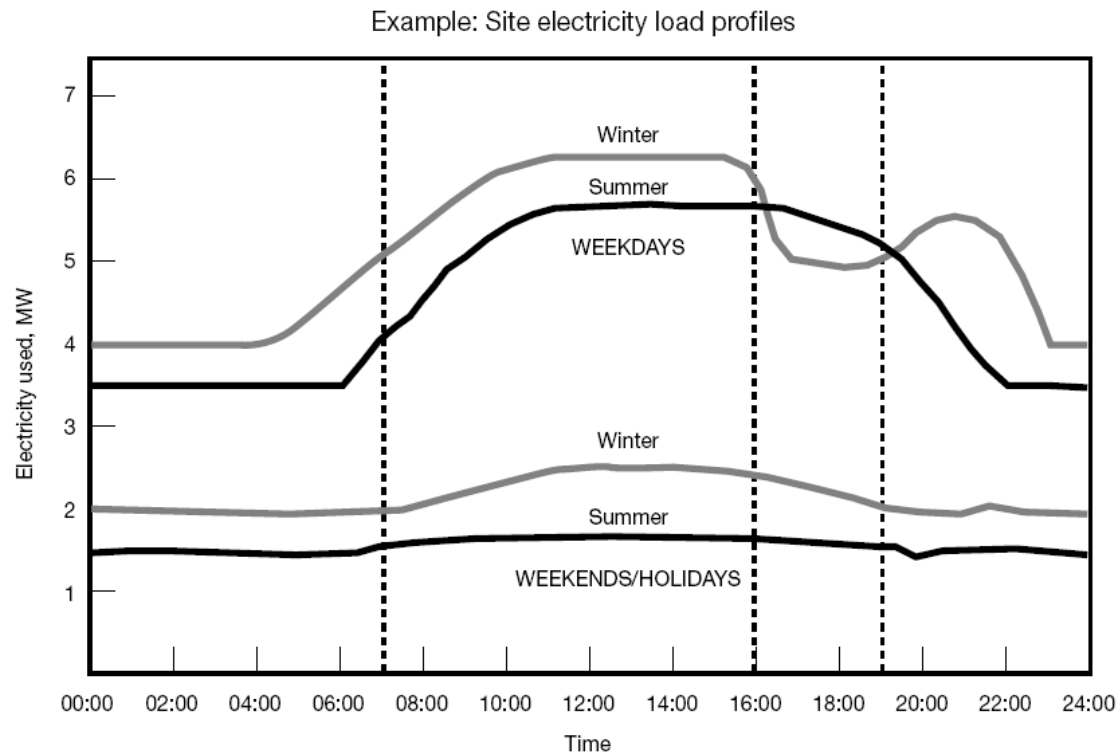
### 5.3.1 Προφίλ φορτίων

Τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία μεταβάλλονται με το χρόνο. Κάθε μία μορφή ενέργειας που απαιτείται έχει το δικό της προφίλ. Επιπροσθέτως οι αιχμές των διάφορων φορτίων δεν παρουσιάζονται συγχρόνως. Αν η επιλογή του συστήματος βασιστεί σε μέσους όρους φορτίων, τότε το πιο πιθανό είναι να έχει ως αποτέλεσμα χαμηλή ολική ετήσια απόδοση, χαμηλό λόγο εξοικονόμησης καυσίμου και χαμηλή οικονομική απόδοση.

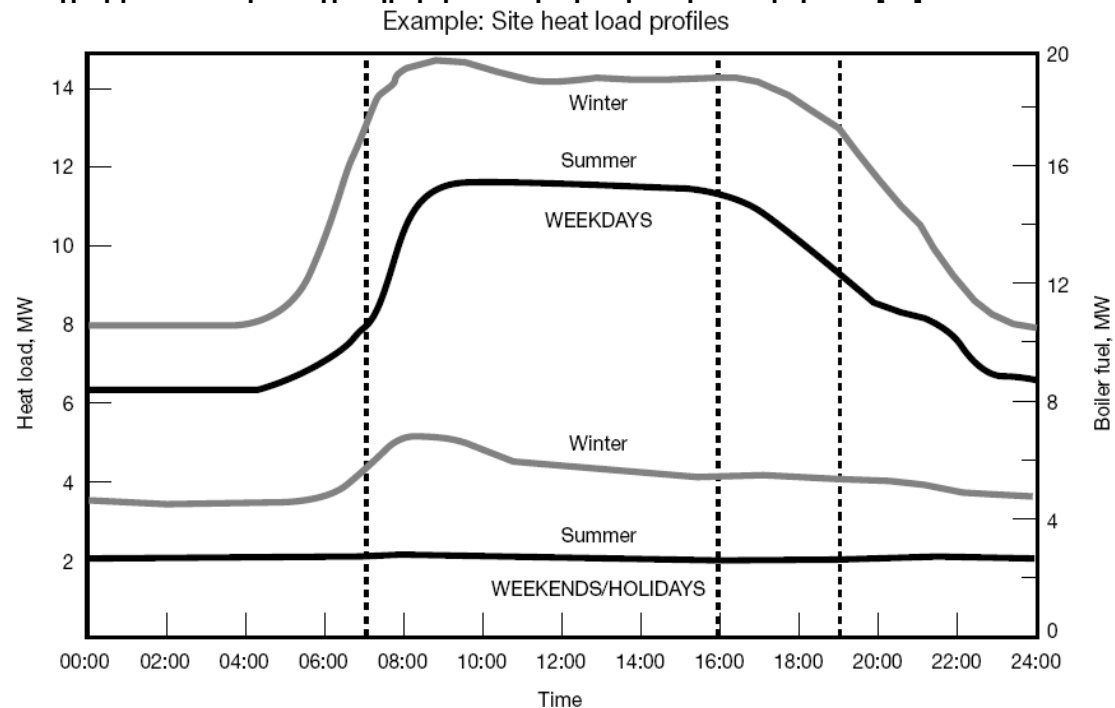
Για μια νέα εγκατάσταση, πηγή χρήσιμων πληροφοριών μπορεί να αποτελούν παρόμοιες εγκαταστάσεις, για τις οποίες υπάρχουν τα απαραίτητα στοιχεία.

Για τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις, οι πληροφορίες μπορούν να προέλθουν από λογαριασμούς καυσίμων και ηλεκτρισμού. Τα δεδομένα θα πρέπει να υποστούν ανάλογη επεξεργασία ώστε να παρέχουν ουσιαστικές πληροφορίες. Για παράδειγμα, για να υπολογιστεί η θερμική ενέργεια που τελικά χρησιμοποιείται, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη το βαθμό απόδοσης του λέβητα. Στην περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμες επαρκείς πληροφορίες, ειδικές συσκευές μέτρησης σε συνεργασία με το δίκτυο μπορούν να τοποθετηθούν και να δώσουν τα αναγκαία δεδομένα. Οποιαδήποτε μελλοντικά σχέδια επεκτάσεων ή τροποποιήσεων της εγκατάστασης πρέπει να συμπεριληφθούν για την πρόβλεψη μελλοντικών φορτίων.

Σκοπός είναι να κατασκευάσουμε το ωριαίο ημερήσιο προφίλ των φορτίων. Τα προφίλ σχεδιάζονται έτσι ώστε να απεικονίζουν όμοιες, από άποψη φορτίου, μέρες. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχουν χαρακτηριστικά προφίλ ανάλογα με την εποχή, τον μήνα, την μέρα της εβδομάδας (εργάσιμη ή αργία)



**Διάγραμμα 5. 1 Παράδειγμα ημερήσιου προφίλ ηλεκτρικού φορτίου [13]**

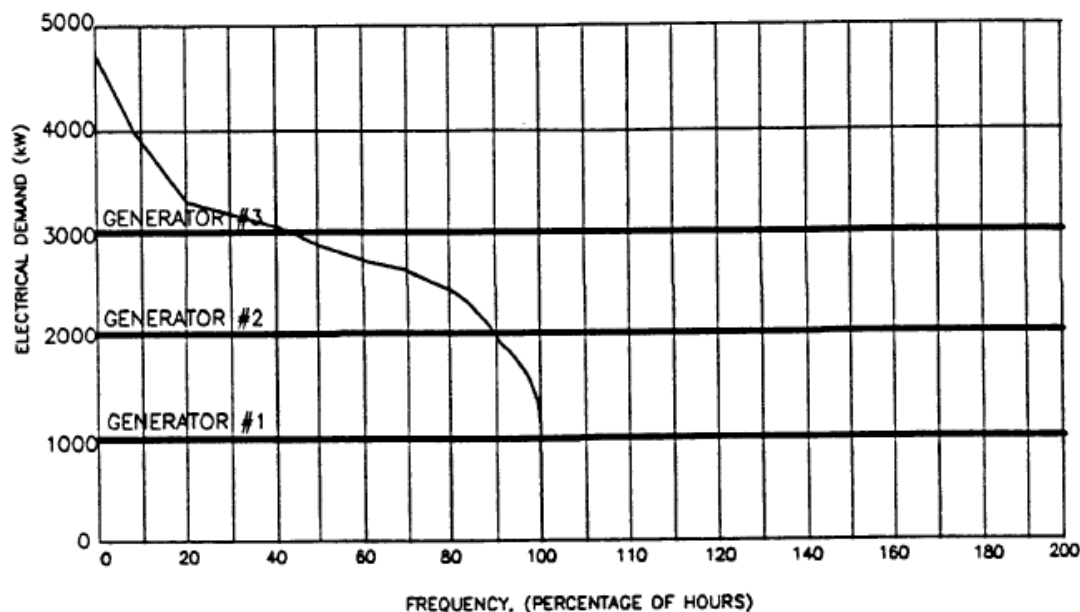


**Διάγραμμα 5. 2 Παράδειγμα ημερήσιου προφίλ θερμικού φορτίου [13]**

### 5.3.2 Καμπύλες διάρκειας φορτίου

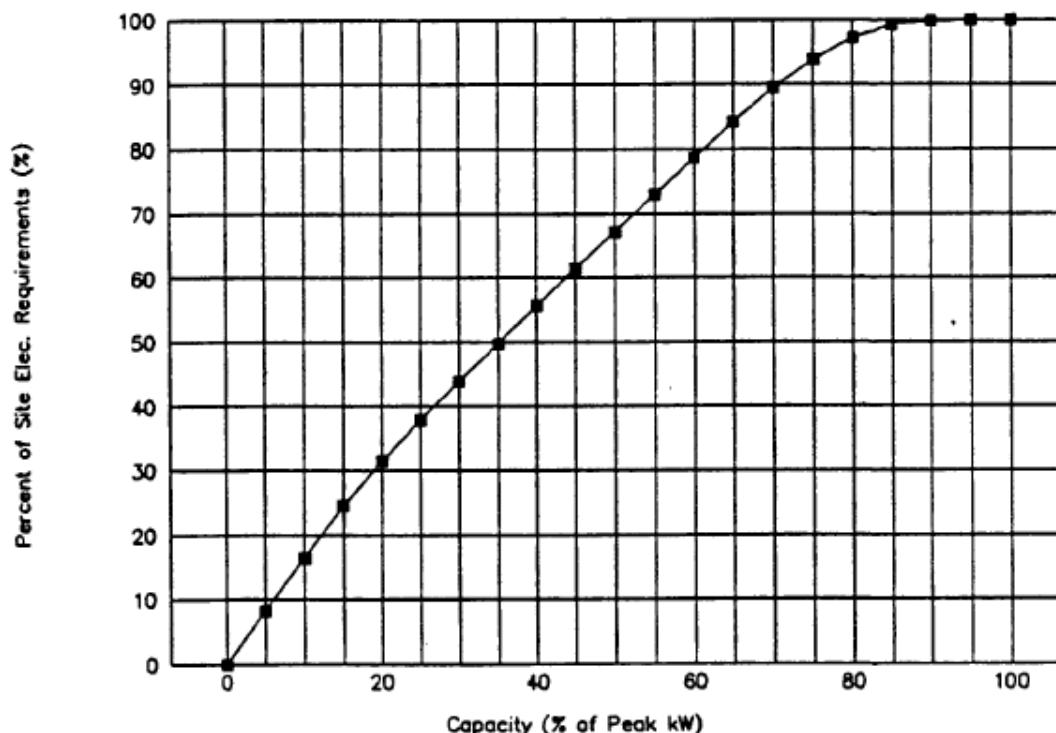
Για κάθε μορφή ενέργειας είναι χρήσιμο να σχεδιάσουμε την καμπύλη διάρκειας φορτίου, η οποία δείχνει πόσες ώρες συνολικά (σε ένα μήνα ή χρόνο) η απαιτούμενη θερμότητα ξεπέρασε μια συγκεκριμένη τιμή. Στους άξονες του διαγράμματος μπορούμε είτε να έχουμε τις τιμές (kW, ώρες) είτε ποσοστά (επί της συνολικής ζήτησης, επί του χρονικού διαστήματος).

Η καμπύλη διάρκειας φορτίου μας παρέχει πληροφορίες σχετικά με το φορτίο βάσης ή το φορτίο αιχμής. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται για καλύτερη κατανόηση.



**Διάγραμμα 5. 3 Παράδειγμα καμπύλης διάρκειας ηλεκτρικού φορτίου σε συνδυασμό με τη λειτουργία τριών γεννητριών**

Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζεται μια καμπύλη διάρκειας φορτίου με αιχμή 4800kW. Ας υποθέσουμε ότι εγκαθίστανται 3 μηχανές-γεννήτριες, η καθεμία με ισχύ 1000kW. Η πρώτη λειτουργεί στο ονομαστικό φορτίο διαρκώς. Η δεύτερη στο 95% του ονομαστικού και η τρίτη στο 65%. Η απόδοση των μηχανών για λειτουργία σε μερικό φορτίο είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη, καθώς συνεπάγεται χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση. Άλλοι συνδυασμοί ως προς τον αριθμό των μηχανών και τις ονομαστικές τους ισχύς μπορούν να εξεταστούν με τη βοήθεια της καμπύλης διάρκειας φορτίου. Παράλληλα θα πρέπει να εξεταστεί και η αντίστοιχη καμπύλη για το θερμικό φορτίο. [3]



Διάγραμμα 5. 4 Παράδειγμα μηνιαίας καμπύλης ισχύος

### 5.3.3 Καμπύλη ισχύος φορτίου

Ολοκληρώνοντας τον προσδιορισμό της περιοχής κάτω από την καμπύλη διάρκειας φορτίου, δημιουργούμε την καμπύλη ισχύος φορτίου ( capacity load curve), που συσχετίζει την ζητούμενη ισχύ με το συνολικό φορτίο που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ενέργειας ή κάτω από αυτό.

Σύμφωνα με το σχήμα 5.4 η εγκατάσταση θα χρησιμοποιήσει το 90% της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας στο διάστημα ενός μηνός σε επίπεδα ενέργειας που ισοδυναμούν με το 70% της αιχμής ενέργειας. Συνεπώς εάν μια μηχανή έχει διαστασιολογηθεί να καλύπτει το 70% της μέγιστης ενέργειας, τότε αυτή θα παρέχει το 90% της ζήτησης ενέργειας στο διάστημα ενός μηνός. Για να αυξήσουμε την παροχή της ενέργειας από 90% στο 100%, δηλαδή μια αύξηση της τάξεως του 11%, η ισχύς της μηχανής θα πρέπει να αυξηθεί από 70% στο 100%, δηλαδή κατά 43%. Η αύξηση της ισχύς της μηχανής πάνω από 40%, για μια αύξηση κατά 11% της παραγόμενης ενέργειας, μπορεί να μην συμφέρει οικονομικά, εκτός και αν η περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί στο δίκτυο με ευνοϊκούς όρους. Παράλληλα θα πρέπει να εξεταστεί εάν η παραγόμενη θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σε ικανοποιητικό επίπεδο. [3]

### 5.4 Προσομοίωση και εκτίμηση απόδοσης

Ο σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι να υπολογιστούν τα ενεργειακά και οικονομικά κριτήρια. Συγκεκριμένα στην περίπτωση των ενεργειακών κριτηρίων, ετήσιες δεδομένα είναι απαραίτητα. Για αυτό κατασκευάζεται ένα μαθηματικό μοντέλο του συστήματος και γενικότερα της εγκατάστασης, καθώς αυτή χαρακτηρίζεται από διαφορετικά φορτία.

Το μοντέλο μπορεί να είναι είτε πρόχειρο, βασισμένο σε μέσες τιμές ζήτησης και απόδοσης, είτε ακριβείας, βασισμένο στην ζήτηση κάθε ώρα του χρόνου και στην πραγματική απόδοση του συστήματος και το πως η τελευταία επηρεάζεται από τη λειτουργία σε μερικό φορτίο και τις συνθήκες υπό τις οποίες λειτουργεί.

Σε κάθε επίπεδο προσέγγισης, δεδομένα όπως τα παρακάτω, πρέπει να προσδιοριστούν, για να επιλεγθεί ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος.

- Τα θερμικά και ηλεκτρικά φορτία της εγκατάστασης
- Η ηλεκτρική ισχύς του κάθε συστήματος συμπαραγωγής
- Η ισχύς που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση
- Η ισχύς που αγοράζεται από ή πωλείται στο δίκτυο
- Η παραγόμενη θερμική ισχύς από κάθε μονάδα
- Η παραγόμενη θερμική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής
- Η κατανάλωση καυσίμου από κάθε μονάδα συμπαραγωγής
- Η κατανάλωση καυσίμου από επιπρόσθετους λέβητες
- Η κατανάλωση καυσίμου που εξοικονομείται χάρη στη συμπαραγωγή
- Τον ετήσιο αριθμό ωρών λειτουργίας του συστήματος συμπαραγωγής, με την προϋπόθεση ότι αυτός δεν ξεπερνά την διαθεσιμότητα του συστήματος
- Ο συντελεστής φορτίου του συστήματος συμπαραγωγής
- Το ποσοστό του ηλεκτρισμού, που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής, και χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση
- Το ποσοστό της κάθε μορφής απαιτούμενης ενέργειας που καλύπτεται από τη συμπαραγωγή
- Ο ετήσιος ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής
- Ο ετήσιος θερμικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής
- Ο ετήσιος ολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος
- Η κατανάλωση καυσίμου για χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας
- Ο λόγος εξοικονόμησης καυσίμου

Για κάθε εγκατάσταση τα οικονομικά και ενεργειακά κριτήρια υπολογίζονται για διάφορες τεχνολογίες συμπαραγωγής και διάφορους συνδυασμούς. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων οδηγούν στο πιο κατάλληλο σύστημα για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η τεχνολογική και οικονομική εκτίμηση όμως για μια τόσο μεγάλη ποικιλία συνδυασμών, είναι εξαιρετικά πολύπλοκη και χρονοβόρα. Μαθηματικές μέθοδοι βελτιστοποίησης μπορούν να εφαρμοστούν για να διευκολύνουν την διαδικασία. [3]

### 5.5 Συμπεράσματα

Η εμπειρία έχει αποδείξει ότι οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για συμπαραγωγή όταν το σύστημα συμπαραγωγής πρόκειται να λειτουργήσει επί αρκετές ώρες το έτος (πάνω από 4000h/y) και οι καμπύλες θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου να μην παρουσιάζουν μεγάλη χρονική απόκλιση (διαφορά φάσης) μεταξύ τους. Όταν όμως ο ετεροχρονισμός είναι έντονος, ίσως χρειασθεί η εγκατάσταση συστήματος αποθήκευσης θερμότητας (ή ηλεκτρισμού), προκειμένου να είναι ενεργειακά αποδοτική η λειτουργία του συστήματος συμπαραγωγής.[3]

## Κεφάλαιο 6 -Νοσοκομεία

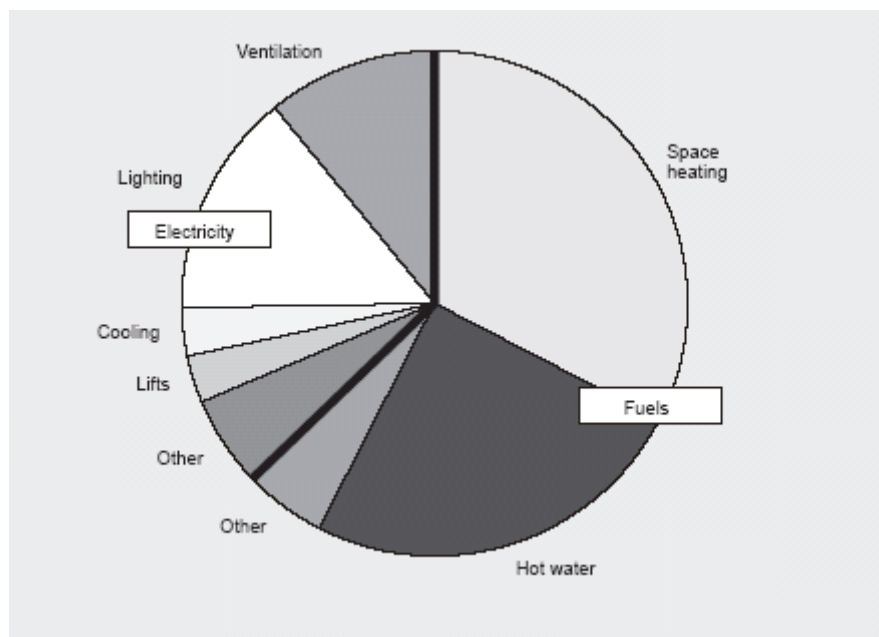
### 6.1 Η συμπαράγωγή στον τομέα της υγείας

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο τα νοσοκομεία υπάγονται στον εμπορικό – κτιριακό τομέα, στον οποίο η εφαρμογή της συμπαράγωγής ενδείκνυται.

Τα νοσοκομεία αποτελούν καταναλωτές σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Η κατανάλωση θερμικής ενέργειας καλύπτει φορτία, όπως: θέρμανση, ζεστό νερό, θερμικό φορτίο για την κουζίνα, θερμικό φορτίο για το πλυντήριο, ατμός, αποστείρωση, απολύμανση.

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτει φορτία, όπως : φωτισμός, κλιματισμός, ανελκυστήρες, σταθερός και φορητός ιατρικός εξοπλισμός, ηλεκτρικές παροχές για Η/Υ, ηλεκτρικό φορτίο για την κουζίνα και ηλεκτρικό φορτίο για το πλυντήριο.

Τα νοσοκομεία καλύπτουν τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία τους με τον συμβατικό τρόπο, δηλαδή οι λέβητες που βρίσκονται στο χώρο του κτιρίου παρέχουν την θερμική ενέργεια, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και φτάνει σε αυτά μέσω του δικτύου μεταφοράς και διανομής. Ο τρόπος με τον οποίο καλύπτονται τα διάφορα φορτία από την ηλεκτρική και θερμική ενέργεια, παρουσιάζεται στο σχήμα 6.1.



όπου space heating : θέρμανση χώρων

hot water: ζεστό νερό

lifts: ανελκυστήρες

cooling: κλιματισμός

lighting: φωτισμός

ventilation: εξαερισμός

other: άλλες καταναλώσεις

**Σχήμα 6. 1 Απεικόνιση του τρόπου κατανομής της ενεργειακής κατανάλωσης, ανάλογα με τις ουσιαστικές εφαρμογές σε ένα νοσοκομείο (Η έντονη γραμμή διαχωρίζει την ηλεκτρική από τη θερμική ενέργεια)**



Το κόστος της ενέργειας που καταναλώνεται στα νοσοκομεία υπόκειται και επηρεάζεται από παράγοντες της αγοράς, όπως η προσφορά και ζήτηση, η μεταβολή των τιμών και των φόρων και η μορφή της χρησιμοποιούμενης ενέργειας. Αρκετές χώρες έρχονται επιπλέον αντιμέτωπες με φόρους που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος ανάλογα με τη μορφή και την ποσότητα της ενέργειας που χρησιμοποιείται.

Τα νοσοκομεία λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ολόκληρο το χρόνο και καταναλώνουν τις ίδιες ποσότητες ενέργειας είτε βρίσκονται λίγοι ασθενείς στο χώρο του κτιρίου είτε πολλοί, καθώς οι επικρατούσες συνθήκες μέσα σε ένα νοσοκομείο πρέπει να παραμένουν σταθερές. Έχουν σημαντικό βασικό φορτίο θερμότητας και ηλεκτρισμού. Παράλληλα η εξασφάλιση συνεχούς παροχής ενέργειας σε περίπτωση έκτακτων περιστατικών γίνεται ως τώρα με εφεδρικές γεννήτριες.

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι με την πάροδο του χρόνου οι ανάγκες των ήδη υπάρχοντων νοσοκομείων μεταβάλλονται εξαιτίας πιθανών επεκτάσεων ή λήψεων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Από την άλλη τα εγκατεστημένα συστήματα στο νοσοκομείο με το χρόνο υπόκεινται σε φθορές, οι οποίες για την καλύτερη εκμετάλλευση ενέργειας θα πρέπει να διορθώνονται, και γενικότερα κρίνεται απαραίτητη η συντήρηση του τεχνικού εξοπλισμού. Βελτιώσεις και αντικαταστάσεις στον ήδη υπάρχοντα εξοπλισμό είναι επίσης πιθανές. [8][14]

## 6.2 Συνθήκες εσωτερικών χώρων

Οι συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό του νοσοκομείου καθορίζονται κυρίως από τις δραστηριότητες που εκτελούνται σε αυτό. Κάθε νοσοκομείο διαθέτει μοναδικό σχεδιασμό και μέγεθος, ενώ παρέχει ιδιαίτερες υπηρεσίες. Η ενεργειακή αποδοτικότητα αποτελεί σημαντική απαίτηση, ωστόσο προτεραιότητα έχουν οι ιατρικές απαιτήσεις.

Οι περισσότερες χώρες έχουν θεσπίσει κανονισμούς που αφορούν τρόπους για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των νοσοκομειακών χώρων. Οι συγκεκριμένες προδιαγραφές αφορούν κυρίως στη θερμομόνωση, εξαερισμό, φωτισμό και επίπεδα θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους.

➤ **Θερμομόνωση:** Οι θερμικές ιδιότητες του κτιρίου χαρακτηρίζονται ιδιαίτερα σημαντικές, αφού το νοσοκομείο απαιτεί εσωτερικές θερμοκρασίες που κυμαίνονται στους 21-22°C. Ωστόσο, τους καλοκαιρινούς μήνες η εσωτερική θερμοκρασία μπορεί να φθάσει μέχρι και τους 26°C.

➤ **Εξαερισμός:** Η ανάγκη συνεχούς εξαερισμού του νοσοκομείου είναι επιβεβλημένη, καθώς και της παροχής καθαρού αέρα. Ο αέρας μολύνεται από τους παρευρισκομένους (ασθενείς, προσωπικό, επισκέπτες, κλπ) στο νοσοκομείο και από τις διάφορες δραστηριότητες σε αυτό. Έτσι κρίνεται αναγκαίο να ανανεώνεται προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι μολυσματικοί παράγοντες.

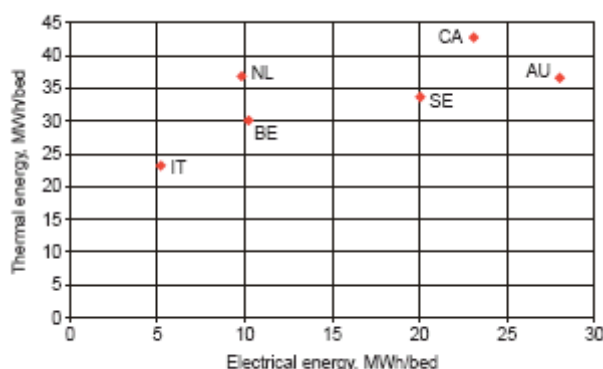
Τα επίπεδα εξαερισμού κυμαίνονται περί τα 35-140 m<sup>3</sup>/(hour·person) ανάλογα με τη φύση του δωματίου(απλός θάλαμος ή Μονάδα Εντατικής Θεραπείας).

➤ **Φωτισμός:** Το φως της ημέρας είναι αναμφισβήτητο το πιο ιδανικό και φιλικό προς τον άνθρωπο είδος φωτισμού. Ο σχεδιασμός των χώρων που προορίζονται για ασθενείς, θα πρέπει να περιλαμβάνει μεγάλα παράθυρα. Το μέγεθος, ο προσανατολισμός και η τοποθέτησή τους στα δωμάτια θα παρέχουν επαρκή επίπεδα φωτισμού, καθώς και μία σαφή εικόνα του περιβάλλοντα χώρου. Το συγκεκριμένο γεγονός προσδίδει στον ασθενή το αίσθημα της επαφής με τον έξω κόσμο και συμβάλλει ψυχολογικά στην ανάρρωση αυτού. Στον αντίποδα των μόλις αναφερόμενων πλεονεκτημάτων συναντάμε τις ανεπιθύμητες επιρροές της αντηλιάς και υπερθέρμανσης. Αυτές, αν δεν αποφευχθούν, συμβάλλουν στην προφανή ταλαιπωρία των ασθενών και στην ανάγκη αύξησης της ψύξης.

- **Θερμοκρασία:** Προκειμένου να διατηρηθεί το περιβάλλον φιλικό προς τον ασθενή, η θερμοκρασία στο εσωτερικό του νοσοκομείου είναι 1-4°C υψηλότερη από εκείνη των κοινών κτιρίων. Μία τυπική θερμοκρασία για τους θαλάμους είναι περίπου 22°C. Όταν παρατηρηθεί απόκλιση από την επιθυμητή θερμοκρασία, απαιτείται μείωση ή αύξηση αυτής. Τα ιατρικά κέντρα υγείας και τα νοσοκομεία απαιτούν θερμοκρασίες μεταξύ 22 και 26°C, γεγονός το οποίο συνεπάγεται υψηλά επίπεδα ενεργειακών καταναλώσεων
- **Υγρασία:** Η φύση του κυκλοφορούντος αέρα δεν θα πρέπει να είναι ούτε ξηρή (προκαλείται αφυδάτωση) ούτε υγρή (προκαλείται εφίδρωση και αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης μυκήτων). Τα επιτρεπτά επίπεδα κυμαίνονται μεταξύ 35-70% σε κανονικές για το νοσοκομείο θερμοκρασίες (22-26°C).

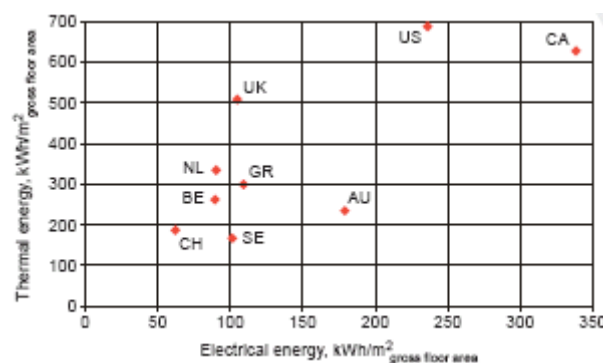
### 6.3 Καταναλώσεις στα νοσοκομεία

Είναι σημαντικό όταν μελετάμε τα ενεργειακά δεδομένα ενός νοσοκομείου, να επεξεργαζόμαστε τις διαφορετικές μορφές ενέργειας ξεχωριστά. Συνεπώς τα ενεργειακά στατιστικά παρουσιάζονται με βάση ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις. Για διευκόλυνση της σύγκρισης μεταξύ των ενεργειακών αποδόσεων, τα δεδομένα μπορεί να δίνονται ανά κλίνη, ανά τετραγωνικό μέτρο θερμαινόμενου χώρου και ανά τετραγωνικό μέτρο της ολικής επιφάνειας. Για παράδειγμα παρατίθενται τα ακόλουθα σχήματα όπου απεικονίζεται η μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου ανά κλίνη και ανά μονάδα επιφάνειας.



όπου CA : Καναδάς, AU : Αυστραλία, NL : Ολλανδία, BE : Βέλγιο, SE : Σουηδία, IT:Ιταλία

**Σχήμα 6. 2 Μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου ανά κλίνη (MWh/κλίνη), σε νοσοκομεία έξι χωρών**



όπου CA : Καναδάς, AU : Αυστραλία, NL : Ολλανδία, BE : Βέλγιο, SE : Σουηδία, IT : Ιταλία, UK : Μεγ. Βρετανία, GR : Ελλάδα, CH : Ελβετία, US : Η.Π.Α.

**Σχήμα 6. 3 Μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου ανά μονάδα επιφάνειας (kWh/m²), σε νοσοκομεία εννέα χωρών**

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κλίνη ποικίλλει από 5,1 MWh (Ιταλία) έως 28.1 MWh (Αυστραλία), με έναν μέσο όρο 16,1 MWh ανά κλίνη. Η κατανάλωση θερμικής ενέργειας κυμαίνεται από 23.3 MWh (Ιταλία) έως 42.8 MWh (Καναδάς), με μέσο όρο 33.9 MWh ανά κλίνη.

