



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μελέτη σκοπιμότητας εγκατάστασης Συστήματος
Συμπαγωγής στο Νοσοκομείο «ΚΑΤ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Παναγιώτη Ι. Μουζακίτη

Υπεύθυνος καθηγητής : Περικλής Μπούρκας
Καθηγητής

Αθήνα, Μάρτιος 2005



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μελέτη σκοπιμότητας εγκατάστασης Συστήματος
Συμπαράγωγής στο Νοσοκομείο «ΚΑΤ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
Παναγιώτη Ι. Μουζακίτη

Υπεύθυνος καθηγητής : Περικλής Μπούρκας
Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 8^η Μαρτίου 2005.

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

.....
Θεόδωρου Νικόλαος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

Αθήνα, Μάρτιος 2005

.....
Παναγιώτης Ι. Μουζακίτης

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

Copyright © Παναγιώτης Ι. Μουζακίτης, 2005

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.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα πρώτα απ' όλα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Περικλή Μπούρκα για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράστασή του καθώς και τον έμπειρο Μηχανικό και υποψήφιο διδάκτορα κ. Γιάννη Κατσάνη για την καθοδήγησή του και τις χρήσιμες συμβουλές και διορθώσεις του.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τους Μηχανικούς και τους Τεχνικούς της Τεχνικής Υπηρεσίας του Νοσοκομείου «ΚΑΤ» για την άψογη συνεργασία μας στην προσπάθειά μου να συγκεντρώσω τα απαιτούμενα για τη μελέτη στοιχεία.

Σημαντικές ήταν, επίσης, και οι επεξηγήσεις του πολύπειρου Ψυκτικού και παιδικού μου φίλου κ. Νίκου Κίτσιου που με βοήθησε να κατανοήσω σε βάθος τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης των Συστημάτων Συμπαράγωγής.

Κλείνοντας, θέλω να ευχαριστήσω τη φίλη μου κα Κατερίνα Μουζακίτη για την δακτυλογράφηση και τη γλωσσική επιμέλεια της παρούσης εργασίας.

Σας ευχαριστώ όλους,

Παναγιώτης Ι. Μουζακίτης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κύριος σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η οικονομοτεχνική μελέτη εγκατάστασης ενός συστήματος συμπαραγωγής σε μεγάλο Νοσοκομείο της Αθήνας. Η ανάλυση περιλαμβάνει απλή περίοδο αποπληρωμής της επένδυσης, καθαρή παρούσα αξία, απόδοση κεφαλαίου και έντοκη περίοδο αποπληρωμής.

Γίνεται, επίσης, αναφορά στη συμπαραγωγή στον Ελλαδικό και Ευρωπαϊκό χώρο, τις τεχνικές συμπαραγωγής, τα οικονομοτεχνικά κριτήρια της επένδυσης και τον τρόπο επιλογής ενός τέτοιου συστήματος.

Λέξεις κλειδιά:

Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, ΣΗΘ ,ΣΘΗ, Νοσοκομείο, μελέτη σκοπιμότητας, ψύκτες απορρόφησης.

ABSTRACT

Main objective of the present diplomatic thesis is the feasibility study of the installation of a cogeneration system in a large Athens' hospital. The analysis contains simple payback period, net present value of the investment, internal rate of return and discounted payback period.

It also deals with the cogeneration in Greece and Europe, cogeneration techniques, investment's economic appraisal and the selection strategy.

Keywords:

CHP, cogeneration, combined heat and power, hospital, feasibility study, absorption chillers.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	15
Η ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	15
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ [3].....	15
1.2 ΕΛΛΑΔΑ [4]	16
1.3 ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ	17
1.3.1 Ισπανία [5].....	17
1.3.2 Γαλλία [6]	17
1.3.3 Ιρλανδία [7]	18
1.3.4 Ην. Βασίλειο [8].....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	21
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	21
2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	22
2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	23
2.2.1 Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου	23
2.2.2 Συστήματα αεριοστροβίλου κλειστού τύπου.....	25
2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ	26
2.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ	30
2.5 ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ («ΠΑΚΕΤΑ»)	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	35
ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	35
3.1 ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	35
3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ [1]	37
3.2.1 Ορισμοί βασικών οικονομικών παραμέτρων	38
3.2.2 Οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης.....	42
3.2.3 Αξιολόγηση συστημάτων συμπαραγωγής σε επίπεδο ιδιότη επενδυτή.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	53
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	53
4.1 1ος ΤΡΟΠΟΣ [1].....	53
4.2 2ος ΤΡΟΠΟΣ [2].....	55
4.3 3ος ΤΡΟΠΟΣ [10]	56
4.3.1 Στρατηγική για ΣΗΘ σε νοσοκομείο	56
4.3.2 Διαγράμματα αποφάσεων	58
4.3.3 Παρατηρήσεις.....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	63
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ	63
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	63
5.2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ	63
5.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	64
5.3.1 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	64
5.3.2 Κατανάλωση πετρελαίου Diesel.....	70
5.3.3 Τυπική ημερήσια καμπύλη ενεργού ισχύος	73
5.4 ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	79
5.4.1 Λέβητες.....	79
5.4.2 Εξοπλισμός κέντρου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	81
5.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ DIESEL	82
5.6 ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ.....	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	85
ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	85

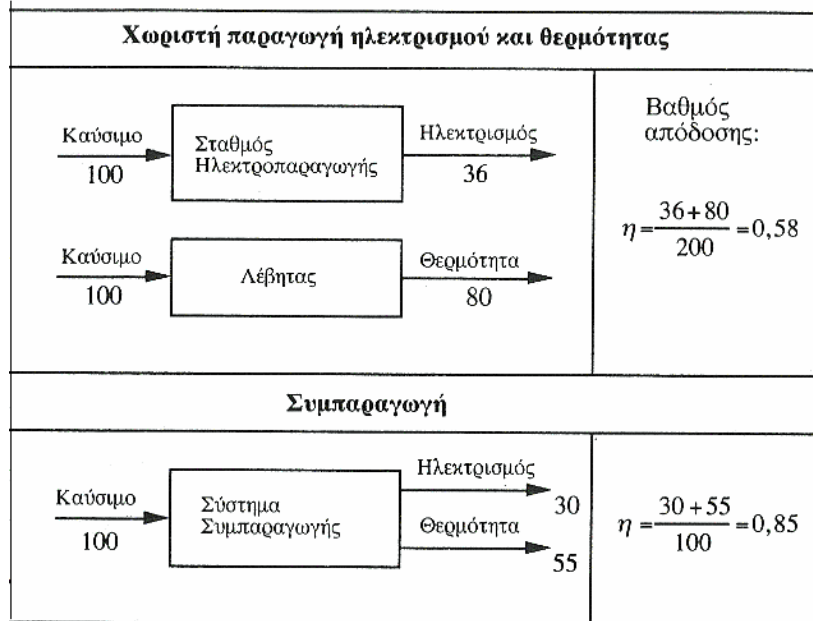
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	85
6.2	ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ.....	85
6.2.1	Εξοπλισμός.....	85
6.2.2	Κατανάλωση ενέργειας συμβατικής λύσης.....	86
6.2.3	Ενεργειακό κόστος συμβατικής λύσης.....	86
6.3	ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	88
6.3.1	Κριτήρια επιλογής.....	88
6.3.2	Επιλογή μηχανημάτων της μονάδας συμπαραγωγής.....	89
6.3.3	Φορτία Συμπαραγωγής.....	90
6.3.4	Ενεργειακό κόστος μονάδων συμπαραγωγής.....	91
6.3.5	Κόστος επένδυσης μονάδων συμπαραγωγής.....	94
6.3.6	Ενδεικτική περίοδος αποπληρωμής (simple payback period) για 6000 ώρες λειτουργίας της μονάδας.....	94
6.3.7	Καθαρή παρούσα αξία επένδυσης (net present value- NPV).....	96
6.3.8	Απόδοση κεφαλαίου (internal rate of return- IRR).....	98
6.3.9	Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (Discounted payback period- DPB).....	99
6.3.10	Συμπεράσματα επί των Διαγραμμάτων.....	101
6.3.11	Παραγωγή θερμότητας τους «θερμούς» μήνες.....	101
6.3.12	Ψύκτες απορρόφησης.....	102
6.4	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	103
<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</u>		105
<u>ΜΗΧΑΝΕΣ/ΨΥΚΤΕΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ (ABSORPTION MACHINES/CHILLERS)</u>		105
<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</u>		117
<u>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ-ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ</u>		117
<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ</u>		121
<u>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ</u>		121
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>		125

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο συνηθισμένος μέχρι τώρα, τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών ενός καταναλωτή ή μιας ομάδας καταναλωτών είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και η καύση κάποιου καυσίμου (σε λέβητα, κλίβανο, κλπ) για την παραγωγή θερμότητας.[1]. Όμως η ολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά εάν εφαρμοστεί η «συμπαγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας» ή «CHP», όπως ονομάζεται διεθνώς από τις λέξεις «Combined Heat and Power». Ένας ορισμός θα μπορούσε να είναι: “Συμπαγωγή (cogeneration) είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας”, (ΣΗΘ ή ΣΘΗ).

Η εξαγόμενη από την συμπαγωγή θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την θέρμανση όσο και για την ψύξη ή τον κλιματισμό. Η ψύξη ή ο κλιματισμός επιτυγχάνονται με μηχανές απορρόφησης (absorption chillers-machines), που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό.(βλ. Παράρτημα Α)

Κατά τη λειτουργία ενός συμβατικού θερμοηλεκτρικού σταθμού, αρκετά ποσά θερμότητας αποβάλλονται στο περιβάλλον είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωτών ατμού, πύργων ψύξης, ψυγείων νερού κλπ), είτε μέσω των καυσαερίων (αεροστροβίλων, κινητήρων Diesel, κινητήρων Otto κλπ). Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της, ουσιαστικά, χαμένης θερμότητας μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα. Έτσι, ενώ οι συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής έχουν βαθμό απόδοσης 30-45%, ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων συμπαγωγής φτάνει το 80-85%.Μια σύγκριση, ως προς τον βαθμό απόδοσης, της συμπαγωγής με τη χωριστή παραγωγή του ηλεκτρισμού και θερμότητας, παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:[1].



Η συμπαραγωγή πρωτοεμφανίστηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. γύρω στα 1890. Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα, οι περισσότερες βιομηχανίες είχαν δικές τους μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητα-στρόβιλο, που λειτουργούσαν με άνθρακα. Πολλές από τις μονάδες αυτές ήταν συμπαραγωγικές. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι περίπου το 58% του ηλεκτρισμού, που παραγόταν σε βιομηχανίες των Η.Π.Α. στις αρχές του αιώνα, προερχόταν από μονάδες συμπαραγωγής.

Αργότερα ακολούθησε κάμψη κυρίως για δύο λόγους: α)ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής του ηλεκτρισμού, που προσέφεραν σχετικά φτηνή και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια, και β)διαθεσιμότητα υγρών καυσίμων και φυσικού αερίου σε χαμηλές τιμές που έκανε τη λειτουργία λεβητών οικονομικά συμφέρουσα.

Και ενώ μέχρι τη δεκαετία του '70 η συμπαραγωγή σημείωνε όλο και μεγαλύτερη κάμψη, η πορεία αυτή αντιστράφηκε όχι μόνο στις Η.Π.Α. αλλά και στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία και αλλού, γεγονός το οποίο οφείλεται κυρίως στην απότομη αύξηση των τιμών των καυσίμων από το 1973 και μετά.

Η ανοδική πορεία στη διάδοση της συμπαραγωγής συνοδεύτηκε από αξιοσημείωτη πρόοδο της σχετικής τεχνολογίας. Οι βελτιώσεις και οι εξελίξεις συνεχίζονται και νέες τεχνικές αναπτύσσονται και δοκιμάζονται, αλλά ήδη η

συμπαραγωγή έχει φτάσει σε επίπεδο ωριμότητας με αποδεδειγμένη αποδοτικότητα και αξιοπιστία.

Η μείωση κατανάλωσης καυσίμου, που επιτυγχάνεται με τη συμπαραγωγή, συντελεί, εν γένει, σε μείωση και των εκπεμπόμενων ρύπων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι ενδεχόμενη η αύξηση των ρύπων σε τοπική κλίμακα, γεγονός το οποίο επιβάλλει ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του είδους της μονάδος και του πρόσθετου εξοπλισμού της.

Οι εφαρμογές της συμπαραγωγής διακρίνονται σε τέσσερις κύριους τομείς: σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας, βιομηχανικός, εμπορικός-κτιριακός και αγροτικός τομέας. Η συμπαραγωγή στον τομέα των μεταφορών είναι πλέον αυτονόητο: π.χ. ο κινητήρας ενός αυτοκινήτου ή πλοίου καλύπτει τις ανάγκες σε μηχανικό έργο, ηλεκτρισμό και θερμότητα, η οποία ανακτάται από τα ψυκτικά κυκλώματα ή και τα καυσαέρια.

Η εξοικονόμηση ενέργειας και η μείωση (τουλάχιστον σε σφαιρική κλίμακα) των ρύπων ίσως δεν είναι επαρκή κίνητρα για μία επένδυση σε σύστημα συμπαραγωγής, εάν και η ίδια η επένδυση δεν είναι οικονομικά βιώσιμη. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι ανάλυσης για τον προσδιορισμό του βέλτιστου συστήματος για δεδομένη εφαρμογή καθώς και του βέλτιστου τρόπου λειτουργίας ενός δεδομένου συστήματος.

Η μεγάλη σημασία που έχει η συμπαραγωγή στην εξοικονόμηση φυσικών και οικονομικών πόρων αλλά και το γεγονός ότι η λειτουργία των συστημάτων έχει άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στο σύστημα ηλεκτρισμού μιας χώρας, είναι αιτίες ώστε η συμπαραγωγή να αποτελεί αντικείμενο νομοθετικών, οικονομικών και άλλων ρυθμίσεων εκ μέρους της πολιτείας. Από την άλλη πλευρά, 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 οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης.[1]

Η συμπαραγωγή στα νοσοκομεία [2]

Όλα τα κτίρια που έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να ζουν μέσα σε αυτά οι άνθρωποι χρειάζονται ενέργεια: θερμότητα για να παρέχει θέρμανση και ζεστό νερό και ηλεκτρική ενέργεια για να παρέχει φωτισμό και άλλες υπηρεσίες.

Τα νοσοκομεία, συνήθως, προμηθεύουν την θερμότητα και την ηλεκτρική ενέργεια χωριστά. Η θερμότητα παράγεται στους λέβητες (καίγοντας υγρά ή αέρια καύσιμα) και η ηλεκτρική ενέργεια λαμβάνεται διαμέσου του δικτύου από σταθμούς παραγωγής που χρησιμοποιούν υγρά, στερεά ή αέρια καύσιμα. Κατ' αυτόν τον τρόπο έχουμε απώλειες σε δύο σημεία, στους λέβητες και στον σταθμό παραγωγής. Μια μονάδα συμπαραγωγής (CHP) ελαχιστοποιεί κάποιες από τις απώλειες καίγοντας το καύσιμο για να παράγει ηλεκτρισμό και ταυτόχρονα χρησιμοποιεί την θερμότητα που ελευθερώνεται για να παρέχει θέρμανση(ή ψύξη) και ζεστό νερό για το νοσοκομείο.

Υπάρχουν αρκετοί λόγοι που κάνουν θεμιτή τη χρήση μιας μονάδας συμπαραγωγής σ' ένα νοσοκομείο. Η συμπαραγωγή είναι ένας από τους καλύτερους τρόπους εξοικονόμησης χρημάτων και αν ξοδεύονται λιγότερα χρήματα στην ενέργεια, θα υπάρχουν περισσότερα διαθέσιμα για την παροχή υπηρεσιών στους νοσηλευόμενους. Επίσης η συμπαραγωγή μειώνει την χαμένη και μη χρησιμοποιούμενη ενέργεια και έτσι βοηθά στην μείωση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Τέλος με τη συμπαραγωγή επιτυγχάνεται συνολική μείωση των εκπεμπόμενων, από την καύση, ρύπων CO₂, δηλαδή συμβάλλει στην καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

1.1 Εισαγωγή [3]

Τα τελευταία τρία χρόνια έχουν γίνει σημαντικές αλλαγές στο ενεργειακό σκηνικό στην Ευρώπη. Η πιο σημαντική ήταν η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη μεριά, η ανησυχία για το περιβάλλον έχει γίνει, περισσότερο από ποτέ, σημαντικό θέμα στην πολιτική ατζέντα, ειδικά όταν αφορά την αλλαγή του κλίματος.

Σήμερα, κανένας δεν διαφωνεί με τον ισχυρισμό ότι η συμπαραγωγή μπορεί να μειώσει τα αέρια του θερμοκηπίου με έναν οικονομικό τρόπο. Λογικά, αυτή η εποχή θα είναι πολύ θετική για την σχετική τεχνολογία. Παρόλα αυτά, μόλις ένα χρόνο μετά την εφαρμογή της “Οδηγίας για τον Ηλεκτρισμό” (της Ε.Ε.), παρατηρήθηκε μια ανησυχητική κάμψη της αγοράς στην συμπαραγωγή στην Ευρώπη.

Ο κυριότερος λόγος είναι ότι η μερική απελευθέρωση έφερε μείωση στις τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτή η μείωση, σε κάποιες χώρες, ήταν κάτω από το περιθώριο κόστους παραγωγής. Από την άλλη μεριά, όπως ήδη ειπώθηκε, το ενδιαφέρον για το περιβάλλον είναι μεγάλο και στην πολιτική ατζέντα των κυβερνήσεων εξέχουσα θέση έχει η συμμόρφωση με τις δεσμεύσεις του “Πρωτοκόλλου Κιότο”. Κατ’ αντιδιαστολή οι κυβερνήσεις υποστηρίζουν την απελευθέρωση και τις χαμηλές τιμές ηλεκτρισμού για τους πελάτες. Δυστυχώς η πραγματικότητα δείχνει ότι οι χαμηλές τιμές είναι πιο σημαντικές από το περιβάλλον. Η συμπαραγωγή, όμως, δεν έχει μόνο περιβαλλοντικά οφέλη. Ως διεσπαρμένη παραγωγή που είναι προσφέρει υψηλότερη ασφάλεια σε περίπτωση διακοπής και, επίσης, αποφεύγεται η κατασκευή νέων δικτύων υψηλής τάσης που έχουν μεγάλο κόστος.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στα ενεργειακά θέματα και τα θέματα συμπαραγωγής που αφορούν την Ελλάδα και την Ευρώπη. Οι εκθέσεις από τις οποίες πάρθηκαν τα στοιχεία αυτά (βλ. Βιβλιογραφία [4] έως [8]) έγιναν από πρόσωπα ή οργανισμούς για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Ομοσπονδίας για την Προώθηση της Συμπαραγωγής (The European Association for the promotion of Cogeneration, COGEN Europe). Από τις Ευρωπαϊκές χώρες, εκτός της Ελλάδας, θα ασχοληθούμε ενδεικτικά με τις Ισπανία, Γαλλία, Ιρλανδία, Ηνωμένο Βασίλειο χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η συμπαραγωγή δεν έχει αναπτυχθεί αρκετά σε άλλες χώρες όπως Γερμανία, Δανία. Ολλανδία, κ.α.

Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την συμπαραγωγή στην Ευρώπη ο αναγνώστης μπορεί να αναζητήσει πληροφορίες από την COGEN Europe

COGEN Europe: Guledelle 98,B-1200 Brussels, Tel: 32 27728290, Fax: +3227725044, E-mail: info@cogen.org, Web: [http:// www.cogen.org](http://www.cogen.org)

1.2 Ελλάδα [4]

Η Ελλάδα έχει μία μικρή αλλά γρήγορα αναπτυσσόμενη οικονομία, σε σύγκριση με τα άλλα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε) Η μεγάλη απόσταση από χώρες που εξάγουν καύσιμα καθώς και οι περιορισμένες εγχώριες πηγές δημιουργούν πρόβλημα στην παροχή ενέργειας. Η παρούσα αυτή κατάσταση αναμένεται να αλλάξει με την επικείμενη αύξηση της Ευρωπαϊκής αγοράς. Η Ελλάδα έχει εφεδρεία 9 εκατομμυρίων βαρελιών πετρελαίου και 500 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων φυσικού αερίου, όμως αυτές οι ποσότητες δεν επαρκούν για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις σε καύσιμη ύλη.