Παρατηρούμε μεγαλύτερη απόκλιση των τιμών της ενεργειακής κατανάλωσης ανάμεσα στα νοσοκομεία των διάφορων χωρών. Τα νοσοκομεία στην Αυστραλία καταναλώνουν 6 φορές περισσότερο ηλεκτρισμό από αυτά της Ιταλίας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στις κλιματικές διαφορές, στην ηλικία των συστημάτων ή στα ίδια τα κτίρια. Η υψηλή κατανάλωση στην Σουηδία και στον Καναδά μπορεί να οφείλεται στις αρκετά χαμηλές τιμές ηλεκτρισμού.

Η ηλεκτρική κατανάλωση ανά μονάδα της ολικής επιφάνειας κυμαίνεται από 61 kWh (Ελβετία) έως 339 kWh (Καναδάς), με μέσο όρο 145 kWh ανά μονάδα επιφάνειας. Η θερμική κατανάλωση ανά επιφάνεια κυμαίνεται από 168 kWh (Σουηδία) έως 690 kWh (ΗΠΑ), με μέσο όρο 367 kWh ανά κλίνη. Οι κλιματικές συνθήκες και το μέγεθος των κτιρίων ανά χώρα παίζουν πολύ μεγάλο ρόλο στις παραπάνω τιμές. [14]

## 6.4 Πλεονεκτήματα της εφαρμογής της συμπαραγωγής στα νοσοκομεία

Ευνοϊκή είναι η εφαρμογή της συμπαραγωγής στα νοσοκομεία καθώς λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ολόκληρο το χρόνο και έχουν βασικά φορτία ηλεκτρισμού και θερμότητας. Είναι καταναλωτές μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Με την εφαρμογή της συμπαραγωγής στα νοσοκομεία, τα τελευταία μπορούν να απολαμβάνουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

➤ **Εξοικονόμηση οικονομικών πόρων :** Αυτό αποδίδεται στην ουσιαστική μείωση του κόστους που καταβάλλει το νοσοκομείο για την παραγωγή θερμικής και την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, τα παραπάνω οικονομικά μεγέθη πρέπει να αντισταθμιστούν από το κόστος της εγκατάστασης της μονάδας συμπαραγωγής. Το τελευταίο εξαρτάται από τον τρόπο χρηματοδότησης του συγκεκριμένου έργου. Έχει παρατηρηθεί σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που ήδη έχουν βάλει σε εφαρμογή την συμπαραγωγή, ότι οι δαπάνες για την εξασφάλιση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να μειωθούν ως και 30%.

➤ **Καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών και αυξημένη αξιοπιστία:** Τα νοσοκομεία οφείλουν να παρέχουν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας. Είναι αναπόφευκτες, όμως, οι βλάβες και οι συντηρήσεις, οι οποίες επιδρούν στην παροχή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η συμπαραγωγή βελτιώνει την ποιότητα των υπηρεσιών. Επίσης αυξάνεται η αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είτε αντιμετωπίζοντας μια πιθανή ανάγκη αυξημένης ζήτησης (καθώς οι μονάδες συμπαραγωγής μπορούν να λειτουργούν παράλληλα με την εισαγωγή ηλεκτρισμού από το δίκτυο) είτε αντιμετωπίζοντας μια πιθανή διακοπή, καθώς η μονάδα συμπαραγωγής μπορεί να λειτουργεί σε συνδυασμό με την εφεδρική γεννήτρια.

➤ **Αύξηση των επενδύσεων στον τομέα της υγείας:** Τα χρήματα που δαπανώνται για τον ηλεκτρισμό και τη θέρμανση είναι προκαθορισμένα. Δηλαδή, η παροχή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας είναι ίδια ανεξάρτητα από το αν ο θάλαμος είναι πλήρης ή όχι. Η συμπαραγωγή μειώνει το κόστος παραγωγής ενέργειας λόγω της μικρότερης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Τα χρηματικά που

εξοικονομούνται μπορούν να επενδυθούν για τη φροντίδα και την ποιότητα των υπηρεσιών που λαμβάνουν οι ασθενείς.

➤ **Περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα:** Η συμπαραγωγή προωθεί ένα πιο υγιές περιβάλλον μειώνοντας τις εκπομπές των ρύπων και των επιβλαβών συνεπειών που έχουν οι ρύποι στην ατμόσφαιρα. Το ουσιαστικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα απαρτίζουν οι κλιματολογικές αλλαγές εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. [15]

### 6.5. Απαραίτητα δεδομένα πριν την εκτίμηση

Η επιλογή μιας μονάδας συμπαραγωγής, συμπεριλαμβανομένης της θερμοδυναμικής και οικονομικής ανάλυσης, είναι δύσκολο και περίπλοκο πρόβλημα. Η συμπαραγωγή είναι μεν ιδανική λύση για τα νοσοκομεία, αλλά απαιτείται προσεκτική ανάλυση των δεδομένων, με την βοήθεια των οποίων μπορούμε να αποφανθούμε εάν είναι τελικά συμφέρουσα η επιλογή ενός συστήματος συμπαραγωγής και μάλιστα να καθορίσουμε και τον τύπο του. Τέτοιες πληροφορίες είναι :

- Ποια κτίρια θα εξυπηρετεί η συμπαραγωγή
- Ο τύπος του συστήματος διανομής (νερό ή ατμός)
- Χώρος για την τοποθέτηση του συστήματος συμπαραγωγής
- Το ημερήσιο και ετήσιο προφίλ του θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου
- Τα τιμολόγια των καυσίμων και του ηλεκτρισμού και οι μηνιαίοι λογαριασμοί
- Πιθανές επεκτάσεις του χώρου
- Η κατάσταση του υπάρχοντος εξοπλισμού
- Πιθανοί τρόποι χρηματοδότησης της μελέτης
- Ύπαρξη ικανού και εξειδικευμένου προσωπικού για αναλάβει τη λειτουργία και την συντήρηση

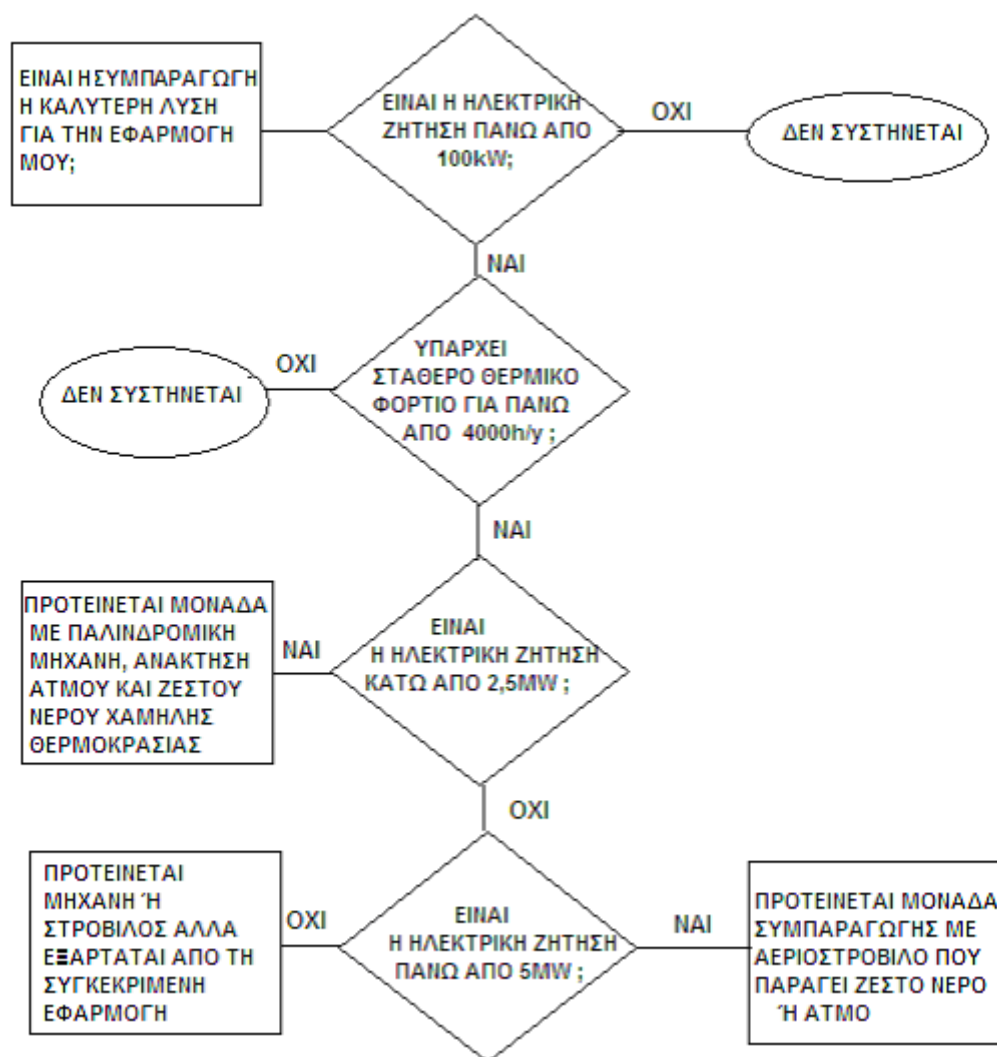
Πριν την διαστασιολόγηση της μονάδας συμπαραγωγής είναι σημαντικό να έχουν ληφθεί οποιαδήποτε άλλα μέτρα που οδηγούν στην περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας. Η σωστή διαστασιολόγηση είναι κρίσιμης σημασίας για την βιωσιμότητα της εφαρμογής.

Οι παραπάνω πληροφορίες επιτρέπουν την διεξαγωγή αρχικής εκτίμησης για το εάν η εφαρμογή της συμπαραγωγής είναι συμφέρουσα ή όχι. [15]

### 6.6 Αρχική εκτίμηση

Πριν από τη μελέτη της συμπαραγωγής, πρέπει να εξαντληθούν όλοι οι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας. Για παράδειγμα, μερικές απλές επιδιορθώσεις (καθάρισμα λεβήτων) μπορούν να αποφέρουν σημαντικές αλλαγές στις συνολικές απαιτήσεις φορτίου του νοσοκομείου και να αλλάξουν ουσιαστικά το λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα, ο οποίος με τη σειρά του θα επηρεάσει τον τύπο και το μέγεθος του συστήματος συμπαραγωγής. Μια γρήγορη πρώτη εκτίμηση μπορεί να γίνει με το διάγραμμα αποφάσεων 6.4.

Αν η αρχική εκτίμηση δώσει θετική απάντηση, τότε μια λεπτομερής μελέτη από ειδικούς είναι απαραίτητη για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος. Ας σημειώσουμε πως η μεγάλη ποικιλία λύσεων τόσο από πλευράς σχεδιασμού όσο και λειτουργίας κάνουν μάλλον αδύνατη την εξαντλητική μελέτη όλων των δυνατών συνδυασμών με συμβατικές μεθόδους. Ένα ευρύ σύνολο προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή, που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το εύρος εφαρμογών και το βάθος ανάλυσης, έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό και είναι εμπορικά διαθέσιμα.



Σχήμα 6. 4 Διάγραμμα αποφάσεων

## 6.7 Ενσωμάτωση του συστήματος συμπαραγωγής με την εγκατάσταση

Το σύστημα συμπαραγωγής δεν λειτουργεί απομονωμένο αλλά αποτελεί μέρος μιας πολύ πιο σύνθετης εγκατάστασης. Για μια αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία, η σύνδεση μεταξύ του συστήματος συμπαραγωγής και των υφιστάμενων δικτύων θέρμανσης, ζεστού νερού, ατμού και ηλεκτρισμού πρέπει να μελετηθεί επιμελώς. Επίσης θα πρέπει να προνοηθεί ο τρόπος παροχής του καυσίμου, πιθανός χώρος αποθήκευσης αυτού και κατάλληλο σύστημα για την εξαγωγή των καυσαερίων. [8]

Είναι απίθανο το σύστημα συμπαραγωγής να καλύψει όλες τις ανάγκες, θερμικές και ηλεκτρικές. Η επιπρόσθετη απαιτούμενη θερμική και ηλεκτρική ενέργεια θα καλυφθεί με συμβατικές πηγές.

Το σύστημα συμπαραγωγής θα πρέπει να λειτουργεί σαν πρωτεύων λήβητας για την μεγιστοποίηση των κερδών. Ο ηλεκτρισμός που παράγεται χρησιμοποιείται επί τόπου και σε περίπτωση πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας, αυτή μπορεί να εξαχθεί στο δίκτυο ηλεκτρισμού. [10]

### 6.7.1 Σύνδεση των συστημάτων συμπαραγωγής με το δίκτυο ηλεκτρισμού

Η εφαρμογή της τεχνολογίας συμπαραγωγής ποικίλλει από χώρα σε χώρα και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως οι τιμές του ηλεκτρισμού, οι νόμοι που ισχύουν στον ενεργειακό τομέα, την ύπαρξη ή μη περιβαλλοντικής πολιτικής, την διαθεσιμότητα καυσίμου και την ύπαρξη υποδομής διανομής αυτού και τις τεχνικές απαιτήσεις της εγκατάστασης. Οι σημαντικές παράμετροι για επένδυση στη συμπαραγωγή είναι:

- Το επενδυτικό κόστος του συστήματος
- Οι δαπάνες λειτουργίας
- Η τιμή του ηλεκτρισμού που αγοράζεται
- Ο ρυθμός αποπληρωμής του ηλεκτρισμού που πωλείται στο δίκτυο
- Η ζητούμενη θερμότητα
- Οι ώρες λειτουργίας (συντελεστής φορτίου)
- Μηχανολογικά και θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του λέβητα και του συστήματος συμπαραγωγής

Οι παραπάνω παράμετροι καθορίζουν τους τομείς όπου μπορεί να εφαρμοστεί η συμπαραγωγή. Κατά την εφαρμογή της συμπαραγωγής όμως πρέπει να ληφθεί υπόψη και η σύνδεση του συστήματος με το δίκτυο. Το απαιτούμενο κόστος για τη σύνδεση ενός συστήματος συμπαραγωγής στο δίκτυο ενδέχεται να αποδειχθεί καθοριστικός παράγοντας στο εάν τελικά θα πραγματοποιηθεί η εγκατάστασή του ή όχι. Το κόστος αυτό εξαρτάται από την θέση της εγκατάστασης, την υφιστάμενη τοπολογία του τοπικού δικτύου, την κατάσταση του δικτύου και τον εξοπλισμό που απαιτείται για την σύνδεση και ταυτόχρονα εξασφαλίζει την αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Γενικότερα, τα τεχνικά ερωτήματα που τίθενται για την σύνδεση μιας μονάδας συμπαραγωγής με τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής είναι :

- Το είδος της γεννήτριας
- Η θέση του σημείου της σύνδεσης με τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής
- Η προστασία
- Η ροή του φορτίου και οι απώλειες
- Η ρύθμιση της τάσης
- Η σταθερότητα

Κάθε ένα από τα παραπάνω ερωτήματα πρέπει να μελετηθεί ξεχωριστά, καθώς αποτελεί το καθένα έναν μεγάλο τομέα από μόνο του.

Μπορεί να συνδεθεί το σύστημα συμπαραγωγής είτε στο δίκτυο υψηλής τάσης, είτε στο δίκτυο διανομής χαμηλότερης τάσης. Έτσι υπεισέρχονται διάφορες τεχνικές εφαρμογές από πλευράς σύνδεσης του συστήματος με το εθνικό δίκτυο.

Τα συστήματα συμπαραγωγής συνήθως σχεδιάζονται να λειτουργούν σε παραλληλία με το εθνικό δίκτυο. Αυτό επιτρέπει την εισαγωγή επιπρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας και την εξαγωγή πλεονάζουσας (αμφίδρομη σύνδεση). Και το σύστημα και το δίκτυο πρέπει να είναι προστατευμένα από πιθανή διαταραχή στην παροχή εξαιτίας της παραλληλίας. Είναι υψίστης σημασίας η σταθερότητα του συστήματος. Στο υφιστάμενο δίκτυο ή στην εγκατάσταση είναι πιθανό να απαιτούνται τροποποιήσεις ώστε να τοποθετηθεί το σύστημα συμπαραγωγής.

Το δίκτυο μπορεί να καλύψει τα ηλεκτρικά φορτία αιχμής ή το σύνολο των ηλεκτρικών φορτίων εάν το σύστημα συμπαραγωγής βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Θα πρέπει να διασφαλιστεί η δυνατότητα να μπορεί το σύστημα συμπαραγωγής να αποσυνδεθεί από το δίκτυο.[3]

#### 6.7.1.1 Το σημείο σύνδεσης στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής

Καθοριστικοί παράγοντες είναι η κατάσταση του τοπικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και η υφιστάμενη τοπολογία του δικτύου στο σημείο της σύνδεσης. Θα πρέπει ανά πάσα στιγμή να εξασφαλίζεται η ποιότητα και η ασφάλεια της παροχής.

Τεχνικές ανάπτυξης του βασικού δικτύου διαπραγματεύονται τις μελλοντικές ανάγκες ενέργειας και τις προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούν τα δίκτυα διανομής και μεταφοράς ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία. Επομένως πιθανές συνδέσεις με το δίκτυο θα πρέπει να μελετηθούν. Σημαντικοί παράγοντες στους διάφορους συνδυασμούς είναι ο αριθμός των κυκλωμάτων, ο τρόπος σύνδεσης τους, η τάση μεταφοράς και διανομής, η ισχύς της γεννήτριας, ο ρυθμιστής φάσης, η απόσταση από το σημείο σύνδεσης και η βελτίωση των υπάρχοντων τεχνολογιών. [3]

#### 6.7.1.2 Προστασία

Ένα σύστημα συμπαραγωγής μπορεί να βελτιώσει την ολική απόδοση του δικτύου από πλευράς λειτουργίας, προστασίας και ελέγχου, ακόμα και σε μεταβατικές περιόδους.

Από την άλλη, μπορεί να έχει και αρνητικές επιπτώσεις, όπως αστάθεια του συστήματος ή του δικτύου. Επομένως η εγκατάσταση του συστήματος θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι συμβατή με το τοπικό δίκτυο. Όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο της τάσης, τόσο πιο πολύπλοκες είναι οι τεχνικές προστασίας. Στις περισσότερες χώρες κανονισμοί, διαμορφωμένοι από τις εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής, θέτουν τα όρια των τεχνικών παραμέτρων. [3]

#### 6.7.1.3 Ροή φορτίου και απώλειες

Όταν ηλεκτρισμός, που παρέχεται από το σύστημα συμπαραγωγής στο δίκτυο, καταναλώνεται τοπικά, μειώνονται συνήθως η πτώση τάσης κατά τη γραμμή μεταφοράς και οι απώλειες του δικτύου.

Το δίκτυο διανομής όμως είναι σχεδιασμένο για παθητική λειτουργία, την μεταφορά της ισχύος από το σταθμό στον καταναλωτή. Η εισαγωγή της συμπαραγωγής μπορεί επομένως να επιφέρει επιπτώσεις ανακατανέμοντας την ροή της ισχύος. Για παράδειγμα ακατάλληλη διαστασιολόγηση του συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε υπέρβαση των δυνατοτήτων του δικτύου και να έχει αρνητική επίδραση στις απώλειες.[3]

#### 6.7.1.4 Ρύθμιση τάσης

Με την εγκατάσταση μιας μονάδας συμπαραγωγής υπάρχει η δυνατότητα να ενισχυθεί η ρύθμιση της τάσης του δικτύου. Φυσικά αυτό εξαρτάται πάντα και από την εφαρμοζόμενη τεχνολογία συμπαραγωγής. [3]

#### 6.7.1.5 Ευστάθεια

Μελέτες για τις πιθανές επιδράσεις που μπορεί να έχει το νέο σύστημα συμπαραγωγής στην κανονική λειτουργία του συστήματος είναι απαραίτητες. Διότι για παράδειγμα έντονες αλλαγές στο φορτίο μπορούν να οδηγήσουν σε αστάθεια του δικτύου. [3]

#### 6.7.1.6 Τα συστήματα συμπαραγωγής για την παροχή εφεδρικής ισχύος

Όπου απαιτούνται εφεδρικές γεννήτριες, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σύστημα συμπαραγωγής που θα παρέχει μέρος ή ολόκληρη την εφεδρική ισχύ. Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται η αξιοπιστία του εφεδρικού εξοπλισμού σε σχέση με τις συμβατικές γεννήτριες. Όμως εάν το σύστημα συμπαραγωγής πρόκειται να καλύπτει όλη την εφεδρική ισχύ, τότε ίσως είναι απαραίτητο να εγκατασταθούν παραπάνω του ενός συστήματα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν ανακύψει πολλά προβλήματα κατά την μετατροπή των εφεδρικών γεννητριών σε συστήματα συμπαραγωγής. Συνεπώς θα πρέπει να προηγείται της μετατροπής προσεκτική μελέτη. [3]

#### 6.7.2 Σύνδεση του συστήματος συμπαραγωγής με το σύστημα θέρμανσης

Αναλυτικά σχέδια των υφιστάμενων συστημάτων θέρμανσης, ατμού και ζεστού νερού θα πρέπει να είναι διαθέσιμα, έτσι ώστε να γίνει αντιληπτή η λειτουργία τους και να εντοπιστούν πιθανές βλάβες ή φθορές. Μερικά βασικά ερωτήματα πρέπει να απαντηθούν για την βέλτιστη σύνδεση του συστήματος συμπαραγωγής με τα δίκτυα θέρμανσης, ατμού και ζεστού νερού σχετικά με τις αποδόσεις των λεβήτων, τις θερμοκρασίες και τις πιέσεις.

Αν και το σύστημα συμπαραγωγής αντικαθιστά σε σημαντικό βαθμό τους λέβητες, οι τελευταίοι παραμένουν έτσι ώστε να μπορεί να καλυφθεί το θερμικό φορτίο αιχμής (σχήματα 6.6 και 6.7).

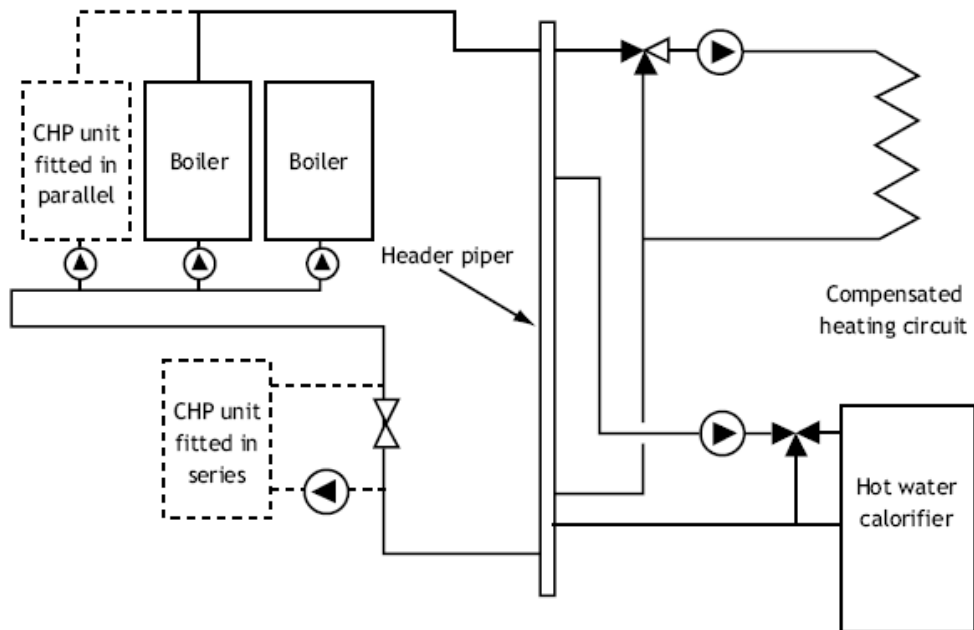
Σε κάποιες εφαρμογές η θερμική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αλλού πέρα από την θέρμανση των χώρων και του νερού χρήσης. Για εγκαταστάσεις με ψυκτικά φορτία κατά τη διάρκεια του θέρους, ο κλιματισμός με ψύκτες απορρόφησης απαιτεί θερμική ενέργεια.

Τα περισσότερα συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας παρέχουν ζεστό νερό χαμηλής θερμοκρασίας (LTHW, 80-90°C ) και επομένως μπορούν να συνδεθούν άμεσα με το σύστημα θέρμανσης του κτιρίου. Επίσης υπάρχουν μονάδες που παρέχουν ζεστό νερό μεσαίας θερμοκρασίας (MTHW 90-120°C), αν και είναι λιγότερο συνηθισμένα.

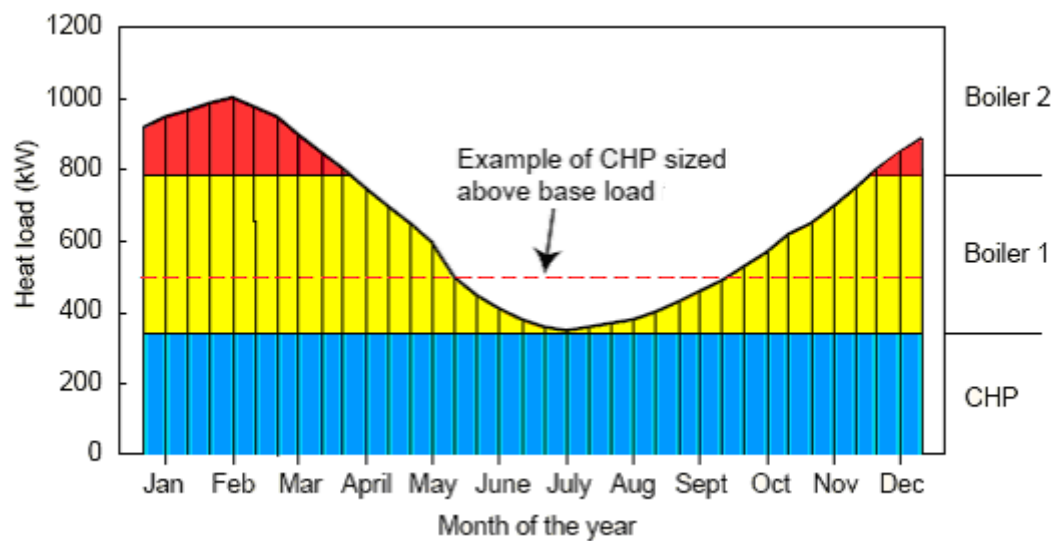
Το σύστημα συμπαραγωγής (CHP unit) μπορεί να συνδεθεί σε σειρά ή παράλληλα με τους λέβητες (boilers), όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5.

Η σύνδεση σε σειρά είναι η πιο διαδεδομένη καθώς έχει την λιγότερη επίδραση στη λειτουργία του υπάρχοντος συστήματος. Η παράλληλη σύνδεση προτιμάται στην περίπτωση νέων εγκαταστάσεων, όπου το σύστημα συμπαραγωγής θα καλύπτει ένα μεγάλο μέρος των θερμικών αναγκών. Όποια σύνδεση και να χρησιμοποιηθεί, το σημαντικό είναι το σύστημα συμπαραγωγής να λειτουργεί σαν πρωτεύων λέβητας (lead boiler) για να μεγιστοποιούνται οι ώρες λειτουργίας του. [8]

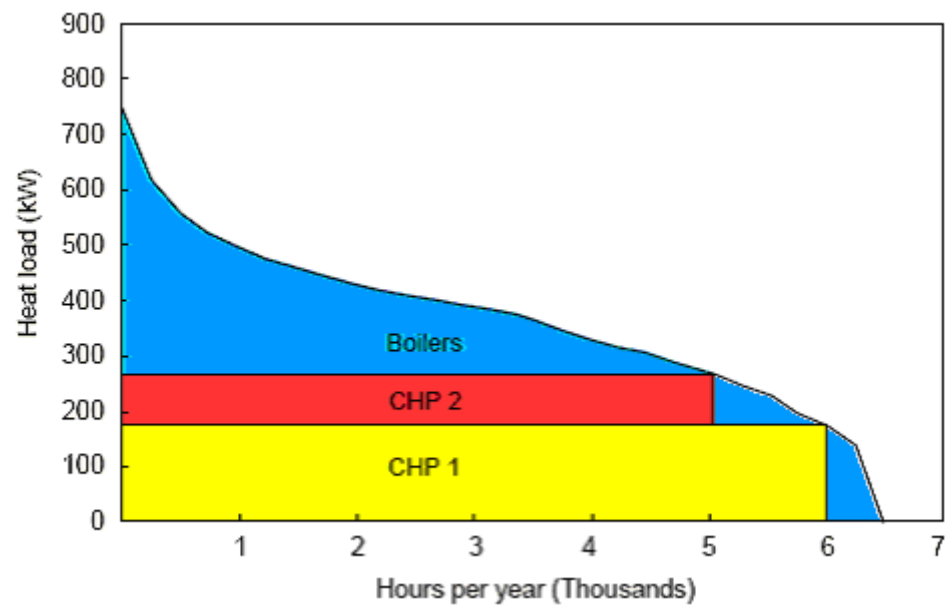




Σχήμα 6. 5 Σύνδεση της μονάδας συμπαραγωγής σε σειρά και παράλληλα με το υπάρχον σύστημα θέρμανσης



Σχήμα 6. 6 Παράδειγμα κάλυψης της θερμικής ενέργειας, που δεν μπορεί να καλύψει η μονάδα συμπαραγωγής, από εφεδρικούς λέβητες



**Σχήμα 6. 7** Κάλυψη της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας από τη μονάδα συμπαραγωγής και τους εφεδρικούς λέβητες

### 6.7.3 Χώρος τοποθέτησης του συστήματος συμπαραγωγής

Η θέση για την εγκατάσταση του συστήματος συμπαραγωγής θα επιλεγεί λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω:

- Η πρόσβαση στον ηλεκτρισμό, την θέρμανση και στην παροχή καυσίμου
- Η στάθμη θορύβου
- Οι εκπομπές των καυσαερίων
- Ο εξαερισμός και οι απαιτήσεις για την ποιότητα του αέρα
- Η μεταφορά, πρόσβαση και τοποθέτηση του συστήματος
- Οι απαιτήσεις για την συντήρηση του συστήματος [8]

## Κεφάλαιο 7 - Γενικό Νοσοκομείο Αθηνών «Σισμανόγλειο»

### 7.1 Ιστορικό του Νοσοκομείου

Το κτίριο του Σισμανογλείου Νοσηλευτικού Ιδρύματος, κτίσθηκε κατά την δεκαετία του 1940 για να χρησιμοποιηθεί σαν Φυματιολογικό Κέντρο.

Η οικογένεια Σισμάνογλου καταγόταν από τη Μ. Ασία. Ο Ιωάννης Σισμάνογλου, ασχολήθηκε με το εμπόριο στην Κωνσταντινούπολη και ήταν μέλος της Επιτροπής Τραπεζιτών για το Φόρο της Δεκάτης. Υπήρξε μέγας ευεργέτης της Μεγάλης του Γένους Σχολής και της Επιτροπής της Ελληνικής Ορθοδόξου Κοινότητας στην Άγκυρα. Από τον γάμο του με



την Αικατερίνη Κιουπεντζόγλου απέκτησε τρεις (3) γιους τον Αλέξανδρο, τον Κωνσταντίνο και τον Αναστάσιο.

Οι Κωνσταντίνος και Αναστάσιος Σισμάνογλου ακολουθώντας το παράδειγμα του πατέρα τους, χρηματοδότησαν πολλά έργα του Ελληνισμού στην Πόλη, παραχώρησαν το 1922 ένα μεγάλο κτήμα (τσιφλίκι) στη Καβάλα για τους πρόσφυγες της Μικράς Ασίας, και ίδρυσαν δύο Αντιφυματιολογικά Ινστιτούτα με το όνομα "Σισμανόγλειο" στην Αττική και στη Κομοτηνή.

Το Σισμανόγλειο Νοσοκομείο του Νομού Αττικής, σχεδιάστηκε από τον αρχιτέκτονα Γ. Οικονομίδη και κατασκευάστηκε υπό την επίβλεψη του μηχανικού Π. Μανουηλίδη.

Συνοπτικά το χρονικό του Νοσοκομείου περιγράφεται στον πίνακα 7.1

Το χρονικό του Γενικού Νοσοκομείου Αθηνών «Σισμανόγλειο»	
<b>1936</b>	Στις 6 Δεκεμβρίου, κατατίθεται ο θεμέλιος λίθος της ανέγερσης του Φυματιολογικού Ιδρύματος, από τον Κωνσταντίνο Ι. Σισμάνογλου.
<b>1940</b>	Το ίδρυμα επιτάσσεται από το κράτος για την εξυπηρέτηση εθνικών αναγκών λόγω της κήρυξης του πολέμου (Οκτώβριος 1940)
<b>1941-1944</b>	Χρησιμοποιείται από τους Γερμανούς ως Γενικό Νοσοκομείο
<b>1945</b>	Επισκευάζεται με σκοπό την επαναλειτουργία του.
<b>1946</b>	Λειτουργεί ως "Φυματιολογικόν Ινστιτούτον Ιωάννου Α. Σισμάνογλου και του Οίκου αυτού"
<b>1951</b>	Πεθαίνει ο ιδρυτής του Κωνσταντίνος Ι. Σισμάνογλου

<b>1956</b>	Διακόπτεται προσωρινά η λειτουργία του ιδρύματος λόγω διοικητικών και οικονομικών προβλημάτων
<b>1958</b>	Επαναλειτουργεί ύστερα από τακτοποίηση των οικονομικών του υποχρεώσεων από το κράτος
<b>1972</b>	Διατίθεται το 50% των φυματολογικών κλινών για νοσηλεία ασθενών που πάσχουν από άλλα νοσήματα ασθενών που πάσχουν από άλλα νοσήματα.
<b>1985</b>	Υπάγεται στις διατάξεις του Ν.Δ.2592/53, ελέγχεται από το Ελληνικό Δημόσιο και λειτουργεί στα πλαίσια του Εθνικού Συστήματος Υγείας, "Γενικό Περιφερειακό Νοσοκομείο Αττικής "Σισμανόγλειο".
<b>2003</b>	Ανακηρύσσεται βασικό «Ολυμπιακό Νοσοκομείο»

**Πίνακας 7. 1 Το χρονικό του Γενικού Νοσοκομείου Αθηνών «Σισμανόγλειο»**

Η κτιριολογική διάταξη του νοσοκομείου είναι σύμφωνη με τις απαιτήσεις των αντιφυματικών κέντρων της εποχής (μεγάλες μεσημβρινές βεράντες, μεγάλοι θάλαμοι Νοσηλείας και περιορισμένες επιφάνειες χώρων υποδοχής, διάγνωσης, νοσηλείας και χειρουργείων).

Κατά την δεκαετία του 1970 άρχισε η σταδιακή μετατροπή του Σισμανογλείου σε Γενικό Νοσοκομείο με την ανάπτυξη νέων μονάδων και τμημάτων με συνεχείς παρεμβάσεις στο παλαιό κτίριο για την εγκατάστασή τους και την εισαγωγή σύγχρονης ιατρικής τεχνολογίας.

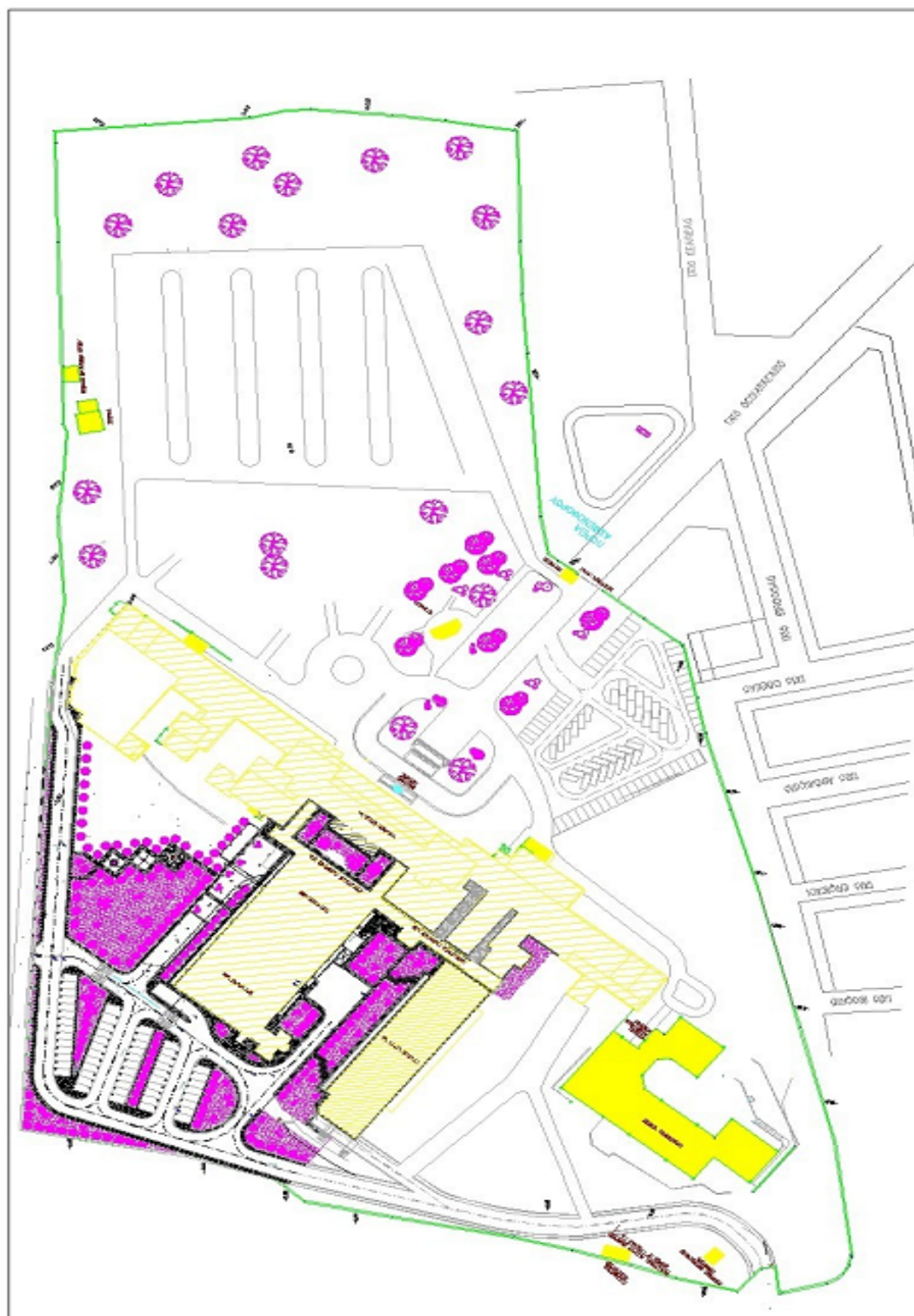
Παράλληλα την περίοδο 1986-87 εκπονήθηκε το Ρυθμιστικό Σχέδιο Ανάπτυξης του Νοσοκομείου που οριοθετούσε τις συνθήκες ανάπτυξης και αποτέλεσε τη βάση για τις μελέτες νέων κτιρίων καθώς και των αναδιαρρυθμίσεων και βελτιώσεων του υπάρχοντος (παλαιού) κτιρίου, εξασφαλίζοντας την κάλυψη των τρεχουσών αλλά και των μελλοντικών αναγκών.

Το νοσοκομείο σήμερα λειτουργεί με σύγχρονο ιατροτεχνολογικό εξοπλισμό, ο οποίος ανανεώνεται σε τακτικά χρονικά διαστήματα. Ενδεικτικά αναφέρεται:

- Μηχανήματα Αξονικής Τομογραφίας (2)
- Ψηφιακός Αγγειογράφος
- Μηχανήματα Εξωσωματικής Λιθοτριψίας (2)
- Ηλεκτροεγκεφαλογράφος
- Συσκευή προκλητών δυναμικών
- Ακτινοδιαγνωστικά μηχανήματα (6)
- Αυτόματοι αναλυτές (23)
- Μηχανήματα τεχνητού νεφρού (31)
- Υπερηχοκαρδιογράφοι (2)
- Υπερηχοτομογράφοι (4)
- Μετρητής κυττάρων Laser
- Συγκρότημα Holter

## 7.2 Δομή του οικοδομικού συγκροτήματος

Το υφιστάμενο ρυθμιστικό σχέδιο του Νοσοκομείου (βλ. Σχήμα 7.1) περιλαμβάνει το κεντρικό κτίριο, το κτίριο λιθοτριψίας, η ψυχιατρική κλινική, το κτίριο Ν3 και το κτίριο Ν4. Αναλυτικά στα κτίρια Ν3 και Ν4, καθώς και στο κεντρικό, υπάρχουν ανά όροφο τα εξής τμήματα:



Σχήμα 7. 1 Κάτοψη του οικοδομικού συγκροτήματος του Νοσοκομείου «Σισμανόγλειο»

### Κεντρικό κτίριο

<u>Όροφος –1</u>	Πλυντήρια Αμφιθέατρα Τεχνική υπηρεσία
<u>Ισόγειο</u>	Μονάδα εντατικής θεραπείας Τμήμα αιμοδοσίας Ακτινοδιαγνωστικό Αξονικός τομογράφος
<u>Όροφος 1</u>	Γραμματεία διοίκησης Καρδιολογικό τμήμα Μονάδα εμφραγμάτων Α' πνευμονολογικό τμήμα Μονάδα εξωσωματικής λιθοτριψίας
<u>Όροφος 2</u>	Α' χειρουργικό τμήμα Β' χειρουργικό τμήμα Θωρακοχειρουργικό τμήμα Ουρολογικό τμήμα
<u>Όροφος 3</u>	Γενικό τμήμα θέσεων Β' πνευμονολογικό τμήμα ΩΡΛ τμήμα Αγγειοχειρουργικό τμήμα Γραφείο διεύθυνσης
<u>Όροφος 4</u>	Τμήμα βιοϊατρικής τεχνολογίας Γραφείο φυσιοθεραπείας

### Κτίριο N4

<u>Όροφος –2</u>	Αποθήκες υλικού
<u>Όροφος –1</u>	Μονάδα τεχνητού νεφρού
<u>Ισόγειο</u>	Διοίκηση οικονομικής υπηρεσίας Τηλεϊατρική – Πληροφορική Βιβλιοθήκη Τμήμα διατροφής

<u>Όροφος 1</u>	Α' παθολογικό τμήμα
<u>Όροφος 2</u>	Β' παθολογικό τμήμα
<u>Όροφος 3</u>	Γ' πνευμονολογικό τμήμα

**Κτίριο Ν3** (ολοκληρώθηκε εντός του 2003)

<u>Όροφος –2</u>	Φαρμακείο Αποθήκες
<u>Όροφος –1</u>	Τακτικά εξωτερικά ιατρεία
<u>Ισόγειο</u>	Επείγοντα περιστατικά
<u>Όροφος 1</u>	Εργαστήρια
<u>Όροφοι 2-3</u>	Αισθησιολογικό τμήμα Χειρουργεία

Στον πίνακα 7.2 υπολογίζεται η συνολική επιφάνεια του κτιρίου.

Επιφάνειες των υπαρχόντων κτιρίων	
Επιφάνεια δωματίων νοσηλείας	10.000 m <sup>2</sup>
Επιφάνεια κοινόχρηστων χώρων	5.000 m <sup>2</sup>
Επιφάνεια λοιπών χώρων	14.116,72 m <sup>2</sup>
Κτίριο Ν3	11.453,70 m <sup>2</sup>
Συνολική επιφάνεια χώρων	40.570,42 m <sup>2</sup>

**Πίνακας 7. 2 Επιφάνειες υπαρχόντων κτιρίων**

Το μέσος ύψος των ορόφων είναι 3,80 m.

Επίσης στο γενικό κτιριολογικό πρόγραμμα επεκτάσεων του νοσοκομείου περιλαμβάνεται η κατασκευή νέων κτιρίων (υπολειπόμενος συντελεστής δόμησης 8.000 τ.μ.) Επομένως η συνολική επιφάνεια του νοσοκομείου συμπεριλαμβανομένων και των επεκτάσεων είναι 48.570,42 m<sup>2</sup>. Για λόγους στρογγυλοποίησης θα θεωρήσουμε **49.000 m<sup>2</sup>**. [16][17]

### 7.3 Λειτουργική δομή

Η λειτουργική δομή του νοσοκομείου απαρτίζεται από τους ακόλουθους τομείς :

#### Ιατρικός τομέας

Α΄ Παθολογικός τομέας  
Β΄ Παθολογικός τομέας  
Χειρουργικός τομέας  
Ψυχιατρικός τομέας  
Εργαστηριακός τομέας

#### Νοσηλευτικός τομέας

Α΄ Παθολογικός τομέας  
Β΄ Παθολογικός τομέας  
Χειρουργικός τομέας  
Διατομεακός

#### Διοικητική υπηρεσία

Τμήμα Γραμματείας  
Τμήμα Οικονομικού  
Τμήμα Πληροφορικής  
Τμήμα Προσωπικού  
Τμήμα Κίνησης Ασθενών  
Τμήμα Παραϊατρικών Επαγγελματιών  
Τμήμα Κοινωνικής Υπηρεσίας  
Τμήμα Τακτικών Εξωτερικών Ιατρείων  
Τμήμα Διατροφής  
Γραφείο Επιστάσις  
Γραφείο Ιματισμού

#### Τεχνική υπηρεσία

Τμήμα Τεχνικού  
Τμήμα Βιοϊατρικής Τεχνολογίας

#### Ειδικές υπηρεσίες

Μονάδα εξωσωματικής λιθοτριψίας  
Μονάδα μελέτης ύπνου  
Μονάδα κυστικής ίνωσης ενηλίκων  
Μονάδα βρογχοσκοπήσεων και θεραπείας laser  
Μονάδα βρογχοκυψελιδικής έκπλυσης (lavage)  
Εργαστήριο κυτταρογεννητικής  
Μονάδα ειδικών λοιμώξεων  
Μονάδα επαγγελματικών νόσων και φυματίωσης  
Τηλεϊατρική  
Ιατρείο διακοπής καπνίσματος  
Συμβουλευτικό κέντρο διατροφής  
Μονάδα τεχνητού νεφρού  
Μονάδα εντατικής θεραπείας  
Μονάδα κλινικής υπέρτασης

#### Τακτικά εξωτερικά ιατρεία



## 7.4 Αριθμός κλινών

Ο αριθμός των κλινών ανά κλινική φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα 7.3. Ο όρος ενεργή κλίνη χρησιμοποιείται για να δηλωθεί ότι αυτή η κλίνη χρησιμοποιείται.

Αριθμός κλινών ανά κλινική	
ΚΛΙΝΙΚΗ	ΚΛΙΝΕΣ
ΟΥΡΟΛΟΓΙΚΗ	23
ΘΩΡΑΚΟΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ- ΑΓΓΕΙΟΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ- Β' ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ-ΩΡΛ	24
ΕΚΤΑΚΤΑ ΙΑΤΡΕΙΑ	--
ΜΟΝΑΔΑ ΕΝΤΑΤΙΚΗΣ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ	12 ενεργές (υπάρχουν 20 στην κλινική)
ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΥΠΝΟΥ	4
ΜΟΝΑΔΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΕΦΡΟΥ	25
ΨΥΧΙΑΤΡΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ	20 (υπάρχει η περίπτωση να βρίσκονται και στο διάδρομο και πρόσθετες κλίνες)
Γ' ΠΝΕΥΜΟΝΟΛΟΓΙΚΗ	34
ΛΙΘΟΤΡΙΨΙΑ	23
Α' ΠΝΕΥΜΟΝΟΛΟΓΙΚΗ	34
Β' ΠΝΕΥΜΟΝΟΛΟΓΙΚΗ	38
Α' ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ	39
ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΡΔΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΜΦΡΑΓΜΑΤΩΝ	12
Α' ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗ	40
ΚΑΡΔΙΟΛΟΓΙΚΗ	20 (μελλοντικά αναμένεται να προστεθούν και άλλες)
Β' ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗ	39
ΜΟΝΑΔΑ ΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΝΟΣΩΝ	26
ΤΑΚΤΙΚΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΙΑΤΡΕΙΑ	--
ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΚΟ	--
ΑΝΑΙΣΘΗΣΙΟΛΟΓΙΚΟ	--
ΣΥΝΟΛΟ	περίπου 413 (ενεργά)

Πίνακας 7. 3 Αριθμός κλινών ανά κλινική

Η σημερινή δυναμικότητα του νοσοκομείου συνεπώς ανέρχεται σε περίπου 413 κλίνες. Με την ολοκλήρωση των επεκτάσεων που αναμένονται να γίνουν στο μέλλον προβλέπονται επιπλέον κλίνες με παράλληλη μείωση των υφιστάμενων.

Στον πίνακα 7.4 συνοψίζονται κατά προσέγγιση κάποια γενικά χαρακτηριστικά του νοσοκομείου.

Συνοπτικά γενικά χαρακτηριστικά του νοσοκομείου ως το 2005	
Αριθμός κλινών	413
Αριθμός προσωπικού	1.100
Υπολειπόμενος συντελεστής δόμησης (m <sup>2</sup> )	8000
Υπολειπόμενος συντελεστής κάλυψης (m <sup>2</sup> )	0

Πίνακας 7. 4 Συνοπτικά γενικά χαρακτηριστικά του νοσοκομείου ως το 2005

## 7.5 Υφιστάμενος ενεργειακός εξοπλισμός

### 7.5.1 Εξοπλισμός κάλυψης θερμικών φορτίων

Στο κεντρικό λεβητοστάσιο, το οποίο βρίσκεται στο υπόγειο (βορειοανατολική πλευρά) του παλαιού κτιρίου υπάρχουν τρεις ατμολέβητες. Ο λέβητας (Λ-2) που είναι και ο μεγαλύτερος σε ονομαστική ισχύ (3.600.000 kcal/h) είναι ο κύριος ενώ οι δύο άλλοι (Λ-1 και Λ-3, δυναμικότητας 2.400 και 1.200 Mcal/h αντίστοιχα) είναι μικρότεροι και χρησιμοποιούνται ως εφεδρικοί του Λ-2. Οι ατμολέβητες του κεντρικού λεβητοστασίου λειτουργούν με πετρέλαιο (ντίζελ) και έχουν συνολική ονομαστική παραγωγική ικανότητα 12.000 kg/h ατμού σε πίεση 12 bar. Τα παραγόμενα καυσάερια διοχετεύονται σε κεντρική καμινάδα.

Στο λεβητοστάσιο του νέου κτιρίου Ν3 υπάρχουν τρεις λέβητες νερού ονομαστικής ισχύος 745.000 kcal/h έκαστος (Λ-8, Λ-9 και Λ-10) οι οποίοι λειτουργούν με φυσικό αέριο και παράγουν ζεστό νερό για θέρμανση χώρων και χρήση. Ο Λ-10 είναι εφεδρικός των Λ-8 και Λ-9.

Στο μηχανοστάσιο του κτιρίου Ν4 είναι εγκατεστημένοι δύο λέβητες πετρελαίου ονομαστικής ισχύος 400.000 kcal/h έκαστος.

Ο ατμός που παράγεται από τους λέβητες χρησιμοποιείται για παραγωγή ζεστού νερού για θέρμανση και χρήση, και ως ατμός στα πλυντήρια, την αποστείρωση, τα χειρουργεία και την κουζίνα. Οι καταναλώσεις ατμού πλην της θέρμανσης χώρων και του ζεστού νερού είναι (δεχόμαστε ότι 1kg/h ατμού = 600kcal/h):

#### Μαγειρεία:

Στα μαγειρεία ο ατμός καταναλώνεται από βραστήρα θερμικής ισχύος 150 kW<sub>th</sub> με ονομαστική κατανάλωση ατμού 200 kg/h (~120.000kcal/h).

#### Πλυντήρια:

Τα πλυντήρια ατμού και τα σιδερωτήρια έχουν θερμική ισχύ 1.750 kW<sub>th</sub> και ονομαστική κατανάλωση ατμού 2.500 kg/h (~1.500.000kcal.h).

#### Αποστείρωση:

Η ονομαστική κατανάλωση ατμού για αποστείρωση εκτιμάται σε 60 kg/h (~36.000kcal/h και με παραδοχή ότι 1kWh=860kcal έχουμε θερμική ισχύ περίπου 42kW<sub>th</sub>).

Η παραγωγή του ζεστού νερού χρήσης γίνεται μέσω θερμαντήρων νερού χρήσης συνολικής εγκατεστημένης ονομαστικής ισχύος 2.11 Mcal/h.

Στους πίνακες 7.5 – 7.7 που επισυνάπτονται παρουσιάζονται συνοπτικά τα κύρια χαρακτηριστικά του εξοπλισμού κάλυψης των θερμικών φορτίων που βρίσκεται στο κεντρικό λεβητοστάσιο και τα τοπικά μηχανοστάσια των λοιπών κτιρίων.

Στοιχεία υπάρχοντων ατμολεβήτων					
Είδος Εξοπλισμού	Καύσιμο	Εγκατεστημένη θερμική ισχύς (kcal/h)	Τελική χρήση	Ονομαστική Παραγωγή ατμού (kg/h)	Θέση
Λέβητας 1 (ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ)	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	2.400.000	ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΠΛΥΝΤΗΡΙΑ, ΚΟΥΖΙΝΑ ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ	4.000	ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΛΕΒΗΤΟΣΤΑΣΙΟ (ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ)
Λέβητας 2	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	3.600.000	ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΠΛΥΝΤΗΡΙΑ, ΚΟΥΖΙΝΑ ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ	6.000	ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΛΕΒΗΤΟΣΤΑΣΙΟ
Λέβητας 3 (ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ)	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	1.200.000	ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΠΛΥΝΤΗΡΙΑ, ΚΟΥΖΙΝΑ ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ	2.000	ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΛΕΒΗΤΟΣΤΑΣΙΟ (ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ)

Πίνακας 7. 5 Στοιχεία υπάρχοντων ατμολεβήτων

Στοιχεία υπάρχοντων λεβήτων θερμού νερού				
Είδος Εξοπλισμού	Καύσιμο	Εγκατεστημένη θερμική ισχύς (kcal/h)	Τελική χρήση	Θέση
Λέβητας 4	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	250.000	ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ	ΨΥΧΙΑΤΡΙΚΗ
Λέβητας 5	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	400.000	ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ	ΚΤΙΡΙΟ Ν4
Λέβητας 6 (ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ)	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	400.000	ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ	ΚΤΙΡΙΟ Ν4 (ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ)
Λέβητας 7	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	250.000	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΚΤΙΡΙΟ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΛΙΘΙΤΡΙΨΙΑΣ
Λέβητας 8	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	745.000	ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ	ΚΤΙΡΙΟ Ν3
Λέβητας 9	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	745.000	ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΖΝΧ	ΚΤΙΡΙΟ Ν3
Λέβητας 10 (ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ)	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	745.000	ΘΕΡΜΑΝΣΗ, ΖΝΧ	ΚΤΙΡΙΟ Ν3 (ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ)

Πίνακας 7. 6 Στοιχεία υπάρχοντων λεβήτων θερμού νερού

Στοιχεία υπάρχοντων θερμαντήρων				
Είδος Εξοπλισμού	Εγκατεστημένη θερμική ισχύς (kcal/h)	Μέσο	Τελική χρήση	Θέση
Θερμαντήρας νερού χρήσης 1	500.000	ΑΤΜΟΣ	ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ	ΠΑΛΑΙΟ ΚΤΙΡΙΟ
Θερμαντήρας νερού χρήσης 2	500.000	ΑΤΜΟΣ	ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ	ΠΑΛΑΙΟ ΚΤΙΡΙΟ
Θερμαντήρας νερού χρήσης 3	60.000	ΝΕΡΟ	ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ	ΨΥΧΙΑΤΡΙΚΗ
Θερμαντήρας νερού χρήσης 4	300.000	ΝΕΡΟ	ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ	ΚΤΙΡΙΟ Ν4
Θερμαντήρας νερού χρήσης 5	250.000	ΝΕΡΟ	ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ	ΚΤΙΡΙΟ Ν3
Θερμαντήρας νερού χρήσης 6	250.000	ΝΕΡΟ	ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ	ΚΤΙΡΙΟ Ν3
Θερμαντήρας νερού χρήσης 7 (ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ)	250.000	ΝΕΡΟ	ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ	ΚΤΙΡΙΟ Ν3 (ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ)

Πίνακας 7. 7 Στοιχεία υπάρχοντων θερμαντήρων

Η συνολική εγκατεστημένη θερμική ισχύς των λεβήτων χωρίς τους εφεδρικούς λέβητες είναι 5.990.000kcal/h (6965,12 kW). Εκτιμάται ότι το συνολικό θερμικό φορτίο του νοσοκομείου είναι περίπου 5.000kW.

#### 7.5.1.1 Εξοπλισμός κάλυψης ψυκτικών φορτίων

Τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία για τον κλιματισμό του νοσοκομείου παράγονται από 8 ψύκτες (6 κύριους και 2 εφεδρικούς) συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 950 kW, 3 πύργους ψύξης συνολικής ψυκτικής ισχύος 1.850 kW, συνεπικουρούμενων από επιπλέον 2 αντλίες θερμότητας (συνολικής ψυκτικής ισχύος 275 kW) καθώς και 160 μικρές μονάδες split (9.000 Btu/h κάθε μία) συνολικής ψυκτικής ισχύος περίπου 425 kW.

Ο εξοπλισμός κάλυψης των ψυκτικών φορτίων περιγράφεται αναλυτικά στους πίνακες 7.8 – 7.11.

Στοιχεία υπάρχοντων αερόψυκτων ψυκτών		
Περιγραφή Εξοπλισμού	Εγκατεστημένη ψυκτική ισχύς (kW)	Θέση
Ψύκτης 1	131	ΨΥΧΙΑΤΡΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ
Ψύκτης 2 (εφεδρικός)	413	ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΟ ΛΕΒΗΤΟΣΤΑΣΙΟ (ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ)
Ψύκτης 3	665	ΚΤΙΡΙΟ Ν3
Ψύκτης 4 (εφεδρικός)	665	ΚΤΙΡΙΟ Ν3 (ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ)
Ψύκτης 5	210	ΚΤΙΡΙΟ Ν3

Πίνακας 7. 8 Στοιχεία υπάρχοντων αερόψυκτων ψυκτών

Στοιχεία υπάρχοντων υδρόψυκτων ψυκτών		
Περιγραφή Εξοπλισμού	Εγκατεστημένη ψυκτική ισχύς (kW)	Θέση
Ψύκτης 6	650	ΚΤΙΡΙΟ Ν4
Ψύκτης 7	305	ΛΙΘΡΙΟ ΜΕΤΑΞΥ ΠΑΛΑΙΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΚΤΙΡΙΟΥ Ν3
Ψύκτης 8	305	ΚΤΙΡΙΟ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΛΙΘΟΤΡΙΨΙΑΣ

Πίνακας 7. 9 Στοιχεία υπάρχοντων υδρόψυκτων ψυκτών

Στοιχεία υπάρχοντων πύργων ψύξης			
Περιγραφή Εξοπλισμού	Εγκατεστημένη ψυκτική ισχύς (kW)	Θέση	
Πύργος ψύξης 1	850	ΚΤΙΡΙΟ Ν4	Πύργος ψύξης του ψύκτη 6
Πύργος ψύξης 2	500	ΛΙΘΡΙΟ	Πύργος ψύξης του ψύκτη 7
Πύργος ψύξης 3	500	ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΛΙΘΟΤΡΙΨΙΑΣ	Πύργος ψύξης του ψύκτη 8

Πίνακας 7. 10 Στοιχεία υπάρχοντων πύργων ψύξης

Στοιχεία υπάρχοντος βοηθητικού εξοπλισμού		
Περιγραφή Τεχνολογίας	Αριθμός Μονάδων	Εγκατεστημένη ψυκτική ισχύς (kW)
Αντλίες θερμότητας 1	1	105
Αντλίες θερμότητας 2	1	170
Split units	160	424

Πίνακας 7. 11 Στοιχεία βοηθητικού εξοπλισμού

Η συνολική εγκατεστημένη ψυκτική ικανότητα των αερόψυκτων και υδρόψυκτων ψυκτών (χωρίς τους εφεδρικούς) ανέρχεται στα 2.266kW. Εκτιμάται ότι το μέγιστο συνολικό ψυκτικό φορτίο του νοσοκομείου είναι 1812,8 kW (~515 RT).

### 7.5.2 Εξοπλισμός κέντρου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Για την κάλυψη των συνολικών αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια το Νοσοκομείο τροφοδοτείται από το Δίκτυο Μέσης Τάσης της ΔΕΗ, μέσω δύο υποσταθμών συνολικής ισχύος 4.460 kVA με 2 μετασχηματιστές στο κτίριο N4 (2 x 630 kVA) και 2 νέους μετασχηματιστές (2 x 1.600 kVA) στο νέο κτίριο N3.

Επιπλέον ως εφεδρική κάλυψη υπάρχουν 3 ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (1 x 630 kVA στο κτίριο N4 και 2 x 800 kVA στο N3) συνολικής ισχύος 2.230 kVA.

Αναλυτικά ο ηλεκτρικός εξοπλισμός περιγράφεται στον πίνακα 7.12.

Στοιχεία εξοπλισμού κάλυψης ηλεκτρικών φορτίων			
ΚΤΙΡΙΟ	ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ	ΕΦΕΔΡΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΑ ΖΕΥΓΗ
N3	Δύο γεννήτριες 800KVA (720KW) η καθεμία	Δύο μετασχηματιστές 1.600 KVA ο καθένας (2x1.600)	Δύο ισχύος 800KVA (2x800 KVA)
N4	Μία γεννήτρια 630KVA	Δύο μετασχηματιστές 630KVA ο καθένας (2x630 KVA)	Ένα ισχύος 630KVA (1x630 KVA)
ΨΥΧΙΑΤΡΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ	Μία γεννήτρια 45KVA	----	----
ΚΤΙΡΙΟ ΛΙΘΟΤΡΙΨΙΑΣ	----	----	----

Πίνακας 7. 12 Στοιχεία εξοπλισμού κάλυψης ηλεκτρικών φορτίων

Στο κτίριο λιθοτριψίας δεν υπάρχει ξεχωριστός μετασχηματιστής ή γεννήτρια. Ο κεντρικός υποσταθμός βρίσκεται στο κτίριο N4, από τον οποίο τροφοδοτείται ο υποσταθμός στο κτίριο N3.

Η ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται στις εξής χρήσεις:

- Φωτισμός χώρων
- Παραγωγή μηχανικής ισχύος (ηλεκτροκινητήρες)
- Δροσισμός χώρων
- Ανελκυστήρες, αντλίες, διάφορα ιατρικά μηχανήματα
- Πλυντήρια, μαγειρεία, θερμοτράπεζες, συμπιεστές κλπ.
- Ιατρικά Μηχανήματα

Ο βασικός ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός αφορά κυρίως τον εξοπλισμό των μαγειρικών, των πλυντηρίων – στεγνωτηρίων και των κλιματιστικών. Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω:

#### Μαγειρεία:

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς για την κάλυψη των αναγκών των διαφόρων συσκευών (φούρνοι, τηγάνια, μίξερ, ψυγεία, μηχανές παρασκευής φαγητών) εκτιμάται σε 400 kW.

#### Πλυντήρια:

Η συνολική ονομαστική ηλεκτρική ισχύς των ηλεκτρικών πλυντηρίων ανέρχεται σε 200 kW.

#### Ιατρικός Εξοπλισμός:

Ο ιατρικός εξοπλισμός που χαρακτηρίζεται από υψηλή ηλεκτρική ισχύ περιλαμβάνει:

- Μαγνητικό Τομογράφο (120 kW)
- Αξονικό Τομογράφο (100 kW)
- Μηχανήματα απεικόνισης (250 kW)
- Λοιπό Εργαστηριακό Εξοπλισμό (100 kW)

## 7.6 Εισαγωγή του φυσικού αερίου

Το καύσιμο που χρησιμοποιούσε εξ ολοκλήρου το νοσοκομείο μέχρι το 2004 ήταν το πετρέλαιο. Το 2004 το νοσοκομείο συνδέθηκε με το δίκτυο αερίου της ΕΠΑ Αττικής και χρησιμοποιεί το φυσικό αέριο ως καύσιμο στους λέβητες του κτιρίου Ν3. Στην παρούσα φάση, λοιπόν, το νοσοκομείο χρησιμοποιεί πετρέλαιο στους παλιούς λέβητες και φυσικό αέριο στους καινούργιους του Ν3.

Στόχος της Δράσης 2.1.4 και γενικότερα του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ανταγωνιστικότητας (ΕΠΑΝ) του Γ' ΚΠΣ είναι το βέλτιστο σχήμα ένταξης του φυσικού αερίου στο ενεργειακό σύστημα των νοσοκομείων, βάσει μιας συγκεκριμένης σειράς κριτηρίων. Αξίζει επομένως να γίνει μια πιο εκτενής αναφορά στο καύσιμο που πρόκειται να χρησιμοποιεί στο μέλλον το νοσοκομείο.

### 7.6.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο είναι αέριο καύσιμο που υπάρχει στη φύση, αποτελούμενο κατά βάση από μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και σε μικρότερες αναλογίες από άλλα αέρια, όπως αιθάνιο και βαρύτερους υδρογονάνθρακες και μη-καύσιμα αέρια όπως το άζωτο. Οι αναλογίες των συστατικών ποικίλουν ανάλογα με την προέλευση. Με τον όρο φυσικό αέριο, γενικά, θεωρείται το αέριο καύσιμο που εξάγεται από τη γη και μεταφέρεται με αγωγούς σε αέρια κατάσταση, μέχρι τα σημεία κατανάλωσής του. Το φυσικό αέριο είναι ορυκτό καύσιμο, άρα η διαθεσιμότητά του εξαρτάται από την επάρκεια των κοιτασμάτων (οι σημερινές προβλέψεις είναι για 80 - 100 χρόνια).

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο, εξάγεται από τη γη και υγροποιείται με ψύξη σε θερμοκρασία  $-160^\circ\text{C}$ . Η υγροποίηση του φυσικού αερίου διευκολύνει τη μεταφορά του με πλοία σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης επιτρέπει την αποθήκευσή του σε σχετικά μικρούς χώρους μια και καταλαμβάνει μόνο το 1/600 του όγκου ισοδύναμης ποσότητας αερίου σε θερμοκρασία και πίεση περιβάλλοντος.