Ο λιγνίτης είναι η βασική εγχώρια καύσιμη ύλη αποτελώντας το 82% των ελληνικών πηγών ενέργειας. Οι διαδικασίες παραγωγής ηλεκτρισμού είναι 90% θερμικές, με το λιγνίτη να αποτελεί την βασική πηγή ενέργειας αντιστοιχώντας το 64% της ολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην

ηπειρωτική χώρα. Στα νησιά χρησιμοποιείται πετρέλαιο. Το φυσικό αέριο αρχίζει να κερδίζει έδαφος καθώς απελευθερώθηκε η αγορά της ενέργειας και συνδέθηκαν οι αγωγοί με την Ρωσία και το Ιράν. Επίσης, υπάρχει και μια μικρή αναλογία ανανεώσιμων πηγών (8.1%) της ολικής παραγόμενης με μεγαλύτερη τη χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από συμπαραγωγή είναι περίπου 3.4% της συνολικά παραγόμενης, ένα από τα χαμηλότερα ποσοστά στην Ε.Ε. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από συμπαραγωγή ήταν 708MWe το 2000 με παραγωγή 3122 GWh από τις οποίες μόνο οι 1137 GWh θεωρούνται καθαρά συμπαραγωγικές. Η παραγωγή θερμότητας ήταν περίπου 1103 TJ.

1.3 Ευρωπαϊκές χώρες

1.3.1 Ισπανία [5]

Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 90', η συμπαραγωγή γνώρισε μεγάλη άνθηση στην Ισπανία. Ο στόχος που ήταν να αυξηθεί η συμπαραγωγική ισχύς σε 2.222 MWe μέχρι το 2000, σύμφωνα με ένα Ενεργειακό Πρόγραμμα του 1991, είχε επιτευχθεί ήδη από τα μέσα της δεκαετίας. Το μερίδιο του συμπαραγώμενου ηλεκτρισμού από 3.3% που ήταν το 1991 έφτασε στο 12% το 2001, μια σημαντική επιτυχία. Το έτος 1999, όμως σημειώθηκε κάμψη, και ο αριθμός νέων έργων συμπαραγωγής υπέστη μείωση. Επιπλέον, οι εκπομπές CO₂ σημείωσαν αρνητικό ρεκόρ, καθιστώντας την Ισπανία τη μεγαλύτερη παραβάτη του Πρωτοκόλλου Κιότο.

1.3.2 Γαλλία [6]

Η Γαλλική ενεργειακή πολιτική είναι σχετικά σταθερή της τελευταίες δεκαετίες όσον αφορά τους βασικούς της στόχους, μεταξύ των οποίων είναι η εξασφάλιση της παροχής ενέργειας, η επίτευξη διεθνή ανταγωνισμού και η προστασία του περιβάλλοντος. Την Άνοιξη του 2003 η Γαλλική κυβέρνηση οργάνωσε έναν εθνικό διάλογο ενεργειακής πολιτικής, που επικεντρώθηκε

στα ενεργειακά θέματα της Γαλλίας για τα επόμενα 30 χρόνια και μάλιστα στο καθεστώς της πυρηνικής ενέργειας και το μέλλον των ανανεώσιμων πηγών.

Με ποσοστό περίπου 3.5% από την εθνική παραγωγή ηλεκτρισμού (18019 TWh), η συμπαραγωγή παραμένει στο περιθώριο στη Γαλλία. Το μεγάλο μερίδιο της πυρηνικής ενέργειας και το μονοπώλιο της EDF (Electricité de France, η εθνική εταιρία ηλεκτρισμού της Γαλλίας) έχουν παραγκωνίσει την συμπαραγωγή.

1.3.3 Ιρλανδία [7]

Η προ του 1993 περίοδος χαρακτηρίστηκε από πολύ μικρή αύξηση. Οι περισσότερες μονάδες ΣΗΘ βασίζονταν στον κύκλο ατμού και χρησιμοποιούσαν κάρβουνο, τύρφη και βαριά υγρά καύσιμα. Η συμπαραγωγή συνήθως, σχετιζόταν με εγκαταστάσεις που είχαν υψηλές απαιτήσεις ατμού.

Το 1994, η Ιρλανδική κυβέρνηση εξέδωσε το Νόμο περί Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας για να προωθήσει τη συμπαραγωγή και τις ανανεώσιμες πηγές. Από 55MWe που είχαν εγκατασταθεί μέχρι το 1992 η εγκατεστημένη συμπαραγωγική ισχύς έφτασε τα 132 MW στο τέλος του 2000.

Όλες οι μονάδες ΣΗΘ ανήκουν σε ιδιώτες. Περισσότερες από τις μισές ανήκουν στον τομέα των υπηρεσιών. Στον βιομηχανικό τομέα υπάρχουν λίγες αλλά παράγουν μακράν το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής και της θερμικής ενέργειας. Τα τρία τέταρτα των μονάδων χρησιμοποιούν φυσικό αέριο. Η τηλεθέρμανση (κεντρική θέρμανση πόλεων) δεν έχει αναπτυχθεί ακόμα.

1.3.4 Ην. Βασίλειο [8]

Το Ηνωμένο Βασίλειο (Ην.Β) είναι η τέταρτη μεγαλύτερη οικονομία στον κόσμο και η δεύτερη, μετά τις Η.Π.Α., από άποψη εισροής ξένων επενδύσεων. Είναι , επίσης μακράν η μεγαλύτερη παραγωγός φυσικού αερίου

και πετρελαιοειδών ανάμεσα στις χώρες της Ένωσης καθώς και σημαντικός εξαγωγέας.

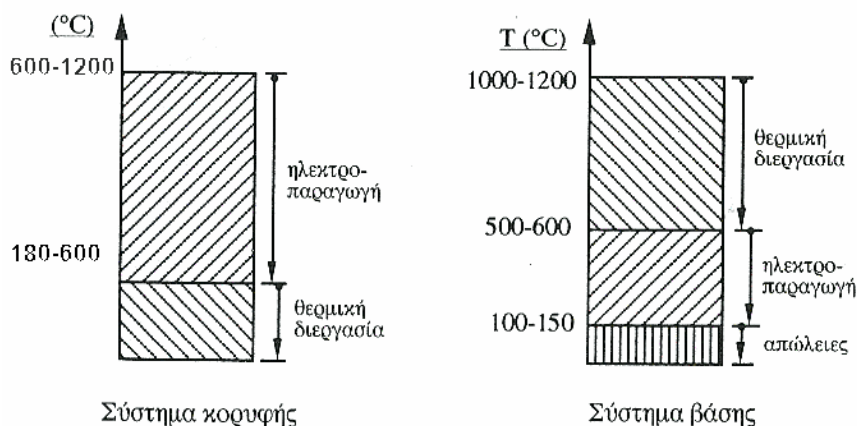
Περίπου το 80% του ηλεκτρισμού στο Ην.Βασίλειο παράγεται με θερμικές διεργασίες με το φυσικό αέριο να κατέχει σημαντική θέση. Το 18% της υπόλοιπης αγοράς είναι από πυρηνική και το 2% από υδροηλεκτρική ενέργεια. Περίπου το 6% της ηλεκτρικής ενέργειας που παρήχθη το 2002 προήλθε από συμπαραγωγή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Υπάρχουν πολλές τεχνικές για την συμπαραγωγή και τις κυριότερες από αυτές θα αναπτύξουμε παρακάτω.[1]. Μπορούμε όμως να χαρακτηρίσουμε τα συστήματα συμπαραγωγής σε δύο κατηγορίες. Τα συστήματα “κορυφής”(topping systems) και τα συστήματα “βάσης”(bottoming systems). Στα συστήματα κορυφής, ρευστό υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες, θέρμανση χώρων ή ακόμα και παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα συστήματα βάσης, παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (όπως π.χ., σε φούρνους χαλυβουργείων, υαλουργείων κλπ) και κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται συνήθως σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας, όπου παράγεται ατμός που κινεί ατμοστροβιλογεννήτρια. Είναι δυνατό, επίσης, χωρίς την παρεμβολή λέβητα, τα θερμά αέρια να διοχετευτούν σε αεριοστρόβιλο που κινεί ηλεκτρογεννήτρια.



Σχ 2.1 Ενδεικτικές θερμοκρασιακές στάθμες συστημάτων συμπαραγωγής

Το Σχ. 2.1¹ δίνει ενδεικτικές στάθμες θερμοκρασιών για τις δύο κατηγορίες συστημάτων.

2.1 Συστήματα Ατμοστρόβιλου

Είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής, κατάλληλα για ισχύς 500KW-100MW ή και μεγαλύτερες. Μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καύσιμο. Ακόμη και στερεά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν καιγόμενα σε ειδικούς λέβητες εφοδιασμένους με συστήματα κατακράτησης ή και εξουδετέρωσης ρύπων και τοξικών ουσιών, που δημιουργούνται κατά την καύση. Ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων αυτών φτάνει το 60-85%. (Υπενθυμίζεται ότι ο βαθμός απόδοσης ενός συμβατικού ατμοηλεκτρικού σταθμού βρίσκεται στην περιοχή του 35%).

Τα συστήματα ατμοστρόβιλου έχουν υψηλή αξιοπιστία² που φτάνει το 95%, υψηλή διαθεσιμότητα³ (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 μεγαλύτερες.

Υπάρχουν τρεις τρόποι συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο: Τα συστήματα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης, τα συστήματα με ατμοστρόβιλο απομάστευσης και τα συστήματα με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης(βλ. βιβλιογραφία [1]). Καθένα από αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικές απαιτήσεις πίεσης και θερμοκρασίας ατμού καθώς και βαθμού απόδοσης. Τα συστήματα ατμοστρόβιλου δεν ενδείκνυνται για τον εμπορικό-κτιριακό τομέα λόγω του υψηλού τους κόστους και του μεγάλου χρόνου εγκατάστασης. Για το λόγο αυτό δεν θα αναφερθούμε περαιτέρω στην παρούσα εργασία.

¹ Το Σχ.2.1 όπως και όλα τα σχήματα του παρόντος κεφαλαίου πάρθηκαν από το κεφ.2 της [1].

² αξιοπιστία εδώ θεωρείται η πιθανότητα να λειτουργεί ικανοποιητικά ένα σύστημα για δεδομένο χρονικό διάστημα και με προκαθορισμένες συνθήκες

³ διαθεσιμότητα είναι η πιθανότητα να λειτουργεί ικανοποιητικά ένα σύστημα σε τυχαία χρονική στιγμή.

2.2 Συστήματα Αεριοστροβίλου

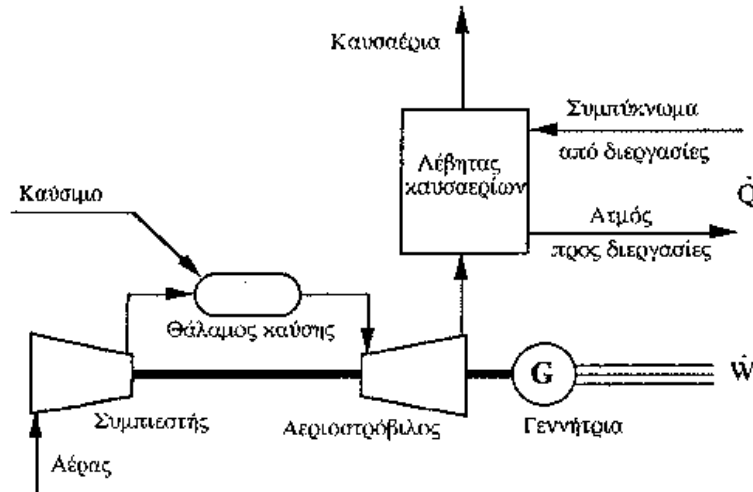
Τα συστήματα αεριοστροβίλου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: ανοικτού κύκλου και κλειστού κύκλου

2.2.1 Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου

Οι περισσότερες μονάδες αεριοστροβίλου είναι ανοικτού τύπου: αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης. Τα καυσαέρια εκτονώνονται στον αεριοστρόβιλο (που κινεί την γεννήτρια), από τον οποίο εξέρχονται 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%). Αυτές οι μονάδες, όμως, είναι ιδανικές για συμπαραγωγή, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας των καυσαερίων. Ο βαθμός απόδοσης ανέρχεται στα 60-80%. (Σχ2.2) Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εκμετάλλευσης της θερμότητας των καυσαερίων:

- Άμεση χρήση σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση, ξήρανση κλπ).
- Διοχέτευση των καυσαερίων σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας (λέγεται και λέβητας καυσαερίων).

Ο ατμός που παράγεται στο λέβητα είναι υψηλών χαρακτηριστικών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για θερμικές διεργασίες αλλά και για την κίνηση ατμοστροβίλου (συνδεδεμένου με γεννήτρια ή άλλη μηχανή). Στη δεύτερη περίπτωση πρόκειται για σύστημα συνδυασμένου κύκλου, που περιγράφεται σε επόμενη παράγραφο.



Σχ.2.2 Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου

Και στους δύο προαναφερθέντες τρόπους είναι δυνατή η αύξηση του θερμικού περιεχομένου (δηλ. της θερμοκρασίας) των καυσαερίων και επομένως της αποδιδόμενης θερμότητας, όταν αυτό απαιτείται. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην υψηλή περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο. Έτσι, καυστήρες τοποθετημένοι μετά τον αεριοστρόβιλο χρησιμοποιούν τα καυσαέρια για την καύση πρόσθετου καυσίμου. Επίσης, μέρος της κινητήριας δύναμης του αεριοστρόβιλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση του συμπιεστή.

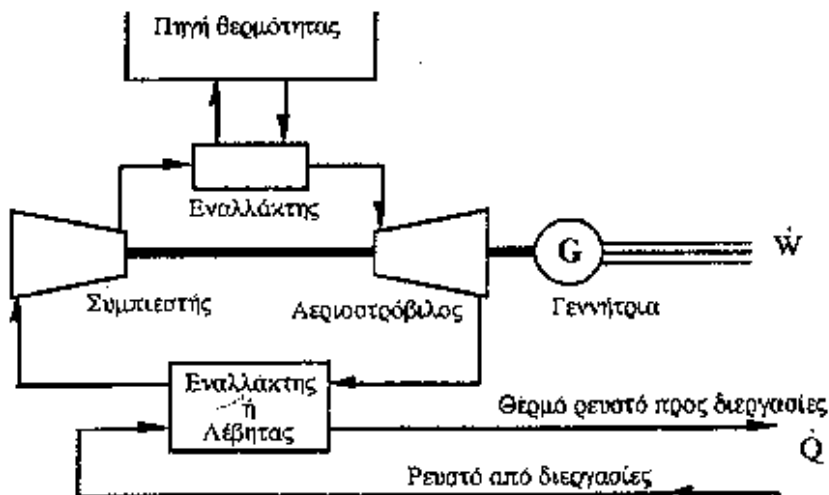
Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου έχουν ισχύ 100KW-100MW. Λειτουργούν, συνήθως, με φυσικό αέριο ή ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου (π.χ. καύσιμο Diesel), ενώ παρουσιάζονται και προοπτικές για χρήση γαιανθράκων σε εξαερωμένη μορφή. Γενικά, πάντως, χρειάζεται προσοχή στην επιλογή της καύσιμης ύλης γιατί τα πτερύγια του αεριοστρόβιλου, που είναι εκτεθειμένα στα προϊόντα της καύσης, μπορεί να διαβρωθούν από συστατικά όπως νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, θείο κλπ. Επίσης τα στερεά σωματίδια πρέπει να είναι αρκετά μικρού μεγέθους ώστε να μην προκαλούν φθορά κατά την πρόσκρουσή τους στα πτερύγια. Στην περίπτωση που το καυσαέριο περιέχει τέτοια συστατικά, πρέπει να καθαρισθεί με ειδικές διατάξεις πριν οδηγηθεί στον αεριοστρόβιλο.

Είναι επίσης ενδεχόμενο, το καύσιμο να χρειαστεί καθαρισμό, πριν την εισαγωγή του στο θάλαμο καύσης.

Ο χρόνος εγκατάστασης των συστημάτων συμπαραγωγής αεριοστρόβιλων είναι 9-14 μήνες για ισχύς μέχρι 7MW και φτάνει τα δύο έτη για μεγαλύτερες μονάδες. Η αξιοπιστία και η μέση ετήσια διαθεσιμότητα συστημάτων αεριοστροβίλου, που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, είναι συγκρίσιμες με εκείνες των συστημάτων ατμοστροβίλου. Οι μονάδες που λειτουργούν με υγρό καύσιμο απαιτούν πιο συχνές συντηρήσεις, με συνέπεια τη μείωση της διαθεσιμότητας. Η χρήσιμη διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και μπορεί να μειωθεί σημαντικά από καύσιμο κακής ποιότητας ή ανεπαρκή συντήρηση.

2.2.2 Συστήματα αεριοστροβίλου κλειστού τύπου

Στα συστήματα κλειστού κύκλου, το εργαζόμενο ρευστό (συνήθως ήλιο ή αέρας) κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα. Θερμαίνεται μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία σε εναλλάκτη θερμότητας, πριν από την είσοδό του στον αεριοστρόβιλο, και ψύχεται μετά την έξοδό του από αυτόν (Σχ.2.3). Εφόσον το εργαζόμενο ρευστό δεν συμμετέχει στην καύση, διατηρείται καθαρό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική και χημική διάβρωση των πτερυγίων από τα προϊόντα της καύσης. Η εξωτερική καύση επιτρέπει την χρήση οποιουδήποτε καυσίμου στα συστήματα αυτά: άνθρακα, απόβλητα βιομηχανιών ή πόλεων, βιομάζα ,υγρά ή αέρια καύσιμα παραγόμενα από βιομάζα κλπ. Πυρηνική ή ηλιακή ενέργεια μπορούν επίσης να αποτελέσουν πηγή θερμότητας.



Σχ.2.3 Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού κύκλου

Η διαθεσιμότητα των συστημάτων αυτών είναι υψηλή χάρη στις μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης, που οφείλονται στην καθαρότητα του εργαζόμενου ρευστού.

2.3 Συστήματα με Παλινδρομική Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

Ανάλογα με την ισχύ εξόδου διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

α. Μονάδες μικρής κλίμακας με αεριομηχανή (15-1000KW) ή κινητήρα Diesel (75-1000KW)

β. Συστήματα μέσης ισχύος (1000-6000KW) με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel

γ. Συστήματα μεγάλης ισχύος (άνω των 6000KW) με κινητήρα Diesel

Αεριομηχανές (gas engines) ονομάζονται οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με αέριο καύσιμο. Π.χ. φυσικό αέριο, βιοαέριο κλπ. Στο εμπόριο είναι διαθέσιμοι οι παρακάτω τύποι αεριομηχανών.

Βενζινοκινητήρες αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές

Είναι συνήθως, μικρές μηχανές (15-30KW), ελαφρές, με μεγάλη συγκέντρωση ισχύος. Η μετατροπή επηρεάζει το βαθμό απόδοσης και μειώνει την ισχύ κατά

18% περίπου. Χάρη στη μαζική παραγωγή τους οι τιμές είναι χαμηλές αλλά η διάρκεια ζωής τους είναι σχετικά μικρή (10000-30000 ώρες).

Κινητήρες Diesel αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές

Έχουν ισχύ μέχρι 200KW. Η μετατροπή επιτυγχάνεται με τροποποιήσεις των εμβόλων, των κεφαλών και του μηχανισμού των βαλβίδων, που επιβάλλονται από το ότι η έναυση δεν γίνεται πλέον με απλή συμπίεση αλλά με σπινθηριστή. Δεν προκαλείται, απαραίτητα, μείωση της ισχύος, καθώς υπάρχει περιθώριο μείωσης της περισσειας αέρα.

Σταθερές μηχανές που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές ή που έχουν από την αρχή σχεδιασθεί ως αεριομηχανές.

Οι μηχανές αυτές είναι βαριές, στιβαρές και μη μεταφερόμενες. Κατασκευάζονται για εφαρμογές στη βιομηχανία και στα πλοία. Η ισχύς τους φθάνει τα 3000 KW. Η ανθεκτική κατασκευή τους μειώνει τις απαιτήσεις συντηρήσεων αλλά αυξάνει το κόστος αγοράς τους. Είναι κατάλληλες για συνεχή λειτουργία σε υψηλό φορτίο.

Σταθερές μηχανές διπλού καυσίμου.

Είναι κινητήρες Diesel ισχύος μέχρι 6000 KW. Το καύσιμο αποτελείται κατά 90% από φυσικό αέριο, η έναυση του οποίου δεν γίνεται με σπινθηριστή αλλά με έγχυση υγρού καυσίμου Diesel (που αποτελεί και το υπόλοιπο 10%).

Έχουν το πλεονέκτημα να λειτουργούν είτε με φυσικό αέριο είτε με καύσιμο Diesel, το οποίο βέβαια αυξάνει το κόστος αγοράς και συντήρησης.

Οι κινητήρες Diesel μπορούν να διακριθούν σε ταχύστροφους, μεσόστροφους και βραδύστροφους. Ο Πίνακας 2.1 δίνει τα όρια ταχύτητας περιστροφής και ισχύος για τον κάθε τύπο, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι τα όρια αυτά είναι απόλυτα αυστηρά.

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά κινητήρων Diesel

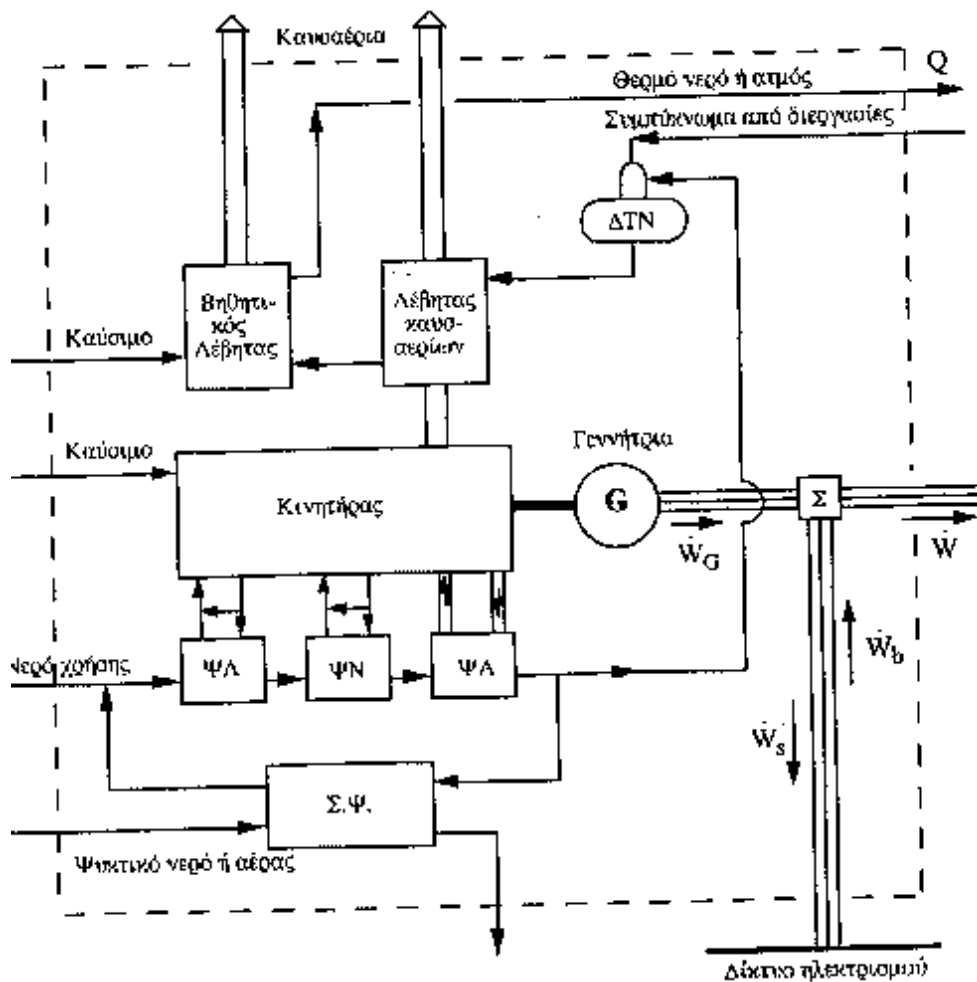
Τύπος	Ταχύτητα (RPM)	Ισχύς (KW)	Εφαρμογές
Ταχύστροφος	1200-3600	75-1.500	Αυτοκίνητα-Πλοία
Μεσόστροφος	500-1200	500-15.000	Πλοία- Σιδηρόδρομος
Βραδύστροφος	100-180	200-40.000	Πλοία-Βιομηχανία

Όλα τα αποστάγματα πετρελαίου είναι κατάλληλα καύσιμα (τα βαρύτερα για τους μεγαλύτερους κινητήρες). Οι μεγάλοι, βραδύστροφοι κινητήρες μπορούν να καύσουν ακόμη και κατάλοιπα από την απόσταξη του πετρελαίου (residuals)

Τα καυσαέρια των κινητήρων, που εξετάζονται στην ενότητα αυτή, έχουν θερμοκρασία 300-400°C, δηλαδή αισθητά χαμηλότερη από εκείνη του αεριοστροβίλου. Για το λόγο αυτό υπάρχει ανάγκη για συμπληρωματική θερμότητα. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με τοποθέτηση καυστήρα και προσαγωγή αέρα για καύση συμπληρωματικού καυσίμου στον λέβητα καυσαερίων (ή στον κλίβανο της θερμικής διεργασίας), είτε με εγκατάσταση βοηθητικού λέβητα. Οι μεγάλοι κινητήρες προσφέρουν τη δυνατότητα συνδυασμένου κύκλου.

Στο Σχ2.4 απεικονίζεται ένα γενικό διάγραμμα ροής ενός τέτοιου συστήματος χωρίς να αποτελεί τη μόνη δυνατή διάταξη. Ο κινητήρας κινεί την ηλεκτρογεννήτρια, ενώ οι 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 λέβητα καυσαερίων). Με τη θερμότητα αυτή θερμαίνεται το νερό που

προορίζεται για διάφορες χρήσεις. Σε συστήματα μέσης και μεγάλης ισχύος, η θερμότητα επαρκεί και για την παραγωγή ατμού.



Σχ.2.4 Σύστημα συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης.

Ο βαθμός απόδοσης μικρών και μεσαίων κινητήρων είναι 35-45%, ενώ σε σύγχρονους κινητήρες φτάνει το 50%. Ο βαθμός απόδοσης ενός

συστήματος συμπαραγωγής με εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσης βρίσκεται στην περιοχή του 80%.

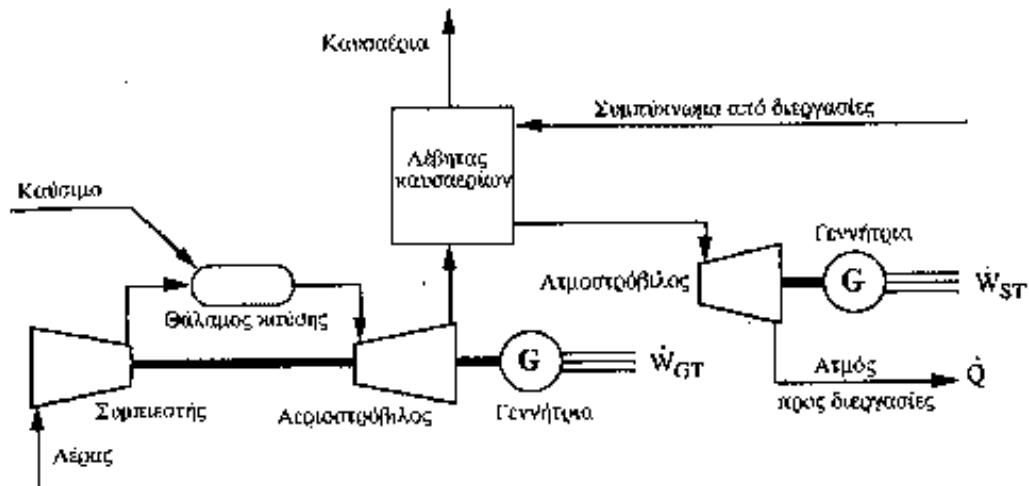
Η διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας, την ποιότητα του καυσίμου και την ποιότητα της συντήρησης. Οι παλινδρομικοί κινητήρες απαιτούν τακτικότερα συντήρηση απ' ότι τα προηγούμενα συστήματα με αποτέλεσμα μικρότερη μέση ετήσια διαθεσιμότητα: 80-90%.

2.4 Συστήματα Συνδυασμένου Κύκλου

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

Τα συνηθέστερα συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι εκείνα με συνδυασμό αεριοστροβίλου-ατμοστροβίλου (κύκλοι Joule-Rankine). Το Σχ.2.5 δείχνει τα βασικά στοιχεία ενός τέτοιου συστήματος. Θα μπορούσε να γίνει και με ατμοστρόβιλο απομάστευσης. Γενικά, η παραγωγή ατμού σε δύο ή τρεις διαφορετικές πιέσεις κάνει την εγκατάσταση πιο περίπλοκη, αλλά αυξάνει τον βαθμό απόδοσης. Χρησιμοποιείται στις μεγάλες μονάδες.

Η ισχύς των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου, κυμαίνεται, συνήθως στην περιοχή 20-400MW, ενώ κατασκευάζονται και μικρότερες μονάδες με ισχύ 4-11MW. Λόγω της πολυπλοκότητας της εγκατάστασης, της μεγάλης ισχύος που παράγεται και του αυξημένου κόστους τα συστήματα αυτά δεν ενδείκνυνται για τον εμπορικό-κτιριακό τομέα(π.χ νοσοκομεία).



Σχ.2.5 Σύστημα συμπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου με ατμοστροβίλο αντίθλιψης

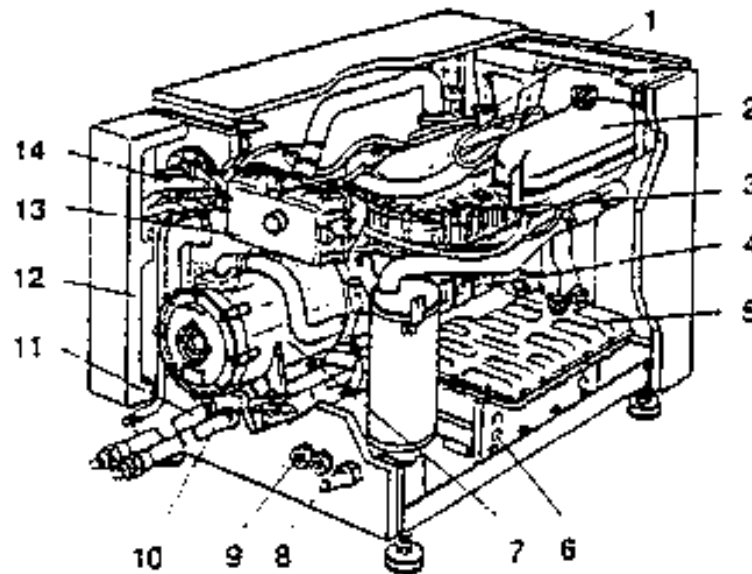
2.5 Τυποποιημένες Μονάδες Συμπαραγωγής («Πακέτα»)

Η μαζική παραγωγή τυποποιημένων μονάδων σε μορφή πακέτου έχει διευκολύνει κατά πολύ την διάδοση της συμπαραγωγής. Τα «πακέτα» αυτά ηλεκτρικής ισχύος 10-3000 KW έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Χαμηλό κόστος
- Μικρό όγκο
- Εύκολη εγκατάσταση (το μόνο που χρειάζεται είναι η σύνδεσή τους με τα υδραυλικά και ηλεκτρικά δίκτυα),
- Αυτοματοποιημένη λειτουργία χωρίς τη συνεχή παρακολούθηση από εξειδικευμένο προσωπικό

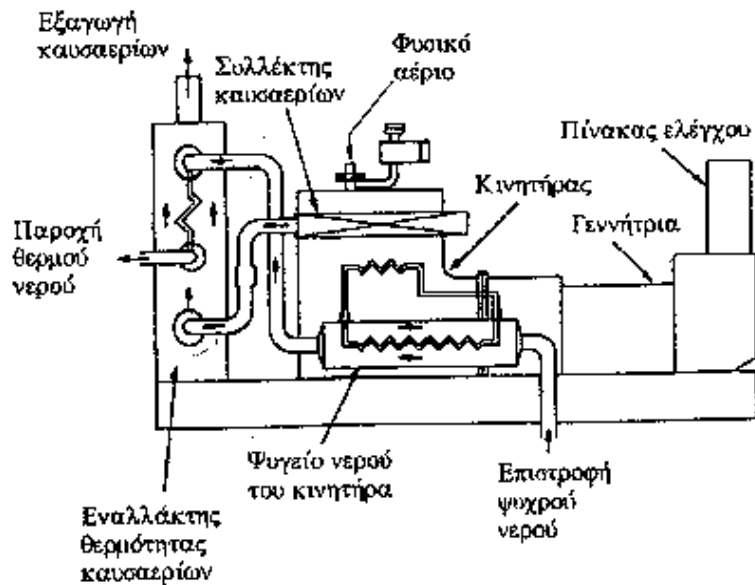
Οι μονάδες αυτές έχουν συνήθως κινητήρα Diesel. Είναι δυνατή η χρήση κινητήρα Otto ή η χρήση αεριοστροβίλου για ισχύς μικρότερες των 100 KW ή μεγαλύτερες των 600 KW, αντίστοιχα. Μπορούν να

λειτουργήσουν με υγρό ή αέριο καύσιμο. Το φυσικό αέριο ενδείκνυται για τις μονάδες αυτές χάρη στη χαμηλή τιμή του, την καθαρότητά του και την έλλειψη ανάγκης αποθήκευσης. Το Σχ.2.6 δείχνει μια μονάδα μικρής ισχύος, ενώ μεγαλύτερες μονάδες έχουν την μορφή του Σχ.2.7. Για το διάγραμμα ροής , ισχύει το Σχ.2.4 με τις παρατηρήσεις που το συνοδεύουν.



- | | | | |
|---|-----------------------------|----|----------------------------|
| 1 | Κινητήρας Fiat 127 | 8 | Εξαγωγή καυσαερίων |
| 2 | Δοχείο νερού | 9 | Ηλεκτρική σύνδεση |
| 3 | Εναλλάκτης καυσαερίων/νερού | 10 | Εξαγωγή θερμού νερού |
| 4 | Εναλλάκτης λαδιού/νερού | 11 | Εισαγωγή κρύου νερού |
| 5 | Ελαιολεκάνη | 12 | Θερμική και ηχητική μόνωση |
| 6 | Εναλλάκτης νερού/αερού | 13 | Εισαγωγή αέρα |
| 7 | Ηλεκτρογεννήτρια | 14 | Εισαγωγή φυσικού αερίου |

Σχ2.6 Τυποποιημένη μονάδα συμπαραγωγής Fiat TOTEM 15 KW



Σχ.2.7 Σχηματική απεικόνιση τυποποιημένης μονάδας συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης

Οι τυποποιημένες μονάδες με κινητήρα Diesel είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για τις εφαρμογές του εμπορικού-κτιριακού τομέα (Πίνακας 2.2). Είναι επίσης, γνωστές με το όνομα “συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας” (small-scale cogeneration systems). Το 27-35% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και το 50-55% σε θερμότητα.

Η διαθεσιμότητα μονάδων με επιμελημένη κατασκευή και συντήρηση φτάνει το 90%. Σημαντική συμβολή στο ποσοστό αυτό έχει ο αυτόματος έλεγχος της λειτουργίας των μονάδων. Μικροεπεξεργαστές, εγκαταστημένοι στο χώρο που βρίσκεται η μονάδα παρακολουθούν τις τιμές κρίσιμων παραμέτρων και μεταβιβάζουν τις σχετικές πληροφορίες σε κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Πίνακας 2.2 Εφαρμογές τυποποιημένων μονάδων συμπαραγωγής

Εφαρμογή	Ισχύς (KW)
Εστιατόρια	50-80
Πολυκατοικίες	50-500
Καταστήματα τροφίμων	90-120
Ξενοδοχεία	100-2000
Νοσοκομεία	300-1000
Εμπορικά κέντρα	500-1500
Εκπαιδευτικά ιδρύματα	500-1500
Κτίρια γραφείων	500-2000

Όταν η εξέλιξη των τιμών ορισμένων παραμέτρων δείχνει επερχόμενη βλάβη, ειδοποιείται η ομάδα συντήρησης, που επεμβαίνει πριν ακόμα η βλάβη εκδηλωθεί. Ένα τέτοιο δίκτυο παρακολούθησης συστημάτων συμπαραγωγής μικρής κλίμακας έχει εγκατασταθεί στην Αγγλία με πολύ καλά αποτελέσματα .[1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Παρόλη 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 γίνεται ένας σύντομος απολογισμός των διάφορων μεθόδων οικονομικής εκτίμησης των σταθμών συμπαραγωγής. Εφιστάται η προσοχή στο ότι οι τιμές είναι ενδεικτικές και επομένως κατάλληλες μόνον για μια πρώτη εκτίμηση. Άλλωστε οι μεταβολές τους με τον χρόνο επιβάλλουν την προσαρμογή τους για κάθε νέα εφαρμογή.

3.1 Κόστος Συστημάτων Συμπαραγωγής

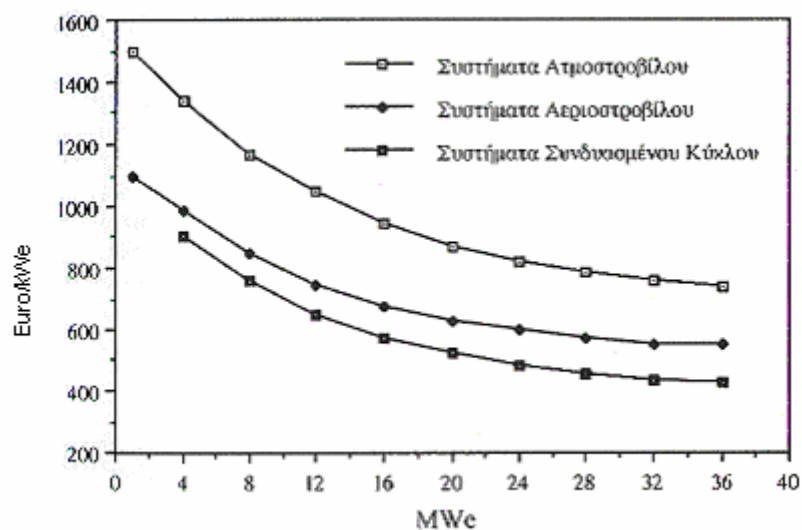
Τα Σχ 3.1, 3.2 και 3.3 (πάρθηκαν από Κεφ.6 της [1])⁴, δίνουν το κόστος επένδυσης ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για διάφορους τύπους συστημάτων συμπαραγωγής. Οι τιμές εκφράζονται σε ευρώ ανά εγκατεστημένο KW ηλεκτρικής ισχύος και αφορούν εγκατεστημένο σύστημα, έτοιμο προς λειτουργία. Ο πίνακας 3.1⁴ δίνει τις δαπάνες συντήρησης και λειτουργίας (πλην καυσίμου) σε ευρώ ανά KWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τιμές αυτές έχουν προέλθει από στοιχεία δημοσιευμένα στη διεθνή βιβλιογραφία και επομένως αποτελούν στατιστικούς μέσους όρους([1]-κεφάλαιο 6). Μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν για μια πρώτη οικονομική αξιολόγηση συστημάτων συμπαραγωγής.

⁴Πρόκειται για στοιχεία του 1994. Οι τιμές δεν έχουν διαφοροποιηθεί δραματικά μέχρι σήμερα.

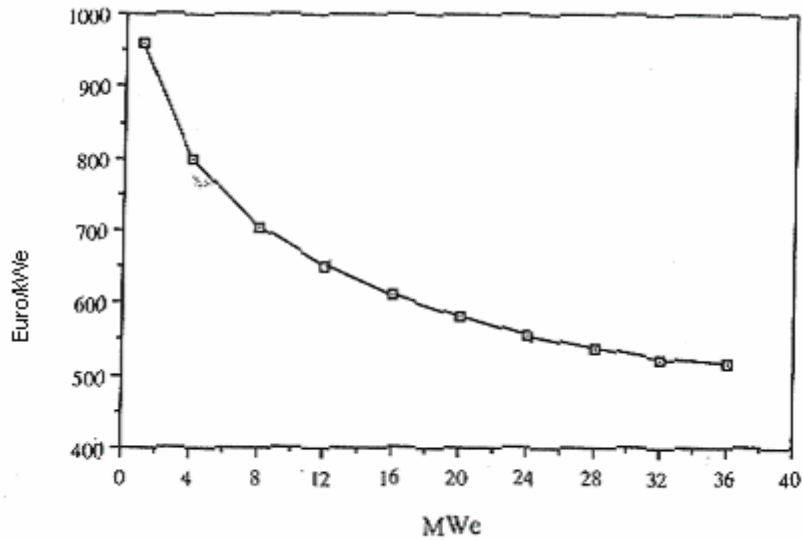
Πίνακας 3.1. Κόστη συντήρησης για συστήματα συμπαραγωγής [1]

Τύπος συστήματος	Δαπάνες συντήρησης*
	ECU/MWh
Ατμοστρόβιλου	2.3 - 1.5
Αεριοστρόβιλου	5.4 - 4.6
Συνδυασμένου κύκλου	5.4 - 4.6
Παλινδρομικής μηχανής	9.2 - 5.8

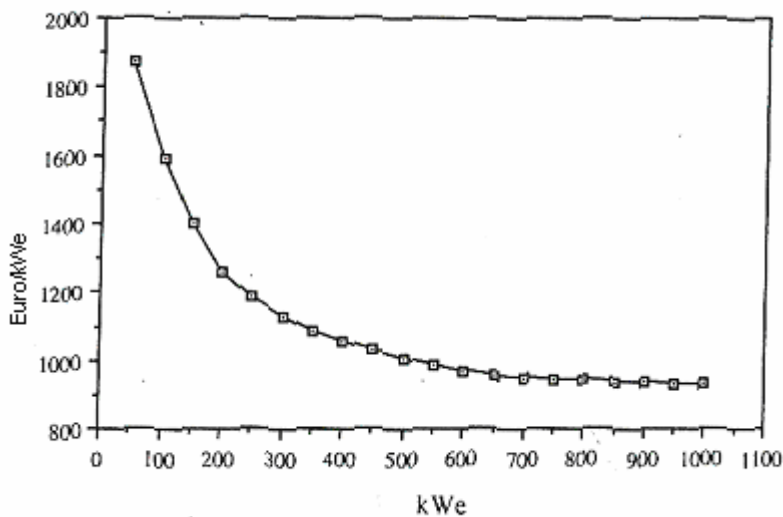
* Οι μικρότερες τιμές αντιστοιχούν στα μεγαλύτερης ισχύος συστήματα.