Τα όρια ανάφλεξης του φυσικού αερίου είναι 4,5% - 15% (δηλαδή η καύση δεν μπορεί να διατηρηθεί εάν η περιεκτικότητα του αέρα σε φυσικό αέριο είναι εκτός αυτών των ορίων).

Τυπική σύσταση φυσικού αερίου		
ΣΥΣΤΑΣΗ	ΡΩΣΙΚΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΑΛΓΕΡΙΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ
Περιεκτικότητα (% κ.ο.) σε :		
Μεθάνιο (C1)	98	91,2
Αιθάνιο (C2)	0,6	6,5
Προπάνιο (C3)	0,2	1,1
Βουτάνιο (C4)	0,2	0,2
Πεντάνιο (C5) και βαρύτερα	0,1	-
Άζωτο (N2)	0,8	1,0
Διοξείδιο του άνθρακα (CO2)	0,1	---

Στερεά σώματα	---	---
<b>Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη *</b>	από 8,600 kcal/Nm <sup>3</sup> έως 9,200 kcal/Nm <sup>3</sup>	από 9,640 kcal/Nm <sup>3</sup> έως 10,650 kcal/Nm <sup>3</sup>
<p>(*)Η ποσότητα θερμότητας που απελευθερώνεται κατά την πλήρη καύση του καυσίμου. Για αέρια καύσιμα εκφράζεται συνήθως σε MJ/Nm<sup>3</sup> ή kcal/Nm<sup>3</sup>, ενώ για υγρά και στερεά καύσιμα σε MJ/kg ή kcal/kg. Διακρίνεται σε:</p> <p>-Ανωτέρα Θερμογόνο Δύναμη : θεωρείται ότι το νερό που παράγεται κατά την καύση έχει υγροποιηθεί και έχει απελευθερώσει την λανθάνουσα θερμότητά του.</p> <p>-Κατωτέρα Θερμογόνο Δύναμη : θεωρείται ότι το νερό που παράγεται κατά την καύση βρίσκεται σε αέρια κατάσταση</p> <p>Το ποσοστό κατά το οποίο πρέπει να προσαυξηθεί η κατωτέρα θερμογόνος δύναμη για να υπολογιστεί η ανωτέρα είναι περίπου : <b>ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ</b> : 10%</p> <p><b>L.P.G.</b> : 7.5% , <b>Υγρά καύσιμα (μαζούτ, ντίζελ)</b> : 6% , <b>Στερεά καύσιμα</b> : 3%</p>		

Πίνακας 7. 13 Στοιχεία φυσικού αερίου

## Κεφάλαιο 8 -Στοιχεία ενεργειακών καταναλώσεων

Οι μορφές ενέργειας που καταναλώνονται στο Σισμανόγλειο σήμερα είναι θερμική και ηλεκτρική.

Η θερμική ενέργεια προέρχεται κυρίως από την καύση Diesel και δευτερευόντως από φυσικό αέριο (σε τρεις νέους λέβητες αερίου του κτιρίου Ν3) σε λέβητες με εργαζόμενο μέσο είτε ζεστό νερό είτε ατμό. Το νοσοκομείο είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο αερίου της ΕΠΑ Αττικής

Η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ, μέσω δύο υποσταθμών μέσης τάσης, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 7.5.2.

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 6.1, «συμβατική λύση» ονομάζουμε την κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων από το δίκτυο της ΔΕΗ και την κάλυψη των θερμικών από την καύση κάποιου καυσίμου στους λέβητες. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θεωρούμε ότι στη συμβατική λύση τα θερμικά φορτία του νοσοκομείου καλύπτονται αποκλειστικά από την καύση Diesel (βλ. παράγραφο 8.2).

### 8.1 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Στην παρούσα ενότητα γίνεται καταγραφή και ανάλυση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του νοσοκομείου.

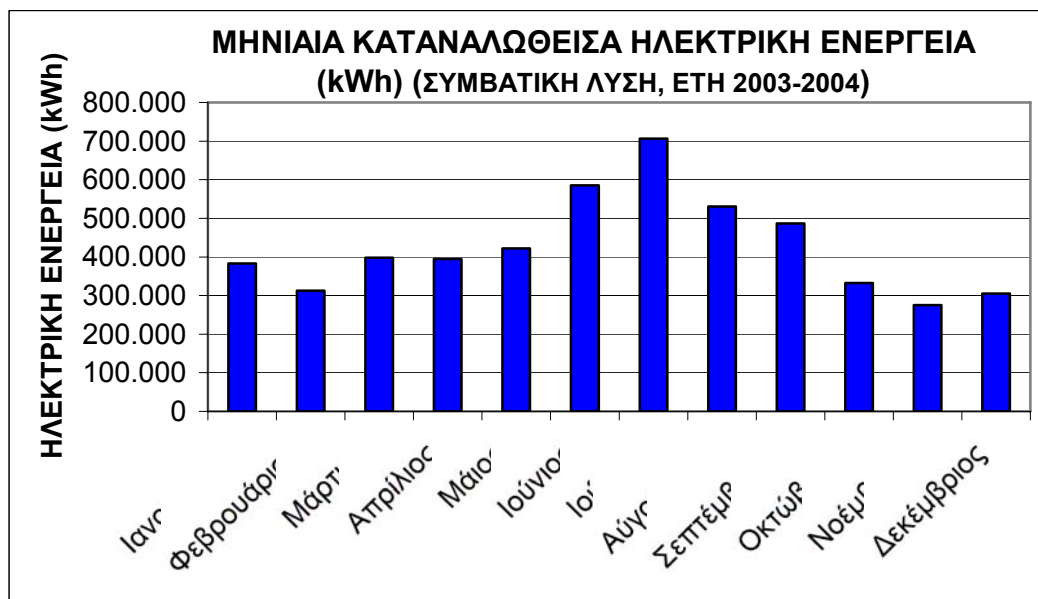
Στον πίνακα 8.1 παρουσιάζεται το μηνιαίο προφίλ ηλεκτρικής κατανάλωσης βάσει τιμολογίων του νοσοκομείου κατά τα έτη 2003-2004. Οι τιμές του πίνακα παρουσιάζουν ένα μέσο όρο των μηνιαίων ηλεκτρικών καταναλώσεων των ετών αυτών.

Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων του νοσοκομείου (συμβατική λύση, μέσος όρος των ετών 2003-2004)			
ΜΗΝΑΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΙΣΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	συνφ
Ιανουάριος	383.359	752	0,85
Φεβρουάριος	312.357	796	0,84
Μάρτιος	398.007	746	0,83
Απρίλιος	394.444	836	0,83
Μάιος	421.685	1.070	0,83
Ιούνιος	585.343	1.401	0,82
Ιούλιος	706.144	1.669	0,82
Αύγουστος	530.717	1.426	0,84
Σεπτέμβριος	486.945	1.211	0,83
Οκτώβριος	332.303	793	0,84
Νοέμβριος	275.238	604	0,87
Δεκέμβριος	304.728	652	0,88
ΣΥΝΟΛΟ	5.131.269		
ΜΗΝΙΑΙΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	427.605,75		0,84

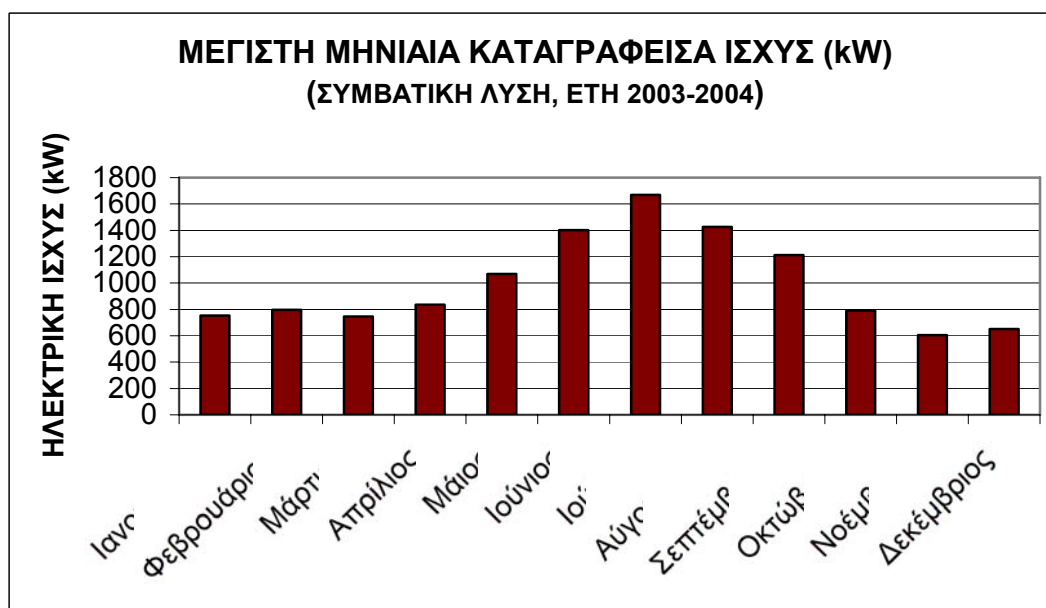
Πίνακας 8. 1 Μηνιαία καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων του νοσοκομείου (συμβατική λύση, μέσος όρος των ετών 2003-2004)

Στα διαγράμματα που ακολουθούν (διάγραμμα 8.1 και 8.2) παρουσιάζονται οι μηνιαίες διακυμάνσεις της ηλεκτρικής κατανάλωσης και της καταγραφείσας μέγιστης ισχύος.





**Διάγραμμα 8. 1** Μηνιαία καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια (συμβατική λύση, έτη 2003-2004)



**Διάγραμμα 8. 2** Μηνιαία διακύμανση καταγραφείσας μέγιστης ισχύος (kW) (συμβατική λύση, έτη 2003-2004)

Βάσει του πίνακα 8.1 μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις:

- Η καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια κατά την περίοδο του θέρους είναι μεγαλύτερη από αυτήν κατά την χειμερινή. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη ανάγκη για δροσισμό των χώρων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.
- Στην ανάγκη για δροσισμό των χώρων επίσης οφείλονται επίσης και οι αιχμές που εμφανίζονται στην μέγιστη καταγραφείσα ισχύ κατά τους θερινούς μήνες.
- Όπως φαίνεται, η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε 5.131MWh περίπου, με εμφανιζόμενη μέγιστη ισχύ το μήνα Ιούλιο (1.669 kW).

## 8.2 Κατανάλωση πετρελαίου Diesel

Για την κάλυψη των θερμικών φορτίων, ο εξοπλισμός παραγωγής θερμικής ενέργειας (λέβητες) τροφοδοτείται με καύσιμο Diesel κατά κύριο λόγο και φυσικό αέριο δευτερευόντως (τρεις λέβητες του κτιρίου N3 λειτουργούν με φυσικό αέριο). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θεωρούμε ότι η κάλυψη των θερμικών φορτίων γίνεται αποκλειστικά με καύσιμο Diesel. Η εύρεση της ποσότητας Diesel που αντιστοιχεί στην καταναλωθείσα ποσότητα φυσικού αερίου προέκυψε αναγάγοντας την ποσότητα του φυσικού αερίου που καταναλώθηκε σε ισοδύναμη ποσότητα Diesel, λαμβάνοντας υπόψη τις κατώτερες θερμογόνους δυνάμεις των δύο καυσίμων.

Σε ότι αφορά την τροφοδοσία με Diesel, για όλη την περίοδο του έτους χρησιμοποιείται Diesel κίνησης.

Ακολουθεί αναλυτικά η μηνιαία κατανάλωση πετρελαίου βάσει τιμολογίων των ετών 2003 και 2004. Οι τιμές του πίνακα 8.2 παρουσιάζουν ένα μέσο όρο των μηνιαίων καταναλώσεων πετρελαίου.

Παρατίθενται μερικά βασικά στοιχεία του πετρελαίου Diesel:

- Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη :

$$H_U = 10200 \text{ kcal/kg} = 11,86 \text{ kwh/kg} = 9,90 \text{ kWh/lt}$$

- Πυκνότητα :

$$\rho = 0,835 \text{ kg/lt} \quad (15^\circ\text{C})$$

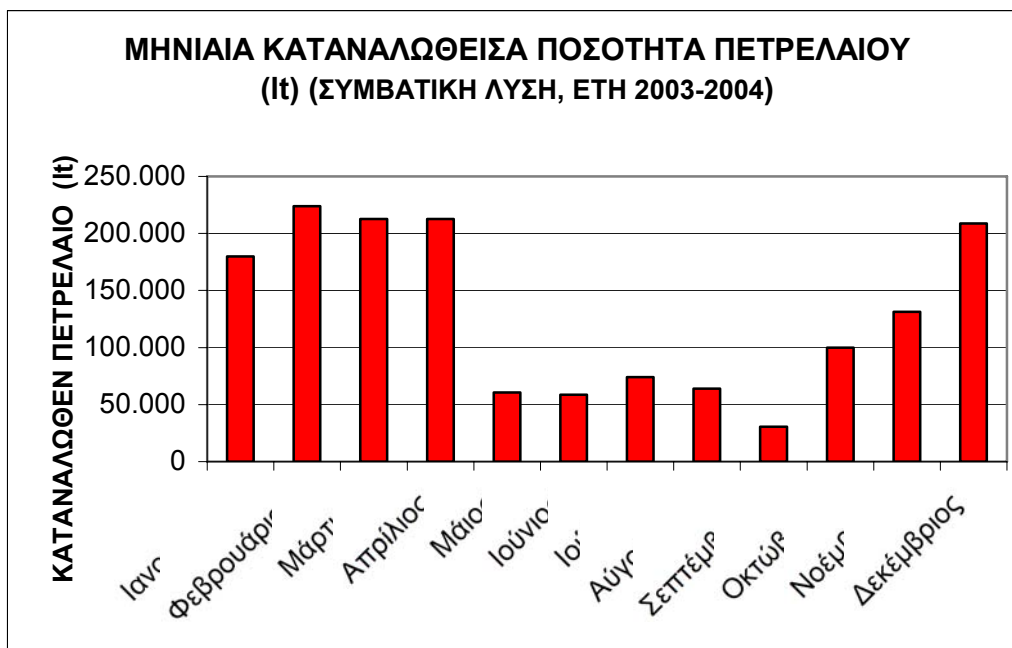
Σημειώνεται ότι θεωρούμε ότι η απόδοση των λεβήτων, λόγω και της παλαιότητάς τους, είναι ίση με 80%, όταν αυτοί χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη πετρέλαιο. Λαμβάνοντας υπόψη και τον βαθμό απόδοσης διανομής γύρω στο 90%, προκύπτει ένας κατά προσέγγιση συνολικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης 70%.

Κατανάλωση πετρελαίου (lt) για την κάλυψη των θερμικών φορτίων του νοσοκομείου (συμβατική λύση, έτη 2003-2004)		
Μήνας	Καταναλωθέν πετρέλαιο (lt)	Κατανάλωση ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (kWh <sub>th</sub> )
Ιανουάριος	179.965	1.247.157
Φεβρουάριος	223.834	1.551.170
Μάρτιος	212.757	1.474.406
Απρίλιος	212.591	1.473.256
Μάιος	60.518	419.389,70
Ιούνιος	58.620	406.236,60
Ιούλιος	74.048	513.152,60
Αύγουστος	63.867	442.598,30
Σεπτέμβριος	30.505	211.399,70
Οκτώβριος	99.783	691.496,20
Νοέμβριος	131.283	909.791,20
Δεκέμβριος	208.629	1.445.799,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1.556.399</b>	<b>10.785.845</b>

**Πίνακας 8. 2 Μηνιαία κατανάλωση πετρελαίου εκφρασμένη σε lt για την κάλυψη των θερμικών φορτίων του νοσοκομείου με το συμβατικό τρόπο**

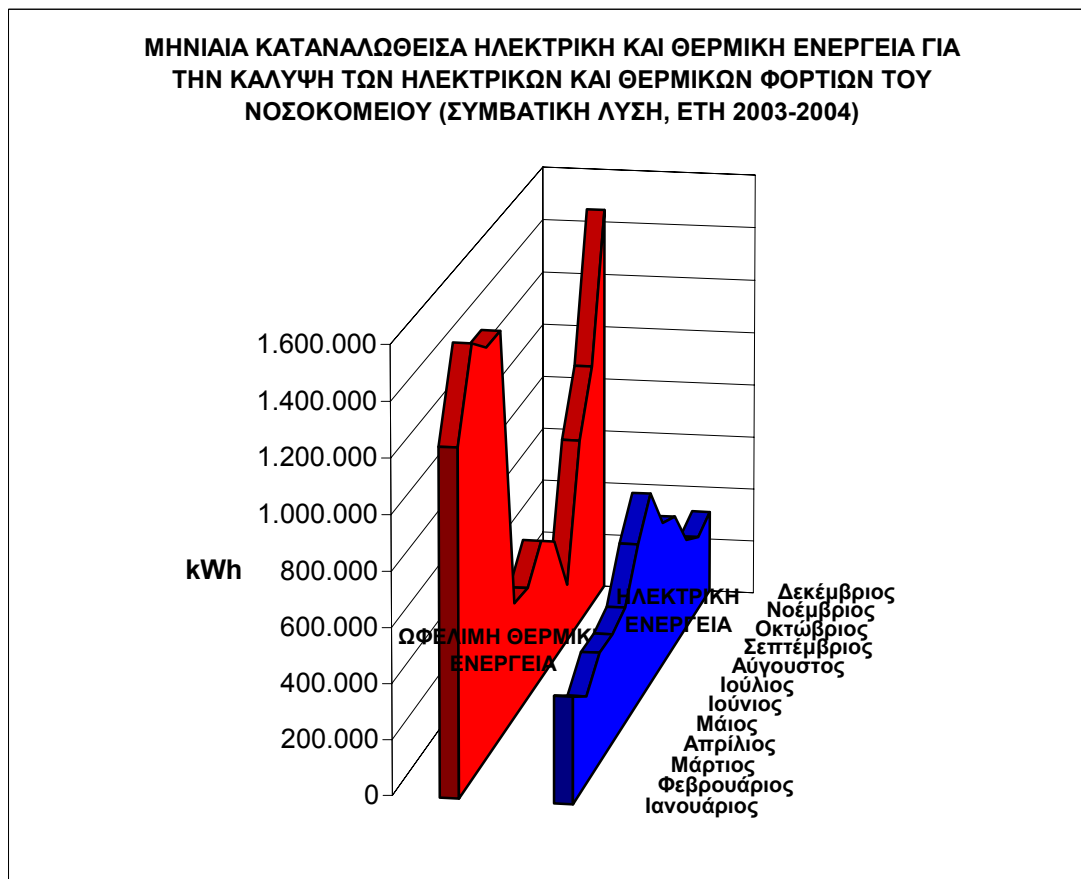
Οφείλουμε να σημειώσουμε ότι ο υπολογισμός της ωφέλιμης θερμικής ενέργειας έγινε λαμβάνοντας υπόψη την κατώτερη θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου Diesel και υποθέτοντας ότι η συνολική εγκατάσταση των λεβήτων με το δίκτυο έχει βαθμό απόδοσης 70%, χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$\text{Ωφέλιμη θερμική ενέργεια (kWh}_{th}) = \text{Ποσότητα πετρελαίου (lt)} \cdot \text{Κατώτερη Θερμογόνο Δύναμη πετρελαίου (kWh/lt)} \cdot \text{βαθμός απόδοσης λεβήτων και δικτύου}$$



**Διάγραμμα 8. 3 Μηνιαία καταναλωθείσα ποσότητα πετρελαίου για την κάλυψη των θερμικών φορτίων του νοσοκομείου (συμβατική λύση, έτη 2003-2004)**

Σε αντίθεση με την ηλεκτρική κατανάλωση, η θερμική μεγιστοποιείται κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών λόγω των αναγκών σε θέρμανση των χώρων.



**Διάγραμμα 8. 4 Μηνιαία καταναλωθείσα ηλεκτρική και θερμική ενέργεια για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων του νοσοκομείου (συμβατική λύση, έτη 2003-2004)**

### 8.3 Ηλεκτρική κατανάλωση κεντρικού κλιματισμού

Στην ενότητα αυτή προσδιορίζεται η μηνιαία διακύμανση της ηλεκτρικής κατανάλωσης που αφορά στα υφιστάμενα συστήματα κεντρικού κλιματισμού.

Από τις μηνιαίες τιμές της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 8.1, η μέγιστη απορροφούμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα συστήματα κεντρικού κλιματισμού παρουσιάζεται τον μήνα Ιούλιο και υπολογίζεται από την μελέτη κλιματισμού στα 150,8 MWh.

Στη συνέχεια για την περίοδο λειτουργίας των κεντρικών κλιματιστικών Απρίλιος-Οκτώβριος εκτιμάται η μηνιαία διακύμανση της απορροφούμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα συστήματα κεντρικού κλιματισμού ως ποσοστό του φορτίου αιχμής (20-100%) που προσδιορίστηκε προηγουμένως. Η εκτίμηση αυτή γίνεται καθώς υπάρχει αδυναμία μέτρησης της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται αποκλειστικά από τον κλιματισμό. Τα αποτελέσματα αυτής της μηνιαίας κατανομής της ηλεκτρικής ενέργειας που αναλώνεται από τα συστήματα κεντρικού κλιματισμού παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 8.3.

Η συνολική ετήσια αναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τον κεντρικό κλιματισμό, προσδιορίζεται περίπου σε 663 MWh.

Ηλεκτρική κατανάλωση από συστήματα κεντρικού κλιματισμού για κάλυψη των ψυκτικών φορτίων (συμβατική λύση)		
Μήνας	(Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρισμού για κεντρικό κλιματισμό) / (Μέγιστη μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρισμού για κεντρικό κλιματισμό) (%)	Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρισμού για κεντρικό κλιματισμό (kWh)
Ιανουάριος	0%	0
Φεβρουάριος	0%	0
Μάρτιος	0%	0
Απρίλιος	20%	30.167
Μάιος	55%	82.958
Ιούνιος	80%	120.666
Ιούλιος	100%	150.833
Αύγουστος	90%	135.749
Σεπτέμβριος	70%	105.583
Οκτώβριος	25%	37.708
Νοέμβριος	0%	0
Δεκέμβριος	0%	0
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΟΥΣ:</b>		<b>663.664</b>

Πίνακας 8. 3 Ηλεκτρική κατανάλωση από τα συστήματα κεντρικού κλιματισμού για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων (συμβατική λύση)

### 8.4 Κόστος κάλυψης ενεργειακών αναγκών με τη συμβατική λύση

Για τον υπολογισμό του κόστους της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών του Νοσοκομείου «Σισμανόγλειο» με βάση τη συμβατική λύση, χρησιμοποιήθηκαν οι τρέχουσες τιμές του τιμολογίου γενικής χρήσης B2 της Δ.Ε.Η., και η τρέχουσα τιμή ανά λίτρο του πετρελαίου κίνησης (0.923€/lt) (οι τρέχουσες τιμές είναι οι τιμές του Νοεμβρίου του 2006).

Η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας και του πετρελαίου για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων του νοσοκομείου με τη συμβατική λύση παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη παράγραφο. Συνοπτικά έχουμε:

Κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη ενεργειακών φορτίων (συμβατική λύση)	
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh <sub>e</sub> )	Κατανάλωση θερμικής ενέργειας (kWh <sub>th</sub> )
5.131.269	10.785.845

Πίνακας 8. 4 Κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη ενεργειακών φορτίων (συμβατική λύση)

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι ο λόγος της ηλεκτρικής προς τη θερμική ενέργεια (**PHR** : power to heat ratio) είναι **1 : 2,102, ή 0,476**.

Ο πίνακας 8.5 δίνει το κόστος κάλυψης των αναγκών σε ηλεκτρισμό με βάση τη συμβατική λύση.

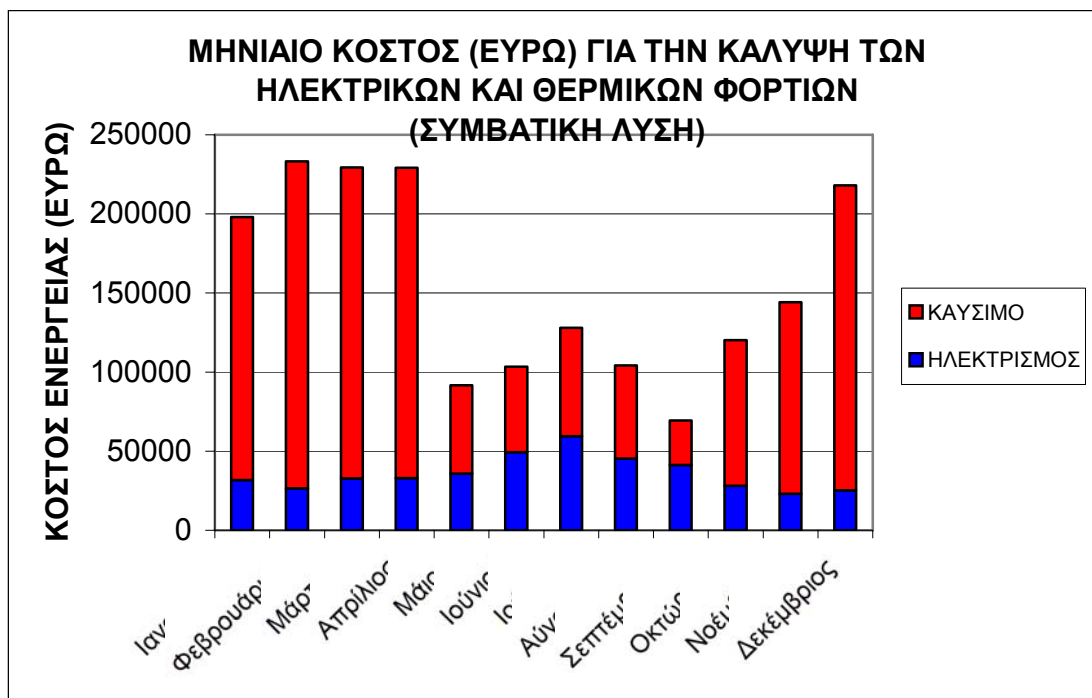
Κόστος κάλυψης των αναγκών σε ηλεκτρισμό (συμβατική λύση)				
ΜΗΝΑΣ	ΧΡΕΩΣΤΕΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΖΗΤΗΣΗ (kW)	ΚΟΣΤΟΣ ΙΣΧΥΟΣ (ΕΥΡΩ)	ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΕΥΡΩ)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΕΥΡΩ)
Ιανουάριος	749	2.631,16	29.142,95	31.774,11
Φεβρουάριος	796	2.796,27	23.745,38	26.541,65
Μάρτιος	746	2.620,62	30.256,49	32.877,12
Απρίλιος	836	2.936,78	29.985,63	32.922,42
Μάιος	1.070	3.758,80	32.056,49	35.815,30
Ιούνιος	1.401	4.921,57	44.497,77	49.419,35
Ιούλιος	1.669	5.863,03	53.681,07	59.544,10
Αύγουστος	1.426	5.009,40	40.345,11	45.354,50
Σεπτέμβριος	1.211	4.254,12	37.017,56	41.271,68
Οκτώβριος	793	2.785,73	25.261,67	28.047,40
Νοέμβριος	594	2.086,66	20.923,59	23.010,26
Δεκέμβριος	629	2.209,61	23.165,42	25.375,04
ΣΥΝΟΛΟ		41.873,77	390.079,10	431.952,87

Πίνακας 8. 5 Κόστος κάλυψης των αναγκών σε ηλεκτρισμό (συμβατική λύση)

Ο πίνακας 8.6 δίνει το κόστος κάλυψης των αναγκών σε καύσιμο Diesel με βάση τη συμβατική λύση.

Κόστος κάλυψης των αναγκών σε καύσιμο Diesel (συμβατική λύση)		
ΜΗΝΑΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ(lt)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (ΕΥΡΩ)
Ιανουάριος	179.965	166.107,70
Φεβρουάριος	223.834	206.598,80
Μάρτιος	212.757	196.374,70
Απρίλιος	212.591	196.221,50
Μάιος	60.518	55.858,11
Ιούνιος	58.620	54.106,26
Ιούλιος	74.048	68.346,30
Αύγουστος	63.867	58.949,24
Σεπτέμβριος	30.505	28.156,12
Οκτώβριος	99.783	92.099,71
Νοέμβριος	131.283	121.174,20
Δεκέμβριος	208.629	192.564,60
ΣΥΝΟΛΟ	1.556.399	1.436.556,27

Πίνακας 8. 6 Κόστος κάλυψης των αναγκών σε καύσιμο Diesel (συμβατική λύση)



**Διάγραμμα 8. 5 Μηνιαίο ενεργειακό κόστος για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων (συμβατική λύση)**

Επομένως το ετήσιο κόστος ενέργειας και συντήρησης για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νοσοκομείου, με βάση τη συμβατική λύση, είναι:

Συνολικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας : 431.952,87 €

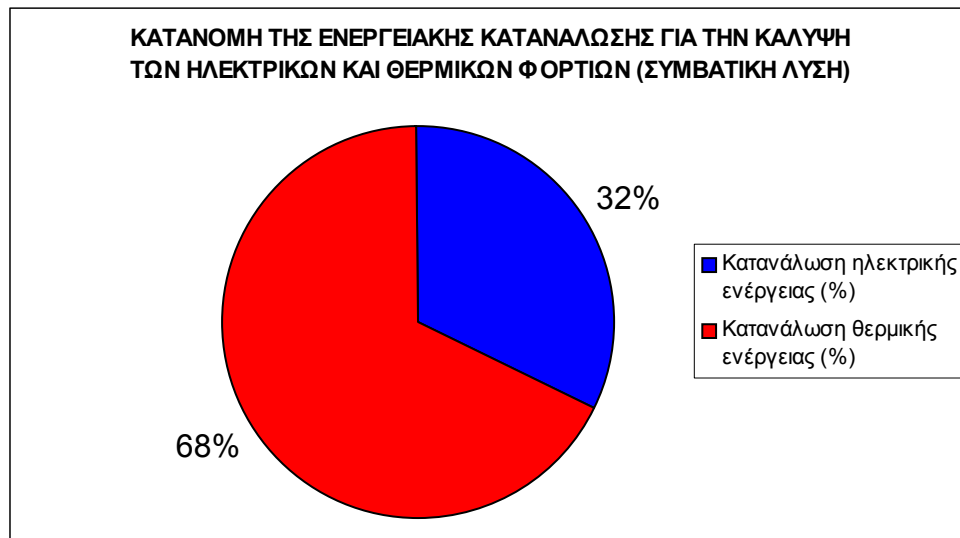
Κόστος θερμικής ενέργειας : 1.436.556,27 €

Κόστος συντήρησης (εκτιμάται από το νοσοκομείο): 50.000,00 €

Συνολικό ενεργειακό κόστος : **1.918.509,14€**

Από τον πίνακα 8.4 προκύπτει το διάγραμμα 8.6, που δίνει την κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων του νοσοκομείου, εκφρασμένη σε ποσοστά. Παρατηρούμε ότι η ποσοστιαία αυτή κατανομή, που παρουσιάζεται στο διάγραμμα 8.6, είναι όμοια με αυτή του σχήματος 6.1.

Από τους πίνακες 8.5 και 8.6 προκύπτει το διάγραμμα 8.7, που δίνει την κατανομή του κόστους για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων του νοσοκομείου, επίσης εκφρασμένη σε ποσοστά.



Διάγραμμα 8. 6 Κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων του νοσοκομείου (συμβατική λύση)



Διάγραμμα 8. 7 Κατανομή του κόστους για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων του νοσοκομείου (συμβατική λύση)

### 8.5 Περιβαλλοντικό κόστος από τη συμβατική λύση

Στην ενότητα αυτή εκτιμώνται οι εκπομπές αερίων ρύπων και η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας βάσει των συλλεχθέντων στοιχείων, τιμές οι οποίες θα συνεκτιμηθούν μαζί με το κόστος κάλυψης των ενεργειακών αναγκών με τη συμβατική λύση, ως βάση σύγκρισης για την εφαρμογή της συμπαραγωγής.

Οι βασικοί παράμετροι για την εύρεση των παρακάτω τιμών παρουσιάζονται ακολούθως:

- Βαθμός απόδοσης λεβήτων πετρελαίου και δικτύου διανομής: 70%
- Συντελεστές εκπομπών αερίων όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 8.7. Οι εκπομπές ρύπων διαφόρων συστημάτων έχουν ήδη αναφερθεί στο πρώτο κεφάλαιο. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή ρύπων από τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η κατανάλωση καυσίμου στους λέβητες, η καύση του οποίου σε τοπική κλίμακα εκπέμπει ρύπους, αφορά την κάλυψη των θερμικών φορτίων του νοσοκομείου στην περίπτωση της συμβατικής λύσης.