Σχ. 3.1 Κόστος Επένδυσης Συστημάτων συμπαραγωγής ατμοστρόβιλου, αεριοστρόβιλου και συνδυασμένου κύκλου συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος



Σχ 3.2 Κόστος επένδυσης συστημάτων συμπαραγωγής με κινητήρα Diesel συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος



Σχ 3.3 Κόστος επένδυσης τυποποιημένων πακέτων συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος

3.2 Μεθοδολογία Οικονομικής Αξιολόγησης [1]

Η οικονομική βιωσιμότητα των επενδύσεων συμπαραγωγής εξετάζεται με σύγκριση των βαθμών μακροπρόθεσμης οικονομικής απόδοσης των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων (επενδύσεων) για την κάλυψη των

ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών μιας επιχείρησης. Επενδύσεις σε συστήματα συμπαραγωγής είναι οικονομικά βιώσιμες, εάν η μείωση των λειτουργικών δαπανών για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μπορεί να αποσβέσει το αρχικό κεφάλαιο σε εύλογο χρονικό διάστημα.

3.2.1 Ορισμοί βασικών οικονομικών παραμέτρων

Για την οικονομική αξιολόγηση των επενδύσεων στηρίζομαστε σε κάποιους δείκτες ή κριτήρια. Διαφορετικά συστήματα δύνανται να συγκριθούν μεταξύ τους, από πλευράς οικονομικής, εάν προσδιοριστούν οι κατάλληλοι δείκτες. Ο κάθε δείκτης πρέπει να υπολογίζεται με αναγωγή μελλοντικών αξιών και όρων σε παρούσες αξίες, ώστε οι σχετικές συγκρίσεις να έχουν κοινή βάση. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτή η αναγωγή αναφέρεται στη συνέχεια.

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 (market interest rate) που κερδίζει κάποιος όταν δανείζει ή επενδύει χρήματα. Το επιτόκιο αγοράς μπορεί να είναι επίσης ο επιθυμητός ή αναμενόμενος βαθμός απόδοσης μιας επένδυσης.

Οικονομικός κύκλος ζωής μιας επένδυσης (N)

Ως οικονομικός κύκλος ζωής μιας επένδυσης θεωρείται η χρονική περίοδος κατά την 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.

Πληθωρισμός (i)

Πληθωρισμός είναι 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, κλπ.

Παρούσα αξία (P)

Εάν σήμερα επενδυθεί ποσό P , το άθροισμα του κεφαλαίου και τόκων (γενικότερα, απόδοσης κεφαλαίου) μετά από N περιόδους θα είναι

$$F = P \cdot \prod_{t=1}^N (1 + d_t) \quad (3.1)$$

όπου d_t είναι το επιτόκιο αγοράς κατά έτος t . Αντίστροφα, για να αποκτηθεί ποσό F μετά από N περιόδους, πρέπει σήμερα να επενδυθεί ποσό

$$P = \frac{F}{\prod_{t=1}^N (1 + d_t)} \quad (3.2)$$

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

$$P = \frac{F}{(1 + d)^N} \quad (3.3)$$

Το επιτόκιο d λέγεται και επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία.

Συντελεστής παρούσας αξίας (present worth factor PWF)

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

$$P = \sum_{t=1}^N P_t = A \cdot \text{PWF}(N, i, d) \quad (3.4)$$

όπου

- A το ποσό της πρώτης πληρωμής,
PWF συντελεστής παρούσας αξίας,
i δείκτης πληθωρισμού μιας χρονικής περιόδου (πχ. ετήσιος)
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

$$PWF(N,i,d) = \sum_{t=1}^N \frac{(1+i)^{t-1}}{(1+d)^t} = \begin{cases} \frac{1}{d-i} \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right], & i \neq d \\ \frac{N}{1+i}, & i = d \end{cases} \quad (3.5)$$

Συντελεστής τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης (capital recovery factor, CRF)

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

$$A = P \cdot CRF(N, d) \quad (3.6)$$

όπου

- A ετήσιο κόστος κεφαλαίου,
P ποσό επένδυσης
CRF συντελεστής τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης

$$CRF(N, d) = \frac{d(1+d)^N}{(1+d)^N - 1} \quad (3.7)$$

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 .

Σταθερές και τρέχουσες τιμές

Σε μία οικονομική ανάλυση, οι χρηματορροές 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:

$$F' = \frac{F}{\prod_{t=1}^N (1+i_t)} = \frac{F}{(1+\bar{i})^N} \quad (3.8)$$

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.

Η εκπόνηση της οικονομικής ανάλυσης σε τρέχουσες τιμές απαιτεί την γνώση (ή την πρόβλεψη, εάν πρόκειται για μελλοντικά ποσά) του ετήσιου

δείκτη πληθωρισμού των επιμέρους συνιστωσών κόστους και οφέλους, που σχετίζονται με την επένδυση. Προκειμένου να αποφευχθεί η πρόβλεψη της τιμής μιας αρκετά αόριστης παραμέτρου, όπως είναι ο πληθωρισμός, αλλά και για απλούστευση των υπολογισμών, κατά τις οικονομικές αναλύσεις συχνά θεωρείται ότι ο γενικός δείκτης πληθωρισμού είναι ίσος με το μηδέν, ενώ για συγκεκριμένες δαπάνες (πχ καύσιμα, ανταλλακτικά, μισθοδοσία κλπ) χρησιμοποιείται ο *διαφορικός δείκτης πληθωρισμού*, δηλαδή η διαφορά του πραγματικού από τον γενικό δείκτη. Επίσης στις περιπτώσεις αυτές, αντί του πραγματικού επιτοκίου αγοράς χρησιμοποιείται το *αποπληθωρισμένο επιτόκιο αγοράς*.

3.2.2 Οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης

Για την αξιολόγηση επενδύσεων συμπαραγωγής μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι οικονομικοί δείκτες. Σε κάποιες περιπτώσεις απαιτείται σύστημα αναφοράς με το οποίο θα συγκρίνεται το σύστημα συμπαραγωγής. Ως σύστημα αναφοράς, εδώ θεωρείται ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ενεργειακών αναγκών: αγορά ηλεκτρισμού από τη ΔΕΗ και παραγωγή θερμότητας με λέβητα του χρήστη.

Καθαρή παρούσα αξία επένδυσης (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 την 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 με τη σχέση

$$NPV = -K + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+d)^t} + \frac{SV_N}{(1+d)^N} \quad (3.9)$$

όπου

- K αρχική επένδυση,
- F_t ετήσιο καθαρό όφελος (όπως ορίζεται με την εξ. 3.20)
- 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 (οικονομικό κύκλο ζωής, N, και επιθυμητό βαθμό απόδοσης της επένδυσης, d)
- NPV=0 : Η επένδυση είναι βιώσιμη με μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης ίσο με d.
- NPV<0 : Η επένδυση είναι αντιοικονομική.

Απόδοση Κεφαλαίου (internal rate of return)

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:

$$NPV_{(d=IRR)} = 0 \quad (3.10)$$

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 N, με όλα τα ποσά ανηγμένα σε παρούσα αξία, αποτελεί επίσης ένα κριτήριο οικονομικής βιωσιμότητας μιας επένδυσης. Ο λόγος αυτός ορίζεται από τη σχέση:

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{B_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+d)^t}} \quad (3.11)$$

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 Εξ.(3.11) αποτελείται από το καθαρό όφελος και η σχέση απλουστεύεται στη μορφή:

$$BCR = \frac{NPV + K}{K} = 1 + \frac{NVP}{K} \quad (3.12)$$

όπου NVP και K όπως εμφανίζονται στην Εξ.(3.9). Μια επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη, εάν ο λόγος οφέλους / κόστους είναι μεγαλύτερος από ή ίσος με την μονάδα ($BCR \geq 1$). Ειδικότερα για επενδύσεις όπως αυτές των συστημάτων συμπαραγωγής, “όφελος” είναι η παρούσα αξία του συνόλου της εξοικονόμησης λειτουργικών δαπανών, ενώ το “κόστος” είναι η παρούσα αξία της αρχικής επένδυσης και του συνόλου των λειτουργικών δαπανών του συστήματος.

Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (discounted pay back period, PDB)

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 από μια λύση της εξίσωσης:

$$NPV_{(N=DPB)} = 0 \quad (3.13)$$

όπου NVP η παρούσα αξία, όπως ορίζεται από την Εξ.(3.9), ενώ η ένδειξη $N=DPB$ υπονοεί ότι η εξίσωση λύνεται ως προς N .

Εάν η αξία εκποίησης είναι ίση με μηδέν ($SV_N=0$) και επιπλέον θεωρηθεί ότι το ετήσιο λειτουργικό όφελος F_t παραμένει σταθερό σε σταθερές τιμές, τότε η λύση της Εξ. (3.13) παίρνει την αναλυτική μορφή

$$DPB = -\frac{-\ln\left(1 - \frac{d \cdot K}{F}\right)}{\ln(1+d)} \quad (3.14)$$

Μια επένδυση θεωρείται οικονομικά βιώσιμη, εάν η τιμή του DPB ικανοποιεί τις προσδοκίες του επενδυτή ως προς τον χρόνο αποπληρωμής.

3.2.3 Αξιολόγηση συστημάτων συμπαραγωγής σε επίπεδο ιδιώτη επενδυτή

Στο επίπεδο του ιδιώτη επενδυτή δύο είναι τα κριτήρια με τα οποία ελέγχεται η οικονομική βιωσιμότητα των επενδύσεων σε συστήματα συμπαραγωγής:

(α) τα ετήσια λειτουργικά οφέλη που προκύπτουν από την αποκατάσταση αγοράς του ηλεκτρισμού από την εταιρεία (Δ.Ε.Η.) καθώς και από την εξοικονόμηση καυσίμου για παραγωγή θερμότητας με συμβατικό λέβητα,

(β) το κόστος κατασκευής, λειτουργίας, και συντήρησης του συστήματος συμπαραγωγής. Τα μεγέθη αυτά χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των δεικτών οικονομικής βιωσιμότητας, που ορίστηκαν στην Ενότητα 3.2.2

Μερικές πληροφορίες για το κόστος κατασκευής και συντήρησης των συστημάτων συμπαραγωγής δόθηκαν στην Ενότητα 3.1. Ο σημερινός επενδυτής, όμως, πρέπει να ζητήσει πληροφορίες από τις κατασκευάστριες εταιρίες για τα κόστη αυτά, που είναι βέβαιο ότι έχουν διαφοροποιηθεί. Ο τρόπος προσδιορισμού των ετήσιων δαπανών και του ετήσιου λειτουργικού οφέλους παρουσιάζεται στη συνέχεια.

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 την 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 την δυνατότητα πρόσβασης του επενδυτή στην εγχώρια ή στην διεθνή χρηματαγορά.

Το ύψος των ιδίων κεφαλαίων, K , μιας επένδυσης προσδιορίζεται από τη σχέση

$$K = C - C_\varepsilon - L = (1 - \pi_\varepsilon - I)C \quad (3.15)$$

όπου

C κόστος του συστήματος συμπαραγωγής,

C_ε ποσό επιδότησης

L ποσό προερχόμενο από δανεισμό

π_ε ποσοστό επιδότησης: $\pi_\varepsilon = C_\varepsilon / C$

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

Η ετήσια δόση αποπληρωμής του δανείου προκύπτει από την σχέση

$$A_L = L \cdot \text{CRF}(N_L, r) \quad (3.16)$$

όπου

N_L περίοδος αποπληρωμής του δανείου,

r επιτόκιο δανεισμού.

Η δόση αυτή αποτελείται από ένα μέρος του δανειακού 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 .

Για $t=1$ είναι $L_1=L$.

I_{Lt} τόκοι του δανείου κατά την διάρκεια του έτους t :

$$I_{L_t} = r L_t \quad (3.17)$$

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

$$\Delta L_t = A_L - I_{L_t} \quad (3.18)$$

L_{t+1} υπολειπόμενο ποσό δανείου στην αρχή του έτους t+1

$$L_{t+1} = L_t - \Delta L_t \quad (3.19)$$

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

$$F_t = f_t - A_L - \phi f_{\phi t} \quad (3.20)$$

όπου

F_t καθαρό όφελος κατά το έτος t,

f_t λειτουργικό όφελος κατά το έτος t, (Εξ.3.24)

ϕ φορολογική κλίμακα του επενδυτή,

$f_{\phi t}$ φορολογητέα κέρδη κατά το έτος t:

$$f_{\phi t} = f_t - A - I_{L_t} \quad (3.21)$$

A ετήσια λογιστική απόσβεση: $A = \frac{C}{v}$ (3.22)

v χρονική διάρκεια λογιστικής απόσβεσης.

Με αντικατάσταση του $f_{\phi t}$ από την Εξ. (3.21) στην Εξ. (3.20) προκύπτει

$$F_t = (1 - \phi)f_t + \phi A - (A_L - \phi I_{L_t}) \quad (3.23)$$

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:

$$f_t = (K_\eta + \Pi + K_\theta - K_f - \Delta)_t \quad (3.24)$$

όπου

- K_η αξία ηλεκτρικής ενέργειας που έχει παραχθεί από το σύστημα συμπαραγωγής,
- Π πρόσδοδος από την πώληση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας,
- K_θ αξία θερμικής ενέργειας που έχει παραχθεί από το σύστημα συμπαραγωγής,
- K_f κόστος καυσίμου του συστήματος συμπαραγωγής,
- Δ δαπάνες συντήρησης και λειτουργίας (πλην καυσίμου) του συστήματος συμπαραγωγής.

Ο δείκτης t σημαίνει ότι τα μεγέθη μέσα στην παρένθεση αναφέρονται στο έτος t .

Εάν κάποια δαπάνη αυξάνει διαχρονικά 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 από τη σχέση

$$k_t = k(1+i)^t \quad (3.25)$$

όπου

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

Κόστος συμβατικού τρόπου κάλυψης ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών

Από την πλευρά του τελικού χρήστη, το σύστημα συμπαραγωγής θεωρείται ότι αποκαθιστά την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας από την επιχείρηση ηλεκτρισμού και την παραγωγή θερμότητας με λέβητα συμβατικού καυσίμου (συμβατικός τρόπος). Το κόστος για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό και θερμότητα με τον τρόπο αυτόν συμβολίζονται με K_η και K_θ αντίστοιχα. Όταν υπάρχει περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα

συμπαραγωγής, τότε αυτή πωλείται στο δίκτυο και αποφέρει κάποια πρόσοδο Π .

Η τιμή του K_{η} είναι συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Προσδιορίζεται με βάση τα τιμολόγια καταναλωτών της επιχείρησης ηλεκτρισμού ($\Delta E\eta$). Η τιμή του Π εξαρτάται από την πωλούμενη ηλεκτρική ενέργεια και προσδιορίζεται με βάση τα τιμολόγια αυτοπαραγωγών της $\Delta E\eta$. Το κόστος θερμότητας, K_{θ} , θεωρείται εδώ ότι αποτελείται από το κόστος του 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_{η} , K_{θ} και Π 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

$$K_{\eta} = \sum_{\mu=1}^{12} [\varepsilon_{\eta} \cdot T_{\Delta E\eta} \cdot I + \kappa_p \cdot P]_{\mu} \quad (3.26)$$

όπου

- ε_{η} μηνιαία παραγωγή ηλεκτρισμού του συστήματος συμπαραγωγής,
- $T_{\Delta E\eta}$ Τιμολόγιο κατανάλωσης της $\Delta E\eta$,
- 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 $\Delta E\eta$),
- κ_p τιμή μονάδας συμβατικής ισχύος,
- μ δείκτης μήνα.

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

$$\Pi = \sum_{\mu=1}^{12} [\varepsilon_{\eta} \cdot T_{\alpha\omega\tau} \cdot (1-I)]_{\mu} \quad (3.27)$$

όπου

T είναι το τιμολόγιο αυτοπαραγωγών της ΔΕΗ

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

$$K_{\theta} = \frac{c_{f\lambda} E_{\theta}}{H_{u\lambda} \eta_{\lambda}} \quad (3.28)$$

όπου

- $c_{f\lambda}$ κόστος μονάδας καυσίμου του λέβητα,
- E_{θ} ετήσιο ποσό θερμότητας που προήλθε από το σύστημα συμπαραγωγής
- $H_{u\lambda}$ κατώτερη θερμογόνος ικανότητα καυσίμου του λέβητα,
- η_{λ} ενεργειακός βαθμός απόδοσης συμβατικού λέβητα

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, συντήρησης, αναλωσίμων, ανταλλακτικών, κλπ). Το ετήσιο κόστος καυσίμου προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$K_{f\Sigma} = \frac{c_{f\Sigma} E_{\eta}}{H_{u\Sigma} \eta_e} \quad (3.29)$$

όπου

- $c_{f\Sigma}$ κόστος μονάδας καυσίμου του συστήματος συμπαραγωγής,
- E_{η} ετήσια παραγωγή ηλεκτρισμού του συστήματος συμπαραγωγής
- $H_{u\Sigma}$ κατώτερη θερμογόνος ικανότητα καυσίμου του συστήματος συμπαραγωγής
- η_e ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής.

Οι υπόλοιπες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

$$\Delta = \Delta_{\sigma} + \Delta_{\mu} \quad . \quad (3.30)$$

Όπου

Δ_{σ} σταθερές δαπάνες

Δ_{μ} μεταβλητές δαπάνες

Για περισσότερη οικονομοτεχνική ανάλυση ο αναγνώστης μπορεί να συμβουλευτεί το Κεφάλαιο 4 της Βιβλιογραφίας [14].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η διαδικασία επιλογής κατάλληλου συστήματος συμπαραγωγής για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή είναι περίπλοκη και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία μεταβάλλονται με τον χρόνο ποσοτικά (ισχύς) και ποιοτικά (π.χ. πίεση και θερμοκρασία ρευστών). Επίσης μεταβάλλονται οικονομικά μεγέθη, όπως η τιμή αγοράς και πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ (ώρες αιχμής, χαμηλού και ενδιάμεσου φορτίου), η τιμή του καυσίμου κλπ. Σ' αυτό το κεφάλαιο θα δούμε μερικούς τρόπους επιλογής και εκτίμησης συστήματος συμπαραγωγής, που συναντάμε στη βιβλιογραφία.

4.1 1ος Τρόπος [1] 5

Για την εκτίμηση του συστήματος, πρέπει να ληφθούν αποφάσεις σχετικές με

- Το είδος του συστήματος (αεριομηχανής, αεριοστροβίλου κλπ)
- Το ποσοστό κάλυψης του θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου από το σύστημα συμπαραγωγής
- Τη σύνδεση ή μη του συστήματος με το ηλεκτρικό δίκτυο της περιοχής καθώς και το είδος της σύνδεσης (μονόδρομη, αμφίδρομη)
- Τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος (προσδιορισμός της ισχύος λειτουργίας σε κάθε χρονική στιγμή) κλπ

Νόμοι και σχετικοί κανονισμοί ή αποφάσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή του συστήματος και τον προσδιορισμό του μεγέθους του. Η πορεία που ακολουθείται μπορεί να είναι:

⁵ Βλ. Κεφ.6 από [1]

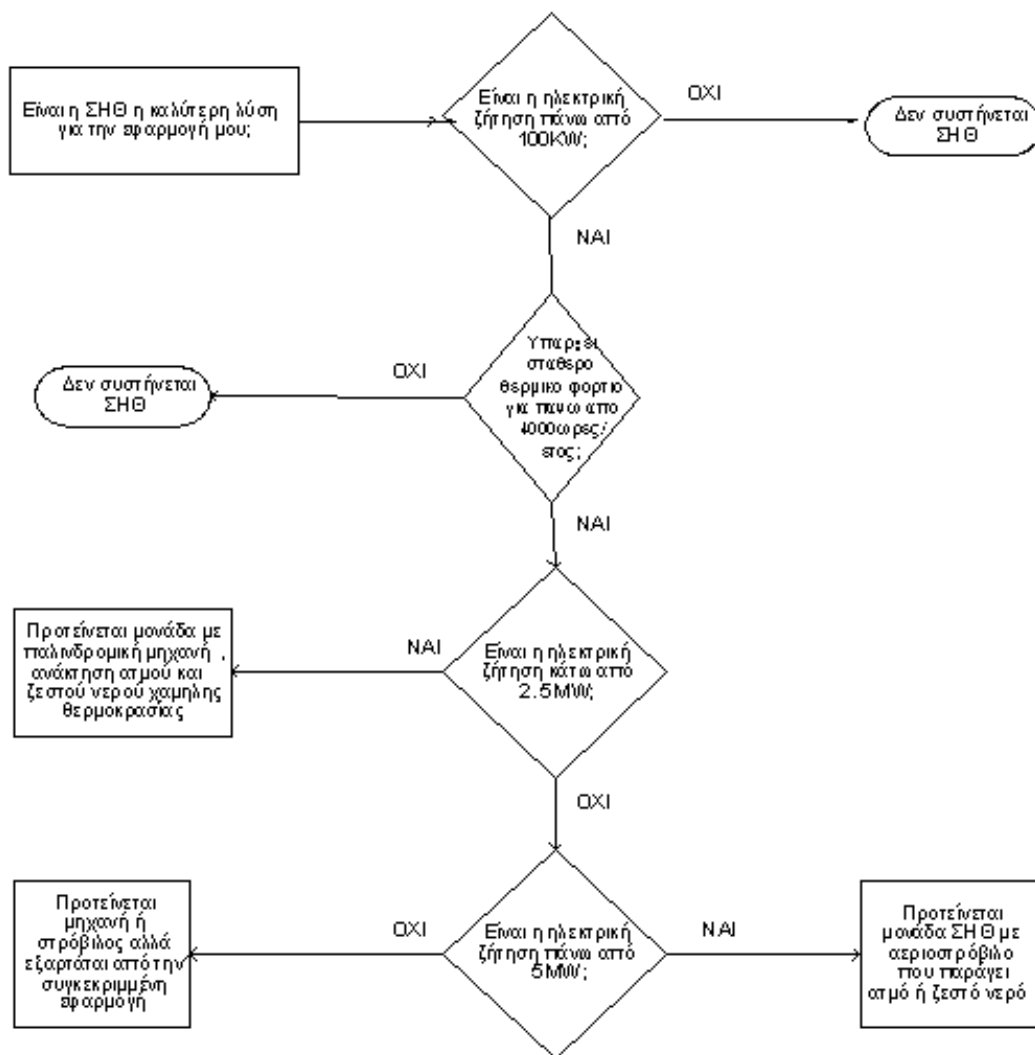
1. Προσδιορίζονται ποσοτικά και ποιοτικά τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία του χρήστη, όπως αυτά μεταβάλλονται με το χρόνο ή τουλάχιστον σε χαρακτηριστικές καταστάσεις (εργάσιμη μέρα του χειμώνα ή του καλοκαιριού, τυπικό Σάββατο, τυπική Κυριακή, κλπ) Με βάση τα στοιχεία αυτά, υπολογίζεται μια μέση τιμή του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα, παίρνοντας υπόψη τις σημαντικότερες (από πλευράς φορτίου και διάρκειας) περιόδους λειτουργίας.
2. Επιλέγεται τεχνολογία συμπαραγωγής με λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα όσο τον δυνατόν πλησιέστερο προς αυτόν που προσδιορίστηκε στο 1^ο βήμα.
3. Προσδιορίζεται η ηλεκτρική ισχύς του συστήματος έτσι, ώστε η αποδιδόμενη θερμική ισχύς να χρησιμοποιείται ωφέλιμα.
4. Για κάθε επιθυμητό ή δυνατό τρόπο λειτουργίας (παρακολούθηση ηλεκτρικού φορτίου, παρακολούθηση θερμικού φορτίου, κλπ) 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, σύμφωνα με τα κριτήρια του μελετητή.
7. Μελετώνται οι ευρύτερες επιπτώσεις που μπορεί να έχει η εγκατάσταση και λειτουργία του συστήματος (περιβαλλοντικές, κοινωνικές, κλπ)

Οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για συμπαραγωγή, όταν οι διακυμάνσεις του ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά φάσης μεταξύ τους. Όταν, όμως ο ετεροχρονισμός είναι έντονος, ίσως χρειασθεί η εγκατάσταση ενός συστήματος αποθήκευσης θερμότητας, προκειμένου να είναι ενεργειακά αποδοτική η λειτουργία του συστήματος συμπαραγωγής. Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης, η σωστή διαστασιολόγησή του σε συνδυασμό με τον έλεγχο και ρύθμιση της λειτουργίας του και η πρόβλεψη της ενεργειακής και οικονομικής συμπεριφοράς του είναι θέματα κρίσιμης σημασίας για οποιαδήποτε σχετική απόφαση.

Προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση του συστήματος συμπαραγωγής με το δίκτυο ηλεκτρισμού, πρέπει οι γεννήτριες να πληρούν ορισμένες προδιαγραφές ως προς την συχνότητα, την τάση, τον συντελεστή ισχύος κ.λ.π. Επιπλέον, απαιτείται ειδικός εξοπλισμός, που εξαρτάται από την ισχύ και άλλα χαρακτηριστικά των γεννητριών του συστήματος συμπαραγωγής, και είναι πιο περίπλοκος όταν η σύνδεση είναι αμφίδρομη (αγορά και πώληση ηλεκτρισμού). Η συνεννόηση με τις αρμόδιες υπηρεσίες της ΔΕΗ είναι απαραίτητη όχι μόνον για τυπικούς λόγους (έκδοση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας) αλλά και ουσιαστικούς (ασφαλής λειτουργία).

4.2 2ος Τρόπος [2]

Ένα διαφορετικό τρόπο εκτίμησης συναντάμε στον Οδηγό “Combined Heat and Power Hospitals” (βλ. Βιβλιογραφία [2]). Εδώ η διαδικασία δίνεται με διάγραμμα ροής (flow chart)



4.3 3ος Τρόπος [10]⁶

4.3.1 Στρατηγική για ΣΗΘ σε νοσοκομείο

Στις περισσότερες των περιπτώσεων η ΣΗΘ μελετάται σε εγκαταστάσεις όπου υπάρχει ήδη επαρκής εφεδρεία ηλεκτρικής ενέργειας (πχ ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη- H/Z). Υπό αυτές τις συνθήκες είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη τα οικονομικά της συμπαραγωγής και μόνο, χωρίς να υπεισέρχονται θέματα εφεδρείας. Και εφόσον φαίνεται ελκυστική η εισαγωγή μονάδας ΣΗΘ, τότε πρέπει να εξεταστούν οι επιλογές που συνδέονται με την ενσωμάτωση της μονάδας στο υπάρχον σύστημα εφεδρείας, ώστε να βελτιωθεί το επίπεδο της εφεδρείας και η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Αν, από την άλλη μεριά, η υπάρχουσα εφεδρεία είναι ανεπαρκής τότε αξίζει να μελετηθεί η ενσωμάτωση της μονάδας στο σύστημα εφεδρείας. Επιπλέον η ξεχωριστή αξιολόγηση της μονάδας ΣΗΘ από την εφεδρεία επιτρέπει την χρησιμοποίηση φυσικού αερίου χωρίς την απαίτηση για αποθηκευμένα καύσιμα.

Η ασφάλεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψίστης σημασίας στα νοσοκομεία και είναι βασικό να μην διακυβεύεται με κανέναν τρόπο με την εισαγωγή του συστήματος συμπαραγωγής. Οι υπάρχουσες γεννήτριες δεν πρέπει να μετατραπούν σε συμπαραγωγικές χωρίς την μέριμνα για πρόσθετη δυνατότητα εφεδρείας που θα καλύπτει όλα τα βασικά φορτία και τα φορτία που θεωρούνται απαραίτητα. Η επιπρόσθετη εφεδρεία απαιτείται για κάλυψη στα χρονικά διαστήματα που θα συντηρείται η μονάδα.

Η εγκατάσταση μονάδας ΣΗΘ μπορεί να είναι οικονομικά συμφέρουσα, αν έχει σχεδιαστεί σωστά, αλλά η περίοδος αποπληρωμής μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη και έτσι η συνολική επένδυση να είναι λιγότερο συμφέρουσα από κάποιο άλλο τρόπο εξοικονόμησης ενέργειας, όπως μόνωση κτιρίων, αντικατάσταση πετपालιωμένων λεβητών, εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων κ.τ.λ.

Πριν, λοιπόν τη μελέτη της συμπαραγωγής, πρέπει να εξαντληθούν όλοι οι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας. Σημειωτέον, ότι μερικές απλές επιδιορθώσεις (π.χ. καθάρισμα λεβήτων, ατμοπαγίδων κλπ) μπορούν να

⁶ Βλ. Κεφ.2 και κεφ.4 από [10]

αποφέρουν σημαντικές αλλαγές στις συνολικές απαιτήσεις φορτίου του νοσοκομείου και να αλλάξουν δραματικά το λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα, ο οποίος με τη σειρά του θα επηρεάσει τον τύπο και το μέγεθος του ΣΗΘ συστήματος που απαιτείται.

Η στρατηγική για την υιοθέτηση συμπαραγωγής στα νοσοκομεία πρέπει να ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

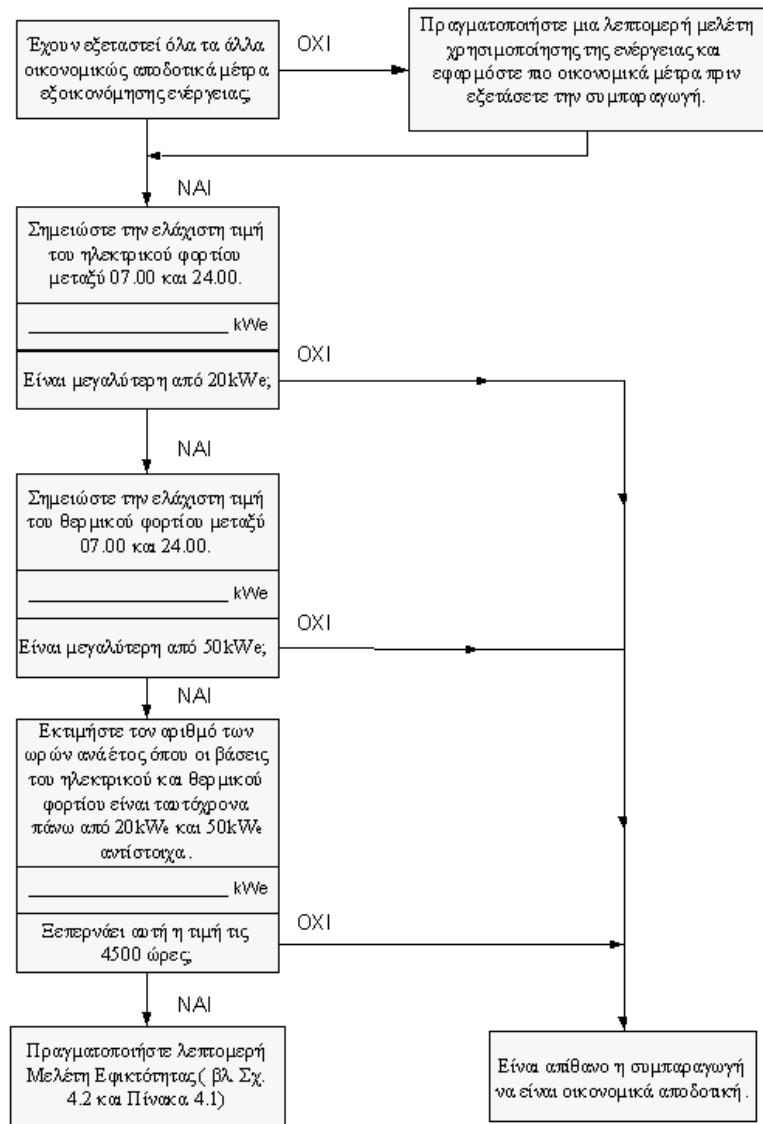
- Βήμα 1 Λεπτομερής έλεγχος των υπαρχόντων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας ώστε να διασφαλιστεί ότι έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα, πριν τον προσδιορισμό της συμπαραγωγικής μονάδας. Αν το θερμικό σύστημα είναι διεσπαρμένο τότε μάλλον είναι καταλληλότερο να τοποθετηθούν μικρής κλίμακας ΣΗΘ μονάδες από τις οποίες η κάθε μία θα εξυπηρετεί ξεχωριστό κτίριο. Αν, όμως, το νοσοκομείο εξυπηρετείται από ένα κεντρικό λεβητοστάσιο, τότε πρέπει να εξεταστεί η περίπτωση μίας μόνο μεγαλύτερης μονάδας.
- Βήμα 2 Αναθεώρηση της επάρκειας των υπαρχόντων ρυθμίσεων εφεδρείας και μελέτη για το αν η μετατροπή σε ΣΗΘ είναι πρακτική και/ή οικονομικά συμφέρουσα. Στις περισσότερες περιπτώσεις η μετατροπή δεν είναι κατάλληλη.
- Βήμα 3 Προκαταρκτική έρευνα της κατανάλωσης ενέργειας των προηγούμενων ετών για να καθοριστεί το προφίλ του ηλεκτρικού και του θερμικού φορτίου και η βάση των φορτίων. Αυτό πρέπει να γίνει αρχικά με βάση ετήσια και μηνιαία δεδομένα, συμπεριλαμβάνοντας τυπικά ημερήσια προφίλ.
- Βήμα 4 Αν το σύστημα ΣΗΘ πρόκειται να λειτουργήσει σωστά σε ισχύ μικρότερη των απαιτήσεων του βασικού θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου, τότε μπορεί να διαστασιολογηθεί και να συγκεντρωθούν τα οικονομικά στοιχεία. Στην περίπτωση όμως που το σύστημα ΣΗΘ πρόκειται να λειτουργήσει σε ισχύ ίση ή μεγαλύτερη από τη βάση του φορτίου, σε μερικώς κυμαινόμενες απαιτήσεις ή για εξαγωγή ηλεκτρισμού/ θερμότητας, τότε απαιτείται μια λεπτομερής ανάλυση των φορτίων (ηλεκτρικό, θερμικό). Η ανάλυση περιλαμβάνει καμπύλες διάρκειας φορτίου μαζί με

οικονομοτεχνικές αξιολογήσεις για να προσδιοριστεί το μέγεθος και ο τύπος της εγκατάστασης, ο αριθμός των μονάδων και ο τρόπος λειτουργίας.

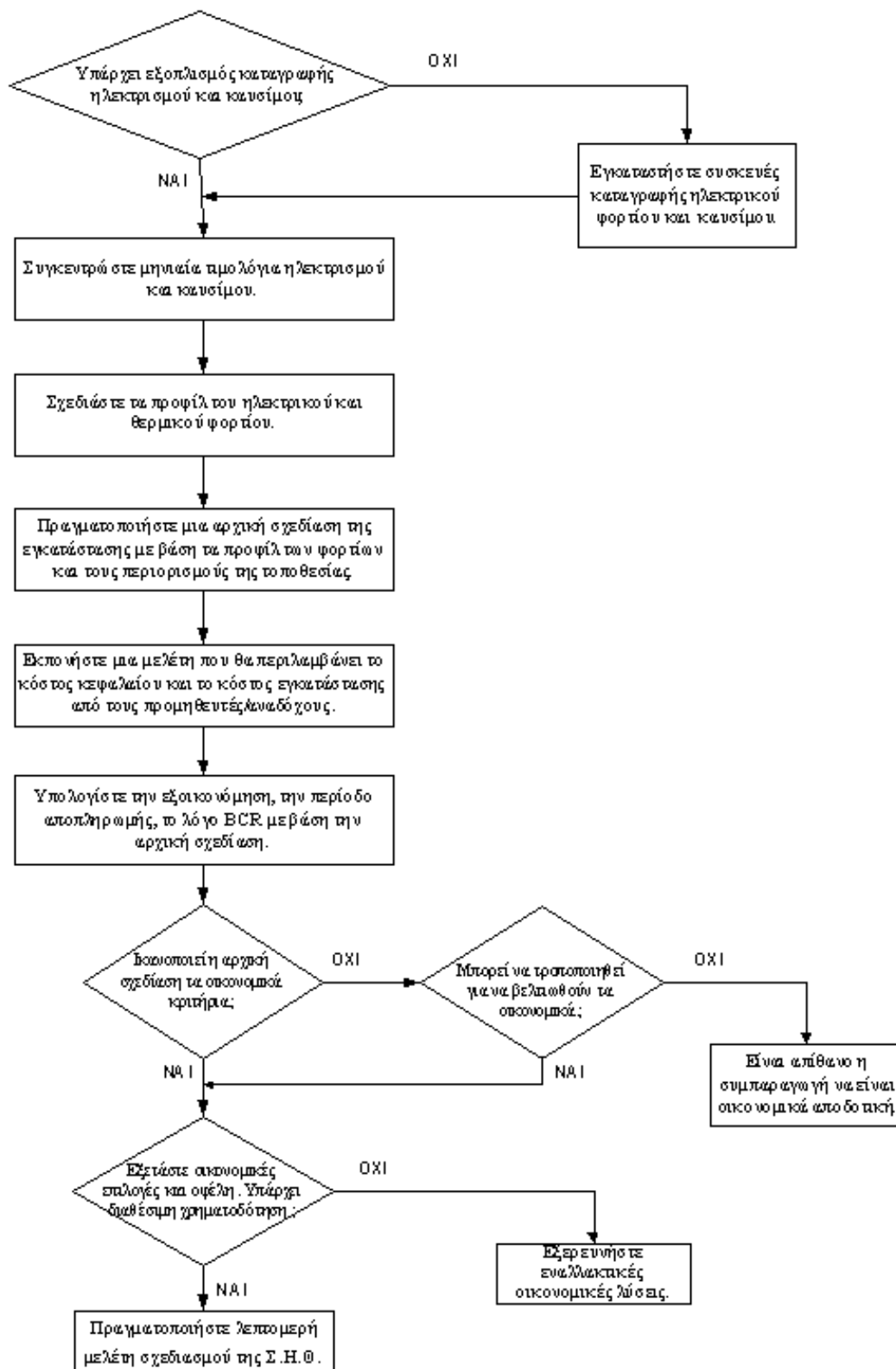
- Βήμα 5 Αξιοποίηση όλων των οικονομικά συμφέρουσων επιλογών που διατίθενται για την ενσωμάτωση του συστήματος ΣΗΘ στο υπάρχον σύστημα εφεδρείας. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ΣΗΘ θα λειτουργήσει ξεχωριστά από τις εγκαταστάσεις εφεδρείας.
- Βήμα 6 Έρευνα αγοράς και χρηματοδοτών. Λεπτομερής οικονομική αξιολόγηση και πρόβλεψη βιωσιμότητας της επένδυσης.
- Βήμα 7 Σχεδιασμός, αξιολόγηση προσφορών, παραλαβή, εγκατάσταση και λειτουργία του συστήματος.
- Βήμα 8 Παρακολούθηση (monitoring) και αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος.

4.3.2 Διαγράμματα αποφάσεων

Τα σχήματα 4.1, 4.2 μαζί με τον Πίνακα 4.1 βοηθούν στην αναγνώριση των εγκαταστάσεων που δεν ενδείκνυνται για συμπαραγωγή εξαιτίας ανεπαρκούς θερμικού φορτίου ή θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου που δεν βρίσκονται σε ισορροπία.