Συντελεστές εκπομπών αερίων ρύπων λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και καύσης καυσίμου στους λέβητες του νοσοκομείου			
Ρύπος	Συντελεστής εκπομπής ρύπου λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (kg/MWh)	Συντελεστής εκπομπής ρύπου λόγω κατανάλωσης καυσίμου στους λέβητες	
		Εκπομπές από καύση Diesel (g/kg)	Εκπομπές από καύση φυσικού αερίου (kg/MWh <sub>LHV</sub> )
CO <sub>2</sub>	850	3142	196,31
SO <sub>2</sub>	15,5	6	0
CO	0,18	0,572	0,024
NO <sub>x</sub>	1,2	2,384	0,152
HC	0,05	0,191	0,0058
Στερεά σωματίδια	0,8	0,286	0,00724

Πίνακας 8. 7 Συντελεστές εκπομπών αερίων ρύπων λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και καύσης καυσίμου στους λέβητες του νοσοκομείου

Ετήσιες εκπομπές αερίων ρύπων (kg) (συμβατική λύση)			
Ρύπος	Εκπεμπόμενες ποσότητες		Συνολική εκπεμπόμενη ποσότητα ρύπων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νοσοκομείου (kg/έτος) (συμβατική λύση)
	Λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (kg/έτος)	Λόγω καύσης Diesel στους λέβητες του νοσοκομείου (kg/έτος)	
CO <sub>2</sub>	4.361.578,65	4.083.321,72	8.444.900,37
SO <sub>2</sub>	79.534,67	7.797,56	87.332,23
CO	923,63	743,37	1.667,00
NO <sub>x</sub>	6.157,52	3.098,23	9.255,75
HC	256,56	248,22	504,78
Στερεά σωματίδια	4.105,02	371,68	4.476,70
Σύνολο	4.452.556,05	4.095.580,79	8.548.136,84

Πίνακας 8. 8 Ετήσιες εκπομπές αερίων ρύπων (kg) της συμβατικής λύσης



Οι συνολικές ετήσιες εκπομπές αερίων ρύπων της κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων του νοσοκομείου με τη συμβατική λύση, όπως εκτιμήθηκαν με βάση τις ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρισμού και καυσίμου και τους συντελεστές εκπομπών του πίνακα 8.7, παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 8.8.

Όπως έχει προαναφερθεί, οι τοπικές εκπομπές της συμβατικής λύσης αφορούν τις εκπεμπόμενες ποσότητες ρύπων λόγω της παραγωγής θερμικής ενέργειας στους λέβητες του νοσοκομείου. Στην υπό εξέταση περίπτωση οι τοπικές εκπομπές προέρχονται από την καύση του πετρελαίου Diesel.

Τέλος η παρούσα κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας προκύπτει από την άθροιση της ενέργειας που αναλώνεται λόγω κατανάλωσης καυσίμου στους λέβητες του νοσοκομείου (15.408.350 kWh) και της πρωτογενούς ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, θεωρώντας ότι ο μέσος βαθμός απόδοσης του δικτύου είναι 37% (13.868.295kWh). Αναλυτικά :

- Λόγω καυσίμου στους λέβητες του νοσοκομείου:  
ωφέλιμη θερμική ενέργεια/απόδοση λεβήτων =  $10.785.845 \text{ kWh} / 0,7$   
= 15.408.350 kWh
- Λόγω παραγωγής ηλεκτρισμού από τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής:  
καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια / 0,37 =  $5.131.269 \text{ kWh} / 0,37$  = 13.868.295kWh

Επομένως η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας είναι **29.276.645 kWh**.

## 8.6 Προβλήματα πριν τη μελέτη επιλογής συστήματος συμπααραγωγής

Κατά την επίσκεψη στο Γ.Π.Ν.Α. «Σισμανόγλειο» στις 12/4/2006 βρέθηκε από την Τεχνική Υπηρεσία του νοσοκομείου ότι το νοσοκομείο είχε πάρει την σχετική άδεια για συμπααραγωγή από την Ρ.Α.Ε. και αναμένετο έγκριση από το Υπουργείο Ανάπτυξης. Η Τεχνική Υπηρεσία μας ενημέρωσε επίσης για κάποια στοιχεία και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που αφορούν το νοσοκομείο:

- Το κεντρικό κτίριο χτίστηκε δεκαετίες πριν, επομένως δεν έχει κατάλληλη θερμομόνωση, και για την θέρμανση του νερού χρησιμοποιούνται ατμολέβητες, δύο γεγονότα που υποδεικνύουν τις μεγάλες απώλειες ενέργειας στο κεντρικό κτίριο.
- Η ψυχιατρική κλινική χτίστηκε την δεκαετία του 90 ενώ τα κτίρια Ν4 και Ν3 είναι πιο πρόσφατα. Στα τελευταία έχουν τηρηθεί τα απαραίτητα μέτρα θερμομόνωσης.
- Το νοσοκομείο παρουσιάζει πολύ ψηλό θερμικό φορτίο κατά την διάρκεια του χειμώνα και υψηλό ηλεκτρικό φορτίο κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.
- Το νοσοκομείο έχει σχεδόν εξαντλήσει τον συντελεστή οικοδόμησης
- Σκοπός της Τεχνικής Υπηρεσίας είναι να αντικατασταθεί το πετρέλαιο Diesel, το οποίο χρησιμοποιείται σαν καύσιμο στο νοσοκομείο, με το φυσικό αέριο.
- Τα ερωτήματα που τέθηκαν από την Τεχνική Υπηρεσία ήταν πως θα επηρεαζόταν η συμπααραγωγή εάν στο κεντρικό κτίριο λαμβάνονταν μέτρα θερμομόνωσης και αν γινόταν αντικατάσταση των ατμολεβήτων.

Το τελευταίο ερώτημα είναι κρίσιμης σημασίας για την βιωσιμότητα της εφαρμογής της συμπααραγωγής. Η εγκατάσταση μονάδας συμπααραγωγής μπορεί να είναι λιγότερο οικονομικά συμφέρουσα από κάποιον άλλο τρόπο εξοικονόμησης ενέργειας, όπως μόνωση κτιρίων ή αντικατάσταση πετρελαιομένων. Πριν, λοιπόν από τη μελέτη συμπααραγωγής, πρέπει να εξαντληθούν όλοι οι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας. Για παράδειγμα, μερικές απλές επιδιορθώσεις (όπως βελτίωση της μόνωσης του δικτύου διανομής ατμού και θερμού νερού) μπορούν να αποφέρουν σημαντικές αλλαγές στις συνολικές απαιτήσεις φορτίου του νοσοκομείου και να

αλλάζουν ουσιαστικά το λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα, ο οποίος με τη σειρά του θα επηρεάσει τον τύπο και το μέγεθος του συστήματος συμπαραγωγής.

Θα ήταν ενδιαφέρον να εξεταστεί πως ενέργειες όπως η μόνωση των κτιρίων, η μόνωση των σωληνώσεων και άλλα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, θα επηρέαζαν το σε ισχύ ηλεκτρικό και θερμικό φορτίο του νοσοκομείου.

Σημειώνεται ακόμη πως δεν είχαν συνταχθεί από το νοσοκομείο οι καμπύλες φορτίων, που είναι απαραίτητες για την επιλογή συστήματος συμπαραγωγής, όπως έχει λεχθεί στο πέμπτο κεφάλαιο, με αποτέλεσμα οι εκτιμήσεις μας να γίνουν αποκλειστικά με βάση τις καταναλώσεις του νοσοκομείου.

## 8.7 Πιθανά μέτρα εξοικονόμηση ενέργειας

Ενδεικτικά αναφέρονται:

- Οι υπάρχοντες ατμολέβητες, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στο παλιό κτίριο του Κεντρικού Λεβητοστασίου είναι παλιάς τεχνολογίας, η ολική απόδοσή τους είναι χαμηλή και το κόστος συντήρησης μεγάλο. Οι λέβητες θερμού νερού εμφανίζουν μεγάλες απώλειες ακτινοβολίας και χαμηλούς βαθμούς απόδοσης. Ο χαμηλός βαθμός απόδοσης των λεβήτων σε συνδυασμό με το χαμηλό βαθμό απόδοσης του δικτύου διανομής καθιστούν αναγκαίες τις επεμβάσεις για εκσυγχρονισμό του λεβητοστασίου, με αντικαταστάσεις των παλιών λεβήτων από νέους και με βελτιώσεις στο δίκτυο σωληνώσεων και των εναλλακτών θερμότητας (π.χ. μονώσεις). Οι νέοι λέβητες θα ήταν προτιμότερο να ήταν διπλού καυσίμου (φυσικού αερίου – πετρελαίου Diesel). Μια τέτοια τροποποίηση θα μπορούσε να βελτιώσει τον συνολικό βαθμό της εγκατάστασης από 70% σε 80-85% και να μειώσει την συνολική κατανάλωση καυσίμου και του αντίστοιχου κόστους για την αγορά του.
- Οι κλιματιστικές συσκευές διαιρούμενου τύπου (split units), οι οποίες είναι ανεξέλεγκτα τοποθετημένες, ελέγχονται τοπικά και παρέχουν μόνο ψύξη ή θέρμανση χωρίς να καλύπτουν τις απαιτούμενες συνθήκες ανέσεως (έλεγχος σχετικής υγρασίας, ποιότητα, ανανέωσης και ταχύτητας προσαγωγής του αέρα, κ.λ.π). Η λειτουργία τους είναι ανεξέλεγκτη και εξαρτάται από τους ασθενείς και τους επισκέπτες. Η μονάδα εντατικής θεραπείας, τα χειρουργεία, τα εξωτερικά ιατρεία, τα έκτακτα περιστατικά και τα δωμάτια νοσηλείας έχουν όλα διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά τον κλιματισμό. Η βελτίωση στον κλιματισμό με αντικατάσταση των split units με κεντρικό σύστημα κλιματισμού (αερόψυκτο ή υδρόψυκτο σύστημα παραγωγής ψυχρού νερού) θα οδηγούσε πιθανόν σε μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που μεταβάλλει τις ενεργειακές απαιτήσεις του νοσοκομείου σε ηλεκτρισμό.
- Στα νοσοκομεία η μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης είναι σημαντική. Οι κλιματολογικές συνθήκες της Αττικής είναι ευνοϊκές για την εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων με σκοπό την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Μια τέτοια εγκατάσταση πιθανόν να οδηγούσε σε εξοικονόμηση καυσίμου και κόστους.
- Υπάρχουν απλοί τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας, χωρίς καθόλου κόστος. Για παράδειγμα τα φώτα ενός δωματίου νοσηλείας δεν χρειάζεται να είναι ανοικτά όταν το δωμάτιο είναι άδειο ή όταν το φως που έρχεται από τα παράθυρα είναι επαρκές. Ηλεκτρικές συσκευές γραφείων για το χρονικό διάστημα που δεν χρησιμοποιούνται, δεν χρειάζεται να παραμένουν ανοικτές.
- Θερμοστάτες στα δωμάτια μπορούν να ρυθμίσουν την θερμοκρασία του χώρου. Δεν υπάρχει λόγος οι ασθενείς να ανοίγουν παράθυρα στην περίπτωση που υπερθερμαίνονται τα δωμάτια.

Παρουσιάζονται συνοπτικά οι τομείς όπου μπορεί να εφαρμοστούν κάποια πιθανά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Κάθε μέτρο όμως από μόνο του πρέπει να εξετάζεται σε βάθος πριν εφαρμοστεί γιατί μπορεί να επηρεάζει σε κάποιον άλλο τομέα την κατανάλωση ενέργειας (για παράδειγμα η σκίαση των παραθύρων επηρεάζει την κατανάλωση για φωτισμό). [5][14][16][18]

### Σύστημα θέρμανσης

- Συστήματα ελέγχου της εσωτερικής θερμοκρασίας, θερμοστάτες στα δωμάτια
- Μόνωση των λεβήτων
- Μόνωση δικτύου διανομής ατμού και ζεστού νερού
- Εγκατάσταση τοπικών θερμαντήρων (water heater) για τη θέρμανση νερού σε απομακρυσμένα σημεία
- Έλεγχος βαθμού απόδοσης και προγραμματισμένη συντήρηση
- Αντικατάσταση πετταλαιωμένων λεβήτων
- Εισαγωγή νέων τεχνολογιών, όπως ηλιακά συστήματα ή ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας

### Κτίριο

- Μόνωση των ελλιπώς μονωμένων στοιχείων του κτιριακού κελύφους
- Βελτιώσεις στα παράθυρα
- Ελάττωση της διείσδυσης του αέρα

### Φωτισμός

- Χρήση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης
- Συστήματα ελέγχου φωτισμού (π.χ. χρονοσυστήματα, ανιχνευτές παρουσίας)

### Κλιματισμός

- Ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια και εγκατάσταση μηχανών απορρόφησης
- Χρήση εξωτερικού αέρα όταν δεν απαιτούνται ειδικές συνθήκες κλιματισμού (όπως στην μονάδα εντατικής θεραπείας)
- Συντήρηση και καθαρισμός υπάρχοντων μονάδων
- Βελτίωση του συστήματος ελέγχου της ψυκτικής μονάδας

### Συντήρηση

- Προγραμματισμένος έλεγχος και συντήρηση των συστημάτων
- Συστηματική καταγραφή εξοπλισμού και ανταλλακτικών

### Υπηρεσίες

- Στα πλυντήρια μπορούν να εφαρμοστούν μέτρα εξοικονόμησης νερού και θερμότητας
- Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα μαγειρεία

## Κεφάλαιο 9 - Διαδικασία επιλογής συστήματος συμπαραγωγής

### 9.1 Κριτήρια επιλογής

Η διαδικασία επιλογής κατάλληλου συστήματος συμπαραγωγής για συγκεκριμένη εφαρμογή είναι περίπλοκη και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία μεταβάλλονται με το χρόνο ποσοτικά (ισχύς) και ποιοτικά (π.χ. πίεση και θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου). Επίσης παρατηρείται μεταβολή ορισμένων οικονομικών μεγεθών, όπως η τιμή αγοράς και πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από τη Δ.Ε.Η., η τιμή του καυσίμου, κ.λ.π..

Τα συστήματα συμπαραγωγής που περιγράφηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 5 είναι κατάλληλα και για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας με παράλληλη παραγωγή ψυχρού νερού (τριπαραγωγή).

Η επιλογή των εναλλακτικών λύσεων γίνεται με τα κάτωθι κριτήρια:

- Το μέγεθος της ηλεκτρικής ισχύος των μονάδων συμπαραγωγής προσδιορίζεται έτσι ώστε να καλύπτει το βασικό θερμικό φορτίο. Με αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιούνται οι ώρες λειτουργίας του συστήματος, όποτε μειώνεται ο χρόνος αποπληρωμής. [1][8]
- Κύριος και καθοριστικός είναι ο ρόλος του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα για καθένα από τα συστήματα συμπαραγωγής. Η σχέση αυτή συναρτάται προς τον ολικό βαθμό απόδοσης του συστήματος, όπως έχει οριστεί στο δεύτερο κεφάλαιο.
- Είναι προτιμότερο να επιλεγεί μικρότερο μέγεθος μονάδας από το να υπερδιαστασιολογηθεί, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθούν οι ώρες που θα λειτουργεί σε πλήρες φορτίο. Για να είναι συμφέρουσα η λύση της συμπαραγωγής, το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί τουλάχιστον για 4.500 ώρες/έτος σε πλήρες φορτίο. [8]

Συνεκτιμώνται επίσης οι εξής παράγοντες :

- Η απαιτούμενη πίεση του ατμού, εφόσον παράγεται, και η θερμοκρασία του θερμού νερού που παράγεται.
- Η διαθεσιμότητα (ή μη) κάποιας μορφής καυσίμου ή κάποιου καυσίμου που να ευνοεί τη χρήση συγκεκριμένου κινητήριου συστήματος και η δυνατότητα αποθήκευσης και τροφοδοσίας του (στην περίπτωση μας το καύσιμο είναι το φυσικό αέριο, οπότε δεν τίθεται θέμα αποθήκευσης)
- Η μηχανική απόδοση
- Η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού
- Η διαθεσιμότητα του συστήματος
- Οι απαιτήσεις συντήρησης
- Οι απαιτήσεις εκκίνησης
- Η ύπαρξη εφεδρικού H/Z που να καλύπτει τα φορτία ανάγκης
- Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η επιλογή του κινητήριου συστήματος μπορεί να εξαρτηθεί σημαντικά από οικονομικές παραμέτρους (βλ. Κεφάλαιο 4)
- Οι εκπεμπόμενοι ρύποι [8]

Από τα προαναφερθέντα συστήματα αυτά που πλησιάζουν τον λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) των ενεργειακών καταναλώσεων του νοσοκομείου είναι οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης. Από τις τελευταίες προτιμώνται οι αεριομηχανές (gas engines), καθώς λειτουργούν με αέριο καύσιμο (βλ. Κεφάλαιο 2)

## 9.2 Διαστασιολόγηση συστήματος συμπαραγωγής

Η διαδικασία διαστασιολόγησης του συστήματος συμπαραγωγής είναι διερευνητική και σε αυτήν εξετάζονται δύο σενάρια, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια.

Επιλέγουμε μονάδα συμπαραγωγής ώστε αυτή να ικανοποιεί τα ηλεκτρικά φορτία του νοσοκομείου. Εξαιτίας των χαμηλότερων τιμών αγοράς ηλεκτρισμού από τη ΔΕΗ κατά τη διάρκεια της νύχτας, εκτιμούμε ότι το σύστημα συμπαραγωγής δεν συμφέρει να δουλεύει το βράδυ. Εάν λοιπόν υποθέσουμε ότι δεν συμφέρει να δουλεύει για 5 ώρες κατά την διάρκεια της νύχτας (12.00 π.μ. με 05.00 π.μ.), τότε ότι το σύστημα που επιθυμούμε να εγκαταστήσουμε θα λειτουργεί περίπου 7.000 ώρες/έτος, και επομένως προκύπτει ένα μέσο ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο  $5.131.269/7.000 = 733,04\text{kW}$ . Με βάση αυτό το θεωρητικό φορτίο επιλέγουμε τέτοιο σύστημα συμπαραγωγής ώστε να καλύψουμε πρωτίστως τις ηλεκτρικές ανάγκες του νοσοκομείου.

Κατά την μελέτη των υποψήφιων συστημάτων θα ελέγξουμε εάν η παραγόμενη θερμική ενέργεια υπερβαίνει τις ανάγκες του νοσοκομείου και θα εξετάσουμε εάν μπορούμε την πλεονάζουσα θερμική ενέργεια να την εκμεταλλευτούμε για την παραγωγή ψύξης μέσω ψυκτών απορρόφησης.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής από τα προαναφερθέντα συστήματα συμπαραγωγής, που εξετάστηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο, θα εξετάσουμε την αεριομηχανή με καύσιμο το φυσικό αέριο. Το φυσικό αέριο είναι διαθέσιμο στον χώρο του νοσοκομείου, όπως προαναφέρθηκε στο έβδομο κεφάλαιο.

Η επιλογή δύο όμοιων αεριομηχανών υπερτερεί της μίας (με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ ίση με το άθροισμα των δύο όμοιων), καθώς δίνει ευελιξία στο σύστημα συμπαραγωγής ανάλογα με την καμπύλη διάρκειας του φορτίου, τις προγραμματισμένες διακοπές και τις βλάβες, και αυξάνει το βαθμό αξιοπιστίας της όλης εγκατάστασης.[16] Επίσης η επιλογή δύο αεριομηχανών με την ίδια εγκατεστημένη ισχύ υπερτερεί των δύο με διαφορετική, καθώς η λειτουργία και η συντήρησή τους διέπονται από τα ίδια χαρακτηριστικά.

Η διαστασιολόγηση του συστήματος συμπαραγωγής κρίνεται από το ποια φορτία θα καλύπτει και από το πόσες ώρες θα λειτουργεί κατά τη διάρκεια του έτος. Οι ώρες λειτουργίας κατά τη διάρκεια ενός έτος θα καθοριστούν από τη διαθεσιμότητα της μονάδας συμπαραγωγής και από το γεγονός ότι θα πρέπει να αποφύγουμε την απόρριψη θερμικής ενέργειας στο περιβάλλον, εάν δεν μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε, και την πώληση μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας στη Δ.Ε.Η., καθώς το νοσοκομείο δεν είναι ανεξάρτητος παραγωγός.

Η εκμετάλλευση της πλεονάζουσας θερμικής ενέργειας τους θερινούς μήνες γίνεται με την εγκατάσταση ψυκτών απορρόφησης (τριπαραγωγή). Με τη διαδικασία ψύξης με ψύκτη απορρόφησης η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε ψύξη, σε αντίθεση με τη συμβατική λύση, όπου απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων. Δηλαδή η αιχμή της ηλεκτρικής ζήτησης μειώνεται σε σχέση με την αντίστοιχη αιχμή της παρούσας κατάστασης (συμβατική λύση) λόγω της παύσης λειτουργίας των κεντρικών συμβατικών ψυκτών, καθώς ενσωματώνεται στο νέο ενεργειακό σύστημα και ο ψύκτης απορρόφησης. Συνεπώς η εγκατάσταση ψύκτη απορρόφησης εξομαλύνει την καμπύλη θερμικού φορτίου, λόγω της αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας το καλοκαίρι. Ο ψύκτης απορρόφησης πρέπει να έχει το μέγιστο δυνατό μέγεθος που προκύπτει από την εκμετάλλευση της διατιθέμενης θερμικής ενέργειας από το σύστημα με τον περιορισμό ότι το μέγεθός του να μην ξεπερνάει ένα ποσοστό του μέγιστου ψυκτικού φορτίου, το οποίο εξυπηρετούν οι ψύκτες του συστήματος κεντρικού κλιματισμού του νοσοκομείου, οι οποίοι πρόκειται να αντικατασταθούν από τον εν λόγω ψύκτη απορρόφησης. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα θεωρήσουμε ότι δεν μπορεί να υπερβεί το 50% του συνολικού ψυκτικού φορτίου του κεντρικού κλιματισμού, δηλαδή τους 260RT.

Οι εργασίες της συμπαραγωγής στο νοσοκομείο παρέχουν τη δυνατότητα και της αντικατάστασης των παλαιών λεβήτων πετρελαίου και της εγκατάστασης νέων λεβήτων αερίου, που έχουν σκοπό, πέραν της εφεδρείας, την κάλυψη εκείνων των θερμικών αναγκών που το σύστημα συμπαραγωγής δεν μπορεί να καλύψει.

Βασιζόμενοι στην μέση υπολογισθείσα ηλεκτρική ισχύ, αναζητούμε από τους κατασκευαστές 2 αεριομηχανές τέτοιας εγκατεστημένης ισχύος ώστε να καλύπτουν τις ηλεκτρικές ανάγκες του νοσοκομείου, ακόμα και εάν λειτουργούν σε μερικό φορτίο. Το τελευταίο εξυπηρετεί την περίπτωση μελλοντικής αύξησης των αναγκών του νοσοκομείου σε ηλεκτρική ενέργεια. Σημειώνεται ότι από τους κατασκευαστές αεριομηχανών διατίθενται στοιχεία απόδοσης μόνο για το 100% και το 75% της ονομαστικής ισχύος αυτών.

Επομένως βάσει των διαθέσιμων ισχύων των αεριομηχανών στην αγορά (βλ. παράρτημα ε') μελετάμε τα παρακάτω σενάρια:

#### Σενάριο Α:

Επιλέγουμε δύο αεριομηχανές με εγκατεστημένη ισχύ των 380 kW<sub>e</sub> (2 x 380 kW<sub>e</sub> = 760kW<sub>e</sub>), λαμβάνοντας υπόψη τη μέση ετήσια απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ και θεωρώντας ότι λειτουργούν στο 100% της ονομαστικής τους ισχύος.

#### Σενάριο Β:

Επιλέγουμε δύο αεριομηχανές με εγκατεστημένη ισχύ των 490 kW<sub>e</sub> (2 x 490 kW<sub>e</sub> = 980kW<sub>e</sub>), λαμβάνοντας υπόψη τη μέση ετήσια απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ και θεωρώντας ότι λειτουργούν στο 75% της ονομαστικής τους ισχύος, έχοντας με αυτό τον τρόπο την δυνατότητα κάλυψης μελλοντικών φορτίων.

Το ενεργειακό κόστος ενός συστήματος συμπαραγωγής αποτελείται από τις έξι εξής επιμέρους δαπάνες :

- Κόστος αγοράς φυσικού αερίου για τη μονάδα συμπαραγωγή
- Κόστος αγοράς φυσικού αερίου για τους λέβητες (για την πρόσθετη θερμότητα που δεν καλύπτεται από τη συμπαραγωγή)
- Κόστος αγοράς επιπρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας (που δεν καλύπτεται δηλαδή από τη συμπαραγωγή)
- Κόστος συντήρησης

Αν από τα έξοδα αυτά, αφαιρεθούν τα έσοδα από την πώληση της περίσσειας της ηλεκτρικής ενέργειας στη Δ.Ε.Η., προκύπτει το συνολικό ενεργειακό κόστος.

Για την μελέτη των παραπάνω σεναρίων γίνονται οι εξής παραδοχές :

- Το σύστημα συμπαραγωγής λειτουργεί σε σταθερό φορτίο και ίσο με το ποσοστό της ονομαστικής του ισχύος που θεωρήσαμε ως δεδομένο στα δύο σενάρια.
- Σε κάθε σενάριο έχουμε και παράλληλη αντικατάσταση των υφιστάμενων λεβήτων πετρελαίου Diesel με λέβητες φυσικού αερίου, έτσι ώστε το μοναδικό καύσιμο που χρησιμοποιείται στο νοσοκομείο είναι το φυσικό αέριο.
- Το κόστος του φυσικού αερίου που προορίζεται για τη μονάδα συμπαραγωγής υπολογίστηκε με τιμή 30€/MWh. (Η τιμή αυτή είναι μια μέση τιμή που περιλαμβάνει κόστος ισχύος και ενέργειας (τρέχουσες τιμές του 2005). (βλ. Παράρτημα γ')
- Το κόστος του φυσικού αερίου που προορίζεται για τους λέβητες υπολογίστηκε με τιμή 33€/MWh (τρέχουσα τιμή του 2005). Το κόστος του φυσικού αερίου που προορίζεται για τους λέβητες διαφέρει από αυτό που προορίζεται για τη μονάδα συμπαραγωγής, καθώς υπάρχει διαφορετική χρέωση που αναφέρεται αποκλειστικά στη συμπαραγωγή (βλ. Παράρτημα γ').
- Θεωρούμε το βαθμό απόδοσης των λεβήτων, που λειτουργούν με φυσικό αέριο, και του δικτύου διανομής ίσο με 80%.

- Θεωρούμε τη διαθεσιμότητα των αεριομηχανών ίση με 90%. (βλ. Παράρτημα ε')
- Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκε με τιμή 0,084€/kWh (Η τιμή αυτή είναι μια μέση τιμή που περιλαμβάνει κόστος ισχύος και ενέργειας, Σεπτέμβριος 2006). (βλ. Παράρτημα δ')
- Το κόστος συντήρησης εκτιμήθηκε με βάση τον πίνακα 2.5 ίσο με 0,01€/παραγόμενη ηλεκτρική kWh.
- Για σύνδεση στη μέση τάση (στη μέση τάση υπάγονται τα τριφασικά δίκτυα των 6,6 kV, 15 kV και 20 kV, συχνότητας 50 Hz) η ΔΕΗ αγοράζει την ηλεκτρική ενέργεια με 0,04561 €/kWh (βλ. Παράρτημα δ'). (Το κόστος του μετασχηματιστή δεν έχει ληφθεί υπόψη).
- Η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται για την περίπτωση που δεν υπάρχει καμία μορφή επιδότησης.
- Οι συντελεστές αέριων ρύπων, βάσει των οποίων έγιναν οι υπολογισμοί για το περιβαλλοντικό κόστος, έχουν δοθεί στον πίνακα 8.7 Η καύση του φυσικού αερίου γίνεται στο σύστημα συμπαραγωγής και στους λέβητες (για την κάλυψη των θερμικών αναγκών που το σύστημα συμπαραγωγής δεν μπορεί να καλύψει).

### 9.2.1 Σενάριο Α

Θεωρούμε ότι οι δύο αεριομηχανές με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW<sub>e</sub> λειτουργούν σε πλήρες φορτίο ίσο με την ονομαστική τους ισχύ και εξετάζουμε τις περιπτώσεις των 5.000, 6.000, 7.000 και 8.000 ωρών λειτουργίας ανά έτος. Παρατίθενται στον πίνακα 9.2 τα χαρακτηριστικά της αεριομηχανής με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW<sub>e</sub>.

Χαρακτηριστικά αεριομηχανής (380kW)		
	Λειτουργία στο 100% της ονομαστικής ισχύος	Λειτουργία στο 75% της ονομαστικής ισχύος
Ηλεκτρική ισχύς (kW <sub>e</sub> )	380	285
Θερμική ισχύς (kW <sub>th</sub> )	500	399
Ισχύς καυσίμου (kW)	1026	800
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (%)	37,0	35,6
Θερμικός βαθμός απόδοσης (%)	48,7	49,9
Ολικός βαθμός απόδοσης (%)	85,8	85,5

Πίνακας 9. 1 Χαρακτηριστικά αεριομηχανής 380 kW

Η ηλεκτρική και θερμική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής και το κόστος λειτουργίας της μονάδας συμπαραγωγής εξαρτώνται από τις ώρες λειτουργίας της μονάδας συμπαραγωγής στο έτος καθώς και από τον τρόπο που κατανέμονται οι ώρες λειτουργίας στην διάρκεια του έτους (για παράδειγμα μπορούμε να επιλέξουμε εάν τον ένα μήνα θα λειτουργεί περισσότερες ώρες και τον επόμενο λιγότερες). Καθώς οι πιθανοί συνδυασμοί της κατανομής των ωρών λειτουργίας στην διάρκεια ενός χρόνου δεν μπορούν να εξαντληθούν στα πλαίσια της εργασίας, επιλέγουμε να κατανέμονται οι ώρες λειτουργίας στους μήνες ενός έτους ως εξής, διακρίνοντας τέσσερις περιπτώσεις:

Κατανομή ωρών λειτουργίας του συστήματος συμπαραγωγής					
Μήνας	Ωρες /μήνα	Ωρες λειτουργίας ανά μήνα (περίπτωση 5.000 ωρών/έτος)	Ωρες λειτουργίας ανά μήνα (περίπτωση 6.000 ωρών/έτος)	Ωρες λειτουργίας ανά μήνα (περίπτωση 7.000 ωρών/έτος)	Ωρες λειτουργίας ανά μήνα (περίπτωση 8.000 ωρών/έτος)
Ιανουάριος	744	424,66	509,59	594,52	679,45
Φεβρουάριος	672	383,56	460,27	536,99	613,70
Μάρτιος	744	424,66	509,59	594,52	679,45
Απρίλιος	720	410,96	493,15	575,34	657,53
Μάιος	744	424,66	509,59	594,52	679,45
Ιούνιος	720	410,96	493,15	575,34	657,53
Ιούλιος	744	424,66	509,59	594,52	679,45
Αύγουστος	744	424,66	509,59	594,52	679,45
Σεπτέμβριος	720	410,96	493,15	575,34	657,53
Οκτώβριος	744	424,66	509,59	594,52	679,45
Νοέμβριος	720	410,96	493,15	575,34	657,53
Δεκέμβριος	744	424,66	509,59	594,52	679,45
ΣΥΝΟΛΟ	8760	5000	6000	7000	8000

Πίνακας 9. 2 Κατανομή ωρών λειτουργίας του συστήματος συμπαραγωγής.

Τα ποσά στους πίνακες 9.4 – 9.11 προέκυψαν ως εξής :

- Θεωρήσαμε τις ενεργειακές απαιτήσεις του νοσοκομείου ίσες με τις μέσες ενεργειακές καταναλώσεις των ετών 2003-2004.



- Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το σύστημα συμπαραγωγής προκύπτει πολλαπλασιάζοντας τις ώρες λειτουργίας με την ηλεκτρική ισχύ του συστήματος συμπαραγωγής.
- Η παραγόμενη θερμική ενέργεια από το σύστημα συμπαραγωγής προκύπτει πολλαπλασιάζοντας τις ώρες λειτουργίας με την θερμική ισχύ του συστήματος συμπαραγωγής.
- Το έλλειμμα ηλεκτρικής (ή θερμικής) ενέργειας προκύπτει εάν από την παραγόμενη ηλεκτρική (ή θερμική) ενέργεια από το σύστημα συμπαραγωγής αφαιρέσω την απαιτούμενη ηλεκτρική (ή θερμική) ενέργεια από το νοσοκομείο. Στην περίπτωση που το αποτέλεσμα προκύπτει θετικό, τότε έχουμε πλεόνασμα.

5000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW <sub>e</sub> έκαστη			
Μήνας	Καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	383.359,00	322.739,73	-60.619,27
Φεβρουάριος	312.357,00	291.506,85	-20.850,15
Μάρτιος	398.007,00	322.739,73	-75.267,27
Απρίλιος	394.444,00	312.328,77	-82.115,23
Μάιος	421.685,00	322.739,73	-98.945,27
Ιούνιος	585.343,00	312.328,77	-273.014,23
Ιούλιος	706.144,00	322.739,73	-383.404,27
Αύγουστος	530.717,00	322.739,73	-207.977,27
Σεπτέμβριος	486.945,00	312.328,77	-174.616,23
Οκτώβριος	332.303,00	322.739,73	-9.563,27
Νοέμβριος	275.238,00	312.328,77	+37.090,77
Δεκέμβριος	304.728,00	322.739,73	+18.011,73
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>5.131.269,00</b>	<b>3.800.000,00</b>	

Πίνακας 9. 3 Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 5000 ώρες/έτος

5000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW <sub>e</sub> έκαστη			
Μήνας	Κατανάλωση ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (kWh <sub>th</sub> )	Παραχθείσα θερμική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	1.247.157	424.657,53	-822.499,47
Φεβρουάριος	1.551.170	383.561,64	-1.167.608,36
Μάρτιος	1.474.406	424.657,53	-1.049.748,47
Απρίλιος	1.473.256	410.958,90	-1.062.297,10
Μάιος	419.389,70	424.657,53	+5.267,83
Ιούνιος	406.236,60	410.958,90	+4.722,30
Ιούλιος	513.152,60	424.657,53	-88.495,07
Αύγουστος	442.598,30	424.657,53	-17.940,77
Σεπτέμβριος	211.399,70	410.958,90	+199.559,20
Οκτώβριος	691.496,20	424.657,53	-266.838,67
Νοέμβριος	909.791,20	410.958,90	-498.832,30
Δεκέμβριος	1.445.799	424.657,53	1.021.141,47
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>10.785.845</b>	<b>5.000.000,00</b>	<b>---</b>

Πίνακας 9. 4 Παραχθείσα θερμική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 5000 ώρες/έτος

6000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW <sub>e</sub> έκαστη			
Μήνας	Καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια (KWh)	Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	383.359,00	387.287,67	+3.928,67
Φεβρουάριος	312.357,00	349.808,22	+37.451,22
Μάρτιος	398.007,00	387.287,67	-10.719,33
Απρίλιος	394.444,00	374.794,52	-19.649,48
Μάιος	421.685,00	387.287,67	-34.397,33
Ιούνιος	585.343,00	374.794,52	-210.548,48
Ιούλιος	706.144,00	387.287,67	-318.856,33
Αύγουστος	530.717,00	387.287,67	-143.429,33
Σεπτέμβριος	486.945,00	374.794,52	-112.150,48
Οκτώβριος	332.303,00	387.287,67	+54.984,67
Νοέμβριος	275.238,00	374.794,52	+99.556,52
Δεκέμβριος	304.728,00	387.287,67	+82.559,67
ΣΥΝΟΛΟ	5.131.269,00	4.560.000,00	--

Πίνακας 9. 5 Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 6000 ώρες/έτος

6000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW <sub>e</sub> έκαστη			
Μήνας	Κατανάλωση ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (kWh <sub>th</sub> )	Παραχθείσα θερμική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	1.247.157	509.589,04	-737.567,96
Φεβρουάριος	1.551.170	460.273,97	-1.090.896,03
Μάρτιος	1.474.406	509.589,04	-964.816,96
Απρίλιος	1.473.256	493.150,68	-980.105,32
Μάιος	419.389,70	509.589,04	+90.199,34
Ιούνιος	406.236,60	493.150,68	+86.914,08
Ιούλιος	513.152,60	509.589,04	-3.563,56
Αύγουστος	442.598,30	509.589,04	+66.990,74
Σεπτέμβριος	211.399,70	493.150,68	+281.750,98
Οκτώβριος	691.496,20	509.589,04	-181.907,16
Νοέμβριος	909.791,20	493.150,68	-416.640,52
Δεκέμβριος	1.445.799	509.589,04	-936.209,96
ΣΥΝΟΛΟ	10.785.845	6.000.000,00	--

Πίνακας 9. 6 Παραχθείσα θερμική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 6000 ώρες/έτος

7000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW <sub>e</sub> έκαστη			
Μήνας	Καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια (KWh)	Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	383.359,00	451.835,62	+68.476,62
Φεβρουάριος	312.357,00	408.109,59	+95.752,59
Μάρτιος	398.007,00	451.835,62	+53.828,62
Απρίλιος	394.444,00	437.260,27	+42.816,27
Μάιος	421.685,00	451.835,62	+30.150,62
Ιούνιος	585.343,00	437.260,27	-148.082,73
Ιούλιος	706.144,00	451.835,62	-254.308,38
Αύγουστος	530.717,00	451.835,62	-78.881,38
Σεπτέμβριος	486.945,00	437.260,27	-49.684,73
Οκτώβριος	332.303,00	451.835,62	+119.532,62
Νοέμβριος	275.238,00	437.260,27	+162.022,27
Δεκέμβριος	304.728,00	451.835,62	+147.107,62
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	5.131.269,00	5.320.000,00	--

Πίνακας 9. 7 Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 7000 ώρες/έτος

7000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW <sub>e</sub> έκαστη			
Μήνας	Κατανάλωση ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (kWh <sub>th</sub> )	Παραχθείσα θερμική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	1.247.157	594.520,55	-652.636,45
Φεβρουάριος	1.551.170	536.986,30	-1.014.183,70
Μάρτιος	1.474.406	594.520,55	-879.885,45
Απρίλιος	1.473.256	575.342,47	-897.913,53
Μάιος	419.389,70	594.520,55	+175.130,85
Ιούνιος	406.236,60	575.342,47	+169.105,87
Ιούλιος	513.152,60	594.520,55	+81.367,95
Αύγουστος	442.598,30	594.520,55	+151.922,25
Σεπτέμβριος	211.399,70	575.342,47	+363.942,77
Οκτώβριος	691.496,20	594.520,55	-96.975,65
Νοέμβριος	909.791,20	575.342,47	-334.448,73
Δεκέμβριος	1.445.799	594.520,55	-851.278,45
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	10.785.845	7.000.000	--

Πίνακας 9. 8 Παραχθείσα θερμική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 7000 ώρες/έτος

8000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW <sub>e</sub> έκαστη			
Μήνας	Καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια (KWh)	Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	383.359,00	516.383,56	+133.024,56
Φεβρουάριος	312.357,00	466.410,96	+154.053,96
Μάρτιος	398.007,00	516.383,56	+118.376,56
Απρίλιος	394.444,00	499.726,03	+105.282,03
Μάιος	421.685,00	516.383,56	+94.698,56
Ιούνιος	585.343,00	499.726,03	-85.616,97
Ιούλιος	706.144,00	516.383,56	-189.760,44
Αύγουστος	530.717,00	516.383,56	-14.333,44
Σεπτέμβριος	486.945,00	499.726,03	+12.781,03
Οκτώβριος	332.303,00	516.383,56	+184.080,56
Νοέμβριος	275.238,00	499.726,03	+224.488,03
Δεκέμβριος	304.728,00	516.383,56	+211.655,56
ΣΥΝΟΛΟ	5.131.269,00	6.080.000,00	--

Πίνακας 9. 9 Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 8000 ώρες/έτος

8000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW <sub>e</sub> έκαστη			
Μήνας	Κατανάλωση ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (kWh <sub>th</sub> )	Παραχθείσα θερμική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	1.247.157	679.452,05	-567.704,95
Φεβρουάριος	1.551.170	613.698,63	-937.471,37
Μάρτιος	1.474.406	679.452,05	-794.953,95
Απρίλιος	1.473.256	657.534,25	-815.721,75
Μάιος	419.389,70	679.452,05	+260.062,35
Ιούνιος	406.236,60	657.534,25	+251.297,65
Ιούλιος	513.152,60	679.452,05	+166.299,45
Αύγουστος	442.598,30	679.452,05	+236.853,75
Σεπτέμβριος	211.399,70	657.534,25	+446.134,55
Οκτώβριος	691.496,20	679.452,05	-12.044,15
Νοέμβριος	909.791,20	657.534,25	-252.256,95
Δεκέμβριος	1.445.799	679.452,05	-766.346,95
ΣΥΝΟΛΟ	10.785.845	8.000.000,00	

Πίνακας 9. 10 Παραχθείσα θερμική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 380 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 8000 ώρες/έτος

Τα παραπάνω αποτελέσματα συνοψίζονται στον πίνακα 9.11:

<b>Σύστημα δύο αεριομηχανών 380 kW<sub>e</sub> έκαστη (λειτουργία σε σταθερό φορτίο και ίσο με την ονομαστική τους ισχύ)</b>				
<b>Ώρες</b>	<b>5000</b>	<b>6000</b>	<b>7000</b>	<b>8000</b>
<b>ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh<sub>e</sub>)</b>	3.800.000,00	4.560.000,00	5.320.000,00	6.080.000,00
<b>Έλλειμμα (kWh<sub>e</sub>)</b>	-1.386.372,49	-849.750,75	-530.957,22	-289.710,85
<b>Πλεόνασμα (kWh<sub>e</sub>)</b>	+55.102,49	+278.480,75	+719.687,22	+1.238.440,85
<b>ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh<sub>th</sub>)</b>	5.000.000,00	6.000.000,00	7.000.000,00	8.000.000,00
<b>Έλλειμμα (kWh<sub>th</sub>)</b>	-5.995.401,64	-5.311.707,45	-4.727.321,98	-4.146.500,06
<b>Πλεόνασμα(kWh<sub>th</sub>)</b>	+209.549,34	+525.855,15	+941.469,68	+1.360.647,76
<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΝ ΚΑΥΣΙΜΟ (kWh)</b>	10.260.000,00	12.312.000,00	14.364.000,00	16.416.000,00

**Πίνακας 9. 11 Λειτουργία του συστήματος δύο αεριομηχανών, 380 kW<sub>e</sub> έκαστη, για 5000, 6000, 7000 και 8000 ώρες ανά έτος και σε φορτίο ίσο με την ονομαστική τους ισχύος**

Από τους πίνακες 9.3-9.11 παρατηρούμε τα εξής:

- Όπως ήταν αναμενόμενο, η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια παρατηρείται κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ η περίσσεια θερμικής ενέργειας κατά τους θερινούς.
- Η περίπτωση των 5000 ωρών λειτουργίας / έτος δεν καλύπτει τις ανάγκες του νοσοκομείου ως προς το ηλεκτρικό και θερμικό φορτίο, οπότε δεν εξετάζεται περαιτέρω.
- Η περίπτωση των 8000 ωρών λειτουργίας / έτος εξετάζεται ενδεικτικά. Στην περίπτωση αυτή παρατηρούνται μεγάλες ποσότητες πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε δεν εξετάζεται περαιτέρω.
- Στην περίπτωση των 6000 και 7000 ωρών λειτουργίας / έτος το ηλεκτρικό φορτίο ικανοποιείται επαρκώς ενώ δεν σημειώνονται μεγάλα ποσά πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα το θερμικό φορτίο καλύπτεται σε σημαντικό βαθμό, ενώ η περίσσεια της θερμικής ενέργειας που παρατηρείται τους θερινούς κυρίως μήνες μπορεί να μετατραπεί σε ψύξη μέσω ψυκτών απορρόφησης, με την προϋπόθεση ότι η ψυκτική του ισχύς δε θα ξεπερνά το 50% του ψυκτικού φορτίου του νοσοκομείου. Διερευνούμε περαιτέρω επομένως αυτές τις δύο περιπτώσεις, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του πίνακα 9.12, καθώς οι τιμές που προέκυψαν είναι ενδεικτικές του τρόπου, με τον οποίο θα μπορούσαν να καταναλωθούν οι ώρες λειτουργίας ανά έτος. Στην περαιτέρω διερεύνηση θεωρούμε ότι:
  - ο ψύκτης απορρόφησης έχει COP=0,7 (βλ. Πίνακα 2.6) και λειτουργεί 1500 ώρες ανά έτος (υποθέσαμε ότι τον μήνα Ιούλιο θα λειτουργεί 11 ώρες/ημέρα κατά μέγιστο και με βάση τον πίνακα 8.3, προκύπτουν αναλογικά 1500 ώρες λειτουργίας ανά έτος)
  - 1RT ενός συμβατικού ψύκτη αντιστοιχεί σε ηλεκτρική κατανάλωση περίπου 1,1kW<sub>e</sub>.

**1<sup>η</sup> περίπτωση : 6000 ώρες λειτουργίας ανά έτος**

Η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να τροφοδοτήσει για 1500 ώρες ανά έτος ένα ψύκτη απορρόφησης με εγκατεστημένη ψυκτική ισχύ  $525.855,15 \cdot 0,7 / 1500 = 245,40 \text{ kW} = 69,72 \text{ RT}$ .

Κατά το θέρμα, που καταγράφονται οι μέγιστες τιμές της απορροφούμενης ηλεκτρικής ισχύος, θα υπάρχει μείωση της μέγιστης ισχύος εξαιτίας της αντικατάστασης μέρους του κεντρικού συστήματος κλιματισμού από το ψύκτη απορρόφησης. Επομένως η λειτουργία ενός ψύκτη απορρόφησης με ψυκτική ισχύ 70RT, οδηγεί σε εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά  $70 \cdot 1,1 \text{ kW}_e \cdot 1500 \text{ h} = 115.500 \text{ kWh}_e$ . Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του νοσοκομείου μετά την λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης προκύπτει  $5.131.269 \text{ kWh}_e - 115.500 \text{ kWh}_e = 5.015.769 \text{ kWh}_e$ . Άρα κατά προσέγγιση το έλλειμμα της ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται κατά το ίδιο ποσό.

Συνεχίζοντας την διερεύνηση μας, ελέγχουμε την οικονομική βιωσιμότητα και τη δυνατότητα επένδυσης της συγκεκριμένης μονάδας συμπαραγωγής με ταυτόχρονη παραγωγή ψύξης μέσω του ψύκτη απορρόφησης. Αρχικά υπολογίζουμε το ενεργειακό κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης, το οποίο φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα 9.12.

<b>Ενεργειακό κόστος συστήματος δύο αεριομηχανών 380 kW<sub>e</sub> (λειτουργία 6000 ώρες/έτος σε σταθερό φορτίο και ίσο με την ονομαστική τους ισχύ)</b>	
<b>Ωρες λειτουργίας/έτος</b>	<b>6000</b>
<b>ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh<sub>e</sub>)</b>	4.560.000,00
<b>Έλλειμμα (kWh<sub>e</sub>)</b>	-734.250,75
<b>Πλεόνασμα (kWh<sub>e</sub>)</b>	+278.480,75
<b>ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh<sub>th</sub>)</b>	6.000.000,00
<b>Έλλειμμα (kWh<sub>th</sub>)</b>	-5.311.707,45
<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΝ ΚΑΥΣΙΜΟ (kWh)</b>	12.312.000,00
<b>Κόστος φυσικού αερίου μονάδας συμπαραγωγής (€)</b>	369.360,00
<b>Κόστος φυσικού αερίου λεβήτων (€)</b>	219.107,93
<b>Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€)</b>	61.677,06
<b>Κόστος συντήρησης (€)</b>	45.600,00
<b>Έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας (€)</b>	12.701,51
<b>Συνολικό ενεργειακό κόστος λειτουργίας (€)</b>	683.043,49

**Πίνακας 9. 12 Ενεργειακό κόστος συστήματος δύο αεριομηχανών 380 kW<sub>e</sub> (λειτουργία σε σταθερό φορτίο και ίσο με την ονομαστική τους ισχύ) για 6000 ώρες λειτουργίας/έτος**

Τα ποσά στον πίνακα 9.13 προέκυψαν ως εξής :

- Το κόστος φυσικού αερίου της μονάδας συμπαραγωγής υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την ισχύ καυσίμου της μονάδας με τις ώρες λειτουργίας και την τιμή του φυσικού αερίου ανά kWh.
- Το κόστος φυσικού αερίου των λεβήτων για την πρόσθετη παραγωγή θερμικής ενέργειας υπολογίζεται στην περίπτωση που παρουσιάζεται έλλειμμα θερμικής ενέργειας. Ισούται με :

$$\text{Κόστος φυσικού αερίου λεβήτων} = (\text{έλλειμμα θερμικής ενέργειας}) \cdot \text{τιμή φυσικού αερίου για λέβητες ανά kWh} / 0,8$$

- Στην περίπτωση που εμφανίζεται έλλειμμα ηλεκτρικής ενέργειας, τότε το νοσοκομείο για να το καλύψει, αγοράζει από τη ΔΕΗ με τιμή 0,084€ /kWh (Η τιμή αυτή είναι μια μέση τιμή που περιλαμβάνει κόστος ισχύος και ενέργειας).

$$\text{Κόστος ηλ. ενέργειας} = \text{έλλειμμα ηλεκτρικής ενέργειας} \cdot 0,084\text{€/kWh}$$

Στην πραγματικότητα θα αγοράζεται ηλεκτρική ενέργεια από τη Δ.Ε.Η. κατά τη διάρκεια πιθανής αιχμής του φορτίου που δεν θα μπορεί να καλύψει η μονάδα συμπαραγωγής.

Όταν εμφανίζεται πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας, τότε το νοσοκομείο πουλάει ηλεκτρική ενέργεια στη Δ.Ε.Η.

$$\text{Έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας} = \text{πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας} \cdot 0,04561\text{ €/kWh}$$

- Το κόστος συντήρησης εκτιμήθηκε με βάση τον πίνακα 2.5 ίσο με 0,01€/παραγόμενη ηλεκτρική kWh.

Κατόπιν εκτιμούμε το συνολικό κόστος επένδυσης συστήματος συμπαραγωγής, όπως φαίνεται στον πίνακα 9.13.

<b>Κόστος επένδυσης δύο αεριομηχανών 380kW με ψύκτη απορρόφησης 70RT</b>	
<b>Κόστος συστήματος συμπαραγωγής (€)</b>	798.000,00
<b>Ψύκτης απορρόφησης (€)</b>	70.000,00
<b>Αντικατάσταση λεβήτων (€)</b>	372.000,00
<b>Συνδέσεις – Δίκτυα (€)</b>	245.100,00
<b>Διάφορες επεμβάσεις – οικοδομικές εργασίες (€)</b>	180.000,00
<b>Αμοιβή συμβούλων (€)</b>	60.000,00
<b>Σύνολο επένδυσης (€)</b>	1.725.100,00

**Πίνακας 9. 13 Κόστος επένδυσης δύο αεριομηχανών 380kW με ψύκτη απορρόφησης 70RT**

Τα ποσά στον πίνακα 9.14 αφορούν:

- Το κόστος του συστήματος συμπαραγωγής περιλαμβάνει όλα τα παρελκόμενα εξαρτήματα και συσκευές, όπως λέβητας ανάκτησης θερμότητας, γεννήτρια, εναλλακτές καυσαερίων και θερμότητας. Το κόστος του συστήματος αεριομηχανής ανέρχεται στα 1050 € /εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ (kW<sub>e</sub>). (βλ. πίνακα 2.5)
- Θεωρήσαμε ότι το κόστος του ψύκτη απορρόφησης ανέρχεται σε 1000€ /εγκατεστημένη ψυκτική ισχύ (RT). (βλ. πίνακα 2.6)
- Το κόστος αντικατάστασης των υφιστάμενων κύριων λεβήτων με νέους λέβητες καύσης φυσικού αερίου περιλαμβάνει και τον απαραίτητο συνοδευτικό εξοπλισμό.[16]
- Στο κόστος των συνδέσεων και δικτύων περιλαμβάνονται έξοδα όπως τα έξοδα για σύνδεση με το δίκτυο φυσικού αερίου, τα δίκτυα θέρμανσης και ψύξης, συνδέσεις με τα υφιστάμενα δίκτυα, κ.λ.π.
- Στις διάφορες επεμβάσεις και οικοδομικές εργασίες που θα προκύψουν από την εγκατάσταση του συστήματος, περιλαμβάνονται και τυχόν απρόβλεπτα μικροέξοδα.

Τέλος υπολογίζουμε την περίοδο αποπληρωμής. Η περίοδος αποπληρωμής (simple payback period) υπολογίζεται διαιρώντας το συνολικό κόστος επένδυσης της



συμπαραγωγικής μονάδας με την εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους που προκύπτει από τη λειτουργία αυτής.

$$\text{περίοδος αποπληρωμής} = \text{συνολικό κόστος επένδυσης} / \text{εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους}$$

Η εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους που προκύπτει από τη λειτουργία του συστήματος συμπαραγωγής ισούται με :

$$\text{εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους} = \text{ενεργειακό κόστος συμβατικής κάλυψης φορτίων} - \text{σύνολο ενεργειακού κόστους λειτουργίας της μονάδας συμπαραγωγής}$$

Η εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους στην περίπτωση που λειτουργούν και οι δύο μηχανές 6000 ώρες το έτος προκύπτει  $1.918.510\text{€} - 683.043,49\text{€} = 1.235.466,51\text{€}$

Επομένως η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται :

$$\text{Περίοδος αποπληρωμής} = 1.725.100 / 1.235.466,51 = 1,39 \text{ έτη}$$

Η περίοδος αποπληρωμής είναι ενδεικτική αφού τα χρησιμοποιηθέντα οικονομικά στοιχεία είναι προσεγγιστικά.

Σημειώνεται ότι η χρήση της τρέχουσας τιμής του πετρελαίου Diesel κίνησης, που χρησιμοποιεί το νοσοκομείο για να καλύψει συμβατικά τα θερμικά του φορτία, βελτιώνει το σενάριο για μείωση του χρόνου απόσβεσης, καθώς είναι ιδιαίτερα υψηλή.

Διερευνώντας ακόμα περαιτέρω την συγκεκριμένη περίπτωση, υπολογίζουμε τους εκπεμπόμενους ρύπους μετά την εγκατάσταση του συστήματος συμπαραγωγής στον πίνακα 9.14.

Εκπεμπόμενοι ρύποι μετά την εγκατάσταση των δύο αεριομηχανών με 380kWe έκαστη και για λειτουργία 6000 ώρες/έτος			
Ρύπος	Εκπεμπόμενες ποσότητες		Συνολική εκπεμπόμενη ποσότητα ρύπων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νοσοκομείου (kg/έτος)
	Λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (kg/έτος)	Λόγω καύσης φυσικού αερίου στους λέβητες του νοσοκομείου και στο σύστημα συμπαραγωγής (kg/έτος)	
CO <sub>2</sub>	624.113,14	3.720.440,82	4.344.553,95
SO <sub>2</sub>	11.380,89	0,00	11.380,89
CO	132,17	455,41	587,57
NO <sub>x</sub>	881,10	2.879,91	3.761,01
HC	36,71	109,98	146,69
Στερεά σωματίδια	587,40	137,13	724,53
<b>Σύνολο</b>	<b>637.131,40</b>	<b>3.724.023,24</b>	<b>4.361.154,65</b>

**Πίνακας 9. 14 Εκπεμπόμενοι ρύποι μετά την εγκατάσταση των δύο αεριομηχανών με 380kWe έκαστη και για λειτουργία 6000 ώρες/έτος**

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τοπικές εκπομπές προέρχονται από την καύση φυσικού αερίου στο σύστημα συμπαραγωγής και στους λέβητες.

Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας προκύπτει από την άθροιση της ενέργειας που αναλώνεται λόγω καυσίμου σε εφεδρικούς λέβητες και μονάδα συμπαραγωγής και της πρωτογενούς ενέργειας για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, θεωρώντας ότι ο μέσος βαθμός απόδοσης του δικτύου είναι 37%. Αναλυτικά :

➤ Λόγω καυσίμου στους λέβητες του νοσοκομείου:

$$\begin{aligned} \text{έλλειμμα θερμικής ενέργειας/απόδοση λεβήτων} = \\ 5.311.707,45\text{kWh} / 0,8 = 6.639.634,31\text{kWh} \end{aligned}$$



- Λόγω καυσίμου στη μονάδας συμπαραγωγής: 12.312.000,00 kWh
- Λόγω παραγωγής ηλεκτρισμού από τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής:

$$\begin{aligned} & \text{έλλειμμα ηλεκτρικής ενέργειας} / 0,37 = \\ & 734.250,75 \text{ kWh} / 0,37 = 1.984.461,49 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Επομένως η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας είναι **20.936.095,80 kWh**.

Σε σύγκριση με τη συμβατική λύση παρατηρείται σημαντική μείωση της συνολικής εκπεμπόμενης ποσότητας ρύπων (κατά 49%) καθώς και της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (κατά 28%) .

Συγκεκριμένα η εκπεμπόμενη ποσότητα του CO<sub>2</sub> μειώνεται κατά 49%, του SO<sub>2</sub> κατά 87%, του CO κατά 96%, των NO<sub>x</sub> κατά 59%, των HC κατά 71% και των στερεών σωματιδίων κατά 84%.

### **2<sup>η</sup> περίπτωση : 7000 ώρες λειτουργίας ανά έτος**

Η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να τροφοδοτήσει για 1500 ώρες ανά έτος ένα ψύκτη απορρόφησης με εγκατεστημένη ψυκτική ισχύ  $941.469,68 * 0,7 / 1500 = 439,35 \text{ kW} = 124,82 \text{ RT}$ .

Η λειτουργία ενός ψύκτη απορρόφησης με ψυκτική ισχύ 125 RT οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας κατά  $125 * 1,1 \text{ kWh}_e * 1500 \text{ h} = 206.250 \text{ kWh}_e$ . Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του νοσοκομείου μετά την λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης προκύπτει  $5.131.269 \text{ kWh}_e - 206.250 \text{ kWh}_e = 4.925.019 \text{ kWh}_e$ . Κατά το ίδιο ποσό θεωρούμε ότι μειώνεται το έλλειμμα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Υπολογίζουμε το ενεργειακό κόστος, το οποίο φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα 9.15.

<b>Ενεργειακό κόστος συστήματος δύο αεριομηχανών 380 kW<sub>e</sub> (λειτουργία 7000 ώρες/έτος σε σταθερό φορτίο και ίσο με την ονομαστική τους ισχύ)</b>	
<b>Ωρες λειτουργίας/έτος</b>	<b>7000</b>
<b>ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh<sub>e</sub>)</b>	5.320.000,00
<b>Έλλειμμα (kWh<sub>e</sub>)</b>	324.707,22
<b>Πλεόνασμα (kWh<sub>e</sub>)</b>	-719.687,22
<b>ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh<sub>th</sub>)</b>	7.000.000,00
<b>Έλλειμμα (kWh<sub>th</sub>)</b>	4.727.321,98
<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΝ ΚΑΥΣΙΜΟ (kWh)</b>	14.364.000,00
<b>Κόστος φυσικού αερίου μονάδας συμπαραγωγής (€)</b>	430.920,00
<b>Κόστος φυσικού αερίου λεβήτων (€)</b>	195.002,03
<b>Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€)</b>	27.275,41
<b>Κόστος συντήρησης (€)</b>	53.200,00
<b>Έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας (€)</b>	-32.824,93
<b>Συνολικό ενεργειακό κόστος λειτουργίας (€)</b>	673.572,50

**Πίνακας 9. 15 Ενεργειακό κόστος συστήματος δύο αεριομηχανών 380 kW<sub>e</sub> (λειτουργία σε σταθερό φορτίο και ίσο με την ονομαστική τους ισχύ) για 7000 ώρες λειτουργίας/έτος**

Κατόπιν εκτιμούμε το συνολικό κόστος επένδυσης συστήματος συμπαραγωγής, όπως φαίνεται στον πίνακα 9.16.

Κόστος επένδυσης δύο αεριομηχανών 380kW με ψύκτη απορρόφησης 70RT	
Κόστος συστήματος συμπαραγωγής (€)	798.000,00
Ψύκτης απορρόφησης (€)	125.000,00
Αντικατάσταση λεβήτων (€)	372.000,00
Συνδέσεις – Δίκτυα (€)	245.100,00
Διάφορες επεμβάσεις – οικοδομικές εργασίες (€)	180.000,00
Αμοιβή συμβούλων (€)	60.000,00
<b>Σύνολο επένδυσης (€)</b>	<b>1.780.100,00</b>

Πίνακας 9. 16 Κόστος επένδυσης δύο αεριομηχανών 380kW με ψύκτη απορρόφησης 125RT

Η εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους στην περίπτωση που λειτουργούν και οι δύο μηχανές 7000 ώρες το έτος προκύπτει  $1.918.510€ - 673.572,50€ = 1.244.937,50€$

Επομένως η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται :

$$\text{Περίοδος αποπληρωμής} = 1.780.100,00 / 1.244.937,50 = 1,43 \text{ έτη}$$

Οι εκπεμπόμενοι ρύποι μετά την εγκατάσταση του συστήματος συμπαραγωγής φαίνονται στον πίνακα 9.17.

Εκπεμπόμενοι ρύποι μετά την εγκατάσταση των δύο αεριομηχανών με 380kWe έκαστη και για λειτουργία 7000 ώρες/έτος			
Ρύπος	Εκπεμπόμενες ποσότητες		Συνολική εκπεμπόμενη ποσότητα ρύπων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νοσοκομείου (kg/έτος)
	Λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (kg/έτος)	Λόγω καύσης φυσικού αερίου στους λέβητες του νοσοκομείου και στο σύστημα συμπαραγωγής (kg/έτος)	
CO <sub>2</sub>	276.001,14	3.979.871,22	4.255.872,35
SO <sub>2</sub>	5.032,96	0,00	5.032,96
CO	58,45	487,16	545,61
NO <sub>x</sub>	389,65	3.080,73	3.470,38
HC	16,24	117,65	133,88
Στερεά σωματίδια	259,77	146,70	406,46
<b>Σύνολο</b>	<b>281.758,20</b>	<b>3.983.703,45</b>	<b>4.265.461,65</b>

Πίνακας 9. 17 Εκπεμπόμενοι ρύποι μετά την εγκατάσταση των δύο αεριομηχανών με 380kWe έκαστη και για λειτουργία 7000 ώρες/έτος

Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας αναλυτικά προκύπτει:

- Λόγω καυσίμου στους λέβητες:

$$\begin{aligned} & \text{έλλειμμα θερμικής ενέργειας/απόδοση λεβήτων} = \\ & 4.727.321,98\text{kWh} / 0,8 = 5.909.152,48 \text{ kWh} \end{aligned}$$

- Λόγω καυσίμου στη μονάδα συμπαραγωγής: 14.364.000,00kWh

- Λόγω παραγωγής ηλεκτρισμού από τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής:

$$\begin{aligned} & \text{έλλειμμα ηλεκτρικής ενέργειας} / 0,37 = \\ & 324.707,22\text{kWh} / 0,37 = 877.587,08 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Επομένως η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας είναι **21.150.739,56 kWh**.

Και εδώ παρατηρούμε μείωση της συνολικής ποσότητας εκπεμπόμενων ρύπων (κατά 50%) και της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (κατά 28%), σε σχέση με τη συμβατική λύση.

Συγκεκριμένα η εκπεμπόμενη ποσότητα του CO<sub>2</sub> μειώνεται κατά 50%, του SO<sub>2</sub> κατά 94%, του CO κατά 97%, των NO<sub>x</sub> κατά 63%, των HC κατά 73% και των στερεών σωματιδίων κατά 91%.

### 9.2.2 Σενάριο Β

Θεωρούμε ότι οι δύο αεριομηχανές με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW<sub>e</sub> λειτουργούν στο 75% της ονομαστικής τους ισχύος και εξετάζουμε τις περιπτώσεις των 5.000, 6.000, 7.000 και 8.000 ωρών λειτουργίας ανά έτος. Παρατίθενται στον πίνακα 9.18 τα χαρακτηριστικά της αεριομηχανής με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW<sub>e</sub>.

Χαρακτηριστικά αεριομηχανής (490kW)		
	Λειτουργία στο 100% της ονομαστικής ισχύος	Λειτουργία στο 75% της ονομαστικής ισχύος
Ηλεκτρική ισχύς (kW <sub>e</sub> )	490	368
Θερμική ισχύς (kW <sub>th</sub> )	679	551
Ισχύς καυσίμου (kW)	1340	1052
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (%)	36,6	33,5
Θερμικός βαθμός απόδοσης (%)	50,7	52,4
Ολικός βαθμός απόδοσης (%)	87,2	87,4

Πίνακας 9. 18 Χαρακτηριστικά αεριομηχανής (490kW)

Επιλέγοντας να κατανέμονται οι ώρες λειτουργίας στους μήνες ενός έτους όπως και στο σενάριο Α, διακρίνουμε πάλι τέσσερις περιπτώσεις, των οποίων τα αποτελέσματα φαίνονται στους πίνακες 9.19-9.26.