Σχ. 4.1 Στρατηγική για ΣΗΘ σε νοσοκομεία- Αρχική εκτίμηση



Σχ. 4.2 Στρατηγική για ΣΗΘ σε ήδη λειτουργούντα νοσοκομεία- μελέτη σκοπιμότητας

	Ναι/Όχι
• Έχουν ληφθεί υπόψιν όλα τα άλλα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας και έχουν εξεταστεί ή υλοποιηθεί;
• Υπάρχει ταυτόχρονη απαίτηση βασικού φορτίου ηλεκτρισμού και θερμότητας το οποίο υπερβαίνει τα 20kWe και 50kWe αντίστοιχα για περισσότερο από 4500 ώρες/έτος;
• Υπάρχει κατάλληλη παροχή καυσίμου(π.χ αέριο);
• Υπάρχει κατάλληλος χώρος και πρόσβαση για τη Σ.Η.Θ μονάδα χωρίς να επηρεάζεται η ποιότητα περιθάλψης των ασθενών (π.χ θόρυβος, καυσαέρια κ.λ.π);
• Διατίθενται μηνιαία τιμολόγια των καταναλώσεων ηλεκτρισμού και καυσίμου;
• Έχουν σχεδιαστεί αλλαγές/ αναβαθμίσεις των εγκαταστάσεων και έχει εξεταστεί η επίπτωση αυτών των αλλαγών στη διαστασιολόγηση ή στα οικονομικά της συμπαραγωγής;
• Έχει εξεταστεί προσεκτικά η επίδραση της Σ.Η.Θ στην παροχή εφεδρικής ενέργειας όσον αφορά την ασφάλεια παροχής, τα μέτρα ασφαλείας κλπ;
• Έχουν εξεταστεί οι κανόνες πυρασφάλειας;
• Έχουν ερευνηθεί οι απαιτήσεις για αναβάθμιση κάποιου μέρους του υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης ή ηλεκτρισμού ή συστήματος ελέγχου ως αποτέλεσμα της εγκατάστασης της Σ.Η.Θ;
• Είναι οι αποθήκες θερμού νερού(μπόιλερ,πισίνα κτλ) κοντά στη θέση της μονάδας Σ.Η.Θ και του ηλεκτρικού συστήματος διανομής;
• Αν το σύστημα Σ.Η.Θ χρησιμοποιηθεί για παροχή εφεδρικής ενέργειας, θα ικανοποιεί τις κατάλληλες απαιτήσεις(π.χ αριθμός μονάδων, έξοδος μονάδων, λειτουργία με αποθηκεύσιμο καύσιμο κλπ);
• Έχουν υπολογιστεί όλα τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης;
• Έχουν υπολογιστεί όλα τα ενδεχόμενα εισοδήματα;

- Έχει πραγματοποιηθεί λεπτομερής οικονομική αξιολόγηση και
 ανάλυση ευαισθησίας;
 - Έχουν εξεταστεί οι επιπτώσεις δαπανών κεφαλαίου(αν υπάρχει);
 - Υπάρχει ικανό και εξειδικευμένο προσωπικό (είτε στο νοσοκομείο ή
 εξωτερικό συνεργείο) που θα αναλάβει τη λειτουργία και συντήρηση του
 σταθμού στα μέγιστα επίπεδα ικανότητας και αξιοπιστίας;
- Η εγκατάσταση Συμπαγωγής δεν πρέπει να προχωρήσει αν δεν υπάρχει η απάντηση «ΝΑΙ» σε όλες τις παραπάνω ερωτήσεις**

Πίνακας 4.1 Βασικές απαιτήσεις για την επιτυχή πραγματοποίηση της συμπαγωγής στα νοσοκομεία

4.3.3 Παρατηρήσεις

Η μεγάλη ποικιλία λύσεων τόσο από πλευράς σχεδιασμού όσο και λειτουργίας κάνουν μάλλον αδύνατη την εξαντλητική μελέτη όλων των δυνατών συνδυασμών με συμβατικές μεθόδους. Μια ποικιλία προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή, που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το εύρος εφαρμογών και το βάθος της ανάλυσης, έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό και είναι εμπορικά διαθέσιμα. Σημαντική ομοιότητα στις προτεινόμενες διαδικασίες επιλογής είναι ο ετήσιος χρόνος λειτουργίας της μονάδας (που πρέπει να είναι πάνω από 4.500 ώρες). Επίσης, ένα θέμα που απασχολεί όλες τις μεθόδους επιλογής είναι ο ταυτοχρονισμός ή όχι του ηλεκτρικού με το θερμικό φορτίο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Σκοπός των δύο τελευταίων κεφαλαίων είναι η οικονομοτεχνική μελέτη εγκατάστασης ενός συστήματος συμπαραγωγής σε ένα μεγάλο νοσοκομείο της Αττικής. Ως συμβατική λειτουργία εννοείται η χρήση λεβητών Diesel για θέρμανση χώρων, παραγωγή ζεστού νερού και ατμού και η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ για τις ηλεκτρικές ανάγκες του νοσοκομείου. Θα γίνει σύγκριση της συμβατικής λειτουργίας και της συμπαραγωγής και θα εξαχθούν συμπεράσματα για την οικονομικότητα της επένδυσης.

5.2 Γενικά στοιχεία του νοσοκομείου

Όνομασία νοσοκομείου: Νοσοκομείο Ατυχημάτων «Ο Απόστολος Παύλος»(ΚΑΤ)

Είδος παρεχόμενων υπηρεσιών: Ιατρικές

Διεύθυνση: Νίκης 2, Κηφισιά

Τηλέφωνο: 210 6280000

Συνολική επιφάνεια υπαρχόντων κτιρίων: 34460m²

Κτιριακές επεκτάσεις: Δεν προβλέπεται να γίνουν επεκτάσεις στο εγγύς μέλλον

Αριθμός κλινών: Σύνολο 541 (Περιλαμβάνονται 21 κλίνες της Μονάδας Εντατικής Θεραπείας)

Επίσης στο συγκρότημα κτιρίων του νοσοκομείου περιλαμβάνονται Τακτικά Εξωτερικά Ιατρεία, Τμήμα Επειγόντων Περιστατικών (ΤΕΠ), Χειρουργεία, Μονάδα Εγκαυμάτων, Μονάδα Αυξημένης Φροντίδας(ΜΑΦ-υπό κατασκευή), Εργαστήρια(αιματολογικά, βιοχημικά, κλπ), Αξονικοί τομογράφοι, Μαγνητικός Τομογράφος, Αγγειογράφος, Διοικητικές Υπηρεσίες, Βιβλιοθήκη, Σχολή Εκπαίδευσης Νοσοκόμων, Παιδικός Σταθμός και κλίνες για ανάπαυση εφημερευόντων ιατρών.

5.3 Στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης

5.3.1 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις του Νοσοκομείου περιλαμβάνουν:

Φωτισμό, 12 ανελκυστήρες, 2 αξονικούς τομογράφους, 1 μαγνητικό τομογράφο, 3 ακτινολογικά εργαστήρια, μαγειρεία, πλυντήρια, κλιματιστικές μονάδες διαιρούμενου τύπου(split units), fancoils, πύργους ψύξης, μηχανήματα εργαστηρίων(βιοχημικού, αιματολογικού κτλ), μηχανήματα χειρουργείου και άλλες συσκευές όπως διαφανοσκόπια, αντλίες, υπολογιστές, ηλεκτρικοί κλίβανοι, καφετιέρες κτλ.

Οι μηνιαίες καταναλώσεις για τα έτη 2001, 2002 και 2003 φαίνονται στα Σχήματα 5.1,5.2 και 5.3 αντίστοιχα, ενώ στο Σχήμα 5.4 εμφανίζονται και τα τρία έτη μαζί. Το Νοσοκομείο είναι καταναλωτής με τιμολόγιο Β1 (βλ. Παράρτημα Γ).

Συνοπτικά έχουμε:

ΕΤΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΙΣΑ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑ(kWh)	ΔΑΠΑΝΗ (ευρώ)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ(ευρώ/kWh)
2001	4985200	331092.88	0.0664
2002	5125000	346531.57	0.0676
2003	5611600	387339.06	0.069

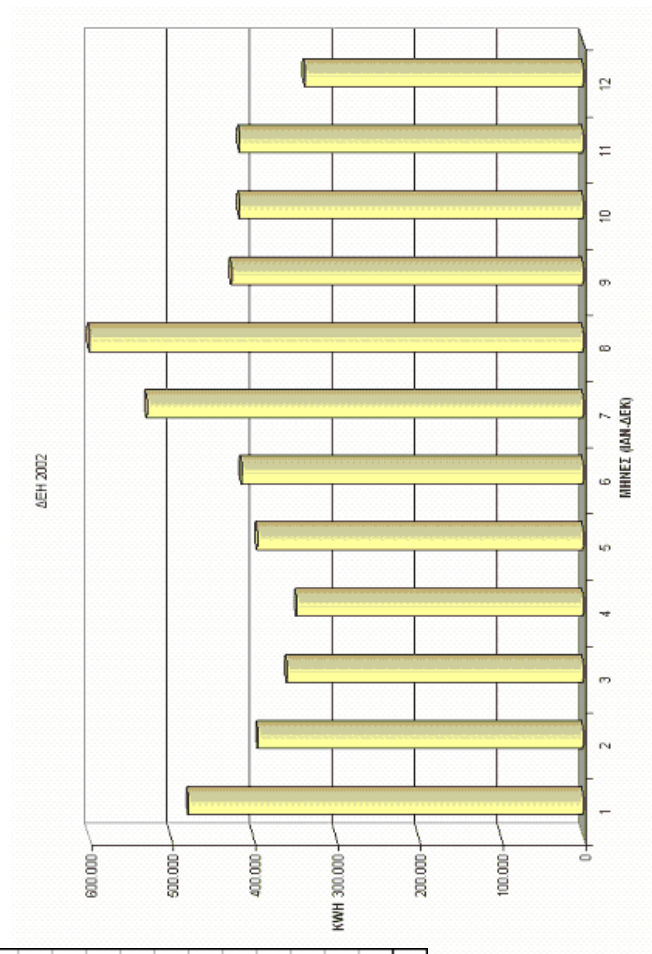
Η μέγιστη κατανάλωση εμφανίζεται τους καλοκαιρινούς μήνες γιατί η ψύξη των χώρων επιτυγχάνεται μέσω τοπικών κλιματιστικών μονάδων (split units), fancoils και κεντρικού κλιματισμού με πύργους ψύξης που λειτουργούν με ρεύμα. Μεταξύ των ετών 2001 και 2003 παρατηρείται αύξηση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της τάξεως του 12,5%. Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως στην αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό με την τοποθέτηση νέων τοπικών κλιματιστικών.

ΔΕΗ 2001	
ΜΗΝΑΣ	KWH
1 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	430.000
2 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	391.200
3 ΜΑΡΤΙΟΣ	336.000
4 ΑΠΡΙΛΙΟΣ	338.800
5 ΜΑΙΟΣ	350.400
6 ΙΟΥΝΙΟΣ	458.400
7 ΙΟΥΛΙΟΣ	518.400
8 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	616.800
9 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	427.200
10 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	422.000
11 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	415.200
12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	280.800
ΣΥΝΟΛΟ	4.985.200



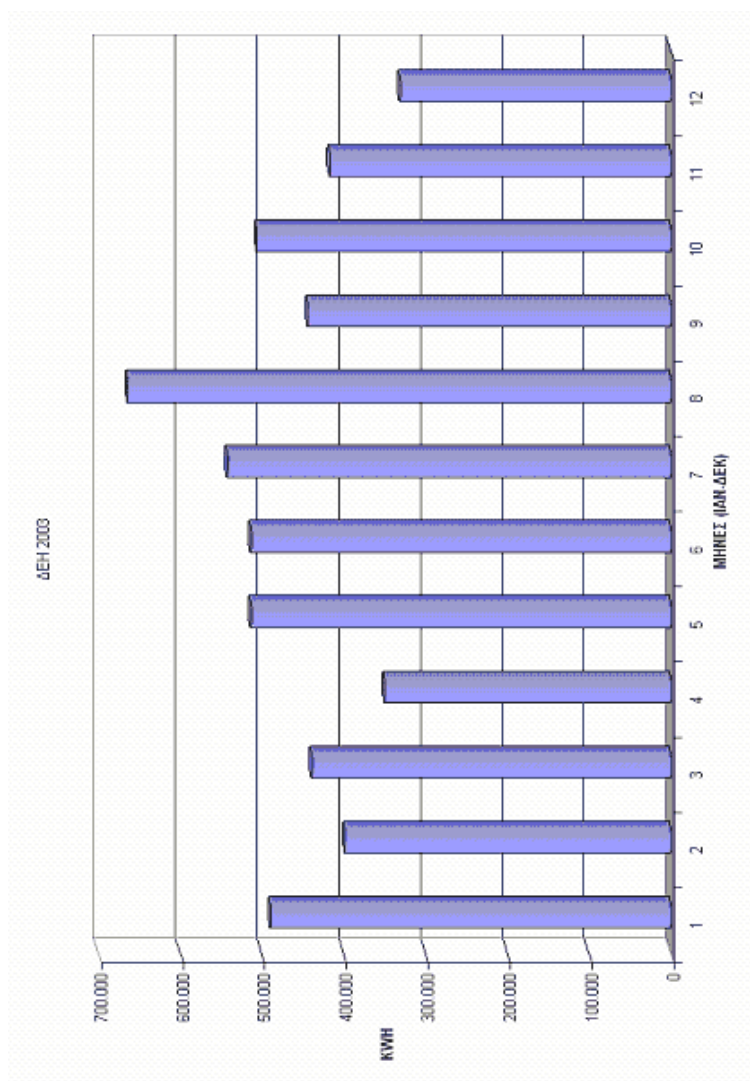
Σχήμα 5.1 Μηνιαία καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια για κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων του νοσοκομείου για το έτος 2001.

ΔΕΗ 2002		
ΜΗΝΑΣ	ΚΩΗ	
1 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	480.000	
2 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	395.000	
3 ΜΑΡΤΙΟΣ	360.000	
4 ΑΠΡΙΛΙΟΣ	348.000	
5 ΜΑΙΟΣ	396.000	
6 ΙΟΥΝΙΟΣ	415.200	
7 ΙΟΥΛΙΟΣ	530.000	
8 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	600.000	
9 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	427.200	
10 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	417.600	
11 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	417.600	
12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	338.400	
ΣΥΝΟΛΟ	5.125.000	



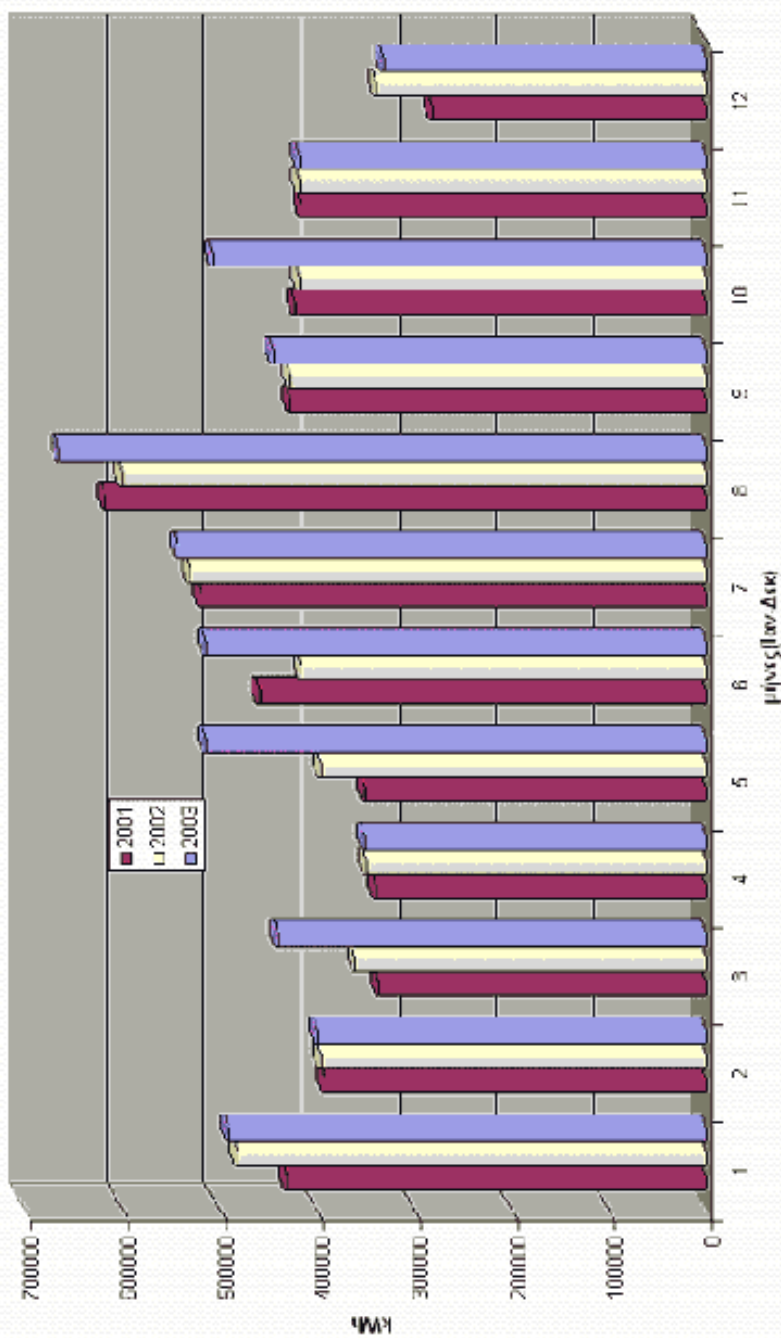
Σχήμα 5.2 Μηνιαία κατανολωθείσα ηλεκτρική ενέργεια για κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων του νοσοκομείου για το έτος 2002.

ΔΕΗ 2003	
ΜΗΝΑΣ	ΚΩΗ
1 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	490.000
2 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	398.400
3 ΜΑΡΤΙΟΣ	439.200
4 ΑΠΡΙΛΙΟΣ	350.400
5 ΜΑΙΟΣ	513.600
6 ΙΟΥΝΙΟΣ	513.600
7 ΙΟΥΛΙΟΣ	542.400
8 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	664.800
9 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	444.000
10 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	506.400
11 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	417.600
12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	331.200
ΣΥΝΟΛΟ	5.611.600



Σχήμα 5.3 Μηνιαία καταναλωθέντα ηλεκτρική ενέργεια για κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων του νοσοκομείου για το έτος 2003.

Σχήμα 6.4. Μηνιαία καταναλωσία ηλ. ενέργειας και για τα τρία έτη



5.3.2 Κατανάλωση πετρελαίου Diesel

Οι θερμικές καταναλώσεις του Νοσοκομείου περιλαμβάνουν:

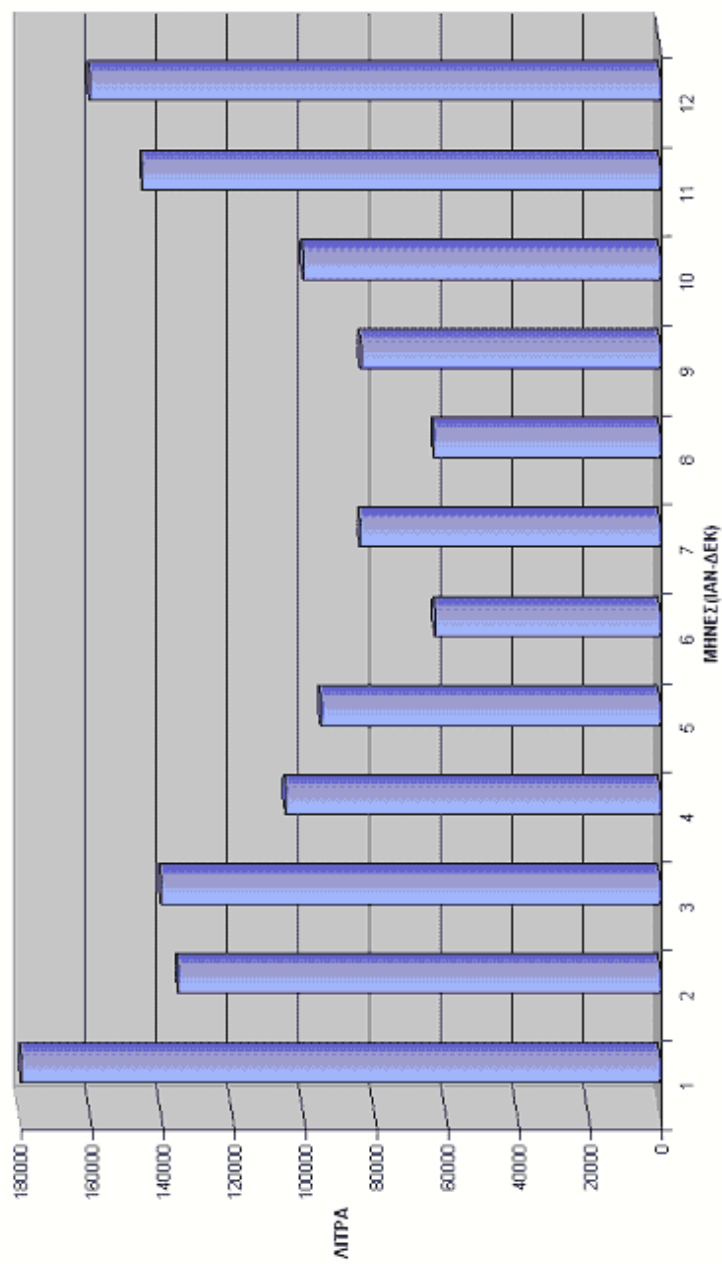
Ζεστό νερό χρήσης, θέρμανση χώρων και ατμός για την Κεντρική Αποστείρωση τα πλυντήρια και τα μαγειρεία.