5000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW <sub>e</sub> έκαστη (λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)			
Μήνας	Καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	383.359,00	312.547,95	-70.811,05
Φεβρουάριος	312.357,00	282.301,37	-30.055,63
Μάρτιος	398.007,00	312.547,95	-85.459,05
Απρίλιος	394.444,00	302.465,75	-91.978,25
Μάιος	421.685,00	312.547,95	-109.137,05
Ιούνιος	585.343,00	302.465,75	-282.877,25
Ιούλιος	706.144,00	312.547,95	-393.596,05
Αύγουστος	530.717,00	312.547,95	-218.169,05
Σεπτέμβριος	486.945,00	302.465,75	-184.479,25
Οκτώβριος	332.303,00	312.547,95	-19.755,05
Νοέμβριος	275.238,00	302.465,75	+27.227,75
Δεκέμβριος	304.728,00	312.547,95	+7.819,95
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>5.131.269,00</b>	<b>3.680.000,00</b>	

Πίνακας 9. 19 Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 5000 ώρες/έτος (λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)

5000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW <sub>e</sub> έκαστη (λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)			
Μήνας	Κατανάλωση ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (kWh <sub>th</sub> )	Παραχθείσα θερμική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	1.247.157	467.972,60	-779.184,40
Φεβρουάριος	1.551.170	422.684,93	-1.128.485,07
Μάρτιος	1.474.406	467.972,60	-1.006.433,40
Απρίλιος	1.473.256	452.876,71	-1.020.379,29
Μάιος	419.389,70	467.972,60	+48.582,90
Ιούνιος	406.236,60	452.876,71	+46.640,11
Ιούλιος	513.152,60	467.972,60	-45.180,00
Αύγουστος	442.598,30	467.972,60	+25.374,30
Σεπτέμβριος	211.399,70	452.876,71	+241.477,01
Οκτώβριος	691.496,20	467.972,60	-223.523,60
Νοέμβριος	909.791,20	452.876,71	-456.914,49
Δεκέμβριος	1.445.799	467.972,60	-977.826,40
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>10.785.845</b>	<b>5.510.000,00</b>	<b>---</b>

Πίνακας 9. 20 Παραχθείσα θερμική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 5000 ώρες/έτος (λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)

6000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW <sub>e</sub> έκαστη(λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)			
Μήνας	Καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια (KWh)	Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (kWh)
Ιανουάριος	383.359,00	375.057,53	-8.301,47
Φεβρουάριος	312.357,00	338.761,64	+26.404,64
Μάρτιος	398.007,00	375.057,53	-22.949,47
Απρίλιος	394.444,00	362.958,90	-31.485,10
Μάιος	421.685,00	375.057,53	-46.627,47
Ιούνιος	585.343,00	362.958,90	-222.384,10
Ιούλιος	706.144,00	375.057,53	-331.086,47
Αύγουστος	530.717,00	375.057,53	-155.659,47
Σεπτέμβριος	486.945,00	362.958,90	-123.986,10
Οκτώβριος	332.303,00	375.057,53	+42.754,53
Νοέμβριος	275.238,00	362.958,90	+87.720,90
Δεκέμβριος	304.728,00	375.057,53	+70.329,53
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>5.131.269,00</b>	<b>4.416.000,00</b>	<b>--</b>

Πίνακας 9. 21 Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 6000 ώρες/έτος(λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)

6000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW <sub>e</sub> έκαστη(λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)			
Μήνας	Κατανάλωση ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (kWh <sub>th</sub> )	Παραχθείσα θερμική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	1.247.157	561.567,12	-685.589,88
Φεβρουάριος	1.551.170	507.221,92	-1.043.948,08
Μάρτιος	1.474.406	561.567,12	-912.838,88
Απρίλιος	1.473.256	543.452,05	-929.803,95
Μάιος	419.389,70	561.567,12	+142.177,42
Ιούνιος	406.236,60	543.452,05	+137.215,45
Ιούλιος	513.152,60	561.567,12	+48.414,52
Αύγουστος	442.598,30	561.567,12	+118.968,82
Σεπτέμβριος	211.399,70	543.452,05	+332.052,35
Οκτώβριος	691.496,20	561.567,12	-129.929,08
Νοέμβριος	909.791,20	543.452,05	-366.339,15
Δεκέμβριος	1.445.799	561.567,12	-884.231,88
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>10.785.845</b>	<b>6.612.000,00</b>	<b>--</b>

Πίνακας 9. 22 Παραχθείσα θερμική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 6000 ώρες/έτος(λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)

7000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW <sub>e</sub> έκαστη (λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)			
Μήνας	Καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια (KWh)	Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	383.359,00	437.567,12	+54.208,12
Φεβρουάριος	312.357,00	395.221,92	+82.864,92
Μάρτιος	398.007,00	437.567,12	+39.560,12
Απρίλιος	394.444,00	423.452,05	+29.008,05
Μάιος	421.685,00	437.567,12	+15.882,12
Ιούνιος	585.343,00	423.452,05	-161.890,95
Ιούλιος	706.144,00	437.567,12	-268.576,88
Αύγουστος	530.717,00	437.567,12	-93.149,88
Σεπτέμβριος	486.945,00	423.452,05	-63.492,95
Οκτώβριος	332.303,00	437.567,12	+105.264,12
Νοέμβριος	275.238,00	423.452,05	+148.214,05
Δεκέμβριος	304.728,00	437.567,12	+132.839,12
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>5.131.269,00</b>	<b>5.152.000,00</b>	<b>--</b>

Πίνακας 9. 23 Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 7000 ώρες/έτος(λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)

7000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW <sub>e</sub> έκαστη(λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)			
Μήνας	Κατανάλωση ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (kWh <sub>th</sub> )	Παραχθείσα θερμική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	1.247.157	655.161,64	-591.995,36
Φεβρουάριος	1.551.170	591.758,90	-959.411,10
Μάρτιος	1.474.406	655.161,64	-819.244,36
Απρίλιος	1.473.256	634.027,40	-839.228,60
Μάιος	419.389,70	655.161,64	+235.771,94
Ιούνιος	406.236,60	634.027,40	+227.790,80
Ιούλιος	513.152,60	655.161,64	+142.009,04
Αύγουστος	442.598,30	655.161,64	+212.563,34
Σεπτέμβριος	211.399,70	634.027,40	+422.627,70
Οκτώβριος	691.496,20	655.161,64	-36.334,56
Νοέμβριος	909.791,20	634.027,40	-275.763,80
Δεκέμβριος	1.445.799	655.161,64	-790.637,36
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>10.785.845</b>	<b>7.714.000,00</b>	<b>--</b>

Πίνακας 9. 24 Παραχθείσα θερμική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 7000 ώρες/έτος(λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)

8000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW <sub>e</sub> έκαστη(λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)			
Μήνας	Καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια (KWh)	Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	383.359,00	500.076,71	+116.717,71
Φεβρουάριος	312.357,00	451.682,19	+139.325,19
Μάρτιος	398.007,00	500.076,71	+102.069,71
Απρίλιος	394.444,00	483.945,21	+89.501,21
Μάιος	421.685,00	500.076,71	+78.391,71
Ιούνιος	585.343,00	483.945,21	-101.397,79
Ιούλιος	706.144,00	500.076,71	-206.067,29
Αύγουστος	530.717,00	500.076,71	-30.640,29
Σεπτέμβριος	486.945,00	483.945,21	-2.999,79
Οκτώβριος	332.303,00	500.076,71	+167.773,71
Νοέμβριος	275.238,00	483.945,21	+208.707,21
Δεκέμβριος	304.728,00	500.076,71	+195.348,71
ΣΥΝΟΛΟ	5.131.269,00	5.888.000,00	--

Πίνακας 9. 25 Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 8000 ώρες/έτος(λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)

8000 ώρες λειτουργίας ανά έτος του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW <sub>e</sub> έκαστη(λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)			
Μήνας	Κατανάλωση ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (kWh <sub>th</sub> )	Παραχθείσα θερμική ενέργεια (kWh)	Έλλειμμα (-) / πλεόνασμα (+) (kWh)
Ιανουάριος	1.247.157	748.756,16	-498.400,84
Φεβρουάριος	1.551.170	676.295,89	-874.874,11
Μάρτιος	1.474.406	748.756,16	-725.649,84
Απρίλιος	1.473.256	724.602,74	-748.653,26
Μάιος	419.389,70	748.756,16	+329.366,46
Ιούνιος	406.236,60	724.602,74	+318.366,14
Ιούλιος	513.152,60	748.756,16	+235.603,56
Αύγουστος	442.598,30	748.756,16	+306.157,86
Σεπτέμβριος	211.399,70	724.602,74	+513.203,04
Οκτώβριος	691.496,20	748.756,16	+57.259,96
Νοέμβριος	909.791,20	724.602,74	-185.188,46
Δεκέμβριος	1.445.799	748.756,16	-697.042,84
ΣΥΝΟΛΟ	10.785.845	8.816.000,00	

Πίνακας 9. 26 Παραχθείσα θερμική ενέργεια του συστήματος δύο αεριομηχανών με εγκατεστημένη ισχύ 490 kW<sub>e</sub> έκαστη και για λειτουργία 8000 ώρες/έτος(λειτουργία στο 75% του ονομαστικού φορτίου)

Τα παραπάνω αποτελέσματα συνοψίζονται στον πίνακα 9.27.



Σύστημα δύο αεριομηχανών 490 kW <sub>e</sub> έκαστη (λειτουργία σε σταθερό φορτίο και ίσο με το 75% της ονομαστικής τους ισχύος)				
Ωρες	5000	6000	7000	8000
<b>ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh<sub>e</sub>)</b>	3.680.000,00	4.416.000,00	5.152.000,00	5.888.000,00
Έλλειμμα (kWh <sub>e</sub> )	-1.486.317,70	-942.479,62	-587.110,64	-341.105,16
Πλεόνασμα (kWh <sub>e</sub> )	+35.047,70	+227.209,62	+607.840,64	+1.097.835,16
<b>ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh<sub>th</sub>)</b>	5.510.000,00	6.612.000,00	7.714.000,00	8.816.000,00
Έλλειμμα (kWh <sub>th</sub> )	-5.637.926,63	-4.952.680,88	-4.312.615,13	-3.729.809,34
Πλεόνασμα (kWh <sub>th</sub> )	+362.074,33	+778.828,58	+1.240.762,83	+1.759.957,04
<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΝ ΚΑΥΣΙΜΟ (kWh)</b>	10.520.000,00	12.624.000,00	14.728.000,00	16.832.000,00

**Πίνακας 9. 27 Λειτουργία του συστήματος δύο αεριομηχανών, 490 kW<sub>e</sub> έκαστη, για 5000, 6000, 7000 και 8000 ώρες ανά έτος και σε φορτίο 75% της ονομαστικής τους ισχύος**

Από τους πίνακες 9.19-9.27 παρατηρούμε τα εξής:

- Η περίπτωση των 5000 ωρών λειτουργίας / έτος δεν καλύπτει τις ανάγκες του νοσοκομείου ως προς το ηλεκτρικό και θερμικό φορτίο, οπότε δεν εξετάζεται περαιτέρω.
- Στην περίπτωση των 8000 ωρών λειτουργίας / έτος παρατηρούνται μεγάλες ποσότητες πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας, επομένως και αυτή η περίπτωση δεν εξετάζεται περαιτέρω. Εξάλλου η θεώρηση των 8000 ωρών λειτουργίας/έτος εξετάζεται ενδεικτικά.
- Στην περίπτωση των 6000 και 7000 ωρών λειτουργίας / έτος το ηλεκτρικό φορτίο ικανοποιείται επαρκώς ενώ δεν σημειώνονται μεγάλα ποσά πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα το θερμικό φορτίο καλύπτεται σε σημαντικό βαθμό, ενώ η περίσσεια της θερμικής ενέργειας που παρατηρείται τους θερινούς κυρίως μήνες μπορεί να μετατραπεί σε ψύξη μέσω ψυκτών απορρόφησης, όπως ακριβώς θεωρήθηκε και στο σενάριο Α. Διερευνούμε περαιτέρω επομένως τις περιπτώσεις αυτές, με τις ίδιες προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν στο σενάριο Α.

### **1<sup>η</sup> περίπτωση : 6000 ώρες λειτουργίας ανά έτος**

Η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να τροφοδοτήσει για 1500 ώρες ανά έτος ένα ψύκτη απορρόφησης με εγκατεστημένη ψυκτική ισχύ  $778.828,58 \cdot 0,7 / 1500 = 363,45 \text{ kW} = 103,25 \text{ RT}$ .

Η λειτουργία ενός ψύκτη απορρόφησης με θεωρητική ψυκτική ισχύ 104 RT οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας κατά  $104 \cdot 1,1 \text{ kW}_e \cdot 1500 \text{ h} = 171.600 \text{ kWh}_e$ . Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του νοσοκομείου μετά την λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης προκύπτει  $5.131.269 \text{ kWh}_e - 171.600 \text{ kWh}_e = 4.959.669 \text{ kWh}_e$ .

Υπολογίζουμε το ενεργειακό κόστος, το οποίο φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα 9.28.



<b>Ενεργειακό κόστος συστήματος δύο αεριομηχανών 490 kW<sub>e</sub> (λειτουργία 6000 ώρες/έτος σε σταθερό φορτίο και ίσο 75% της ονομαστικής τους ισχύος)</b>	
<b>Ωρες λειτουργίας/έτος</b>	<b>6000</b>
<b>ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh<sub>e</sub>)</b>	4.416.000,00
<b>Έλλειμμα (kWh<sub>e</sub>)</b>	-770.879,62
<b>Πλεόνασμα (kWh<sub>e</sub>)</b>	227.209,62
<b>ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh<sub>th</sub>)</b>	6.612.000,00
<b>Έλλειμμα (kWh<sub>th</sub>)</b>	-4.952.680,88
<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΝ ΚΑΥΣΙΜΟ (kWh)</b>	12.624.000,00
<b>Κόστος φυσικού αερίου μονάδας συμπαραγωγής (€)</b>	378.720,00
<b>Κόστος φυσικού αερίου λεβήτων (€)</b>	204.298,09
<b>Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€)</b>	64.753,89
<b>Κόστος συντήρησης (€)</b>	44.160,00
<b>Έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας (€)</b>	10.363,03
<b>Συνολικό ενεργειακό κόστος λειτουργίας (€)</b>	681.568,94

Πίνακας 9. 28 Ενεργειακό κόστος συστήματος δύο αεριομηχανών 490 kW<sub>e</sub> (λειτουργία σε σταθερό φορτίο και ίσο με το 75% της ονομαστικής τους ισχύος) για 6000 ώρες λειτουργίας/έτος

Κατόπιν εκτιμούμε το συνολικό κόστος επένδυσης συστήματος συμπαραγωγής, όπως φαίνεται στον πίνακα 9.29.

<b>Κόστος επένδυσης δύο αεριομηχανών 490kW με ψύκτη απορρόφησης 104RT</b>	
<b>Κόστος συστήματος συμπαραγωγής (€)</b>	1.029.000,00
<b>Ψύκτης απορρόφησης (€)</b>	104.000,00
<b>Αντικατάσταση λεβήτων (€)</b>	372.000,00
<b>Συνδέσεις – Δίκτυα (€)</b>	245.100,00
<b>Διάφορες επεμβάσεις – οικοδομικές εργασίες (€)</b>	180.000,00
<b>Αμοιβή συμβούλων (€)</b>	60.000,00
<b>Σύνολο επένδυσης (€)</b>	1.990.100,00

Πίνακας 9. 29 Κόστος επένδυσης δύο αεριομηχανών 490kW με ψύκτη απορρόφησης 104RT

Η εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους στην περίπτωση που λειτουργούν και οι δύο μηχανές 6000 ώρες το έτος προκύπτει  $1.918.510\text{€} - 681.568,94\text{€} = 1.236.941,06\text{€}$

Επομένως η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται :

$$\text{Περίοδος αποπληρωμής} = 1.990.100,00 / 1.236.941,06 = 1,61 \text{ έτη}$$

Οι εκπεμπόμενοι ρύποι μετά την εγκατάσταση του συστήματος συμπαραγωγής φαίνονται στον πίνακα 9.30.

Εκπεμπόμενοι ρύποι μετά την εγκατάσταση των δύο αεριομηχανών με 490kWe έκαστη και για λειτουργία 6000 ώρες/έτος			
Ρύπος	Εκπεμπόμενες ποσότητες		Συνολική εκπεμπόμενη ποσότητα ρύπων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νοσοκομείου (kg/έτος)
	Λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (kg/έτος)	Λόγω καύσης φυσικού αερίου στους λέβητες του νοσοκομείου και στο σύστημα συμπαραγωγής (kg/έτος)	
CO <sub>2</sub>	655.247,68	3.693.588,58	4.348.836,25
SO <sub>2</sub>	11.948,63	0,00	11.948,63
CO	138,76	452,12	590,88
NO <sub>x</sub>	925,06	2.859,12	3.784,18
HC	38,54	109,18	147,73
Στερεά σωματίδια	616,70	136,14	752,85
<b>Σύνολο</b>	<b>668.915,37</b>	<b>3.697.145,15</b>	<b>4.366.060,52</b>

**Πίνακας 9. 30 Εκπεμπόμενοι ρύποι μετά την εγκατάσταση των δύο αεριομηχανών με 490kWe έκαστη και για λειτουργία 6000 ώρες/έτος**

Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας αναλυτικά, όπως και στο σενάριο Α προκύπτει:

- Λόγω καυσίμου στους λέβητες του νοσοκομείου:

$$\text{έλλειμμα θερμικής ενέργειας/απόδοση λεβήτων} = 4.952.680,88\text{kWh} / 0,8 = 6.190.851,10\text{ kWh}$$

- Λόγω καυσίμου στη μονάδα συμπαραγωγής: 12.624.000,00kWh
- Λόγω παραγωγής ηλεκτρισμού από τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής:

$$\text{έλλειμμα ηλεκτρικής ενέργειας} / 0,37 = 770.879,62\text{kWh} / 0,37 = 2.083.458,43\text{ kWh}$$

Επομένως η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας είναι **20.916.309 kWh**

Και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται μείωση της συνολικής εκπεμπόμενης ποσότητας ρύπων (κατά 49%) και κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (κατά 29%), σε σχέση με τη συμβατική λύση.

Συγκεκριμένα η εκπεμπόμενη ποσότητα του CO<sub>2</sub> μειώνεται κατά 49%, του SO<sub>2</sub> κατά 86%, του CO κατά 96%, των NO<sub>x</sub> κατά 59%, των HC κατά 71% και των στερεών σωματιδίων κατά 83%.

## **2<sup>η</sup> περίπτωση : 7000 ώρες λειτουργίας ανά έτος**

Η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να τροφοδοτήσει για 1500 ώρες ανά έτος ένα ψύκτη απορρόφησης με εγκατεστημένη ψυκτική ισχύ  $1.240.762,83 \cdot 0,7 / 1500 = 579,02\text{ kW} = 164,50\text{ RT}$ .

Η λειτουργία ενός ψύκτη απορρόφησης με θεωρητική ψυκτική ισχύ 165 RT οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας κατά  $165 \cdot 1,1\text{kW}_e \cdot 1500\text{h} = 272.250\text{kWh}_e$ . Κατά αυτό το ποσό θεωρούμε ότι μειώνεται το έλλειμμα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Υπολογίζουμε το ενεργειακό κόστος, το οποίο φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα 9.31.

<b>Ενεργειακό κόστος συστήματος δύο αεριομηχανών 490 kW<sub>e</sub> (λειτουργία 7000 ώρες/έτος σε σταθερό φορτίο και ίσο 75% της ονομαστικής τους ισχύος)</b>	
<b>Ώρες λειτουργίας/έτος</b>	<b>7000</b>
<b>ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh<sub>e</sub>)</b>	5.152.000,00
<b>Έλλειμμα (kWh<sub>e</sub>)</b>	-314.860,64
<b>Πλεόνασμα (kWh<sub>e</sub>)</b>	+607.840,64
<b>ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh<sub>th</sub>)</b>	7.714.000,00
<b>Έλλειμμα (kWh<sub>th</sub>)</b>	-4.312.615,13
<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΝ ΚΑΥΣΙΜΟ (kWh)</b>	14.728.000,00
<b>Κόστος φυσικού αερίου μονάδας συμπαραγωγής (€)</b>	441.840,00
<b>Κόστος φυσικού αερίου λεβήτων (€)</b>	177.895,37
<b>Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€)</b>	26.448,29
<b>Κόστος συντήρησης (€)</b>	51.520,00
<b>Έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας (€)</b>	27.723,61
<b>Συνολικό ενεργειακό κόστος λειτουργίας (€)</b>	669.980,06

Πίνακας 9. 31 Ενεργειακό κόστος συστήματος δύο αεριομηχανών 490 kW<sub>e</sub> (λειτουργία σε σταθερό φορτίο και ίσο με το 75% της ονομαστικής τους ισχύος) για 7000 ώρες λειτουργίας/έτος

Κατόπιν εκτιμούμε το συνολικό κόστος επένδυσης συστήματος συμπαραγωγής, όπως φαίνεται στον πίνακα 9.32.

<b>Κόστος επένδυσης δύο αεριομηχανών 490kW με ψύκτη απορρόφησης 104RT</b>	
<b>Κόστος συστήματος συμπαραγωγής (€)</b>	1.029.000,00
<b>Ψύκτης απορρόφησης (€)</b>	165.000,00
<b>Αντικατάσταση λεβήτων (€)</b>	372.000,00
<b>Συνδέσεις – Δίκτυα (€)</b>	245.100,00
<b>Διάφορες επεμβάσεις – οικοδομικές εργασίες (€)</b>	180.000,00
<b>Αμοιβή συμβούλων (€)</b>	60.000,00
<b>Σύνολο επένδυσης (€)</b>	2.051.100,00

Πίνακας 9. 32 Κόστος επένδυσης δύο αεριομηχανών 490kW με ψύκτη απορρόφησης 165RT

Η εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους στην περίπτωση που λειτουργούν και οι δύο μηχανές 7000 ώρες το έτος προκύπτει  $1.918.510\text{€} - 669.980,06\text{€} = 1.248.529,94\text{€}$

Επομένως η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται :

$$\text{Περίοδος αποπληρωμής} = 2.051.100,00 / 1.248.529,94 = 1,64 \text{ έτη}$$

Οι εκπεμπόμενοι ρύποι μετά την εγκατάσταση του συστήματος συμπαραγωγής φαίνονται στον πίνακα 9.33.

Εκπεμπόμενοι ρύποι μετά την εγκατάσταση των δύο αεριομηχανών με 490kWe έκαστη και για λειτουργία 7000 ώρες/έτος			
Ρύπος	Εκπεμπόμενες ποσότητες		Συνολική εκπεμπόμενη ποσότητα ρύπων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νοσοκομείου (kg/έτος)
	Λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (kg/έτος)	Λόγω καύσης φυσικού αερίου στους λέβητες του νοσοκομείου και στο σύστημα συμπαραγωγής (kg/έτος)	
CO <sub>2</sub>	267.631,54	3.949.563,81	4.217.195,35
SO <sub>2</sub>	4.880,34	0,00	4.880,34
CO	56,67	483,45	540,13
NO <sub>x</sub>	377,83	3.057,27	3.435,10
HC	15,74	116,75	132,49
Στερεά σωματίδια	251,89	145,58	397,47
<b>Σύνολο</b>	<b>273.214,02</b>	<b>3.953.366,86</b>	<b>4.226.580,88</b>

Πίνακας 9. 33 Εκπεμπόμενοι ρύποι μετά την εγκατάσταση των δύο αεριομηχανών με 490kWe έκαστη και για λειτουργία 7000 ώρες/έτος

Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας αναλυτικά προκύπτει:

- Λόγω καυσίμου στους λέβητες του νοσοκομείου:  
 $\text{έλλειμμα θερμικής ενέργειας/απόδοση λεβήτων} = 4.312.615,13\text{kWh} / 0,8 = 5.390.768,91\text{kWh}$
- Λόγω καυσίμου στη μονάδας συμπαραγωγής:  $14.728.000,00\text{kWh}$
- Λόγω παραγωγής ηλεκτρισμού από τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής:

$$\begin{aligned} \text{έλλειμμα ηλεκτρικής ενέργειας} / 0,37 &= \\ 314.860,64\text{kWh} / 0,37 &= 850.974,70\text{kWh} \end{aligned}$$

Επομένως η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας είναι **20.969.743,62 kWh**

Και εδώ παρατηρείται μείωση της συνολικής εκπεμπόμενης ποσότητας ρύπων (κατά 51%) και κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (κατά 28%), σε σχέση με τη συμβατική λύση.

Συγκεκριμένα η εκπεμπόμενη ποσότητα του CO<sub>2</sub> μειώνεται κατά 50%, του SO<sub>2</sub> κατά 94%, του CO κατά 97%, των NO<sub>x</sub> κατά 63%, των HC κατά 74% και των στερεών σωματιδίων κατά 91%.

### 9.3 Συμπεράσματα – προτάσεις

Το νοσοκομείο καταναλώνει μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Αντιστοίχως η ηλεκτρική ζήτηση αυξάνεται κατά τη διάρκεια του θέρους.

Η ιδιαίτερα αυξημένη ζήτηση θερμικής ενέργειας κατά τη χειμερινή περίοδο θεωρούμε ότι κυρίως οφείλεται στην έλλειψη της κατάλληλης θερμομόνωσης των παλιών κτιρίων. Πριν την μελέτη οποιουδήποτε συστήματος συμπαραγωγής

συνίσταται να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, ώστε σε μια ενδεχόμενη εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής να μην απαιτείται η εκτενής χρήση των λεβήτων για την κάλυψη της επιπρόσθετης θερμικής ενέργειας που απαιτείται.

Η αυξημένη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τους θερινούς μήνες οφείλεται στις αυξημένες απαιτήσεις για κλιματισμό. Τα τελευταία χρόνια, λόγω και μεταβολής του κλίματος, οι θερινοί μήνες είναι ιδιαίτερα θερμοί. Για αυτό το λόγο προτείνεται η εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής με ταυτόχρονη παραγωγή ψύξης μέσω ψύκτη απορρόφησης. Η εγκατάσταση ενός ψύκτη απορρόφησης μειώνει την ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας και τις αιχμές ζήτησης κατά το θέρος και βελτιώνει την απόδοση του συστήματος συμπαραγωγής.

Επειδή οι αεριομηχανές προτιμάται να μην εργάζονται συνεχώς στο 100% της ονομαστικής ισχύος τους και επιπρόσθετα μια επιλογή αεριομηχανών με περίσσεια ισχύος έχει τη δυνατότητα να καλύψει μελλοντικά φορτία, μας οδήγησε στο σενάριο B, όπου χρησιμοποιήσαμε δύο αεριομηχανές των 490 kW η καθεμία ( $2 \times 490 = 980 \text{ kW}_e$ ) και θεωρήσαμε ότι θα λειτουργούν στο 75% της ονομαστικής τους ισχύος. Το σενάριο B σε σύγκριση με το A παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια ως προς την ασφάλεια παροχής ενέργειας και ευελιξία στην κάλυψη των αναγκών του νοσοκομείου.

Ο χρόνος αποπληρωμής προκύπτει μικρός. Σημειώνεται ότι ο υπολογισμός του χρόνου αποπληρωμής (simple payback period) είναι απλά ενδεικτικός και για ακριβέστερη οικονομική αξιολόγηση του συστήματος συμπαραγωγής θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλοι οικονομικοί δείκτες, όπως ο λόγος του συνολικού όφελους προς το συνολικό κόστος (BCR) ή η απόδοση κεφαλαίου (IRR) (βλ. Κεφάλαιο 4), και η εκτίμηση του ακριβούς οικονομικού κόστους να βασιστεί σε πραγματικές προσφορές.

Τέλος σημειώνεται ότι στο πλαίσιο της Δράσης 2.1.4 του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ανταγωνιστικότητας (ΕΠΑΝ) του Γ' Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης (Γ' ΚΠΣ) υπάρχει η δυνατότητα να χρηματοδοτηθεί η εφαρμογή της συμπαραγωγής στο Γ.Ν.Α. «Σισμανόγλειο» κατά 100%.

Με βάση τα προαναφερθέντα προτείνεται ως πλέον ελκυστικό το σενάριο B.

Σημειώνεται ότι ο κύριος στόχος της παρούσας εργασίας είναι η σύντομη και ακριβής καταγραφή των αρχών που διέπουν την εφαρμογή της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας σε νοσοκομεία. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας στο «Σισμανόγλειο», όπως παρουσιάστηκε στο ένατο κεφάλαιο, αποτελεί μια ικανοποιητική προσέγγιση. Για πλέον λεπτομερή προσέγγιση απαιτείται η εργασία ομάδας ειδικών καθώς και ο πλήρης ενεργειακός έλεγχος, που θα έχει σαν αποτέλεσμα τον υπολογισμό των επιμέρους φορτίων, ηλεκτρικών και θερμικών, και την πληρέστερη οικονομική ανάλυση του έργου στα πλαίσια της ευρωπαϊκής και ελληνικής αγοράς.

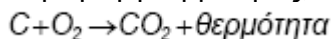
## Παράρτημα α΄ Πίνακας μετατροπών μονάδων ενέργειας

Πίνακας μετατροπών μονάδων ενέργειας								
	J	MJ	Btu	cal	kcal	th	therm	kWh
1 Joule (J)	1	$1 \times 10^{-6}$	$0,9478 \times 10^{-3}$	0,2388	$0,2388 \times 10^{-3}$	$0,2389 \times 10^{-6}$	$0,9478 \times 10^{-8}$	$2,7778 \times 10^{-7}$
1 Mega Joule (MJ)	$1 \times 10^{-6}$	1	948	$238,8 \times 10^3$	238,8	0,2389	$9,478 \times 10^{-3}$	0,2778
1 British thermal unit (Btu)	$1,055 \times 10^3$	$1,055 \times 10^{-3}$	1	252	0,252	$0,2521 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-5}$	$2,9307 \times 10^{-4}$
1 calorie (cal)	4,1868	$4,1868 \times 10^{-6}$	$3,9683 \times 10^{-3}$	1	$1 \times 10^{-3}$	$1,00031 \times 10^{-6}$	$3,9683 \times 10^{-8}$	$1,163 \times 10^{-6}$
1 Kilocalorie (kcal)	$4,187 \times 10^3$	$4,1868 \times 10^{-3}$	3,9683	1000	1	$1,00031 \times 10^{-3}$	$3,9683 \times 10^{-5}$	0,001163
1 thermie (th)	$4,1855 \times 10^6$	4,1855	3.967	$999,7 \times 10^3$	999,69	1	0,03967	1,16246
1 therm	$105,51 \times 10^6$	105,51	$1 \times 10^5$	$25,2 \times 10^6$	$25,200 \times 10^3$	25,207	1	29,307
1 kilowatthour (kWh)	$3,6 \times 10^6$	3,6	3.412,14	$859,8 \times 10^3$	859,845	0,8601	$3,4121 \times 10^{-2}$	1

Πίνακας 1 Πίνακας μετατροπών μονάδων ενέργειας [5]

## Παράρτημα β΄ Τιμές της θερμογόνου δύναμης των καυσίμων

Τα χρησιμοποιούμενα στους λέβητες καύσιμα αποτελούνται από υδρογονάνθρακες που περιλαμβάνουν αλκίνια ( $C_nH_{2n-2}$ ), π.χ. το ακετυλένιο ( $n=2$ ), αλκένια ( $C_nH_{2n}$ ), π.χ. το αιθυλένιο ( $n=2$ ), αλκάνια ( $C_nH_{2n+2}$ ), π.χ. το οκτάνιο ( $n=8$ ). Μια τυπική αντίδραση καύσης περιλαμβάνει ένα άτομο άνθρακα με δύο άτομα οξυγόνου και παραγωγή θερμότητας, σύμφωνα με την ακόλουθη βασική αντίδραση:



Η παραγόμενη θερμότητα κατά την αντίδραση καύσης είναι γνωστή ως θερμαντική ικανότητα ή θερμογόνος δύναμη ( $\theta\Delta$ ) του καυσίμου, και εκφράζεται σε μονάδες θερμότητας ανά μονάδα βάρους ή όγκου του καυσίμου. Για να καθοριστεί η βασική σύσταση ενός καυσίμου συνήθως χρησιμοποιούνται δύο αναλύσεις. Η πρώτη ονομάζεται προσεγγιστική ανάλυση και προσδιορίζει την επί τοις εκατό κατά βάρος περιεκτικότητα του καυσίμου σε υγρασία, πτητικά συστατικά, μόνιμο άνθρακα, τέφρα και θείο. Η δεύτερη ανάλυση είναι γνωστή ως στοιχειακή ανάλυση και καθορίζει την επί τις εκατό κατά βάρος σύσταση του καυσίμου σε άνθρακα, υδρογόνο, άζωτο, και οξυγόνο. Πρέπει να σημειωθεί ότι, η θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου αυξάνει με την περιεκτικότητά του σε άνθρακα. Η θερμογόνος δύναμη συνήθως παρέχεται για ξηρό καύσιμο. Στην πράξη η υγρασία μειώνει τη θερμογόνου δύναμη των καυσίμων σύμφωνα με την ακόλουθη απλουστευμένη εξίσωση:

$$HV = HV_{dry} \cdot (1 - M)$$

όπου  $M$  είναι η περιεκτικότητα σε υγρασία του καυσίμου.