Οι μηνιαίες καταναλώσεις για τα έτη 2001, 2002 και 2003 φαίνονται στα παρακάτω Σχήματα 5.5,5.6 και 5.7 αντίστοιχα, ενώ στο Σχήμα 5.8 εμφανίζονται και τα τρία έτη μαζί. Συνοπτικά έχουμε:

ΕΤΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ (Lit)	ΔΑΠΑΝΗ (ευρώ)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (ευρω/Lit)
2001	1.354.068	379.139	0.28
2002	1.386.207	415.862	0.30
2003	1.398.627	489.519	0.35

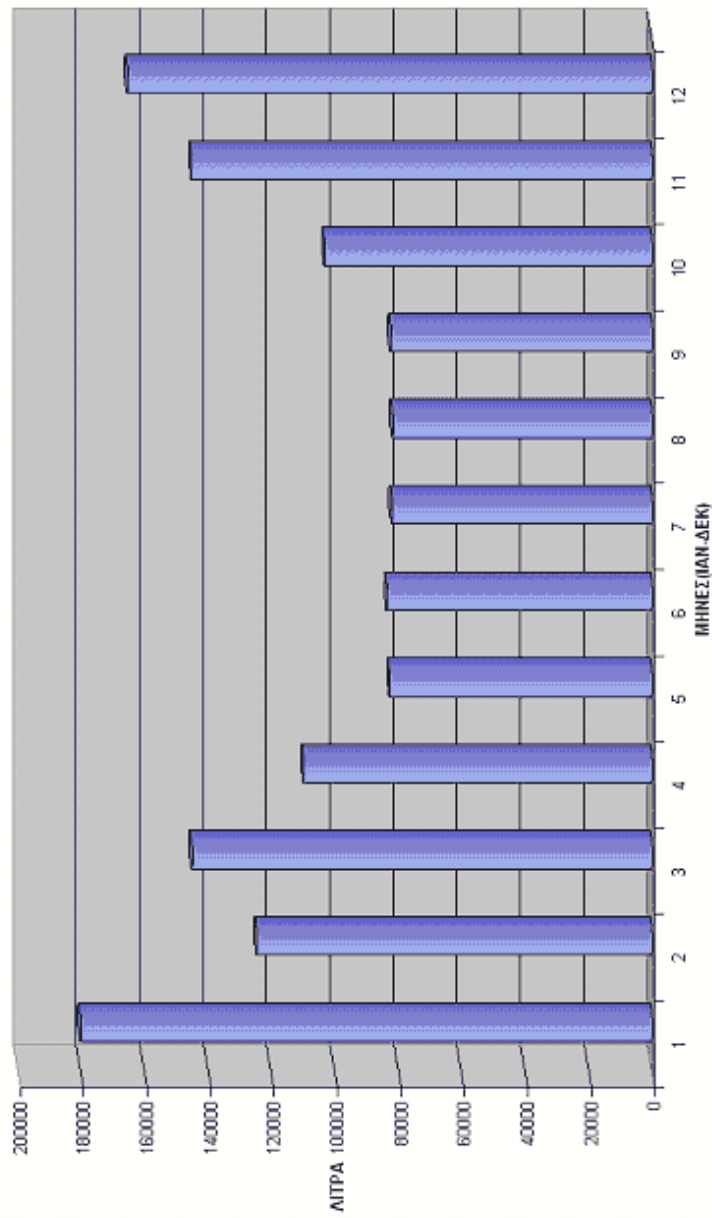
Μεταξύ των ετών 2001 και 2003 παρατηρείται αύξηση στην κατανάλωση πετρελαίου κατά 3%. Η κατανάλωση πετρελαίου εξαρτάται από τον αριθμό των βαθμομερών του κάθε έτους. Πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από το Τμήμα Επειγόντων Περιστατικών (ΤΕΠ) το οποίο λειτούργησε τον Μάιο του 2004, όλα τα υπόλοιπα κτίρια δεν έχουν εξωτερική μόνωση.

ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ 2001		
ΜΗΝΑΣ	ΛΙΤΡΑ	
1 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	179.125	
2 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	135.042	
3 ΜΑΡΤΙΟΣ	140.024	
4 ΑΠΡΙΛΙΟΣ	104.940	
5 ΜΑΙΟΣ	95.020	
6 ΙΟΥΝΙΟΣ	63.127	
7 ΙΟΥΛΙΟΣ	84.080	
8 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	63.420	
9 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	83.945	
10 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	100.124	
11 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	145.190	
12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	160.031	
ΣΥΝΟΛΟ	1.354.068	



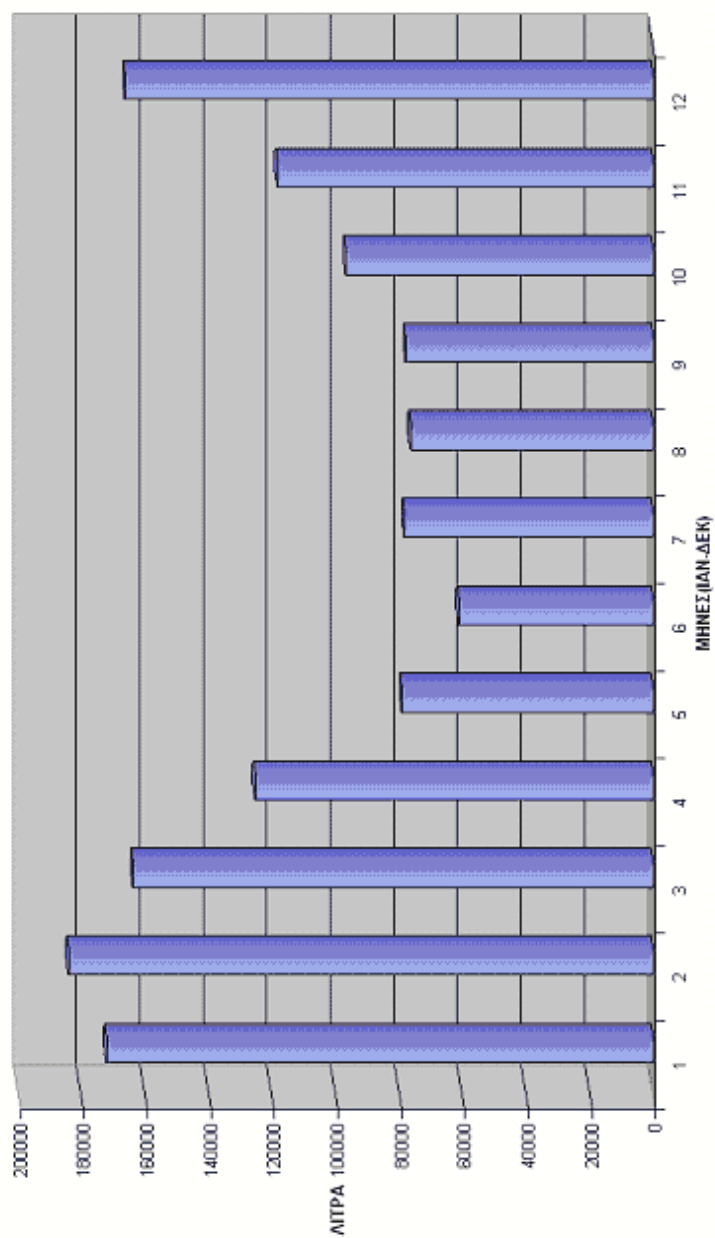
Σχήμα 5.5 Μηνιαία κατανάλωση πετρελαίου για κάλυψη των θερμικών φορτίων του νοσοκομείου κατά το έτος 2001

ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ 2002		
ΜΗΝΑΣ	ΛΙΤΡΑ	
1 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	180.292	
2 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	124.553	
3 ΜΑΡΤΙΟΣ	145.053	
4 ΑΠΡΙΛΙΟΣ	109.855	
5 ΜΑΙΟΣ	82.686	
6 ΙΟΥΝΙΟΣ	83.518	
7 ΙΟΥΛΙΟΣ	82.064	
8 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	81.761	
9 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	82.475	
10 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	103.280	
11 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	145.150	
12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	165.520	
ΣΥΝΟΛΟ	1.386.207	



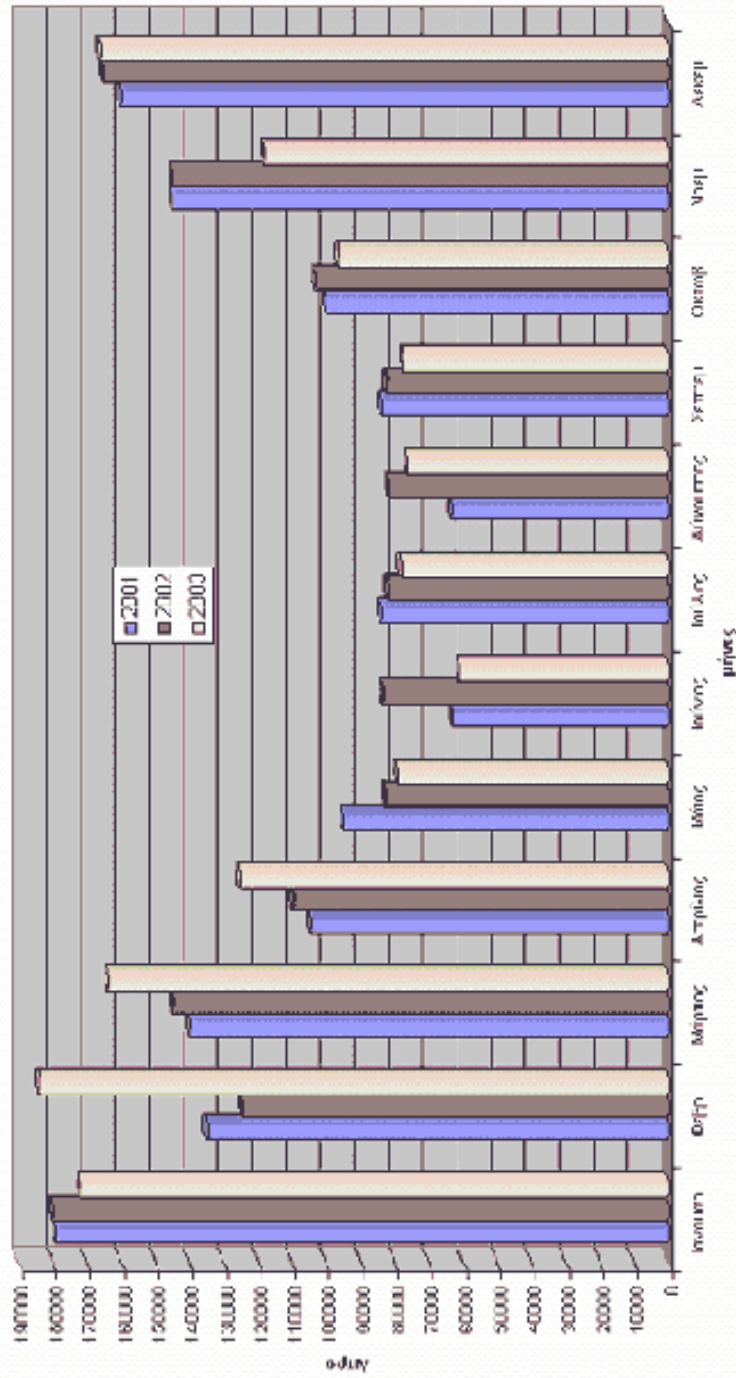
Σχήμα 5.6 Μηνιαία Καταναλωθείσα Ποσότητα Πετρελαίου για Κάλυψη των Θερμικών Φορτίων του νοσοκομείου κατά το έτος 2002

ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ 2003		
	ΜΗΝΑΣ	ΛΙΤΡΑ
1	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	172.052
2	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	183.996
3	ΜΑΡΤΙΟΣ	163.778
4	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	125.265
5	ΜΑΙΟΣ	78.936
6	ΙΟΥΝΙΟΣ	61.099
7	ΙΟΥΛΙΟΣ	78.323
8	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	76.323
9	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	77.750
10	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	96.642
11	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	118.274
12	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	166.189
	ΣΥΝΟΛΟ	1.398.627



Σχήμα 5.7 Μηνιαία κατανάλωση πετρελαίου για κάλυψη των θερμικών φορτίων του νοσοκομείου κατά το έτος 2003

Σχήμα 5.8. Κατανάλωση πετρελαίου



5.3.3 Τυπική ημερήσια καμπύλη ενεργού ισχύος

Έγιναν μετρήσεις την περίοδο του Νοεμβρίου του έτους 2004 και εξήχθησαν οι παρακάτω Πίνακες 5.1,5.2. Οι μετρήσεις ελήφθησαν με ανάγνωση των οργάνων (αμπερομέτρων, βολτομέτρου, συνημιτονομέτρου) των 2 μετασχηματιστών του Νοσοκομείου (20kV/380V).

Πίνακας 5.1. Μετρήσεις σε ημέρα αργίας(Σάββατο ή Κυριακή)

Μερα: Αργία

ΩΡΑ	M/Σ1			M/Σ2			cosφ	Τάση(V)
	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)		
0:00	450	440	430	550	570	470	0.96	225.1732
1:00	440	430	400	470	500	420	0.98	226.3279
2:00	410	380	350	440	460	370	0.99	225.1732
3:00	440	430	410	480	540	440	0.96	225.7506
4:00	400	390	360	440	480	400	0.98	225.1732
5:00	410	390	370	440	480	400	0.99	225.1732
6:00	430	420	390	490	520	430	0.98	226.3279
7:00	500	480	470	510	550	460	0.97	227.4827
8:00	450	460	430	500	540	460	0.93	221.709
9:00	450	410	400	540	550	460	0.9	224.0185
10:00	490	470	440	510	550	450	0.91	224.5958
11:00	490	470	440	540	560	470	0.9	224.5958
12:00	460	450	420	540	600	490	0.92	222.2864
13:00	500	490	430	540	560	470	0.9	224.0185
14:00	550	550	500	630	650	540	0.9	224.0185
15:00	500	500	440	560	640	540	0.93	220.5543
16:00	460	460	380	460	510	420	0.95	225.1732
17:00	440	450	420	500	550	450	0.93	225.1732
18:00	460	450	430	540	590	480	0.91	222.8637
19:00	500	480	450	570	560	480	0.94	221.709
20:00	490	460	430	540	560	460	0.91	224.5958
21:00	480	480	430	540	590	480	0.9	224.5958
22:00	500	500	450	540	600	490	0.92	224.5958
23:00	460	440	410	520	540	430	0.97	225.1732

Πίνακας 5.2. Μετρήσεις σε τυπική ημέρα

Μερα: Καθημερινή

ΩΡΑ	M/Σ1			M/Σ2			cosφ	Τάση(V)
	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)		
0:00	490	450	410	540	550	460	0.92	224.02
1:00	450	430	390	500	510	410	0.94	226.33
2:00	440	410	360	460	540	420	0.92	225.17
3:00	430	420	370	460	500	460	0.95	225.17
4:00	420	390	360	460	490	410	0.97	225.17
5:00	450	400	360	460	490	410	0.96	225.17
6:00	460	440	410	540	550	450	0.91	225.17
7:00	520	510	500	600	650	550	0.95	224.02
8:00	580	540	500	650	650	560	0.93	220.55
9:00	630	590	550	700	750	610	0.96	225.17
10:00	640	660	630	730	790	690	0.94	225.17
11:00	600	580	550	690	710	650	0.97	225.17
12:00	600	610	600	750	800	700	0.97	225.17
13:00	620	630	610	710	740	660	0.94	224.6
14:00	560	540	510	640	660	550	0.91	220.55
15:00	530	510	490	600	640	500	0.92	225.17
16:00	500	500	450	600	610	500	0.91	220.55
17:00	450	440	430	520	560	460	0.94	220.55
18:00	500	500	450	560	600	480	0.95	214.78
19:00	460	460	420	550	570	490	0.96	218.24
20:00	450	440	410	510	540	450	0.96	219.4
21:00	450	450	400	500	540	420	0.92	219.4
22:00	440	410	390	470	500	420	0.94	225.17
23:00	440	400	390	460	500	410	0.95	224.02

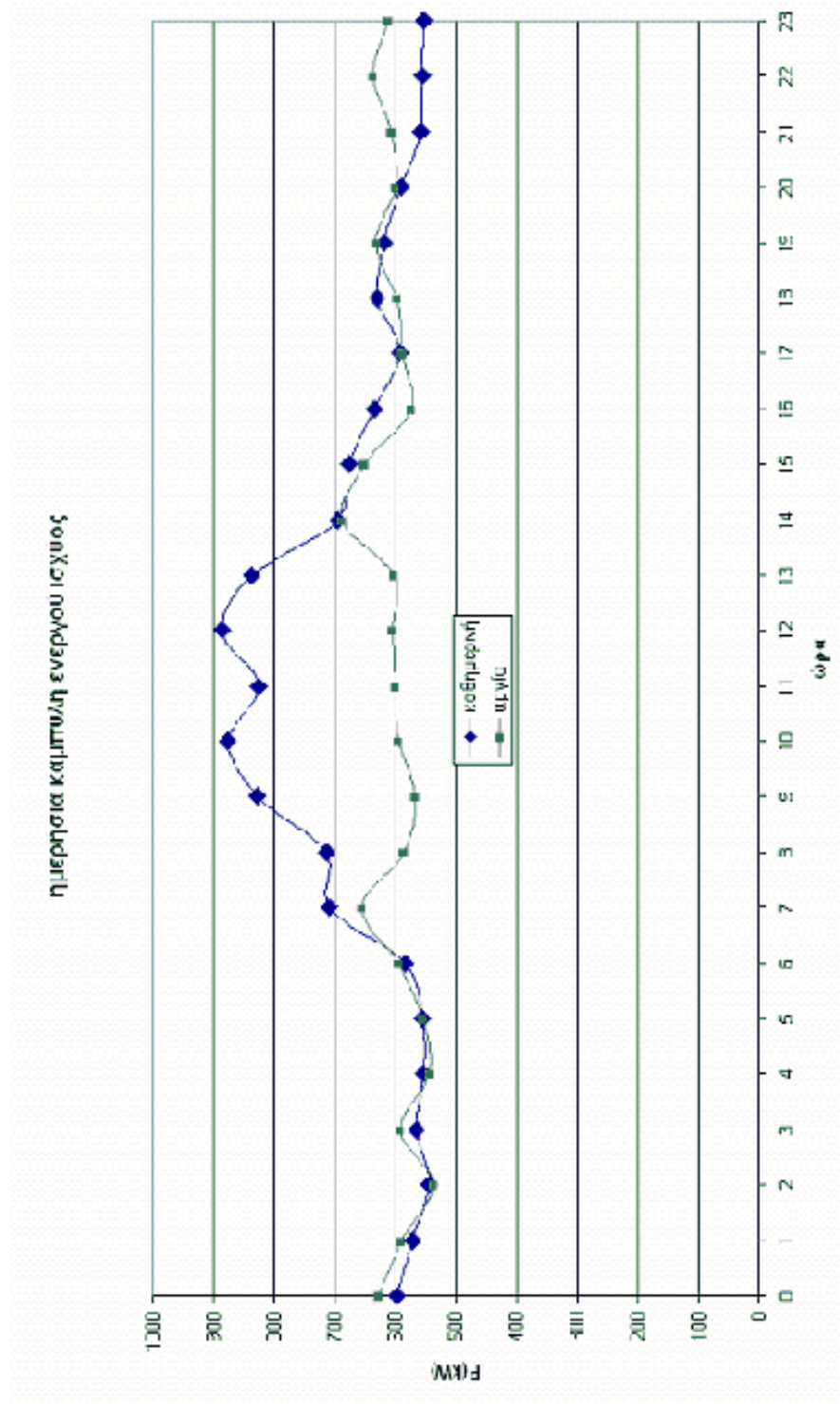
Πολύ εύκολα από τις παραπάνω μετρήσεις μπορούμε να δημιουργήσουμε την ημερήσια καμπύλη φαινόμενης, ενεργού ή αέργου ισχύος.

Για την ενεργό ισχύ: $P(\text{Watt}) = (I_{1,1} + I_{2,1} + I_{3,1}) \times V_{\phi} \times \cos\phi + (I_{1,2} + I_{2,2} + I_{3,2}) \times V_{\phi} \times \cos\phi$
 όπου: I_{1,1} εννοείται το ρεύμα της φάσης 1 του μετασχηματιστή No1

I_{1,2} εννοείται το ρεύμα της φάσης 1 του μετασχηματιστή No2

Παρατηρούμε, επίσης, ότι το ηλεκτρικό φορτίο διαθέτει πολύ καλό συντελεστή ισχύος (πάνω από 0,90), πράγμα που σημαίνει ότι η φαινόμενη ισχύς δεν διαφέρει πολύ (κατά μέτρο) από την πραγματική.

Στο Σχήμα 5.9 βλέπουμε την ημερήσια καμπύλη κατανάλωσης ενεργού ισχύος σύμφωνα με τις παραπάνω μετρήσεις. Φυσικά η καμπύλη αυτή θα είναι μετατοπισμένη προς τα πάνω την περίοδο του καλοκαιριού όπου η ζήτηση, λόγω κλιματιστικών, είναι αυξημένη.



Σχήμα 5.9 Τυπική ημερήσια καμπύλη ενεργού ισχύος για καθημερινή και αργία.

Ο Πίνακας 5.3.1 δείχνει τη μέγιστη καταγραφείσα ισχύ ανά μήνα για τα έτη 2001, 2002 και 2003. Οι πληροφορίες αυτές εξήχθησαν από τους λογαριασμούς της Δ.Ε.Η. Ο Πίνακας 5.3.2 δείχνει τα αποτελέσματα των μετρήσεων σύμφωνα με τα οποία εξήχθη το Σχήμα 5.9.