Επιπλέον, η θερμογόνος δύναμη των καυσίμων μειώνεται με το υψόμετρο. Αναφέρεται ότι, εμπειρικά, η θερμογόνος δύναμη μειώνεται κατά 4% για κάθε αύξηση του υψομέτρου κατά 300m. Επιπλέον, η θερμογόνος δύναμη επηρεάζεται από τη φάση του νερού / ατμού στα προϊόντα της καύσης. Εάν το  $H_2O$  είναι σε υγρή μορφή, η θερμογόνος δύναμη ονομάζεται Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη ( $A\theta\Delta$ ) ή Μικτή Θερμογόνος Δύναμη ( $M\theta\Delta$ ). Όταν το  $H_2O$  είναι με μορφή ατμού, η θερμογόνος δύναμη καλείται Κατώτερη ή Καθαρή Θερμογόνος Δύναμη ( $K\theta\Delta$ ). Η  $A\theta\Delta$  προσδιορίζεται εργαστηριακά με χρήση του θερμιδομετρητή, που μετρά τη θερμότητα που αφαιρείται κατά την ψύξη μέχρι μία τυπική θερμοκρασία αναφοράς των προϊόντων της καύσης. Κατά συνέπεια, περιλαμβάνει τη λανθάνουσα θερμότητα που ανακτάται κατά τη συμπύκνωση του τμήματος του υδρατμού. Αυτός ο υδρατμός σχηματίζεται ως αποτέλεσμα της καύσης κάθε μορίου υδρογόνου που περιέχεται στο καύσιμο και από την εξάτμιση κάθε περιεχόμενης υγρασίας.

Η  $K\theta\Delta$  προσδιορίζεται υπολογιστικά, και είναι ίση με την  $M\theta\Delta$  μείον τη λανθάνουσα θερμότητα του υδρατμού που σχηματίζεται από την καύση του υδρογόνου και από οποιαδήποτε ποσότητα υγρασίας που είναι παρούσα στα καύσιμα. Η  $K\theta\Delta$  είναι περισσότερο αντιπροσωπευτική της διαθέσιμης στην πράξη θερμότητας, όταν τα καύσιμα καίγονται σε συσκευές όπως οι φούρνοι και οι λέβητες. Η λανθάνουσα θερμότητα του υδρατμού που περιλαμβάνεται στα καυσάεργα κανονικά δεν είναι ανακτήσιμη, εκτός από τις περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται ανάκτηση θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας που περιλαμβάνει συμπύκνωση των υδρατμών.

Η προμήθεια των καυσίμων συνήθως γίνεται βάσει της  $M\theta\Delta$  τους και η κατανάλωση ενέργειας της εγκατάστασης εκφράζεται πάντοτε ως προς την  $M\theta\Delta$ , συνεπώς είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται η  $M\theta\Delta$  στις ενεργειακές αναλύσεις εφικτότητας της ΣΗΘ. Οποιοδήποτε προκύπτει ενεργειακό ισοζύγιο θα ποικίλει ανάλογα με τη  $\theta\Delta$  που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, και αυτό, στη συνέχεια, θα έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικές τιμές του θερμικού βαθμού απόδοσης της

εγκατάστασης και του εξοπλισμού καύσης. Επομένως, πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή σε οποιαδήποτε ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων απόδοσης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, στην Ευρώπη η ανάλυση συνήθως γίνεται με την κατώτερη θερμογόνο δύναμη ( $K\theta\Delta$ ). Στις ΗΠΑ συνήθως χρησιμοποιείται η ανώτερη θερμογόνος δύναμη ( $A\theta\Delta$ )  $H_o$ . [5]



## Παράρτημα γ΄ Φυσικό Αέριο

### Τιμές πώλησης φυσικού αερίου για ετήσιες καταναλώσεις κάτω από 1.100 MWh.

Χρέωση ενέργειας	Τιμή προ ΦΠΑ (€/kWh)	ΦΠΑ (%)	Τιμή με ΦΠΑ (€/kWh)
<b>Οικιακή χρήση</b>			
Μαγείρεμα-Ζεστό νερό/ Οικιακός τομέας	0,03450	9	0,03761
<b>Επαγγελματική χρήση</b>			
Οι πρώτες 22.000 kWh/δίκμηνο	0,02800	9	0,03052
Οι υπόλοιπες kWh/δίκμηνο	0,02700	9	0,02943
<b>Βιομηχανική χρήση (για ετήσια κατανάλωση &lt;1.100 MWh)</b>			
Οι πρώτες 11.000 kWh/δίκμηνο	0,02700	9	0,02943
Οι υπόλοιπες kWh/δίκμηνο	0,02500	9	0,02725
<b>Για όλους τους τομείς</b>			
Θέρμανση	**	9	**

Πίνακας 2 Τιμές πώλησης φυσικού αερίου για ετήσιες καταναλώσεις < 1.100 MWh \* (έτος 2005)

Χρέωση ισχύος	Τιμή προ ΦΠΑ (€/δίκμηνο)	ΦΠΑ (%)	Τιμή με ΦΠΑ (€/δίκμηνο)
Εγκατεστημένο φορτίο μέχρι 55 kW (ή 5 Nm <sup>3</sup> /ώρα)	4,00	9	4,36
Εγκατεστημένο φορτίο μέχρι 442 kW (ή 40 Nm <sup>3</sup> /ώρα)	7,50	9	8,18
Εγκατεστημένο φορτίο μέχρι 663 kW (ή 60 Nm <sup>3</sup> /ώρα)	14,00	9	15,26
Εγκατεστημένο φορτίο μέχρι 1768 kW (ή 160 Nm <sup>3</sup> /ώρα)	24,00	9	26,16

Πίνακας 3 Τιμές πώλησης φυσικού αερίου για ετήσιες καταναλώσεις < 1.100 MWh \* (έτος 2005)

\* Για ετήσια κατανάλωση μεγαλύτερη των 1.100 MWh τα τιμολόγια των εμπορικών και βιομηχανικών πελατών καθώς και τα τιμολόγια συμπαραγωγής μεταβάλλονται μηνιαίως μέσω συγκεκριμένου τύπου αναπροσαρμογής. Η χρέωση ενέργειας για το μεγάλο εμπορικό τιμολόγιο αναπροσαρμόζεται ανά μήνα βάσει της μέσης τιμής του πετρελαίου θέρμανσης και του πετρελαίου κίνησης του προηγούμενου μήνα.

\*\* Η χρέωση ενέργειας για τη θέρμανση αναπροσαρμόζεται ανά δίκμηνο έτσι ώστε η τιμή του φυσικού αερίου να είναι 20% χαμηλότερη από την τιμή του πετρελαίου θέρμανσης (συμπεριλαμβανομένης της διαφοράς στην τιμή του ΦΠΑ)

Τα τιμολόγια Φυσικού Αερίου για τον βιομηχανικό τομέα μεταβάλλονται κάθε μήνα εξασφαλίζοντας την ανταγωνιστικότητα τους σε σχέση με τα υπόλοιπα καύσιμα.

Η ανταγωνιστικότητα των τιμών ενισχύεται και με το πρόγραμμα επιδότησης της μετατροπής των εγκαταστάσεων για χρήση Φυσικού Αερίου.

### Τιμολόγιο συμπαραγωγής Φυσικού Αερίου

#### ▪ Χρέωση ενέργειας

Η χρέωση αυτή αναφέρεται στη χρήση του φυσικού αερίου αποκλειστικά για κλιματισμό/ συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας σε B2B εμπορικό ή βιομηχανικό πελάτη. Η τιμή του φυσικού αερίου για αυτή τη χρήση θα ανανεώνεται ανά τρίμηνο.

Ο τύπος από τον οποίο θα προκύπτει η τιμή είναι:

$$K\Sigma2 = \text{Max} \{23; 0,34 * B + 6 + AA, \text{έτους}\}$$

όπου

AA, έτους: 2006: 1, 2007: 2, κλπ.

B η μέση τιμή των πετρελαιοειδών του εξαμήνου που προηγείται από το τρέχον τρίμηνο.

Η μέση τιμή των πετρελαιοειδών του εξαμήνου προκύπτει από το μέσο όρο των τιμών Kuwait, Arab Light, Iranian Light, Kirkuk, Murban, Zuetina, Brass Blend, Saharan Blend που δημοσιεύονται στο Platts Oilgram Price Report, World Crude Oil Prices, "FOB Breakeven Price" και εκφράζεται σε \$/βαρέλι. Η τιμή B είναι διαθέσιμη το πρώτο εικοσαήμερο κάθε τριμήνου οπότε αντίστοιχα προκύπτει και η τιμή που θα εφαρμοστεί το εκάστοτε τρίμηνο.

Η προκύπτουσα τιμή KΣ2 είναι σε €/MWh (εκτός ΦΠΑ).

Στόχος του τιμολογίου είναι να διατηρηθούν οι τιμές αυτού του τιμολογίου όσο το δυνατόν χαμηλότερα με σκοπό την προώθηση αυτών των τεχνολογιών.

#### ▪ Χρέωση Ισχύος

Η τιμή της πάγιας συνιστώσας (χρέωση ισχύος) ανά μήνα εξαρτάται από τη δηλωθείσα μέγιστη ωριαία κατανάλωση και ορίζεται ως εξής :

$$\text{Κλιματισμός/ Συμπαραγωγή: } 224 \times I_n^{GR} \text{ €/MW}$$

Όπου:

$I_n^{GR}$  ο δείκτης πληθωρισμού της δραχμής. Για το έτος 1 που καλύπτει χρονικό διάστημα 1/1/2005- 31/10/2006:  $I_1^{GR} = \text{ένα (1)}$

#### ▪ Μεικτές χρήσεις

Στην περίπτωση που γίνεται κατανάλωση φυσικού αερίου για κλιματισμό/ συμπαραγωγή σε συνδυασμό με άλλη χρήση φυσικού αερίου στην οποία αντιστοιχεί άλλο B2B τιμολόγιο («Θ», «ΜΕ», «ΜΒ»), θα τοποθετείται ξεχωριστός μετρητής για να γίνεται η χρέωση αντίστοιχα με τις χρήσεις. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης δυο μετρητών, θα πραγματοποιείται συμφωνία μεταξύ των μερών για τα ποσοστά σύμφωνα με τα οποία θα μερίζεται η κατανάλωση σε KΣ2 και στο άλλο τιμολόγιο.

#### ▪ Εκπτώσεις

Οι καταναλωτές θα δικαιούνται έκπτωση μετατροπής (όπως περιγράφεται παρακάτω) μόνο στην περίπτωση που ικανοποιούνται οι δύο παρακάτω όροι:

Η σύμβαση να έχει υπογραφεί το αργότερο έως το πέρας δύο μηνών από την έγγραφη προσφορά από την ΕΠΑ Αττικής.

Η κατανάλωση του φυσικού αερίου να έχει ξεκινήσει σύμφωνα με τη συμβατική υποχρέωση του καταναλωτή ή το αργότερο ένα μήνα μετά την ενεργοποίηση της παροχής από την ΕΠΑ Αττικής (όποιο από τα δύο είναι αργότερα).

Σημειώνεται ότι η έκπτωση μετατροπής θα προσφέρεται μόνο σε περιπτώσεις μετατροπής υφιστάμενων εγκαταστάσεων όπου υποκαθιστούνται άλλα καύσιμα.

Χορηγείται έκπτωση μετατροπής που θα χρηματοδοτεί το 60% του μη επιδοτούμενου (από άλλα προγράμματα επιδότησης) κόστους εξοπλισμού συμπαραγωγής/ κλιματισμού που πραγματοποιείται μετά την υπογραφή της σύμβασης, ως εξής:

Θα σταματά είτε με τη λήξη του συμβολαίου, είτε με τη συμπλήρωση της κατανάλωσης των δηλωμένων ποσοτήτων Φ.Α.

Θα παρέχεται ανά MWh μετά την προσκόμιση των σχετικών αποδείξεων.

Αν κατά την περίοδο ισχύος του συμβολαίου, αλλάξει η ετήσια δηλωμένη ποσότητα, το ποσό ανά MWh θα προσαρμόζεται ανάλογα.

Για την παροχή της θα απαιτείται η προσκόμιση των σχετικών αποδείξεων. Η έκπτωση αυτή δεν μπορεί να υπερβεί το 1 €/MWh Ανωτέρας Θερμογόνου Δυνάμεως Φ.Α που καταναλώνεται από τη μονάδα κλιματισμού ή συμπαραγωγής.[19]

## Παράρτημα δ' Τιμές πώλησης και αγοράς ηλεκτρισμού

### ■ Τιμολόγιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ (Τιμολόγια, Αύγουστος 2006)	
Τιμολόγιο Β1 Μηνιαία χρέωση	
<b>Ενέργεια:</b>	
Οι πρώτες 400 kWh ανά kW (ΜΖ)	0,05803 Euro / kWh
Οι υπόλοιπες	0,03844 Euro/ kWh
Ισχύς: Χρεωστέα ζήτηση (ΧΖ)	9,7433 Euro/ kW
<b>Ελάχιστη χρέωση</b>	
Για ΧΖ < 5kW	223,22 Euro
Για ΧΖ>5kW	2,2270* (ΧΖ-5)+ 223,22 Euro
Τιμολόγιο Β2 Μηνιαία χρέωση	
Ισχύς: Χρεωστέα ζήτηση (ΧΖ)	3,5129 Euro/kW
Ενέργεια: Όλες οι kWh	0,07602 Euro/kWh
<b>Ελάχιστη χρέωση</b>	
Για ΧΖ< 5kW	223,22 Euro
Για ΧΖ>5kW	2,2270* (ΧΖ-5)+ 223,22 Euro

Πίνακας 4 Τιμολόγιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Αύγουστος 2006)

- Τιμολόγιο πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή και ΑΠΕ και χρέωση ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο

	ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ		
		ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ	ΥΨΗΛΗ ΤΑΣΗ
<b>ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b> από ΣΘΗ με λοιπά καύσιμα (πλην ΑΠΕ)	-	0,05639 €/kWh	0,04561 €/kWh	Ενέργεια (€/kWh): Αιχμή: 0,02978 Ενδιάμεσο φορτίο: 0,02063 Ελάχιστο φορτίο: 0,01531
<b>ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ</b> από ΣΘΗ με λοιπά καύσιμα (πλην ΑΠΕ)	-	-	Ενέργεια: 0,05321 €/kWh  Ισχύς: 1,75645 €/kW	Ενέργεια (€/kWh): Αιχμή: 0,03475 Ενδιάμεσο φορτίο: 0,02407 Ελάχιστο φορτίο: 0,01786  Ισχύς (€/kW): Αιχμή: 3,98675 Ενδιάμεσο φορτίο: - Ελάχιστο φορτίο: -
<b>ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b> (από ΑΠΕ ή από ΣΘΗ με ΑΠΕ)	Από ΑΠΕ: 0,06579 €/kWh Από ΣΘΗ: 0,05639 €/kWh	0,06579 €/kWh	0,05321 €/kWh	Ενέργεια (€/kWh): Αιχμή: 0,03475 Ενδιάμεσο φορτίο: 0,02407 Ελάχιστο φορτίο: 0,01786
<b>ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ</b> (από ΑΠΕ ή από ΣΘΗ με ΑΠΕ)	0,08458 €/kWh	-	Ενέργεια: 0,06842 €/kWh  Ισχύς: 1,75645 €/kW	Ενέργεια: 0,06842 €/kWh  Ισχύς: 1,75645 €/kW

Τιμή πώλησης Αέργου Ενέργειας: 0,00470 €/KVahr\*

\*Με την τιμή πώλησης αέργου ενεργείας χρεώνεται η αέργος ενέργεια την οποία πωλεί η ΔΕΗ σε ανεξάρτητους παραγωγούς και αυτοπαραγωγούς από ΑΠΕ ή ΣΘΗ, υπό κάθε τάση συνδέσεως, στο διασυνδεδεμένο σύστημα ή σε μη διασυνδεδεμένα νησιά.

**Πίνακας 5 Τιμολόγιο πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή και ΑΠΕ και χρέωση ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο (Σεπτέμβριος 2006)[20]**

## Παράρτημα ε΄ Χαρακτηριστικά διαθέσιμων αεριομηχανών

### Cogenco Cogeneration Units 50 Hz Range on Natural Gas (LHV)

Module Type	Performance				Efficiency		
	Elect KW	Therm Kw	Input kW	rpm	Elect %	Therm	Total %
CGC-0130-L-NG-50	130	201	378	1500	34.4	53.2	87.6
CGC-0140-L-NG-50	140	207	399	1500	35.1	51.9	87.0
CGC-0198-L-NG-50	198	233	599	1500	33.1	38.9	72.0
CGC-0237-L-NG-50	237	359	667	1500	35.5	53.8	89.4
CGC-0306-L-NG-50	307	357	821	1500	37.4	43.5	80.9
CGC-0375-L-NG-50	375	401	978	1500	38.3	41.0	79.3
CGC-0380-L-NG-50	380	500	1026	1500	37.0	48.7	85.8
CGC-0490-L-NG-50	490	679	1340	1500	36.6	50.7	87.2
CGC-0501-L-NG-50	501	518	1298	1500	38.6	39.9	78.5
CGC-0600-L-NG-50	600	873	1782	1500	33.7	49.0	82.7
CGC-0725-L-NG-50	725	1019	2059	1500	35.2	49.5	84.7
CGC-0975-L-NG-50	975	1293	2747	1500	35.5	47.1	82.6
CGC-1160-L-NG-50	1160	1442	2974	1500	39.0	48.5	87.5
CGC-1379-L-NG-50	1379	1475	3616	1500	38.1	40.8	78.9
CGC-1379-3C-NG-50	1379	1672	3616	1500	38.1	46.2	84.4
CGC-1566-L-NG-50	1566	1647	4051	1500	38.7	40.7	79.3
CGC-1566-3C-NG-50	1566	1856	4051	1500	38.7	45.8	84.5
CGC-1760-L-NG-50	1760	1821	4526	1500	38.9	40.2	79.1
CGC-1760-3C-NG-50	1760	2056	4526	1500	38.9	45.4	84.3
CGC-2000-L-NG-50	2000	2248	4900	1500	44.2	45.4	89.6

#### Performance

All figures based upon LHV UK Nat Gas  
Tolerance on Energy Input +/- 5%  
Tolerance on heat output +/- 7%  
Tolerance on power output - 3%  
Definitions of ratings ISO 3046

#### Equipment Included

Engine and generator  
Heat recovery equipment  
Cogenco control and monitoring panel  
Mains power panel  
Acoustic enclosure/container

Modules above CGC 0725 will be supplied ex works in 5 module sections for erection and connection at site.

Πίνακας 6 Χαρακτηριστικά διαθέσιμων μηχανών

COGENCO DATA SHEET - CGC 380 LT - UK Natural Gas							
TECHNICAL SPECIFICATION							
Cogenco identification	CGC	380 LT	Compression ratio			10:1	
Engine type	MAN	E2842 LE312	Engine speed	rpm		1500	
Generator type	Mecc Alte	ECO 40-1.5L	Power factor			1.00	
Cylinder configuration		V12	Air fuel ratio			1.58	
Exhaust manifold		Air cooled	Barometric pressure	kPa		100	
Bore	mm	128	Exhaust gas temperature after H/E	°C		120	
Stroke	mm	142	Ambient temperature	°C		25	
Swept volume	litres	21.9	Gas heating value (LHV)	kJ/nm <sup>3</sup>		34710	
Mean effective pressure	bar	14.6	Methane index			>80	
PERFORMANCE AND EFFICIENCY							
		100%	75%	50%			
Fuel input	kW	1026	100.0%	800	100.0%	570	100.0%
Mechanical shaft power	kW	400	39.0%	300	37.5%	200	35.1%
Electrical output	kW	380	37.0%	285	35.6%	190	33.3%
Heat output from jacket water and oil	kW	251	24.5%	200	25.0%	159	27.9%
Heat output from exhaust gases (120°C)	kW	249	24.3%	199	24.9%	147	25.8%
Total usable heat output	kW	500	48.7%	399	49.9%	306	53.7%
Total useable energy	kW	880	85.8%	684	85.5%	496	87.0%
Intercooler heat output	kW	75	7.3%	40	5.0%	15	2.6%
Radiated and unaccounted for heat	kW	50	4.9%	41	5.1%	32	5.6%
TEMPERATURES AND FLOWS							
Fuel mass flow	kg/hr	76.5		59.7		42.5	
Fuel volume flow	nm <sup>3</sup> /hr	106.4		83.0		59.1	
Ventilation air volume flow (incl. comb. air)	nm <sup>3</sup> /hr	10,700		10,700		10,700	
Combustion air mass flow	kg/hr	2060		1606		1144	
Combustion air volume flow	nm <sup>3</sup> /hr	1591		1240		884	
Exhaust gas mass flow (wet)	kg/hr	2136		1666		1187	
Exhaust gas volume flow (wet)	nm <sup>3</sup> /hr	1682		1312		935	
Exhaust gas volume flow (wet) @ 120°C	m <sup>3</sup> /hr	2378		1855		1312	
Jacket water flow	m <sup>3</sup> /hr	40		40		40	
Intercooler water flow - minimum	m <sup>3</sup> /hr	12		12		12	
Secondary water flow - minimum	m <sup>3</sup> /hr	40		40		40	
Maximum return water inlet temperature	°C	80.0		80.0		80.0	
Secondary water outlet temperature	°C	90.1		88.3		86.3	
Maximum intercooler water inlet temperature	°C	40		40		40	
Intercooler water outlet temperature	°C	45.9		43.9		42.4	
Exhaust gas temperature before cooler	°C	465		450		440	
WEIGHTS AND DIMENSIONS							
Weight - dry	kg	7800					
Weight - wet	kg	8300					
Length - canopy only	mm	4000					
Length - canopy and control panel	mm	4400					
Width	mm	2000					
Height - canopy only	mm	2400					
Height - canopy and attenuators	mm	3600					
Tolerance on energy input	+5%		Tolerance on heat output		+/-7%		
Tolerance on power output	+/-3%		Tolerance on exhaust flow and temperature		+/-5%		
Definition of ratings to ISO 3046 (In order to comply with the Cogenco policy of continuous improvement this information is subject to change without prior notice)							



Πίνακας 7 Χαρακτηριστικά αεριομηχανής με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ 380kW.

COGENCO DATA SHEET - CGC 490 LT - UK Natural Gas							
TECHNICAL SPECIFICATION							
Cogenco identification	CGC	490 LT	Compression ratio				12.5:1
Engine type	Caterpillar	G3508 LE	Engine speed	rpm			1500
Generator type	Caterpillar	SR4B	Power factor				1.00
Cylinder configuration		V8	Air fuel ratio				1.69
Exhaust manifold		Dry	Barometric pressure	kPa			100
Bore	mm	170	Exhaust gas temperature after H/E	°C			120
Stroke	mm	190	Ambient temperature	°C			25
Swept volume	litres	34.5	Gas heating value (LHV)	kJ/nm3			34710
Mean effective pressure	bar	11.7	Methane index				>80
PERFORMANCE AND EFFICIENCY							
			100%		75%		50%
Fuel input	kW	1340	100.0%	1052	100.0%	760	100.0%
Mechanical shaft power	kW	505	37.7%	379	36.0%	253	33.3%
Electrical output	kW	490	36.6%	368	35.0%	245	32.2%
Heat output from jacket water and oil	kW	294	21.9%	343	32.6%	188	24.7%
Heat output from exhaust gases (120°C)	kW	385	28.7%	309	29.4%	225	29.6%
Total usable heat output	kW	679	50.7%	551	52.4%	413	54.3%
Total useable energy	kW	1169	87.2%	919	87.4%	658	86.6%
Intercooler heat output	kW	37	2.8%	27	2.6%	17	2.2%
Radiated and unaccounted for heat	kW	60	4.5%	50	4.8%	40	5.3%
TEMPERATURES AND FLOWS							
Fuel mass flow	kg/hr	99.9		78.4		56.7	
Fuel volume flow	nm3/hr	138.9		109.1		78.8	
Ventilation air volume flow (incl. comb. air)	nm3/hr	18,200		18,200		18,200	
Combustion air mass flow	kg/hr	2877		2223		1557	
Combustion air volume flow	nm3/hr	2225		1719		1204	
Exhaust gas mass flow (wet)	kg/hr	2977		2302		1614	
Exhaust gas volume flow (wet)	nm3/hr	2344		1841		1329	
Exhaust gas volume flow (wet) @ 120°C	m3/hr	3314		2562		1797	
Jacket water flow	m3/hr	32		32		32	
Intercooler water flow - minimum	m3/hr	12		12		12	
Secondary water flow - minimum	m3/hr	60		60		60	
Maximum return water inlet temperature	°C	80.0		80.0		80.0	
Secondary water outlet temperature	°C	90.0		88.1		86.1	
Maximum intercooler water inlet temperature	°C	54		54		54	
Intercooler water outlet temperature	°C	56.9		56.1		55.3	
Exhaust gas temperature before cooler	°C	500		515		530	
WEIGHTS AND DIMENSIONS							
Weight - dry	kg	8695					
Weight - wet	kg	9195					
Length	mm	3660					
Width	mm	1570					
Height	mm	1960					
(Engine/generator only - excluding heat skid)							
Tolerance on energy input	+5%		Tolerance on heat output			+/-7%	
Tolerance on power output	+/-3%		Tolerance on exhaust flow and temperature			+/-5%	
Definition of ratings to ISO 3046		(In order to comply with the Cogenco policy of continuous improvement this information is subject to change without prior notice)					

Πίνακας 8 Χαρακτηριστικά αεριομηχανής με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ 490kW.



## Βιβλιογραφία

- [1] Φραγκόπουλος Χρήστος, Ηλίας Π. Καρυδογιάννης, Γιάννης Κ. Καραλής. 'Συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού', Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας, Αθήνα 1994
- [2] Ημερίδα 'Διείσδυση του φυσικού αερίου στην αγορά ενέργειας. Τεχνικά προβλήματα, προοπτικές, ασφάλεια', Θέμα: 'Η μικρή συμπαραγωγή στον τριτογενή τομέα στην Ελλάδα-Ο ρόλος του φυσικού αερίου', εισηγητής: Κ. Θεοφύλακτος, πρόεδρος του Ελληνικού Συνδέσμου Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και θερμότητας, Αθήνα, Νοέμβριος 2004
- [3] 'EDUCOGEN', The European Educational Tool on Cogeneration, Second Edition, December 2001
- [4] '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)
- [5] Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας', Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Zentrum fur rationelle Energieanwendung und Umwelt GmbH (ZREU), Ευρωπαϊκή Επιτροπή
- [6] 'EDUCOGEN', A guide to cogeneration, March 2001, Funded by the SAVE Programme
- [7] 'Electricity transport regimes and their impact on cogeneration', Cogen Europe briefing paper, September 2000
- [8] Good practice guide 60, 'The Application of Combined Heat and Power in the UK Health Service' Energy Efficiency, Best Practice Programme
- [9] Charles Butler, "Cogeneration", in [AccessScience@McGraw-Hill](http://www.accessscience.com), <http://www.accessscience.com>, DOI 10.1036/1097-8542.146750, last modified: February 20, 2001
- [10] Good practice guide 388, 'Combined heat and power for buildings, Selecting, installing and operating CHP in buildings – a guide for building services engineers' Action Energy from the Carbon Trust
- [11] 'Cogeneration (CHP)- A Technology Portrait', Institute for Thermal turbomachinery and Machine Dynamics, Graz University of Technology, Vienna, Mai 2002
- [12] 'Οδηγός Ενεργειακής Επιθεώρησης, Μέρος Β, Επεμβάσεις Εξοικονόμησης Ενέργειας', Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Κοινοτική Πρωτοβουλία ADAPT, Ευρωπαϊκή Επιτροπή
- [13] Good practice guide 227, 'How to appraise CHP, a simple investment appraisal methodology', Energy Efficiency, Best Practice Programme

- [14] 'Saving energy with Energy efficiency in hospitals', Maxi Brochure 05, Caddet, Centre for the analysis and dissemination of demonstrated energy technologies
- [15] Good practice guide 267, 'Combined heat and power in hospitals' Energy Efficiency, Best Practice Programme
- [16] 'Οικονομικοτεχνική μελέτη επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας στο Γ.Π.Ν.Α. Σισμανόγλειο Νοσοκομείο', Δρ. Ηλίας Σωφρόνης, ΔΕΠΣ
- [17] [www.sismanoglio.gr](http://www.sismanoglio.gr)
- [18] Good practice guide 261, 'Reducing energy waste in the NHS' Energy Efficiency, Best Practice Programme
- [19] [www.aerioattikis.gr](http://www.aerioattikis.gr)
- [20] [www.dei.gr](http://www.dei.gr)
- [21] Good practice guide 176, 'Small - scale combined heat and power for buildings' Energy Efficiency, Best Practice Programme
- [22] Good practice guide 43, 'Introduction to large - scale combined heat and power' Energy Efficiency, Best Practice Programme
- [23] Good practice guide 226, 'The operation and maintenance of small – scale combined heat and power' Energy Efficiency, Best Practice Programme
- [24] Energy consumption guide 72, 'Energy consumption in hospitals' Energy Efficiency, Best Practice Programme
- [25] 'An introduction to micro – cogeneration' Cogen Europe Briefing 8, 25<sup>th</sup> of January, 1999
- [26] CHP club Combined Heat and Power 'The manager's guide to Packaged CHP Systems' Section A, Introduction and Overview
- [27] CHP club Combined Heat and Power 'The manager's guide to Packaged CHP Systems' Section B, CHP Project Development
- [28] CHP club Combined Heat and Power 'The manager's guide to Packaged CHP Systems' Section C, Understanding Packaged CHP: The technology details
- [29] CHP club Combined Heat and Power 'The manager's guide to Packaged CHP Systems' Section D, Finance Issues
- [30] CHP club Combined Heat and Power 'The manager's guide to Packaged CHP Systems' Section E, Operating and Maintaining the CHP Installation
- [31] CHP club Combined Heat and Power 'The manager's guide to Packaged CHP Systems' Section F, Environmental Issues
- [32] CHP club Combined Heat and Power 'The manager's guide to Packaged CHP Systems' Section G, Useful Additional Information

- [33] 'Training Guide on Combined Heat and Power Systems', Centre for Renewable Energy Sources (CRES), Zentrum für rationelle Energieanwendung und Umwelt GmbH (ZREU), European Commission
- [34] 'Οδηγός Ενεργειακής Επιθεώρησης, Μέρος Α, Μεθοδολογία και Τεχνικές', Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Κοινοτική Πρωτοβουλία ADAPT, Ευρωπαϊκή Επιτροπή
- [35] 'Οδηγός Εξοικονόμησης Ενέργειας με Συστήματα Ανάκτησης Θερμότητας', Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Υπουργείο Εργασίας, Ευρωπαϊκή Επιτροπή
- [36] Μηνάς Ιατρίδης, Ενεργειακός Μηχανικός MSc, 'Οδηγός Εξοικονόμησης Ενέργειας στη Βιομηχανική Ψύξη', Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Υπουργείο Εργασίας, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Ιούλιος 1996
- [37] Διημερίδα Αθήνα 14-15 Οκτωβρίου 2004, Δρ. Ηλίας Σωφρόνης 'Κατανάλωση Ενέργειας στα δημόσια νοσοκομεία', Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Δ/ση Ενεργειακής Πολιτικής και Σχεδιασμού
- [38] 'Energy and Carbon Conversions', Carbon Trust
- [39] 'Combined heat and power the concept', Presentation to the distributed energy road show, Bloomington, Minnesota, Tuesday, May 13, 2003, John J. Cuttica, Midwest CHP Application Center
- [40] 'A brief Characterization of Gas Turbines in Combined Heat and Power Applications', from 'Technology Characterization: Gas Turbines' Climate Protection Partnerships Division, Environmental Protection Agency, Washington, DC February 2002 and 'Introduction to CHP Catalog of Technologies', Environmental Protection Agency Landfill Methane Outreach Program Washington, August 2003
- [41] 'Cogeneration in Europe', Country report : Greece 'The European Cogeneration Review, Author : Andrea Sarmentero, Editor : Simon Minett, Cogen Europe, September 2003
- [42] 'Cogeneration in Europe', Country report : France 'The European Cogeneration Review, Author : Thomas Bouquet, Editor : Simon Minett, Cogen Europe, June 2004
- [43] 'Cogeneration in Europe', Country report : United Kingdom 'The European Cogeneration Review, Authors : Andrea Sarmentero and Thomas Bouquet, Editor : Simon Minett, Cogen Europe, July 2004
- [44] 'Cogeneration and the EU regional policies' Cogen Europe Briefing Paper, 13 September 2000
- [45] 'Αφιέρωμα στην ενέργεια, πολιτική, τεχνολογία και εκπαίδευση', τιμητική έκδοση για τον ομότιμο καθηγητή του Ε.Μ.Π. Ν. Κουμούτσο, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 1998
- [46] 'Ηλεκτρική Οικονομία', Β. Παπαδιάς, Γ. Κονταξής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2003

- [47] 'Guidebook for combined heat and power', report date: September 1999, California energy commission, consultant report, October 2000
- [48] 'Gas turbines and micro turbines for distributed Energy Applications', Author: Merrill Smith, Office of Distributed Energy and Electric Reliability, U.S. Department of Energy, March 5, 2003
- [49] 'Advanced technologies for CHP implementations, Greek and European overview- successful applications-solid fuels utilisation'. Prepared by Constantinos Theofylaktos, Scientific coordinator: Dr.George Skordas, ISFTA, May 2004