Πίνακας 5.3.1 Μέγιστη ισχύς ανά μήνα

Μήνας	Ισχύς (kW)		
	2003	2002	2001
Ιαν	962	842	828
Φεβρ	958	850	821
Μαρ	958	830	871
Απρ	905	862	794
Μαιος	967	746	821
Ιουν	1176	1051	1049
Ιουλ	1243	1020	1195
Αυγ	1166	1133	1104
Σεπτ	1274	972	1068
Οκτ	960	910	920
Νοε	890	845	866
Δεκ	900	886	900
Max ισχύ	1274	1133	1195

Πίνακας 5.3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

ΩΡΑ	Καθημερινή P(kW)	Αργία P(kW)	ΩΡΑ	Καθημερινή P(kW)	Αργία P(kW)
0:00	597.681	629.043	12:00	886.778	605.331
1:00	572.293	589.992	13:00	838.146	602.834
2:00	544.829	537.24	14:00	694.437	689.529
3:00	564.735	593.814	15:00	677.411	652.267
4:00	552.597	545.054	16:00	634.226	575.43
5:00	555.547	555.074	17:00	592.938	588.446
6:00	583.987	594.428	18:00	630.488	598.278
7:00	708.683	655.354	19:00	618.069	633.555
8:00	713.802	585.578	20:00	589.746	600.883
9:00	827.917	566.543	21:00	557.099	606.408
10:00	876.284	594.752	22:00	556.673	636.415
11:00	825.62	600.345	23:00	553.326	611.571

5.4 Βασικός ενεργειακός εξοπλισμός

5.4.1 Λέβητες

Τα κύρια τεχνικά στοιχεία των υπαρχόντων ατμολεβητών, ατμογεννητριών και λεβητών νερού φαίνονται στους παρακάτω Πίνακες.

Πίνακας 5.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ⁷

	No1	No2	No3
Κατασκευαστής	ΑΧ. ΚΟΥΠΠΑΣ	ΑΧ. ΚΟΥΠΠΑΣ	ΑΧ. ΚΟΥΠΠΑΣ
Έτος εγκατάστασης	1987	1960	1960
Ισχύς(kcal/h)	1.250.000	800.000	800.000
Παροχή ατμού(kg/h)	----	----	----
Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	60-90	60-90	60-90
Μέγιστη πίεση(bar)	0.5	0.5	0.5

⁷ Όπου υπάρχει παύλα (--) είναι πληροφορίες που δεν ήταν δυνατόν να συγκεντρωθούν.

Πίνακας 5.5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΑΤΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

	No1	No2	No3	No4
Κατασκευαστής	ΑΧ. ΚΟΥΠΠΑΣ	ΑΧ. ΚΟΥΠΠΑΣ	ΑΧ. ΚΟΥΠΠΑΣ	(υπο κατασκευή)
Έτος εγκατάστασης	1977	1977	1986	2004
Ισχύς(kcal/h)	----	----	----	360.000
Παροχή ατμού(kg/h)	600	600	600	600
Μέγιστη πίεση(bar)	15	15	15	15

Πίνακας 5.6 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

	No1	No2	No3	No4	No5
Κατασκευαστής	SIME	De Dietrich	----	ΦΥΡΟΓΕΝΗΣ	ΦΥΡΟΓΕΝΗΣ
Έτος εγκατάστασης	1989	1990	2004	2003	1989
Ισχύς(kcal/h)	183.500	315.000	450.000	200.000	360.000
Παροχή ατμού(kg/h)	----	----	----	----	----
Θερμοκρασία λειτουργίας (βαθμούς C)	60-80	60-80	60-80	60-80	60-80

Το ανεξάρτητο εξαόροφο κτίριο που στεγάζει τις διοικητικές υπηρεσίες, τον παιδικό σταθμό, τις κλίνες για ανάπαυση των εφημερευόντων και τη Σχολή Εκπαίδευσης Νοσοκόμων εξυπηρετείται αποκλειστικά και μόνο από τον Λέβητα Νερού Νο5 για τις ανάγκες σε ζεστό νερό και θέρμανση. Η ψύξη καλύπτεται από κλιματιστικές μονάδες διαιρούμενου τύπου (split units).

Οι τρεις ατμολέβητες χρησιμοποιούνται για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε όλο το υπόλοιπο συγκρότημα των κτιρίων, παρέχουν ατμό στα μαγειρεία και τέλος χρησιμοποιούνται για θέρμανση των περισσότερων κλινικών και εξεταστηρίων.

Οι τρεις υπάρχουσες ατμογεννήτριες χρησιμοποιούνται για παραγωγή ατμού που καταναλώνεται στην Κεντρική Αποστείρωση και στα Πλυντήρια (σιδερωτήριο).

Οι υπόλοιποι λέβητες νερού (No1,No2,No3,No4) χρησιμοποιούνται για θέρμανση των υπολοίπων χώρων.

Ο κλιματισμός των Χειρουργείων, της Μονάδας Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ), της Κεντρικής Αποστείρωσης και του ΤΕΠ επιτυγχάνεται με κεντρικές μονάδες που διαθέτουν πύργους ψύξης νερού που λειτουργούν με ρεύμα.

Για την ψύξη των υπολοίπων χώρων του Νοσοκομείου χρησιμοποιούνται fancoils οροφής ή δαπέδου και split units.

Η συνολική εγκατεστημένη θερμική ισχύς είναι:

Ατμολέβητες:	2.850.000 kcal/h
Ατμογεννήτριες:	1.080.000 kcal/h (περίπου)
Λέβητες θερμού νερού:	1.508.500 kcal/h
Σύνολο:	5.438.500 kcal/h (6324 kW)

Με την ενσωμάτωση της νέας ατμογεννήτριας(No4) το σύνολο θα είναι:

Σύνολο: 5.798.500 kcal/h (6742 kW)

5.4.2 Εξοπλισμός κέντρου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Για την τροφοδότηση των υπάρχοντων κτιρίων με ηλεκτρική ενέργεια έχουν εγκατασταθεί τα ακόλουθα:

Μ/Σ: 2x1000 kVA (20kV/400V)

Η/Ζ: 1x35 kVA (ΜΕΘ, Χειρουργεία)

1x125 kVA (ΤΕΠ)
1x625 kVA (λοιπά κτίρια)
1x400 kVA (--/--)

Επίσης σύντομα θα τεθεί σε λειτουργία ένας νέος Μ/Σ ισχύος 1000kVA προς ελάφρυνση του φόρτου των άλλων δύο και διευκόλυνση κατά τις συντηρήσεις.

Η συνολική ισχύς των μετασχηματιστών, μαζί με τον νέο είναι:

$$(2 \times 1000 \text{ kVA} + 1000 \text{ kVA}) = 3000 \text{ kVA}$$

Η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς είναι περίπου 2000kW, σύμφωνα με την Τεχνική Υπηρεσία του Νοσοκομείου.

5.5 Σύγκριση κόστους φυσικού αερίου και πετρελαίου Diesel

Το κόστος των καυσίμων συγκρίνεται βάσει του κόστους της μονάδας ενέργειας (kWh κατώτερης θερμογόνου δύναμης).

Περισσότερα στοιχεία για το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β.

5.6 Κόστος σύνδεσης με το δίκτυο φυσικού αερίου

Σύμφωνα με στοιχεία που δόθηκαν από την ΕΠΑ (Φεβρουάριος 2005), το κόστος σύνδεσης του ΚΑΤ (που θεωρείται μεγάλος καταναλωτής) με το δίκτυο φυσικού αερίου ανέρχεται στα 4400 ευρώ συν ΦΠΑ (18%). Αυτή η τιμή είναι ίδια για όλους τους μεγάλους καταναλωτές, εφόσον υπάρχει στην περιοχή αγωγός φυσικού αερίου.

Επίσης, απαιτείται και μια εγγυητική επιστολή από τράπεζα που θα εγγυάται την αξιοπιστία του πελάτη (του νοσοκομείου στην περίπτωση μας). Σε περίπτωση καθυστέρησης πληρωμής του πρώτου λογαριασμού πέραν των εξήντα ημερών, η τράπεζα υποχρεούται να καταβάλει το αντίτιμο των 35 ημερών κατανάλωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο μελετάται η οικονομική βιωσιμότητα και η δυνατότητα επένδυσης μονάδας συμπαραγωγής με καύση φυσικού αερίου στο Νοσοκομείο ΚΑΤ. Διακρίνουμε τα παρακάτω δύο ενεργειακά σενάρια για το Νοσοκομείο, μεταξύ των οποίων γίνεται η σύγκριση:

Σενάριο Νο1: «Συμβατική λύση»

Η ηλεκτροδότηση γίνεται από τη ΔΕΗ και τα θερμικά φορτία καλύπτονται από τους υπάρχοντες λέβητες που λειτουργούν με πετρέλαιο.

Σενάριο Νο2: «Συμπαραγωγή»

Εγκατάσταση μονάδας Συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας που λειτουργεί με φυσικό αέριο.

6.2 Συμβατική λύση

6.2.1 Εξοπλισμός

Οι θερμικές και ηλεκτρικές ανάγκες του Νοσοκομείου καλύπτονται από τον εξοπλισμό που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 5. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι ο λόγος της εγκατεστημένης θερμικής ισχύος (6742 kW) προς την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ (~2000 kW) είναι 3,3:1.

6.2.2 Κατανάλωση ενέργειας συμβατικής λύσης

Τα στοιχεία της κατανάλωσης ενέργειας των υπαρχόντων κτιρίων του Νοσοκομείου (ηλεκτρική ενέργεια, πετρέλαιο) παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 5. Αν λάβουμε υπόψιν την Κατώτερη Θερμογόνο Δύναμη του πετρελαίου (βλ. Παράρτημα Β), τότε ισχύει: $H_u = 9.90 \text{ kWh/lit}$.

Συνοπτικά έχουμε:

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh_e)	Κατανάλωση θερμικής ενέργειας (kWh_{th})
5.611.600	10.384.805

Παρατηρήσεις:

1. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ελήφθη ίση με αυτή του 2003, που είναι και η μεγαλύτερη από αυτές των ετών 2001 και 2002. Όπως είδαμε και προηγουμένως η κατανάλωση αυξάνεται από έτος σε έτος, κάτι που είναι συνέπεια των αυξανόμενων απαιτήσεων για κλιματισμό.
2. Η κατανάλωση της θερμικής ενέργειας ελήφθη ίση με αυτή του 2003, που είναι και η μεγαλύτερη. Θέσαμε την απόδοση των λεβητών, όταν λειτουργούν με πετρέλαιο, ίση με 0,75. Άρα η θερμική ενέργεια που καταναλώνεται ωφέλιμα είναι : $1.398.627 \text{ lit} \times 9.90 \text{ kWh/lit} \times 0.75$.
3. Ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια είναι: 1:1,85

6.2.3 Ενεργειακό κόστος συμβατικής λύσης

Το ετήσιο κόστος ενέργειας και συντήρησης για τη συμβατική λύση είναι:

Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας(βλ. Πίνακα 6.1) :

$$4.918.549 \times 0,05607 + 800.651 \times 0,03714 = 305.519 \text{ ευρώ}$$

Κόστος ισχύος : **= 99.743 ευρώ**

Κόστος θερμικής ενέργειας: $1.398.627 \text{ lit} \times 0,436 \text{ ευρώ/lit} =$
= 609.801 ευρώ

Κόστος συντήρησης: **= 10.000 ευρώ**

Συνολικό ενεργειακό κόστος: 1.025.063 ευρώ

Παρατηρήσεις:

1. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίσθηκε σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 6.1 και τις κιλοβαττώρες που καταναλώθηκαν το 2003. Ως κόστος ισχύος τέθηκε αυτό που καταβλήθηκε στη ΔΕΗ σύμφωνα με τους λογαριασμούς του 2003.
2. Το κόστος της θερμικής ενέργειας υπολογίσθηκε από την κατανάλωση του 2003 και την τρέχουσα τιμή του πετρελαίου θέρμανσης (βλ. Παράρτημα Β)

Πίνακας 6.1. Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (Μάρτιος 2005)

Τιμολόγιο Β1 Μηνιαία χρέωση

Ενέργεια:

Οι πρώτες 400 kWh ανά kW (ΜΖ) 0,05607 €/kWh

Οι υπόλοιπες 0,03714 €/kWh

Ισχύς: Χρεωστέα ζήτηση (ΧΖ) 9,4138 €/kW

6.3 Μονάδα συμπαραγωγής

6.3.1 Κριτήρια επιλογής

Τα συστήματα συμπαραγωγής αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 2. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για παραγωγή ψυχρού νερού (τριπαραγωγή),(βλ. Παράρτημα Α).

Η επιλογή των εναλλακτικών λύσεων και αντιστοίχως των μηχανημάτων γίνεται με τα παρακάτω κριτήρια:

α) Το μέγεθος της ισχύος των μονάδων συμπαραγωγής προσδιορίζεται κατ' αρχήν από τη θερμική απόδοση ώστε η παραγωγή θερμότητας να μην υπερβαίνει τις απαιτήσεις του θερμικού φορτίου.

β) Κύριος και καθοριστικός είναι ο ρόλος του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα για κάθε ένα από τα συστήματα που αναλύθηκαν. Ο λόγος αυτός συναρτάται και προς τον ολικό βαθμό απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής.

Συνυπολογίζονται επίσης και τα εξής:

- 1) Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο και η δυνατότητα αποθήκευσης και τροφοδοσίας του.
- 2) Η ύπαρξη εφεδρικού H/Z που να καλύπτει τα φορτία ανάγκης.
- 3) Το θερμοκρασιακό επίπεδο της παραγόμενης θερμότητας.
- 4) Οι εκπεμπόμενοι ρύποι κλπ.

Στην παρούσα εργασία θα εξετασθεί η περίπτωση της αεριομηχανής (gas engine) και του αεριοστρόβιλου (gas turbine). Σημειώνεται ότι δεν θα γίνει αναφορά σε κινητήρα Diesel, λόγω των πλεονεκτημάτων που διαθέτει το φυσικό αέριο έναντι του πετρελαίου (τιμή, καθαρότητα, απόδοση), και σε ατμοστρόβιλο λόγω υψηλού κόστους εγκαταστάσεως και συντηρήσεως.

6.3.2 Επιλογή μηχανημάτων της μονάδας συμπαραγωγής

Λαμβάνοντας υπόψιν τα στοιχεία των φορτίων, τα στοιχεία της ενεργειακής κατανάλωσης, τον Πίνακα 5.3 και τα προαναφερθέντα κριτήρια επιλογής της παραγράφου 6.3.1, καταλήγουμε στην θεώρηση να καλύψουμε το ηλεκτρικό φορτίο στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Οι ανάγκες για επιπλέον θερμικό φορτίο θα καλύπτονται με συμπληρωματική καύση φυσικού αερίου στους ήδη υπάρχοντες λέβητες:

Πρώτο σύστημα: Αεριομηχανή (gas engine) καύσης φυσικού αερίου

Το σύστημα αποτελείται από δύο μηχανές εσωτερικής καύσης φυσικού αερίου και περιλαμβάνει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό, δηλαδή γεννήτριες, δοχείο αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (STORAGE) με βοηθητικό καυστήρα, εναλλάκτες θερμότητας, αντλίες, αυτοματισμούς, σύστημα παραλληλισμού προς το δίκτυο της ΔΕΗ, μετρητές αγοράς και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας κλπ.

Η επιλογή δύο αεριομηχανών αντί μιας μεγαλύτερης δίνει ευελιξία στο σύστημα συμπαραγωγής ανάλογα με την καμπύλη διάρκειας του φορτίου, τις προγραμματισμένες διακοπές και τις βλάβες. Τα χαρακτηριστικά της κάθε μιας αεριομηχανής, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα.

Χαρακτηριστικά αεριομηχανής (gas engine)

Ηλεκτρική ισχύς (kWe)	507
Θερμική ισχύς (kWth)	642
Ισχύς καυσίμου (kW)	1346
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης(%)	37.7
Θερμικός βαθμός απόδοσης(%)	47.7
Ολικός βαθμός απόδοσης(%)	85.4

Δεύτερο Σύστημα: Αεριοστρόβιλος

Το σύστημα αποτελείται από αεριοστρόβιλο καύσης φυσικού αερίου, τον λέβητα ανάκτησης της θερμότητας των καυσαερίων, τον βοηθητικό καυστήρα φυσικού αερίου(μετακαυστήρα), τη γεννήτρια, τη μονάδα συμπίεσης φυσικού αερίου και τον λοιπό εξοπλισμό αντίστοιχο του πρώτου συστήματος. Τα χαρακτηριστικά του, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, φαίνονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

Χαρακτηριστικά αεριοστροβίλου

Ηλεκτρική ισχύς (kWe)	1089
Θερμική ισχύς (kJ/s)	2963
Ισχύς καυσίμου (kJ/s)	5172
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης(%)	21.1
Θερμικός βαθμός απόδοσης(%)	57.3
Ολικός βαθμός απόδοσης(%)	78.4

6.3.3 Φορτία Συμπαγωγής

Τα φορτία του νοσοκομείου στην περίπτωση εγκατάστασης μονάδας συμπαγωγής διαφοροποιούνται σε σχέση με τα φορτία της συμβατικής λύσης μόνο όταν εγκατασταθούν ταυτόχρονα ψύκτες απορρόφησης. Στην περίπτωση αυτή θα υπάρξει μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και αύξηση του θερμικού φορτίου λόγω της απαιτούμενης θερμότητας για τη λειτουργία των ψυκτών.

6.3.4 Ενεργειακό κόστος μονάδων συμπαραγωγής

6.3.4.1 Μονάδα συμπαραγωγής με αεριομηχανή

Το συνολικό ενεργειακό κόστος για το σύστημα των 2 αεριομηχανών αποτελείται από τα εξής επιμέρους κόστη :

- Κόστος φυσικού αερίου μονάδας συμπαραγωγής
- Κόστος φυσικού αερίου λεβήτων για την πρόσθετη θερμότητα
- Κόστος αγοράς επιπρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας όταν η Μονάδα Συμπαραγωγής δεν αρκεί για να καλύψει το φορτίο του Νοσοκομείου.
- Κόστος συντήρησης

Από αυτά τα έξοδα αφαιρούνται τα έσοδα από την πώληση της περίσσειας της ηλεκτρικής ενέργειας, όταν αυτό είναι εφικτό. Τα παραπάνω κόστη εξαρτώνται από τις ώρες λειτουργίας της μονάδας στο έτος. Έτσι, για διαφορετικές ώρες λειτουργίας θα έχουμε διαφορετικά έξοδα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2. Ενεργειακό κόστος Συστήματος αεριομηχανών

	ώρες/έτος			
	4000	5000	6000	7000
Κόστος φυσικού αερίου μονάδας συμπαραγωγής	269200	336500	403800	471100
Κόστος φυσικού αερίου λεβήτων	164025.16	123900.16	83775.16	43650.16
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	104710.55	36456.179	0	0
Κόστος συντήρησης	40560	50700	60840	70980
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας (αφαιρούνται)	0	0	0	0
Συνολικό κόστος λειτουργίας(ευρω)	578495.7	547556.34	548415.2	585730.2

Παρατηρήσεις επί του Πίνακα 6.2:

- Θεωρήσαμε τις 4000,5000,6000 και 7000 ώρες ως ενδεικτικές για μια πρώτη προσέγγιση του κόστους λειτουργίας.
- Για το κόστος φυσικού αερίου θέσαμε ως μέση τιμή για καταναλωτές όπως το νοσοκομείο την τιμή των 25ευρώ/MWh (βλ. Παράρτημα Β).
- Το κόστος φυσικού αερίου της μονάδας συμπαραγωγής υπολογίζεται εύκολα αν πολλαπλασιάσουμε την ισχύ καυσίμου της μονάδας (βλ. πίνακα χαρακτηριστικών παρ. 6.3.2) επί της ώρες λειτουργίας και επί την τιμή του αερίου ανά kWh.
- Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκε με τιμή κιλοβατώρας 0,067312 ευρώ. (Η τιμή αυτή είναι μια μέση τιμή που περιλαμβάνει κόστος ισχύος και ενέργειας). Στην περίπτωση, βεβαίως, των 6000 και 7000 ωρών λειτουργίας της μονάδας θέσαμε μηδενικό κόστος. Στην πραγματικότητα θα αγοράζεται ηλεκτρική ενέργεια από τη ΔΕΗ κατά τη διάρκεια πιθανής αιχμής του φορτίου που δεν θα μπορεί να καλύψει η Μονάδα Συμπαραγωγής(δηλ. πάνω από 1014kW). Αυτό, όμως, θα είναι για λίγες ώρες το χρόνο. Βέβαια, σε περίπτωση βλάβης της Μονάδας που θα καλύπτεται όλο το φορτίο από τη ΔΕΗ, το Νοσοκομείο θα δέχεται οικονομικές κυρώσεις(penalty).
- Το κόστος φυσικού αερίου των λεβητών είναι το κόστος που πληρώνει το Νοσοκομείο για την πρόσθετη παραγωγή θερμικής ενέργειας που δεν μπορεί να καλύψει η Μονάδα. Η πρόσθετη καύση φυσικού αερίου γίνεται στους ήδη υπάρχοντες λέβητες. Θεωρήσαμε βαθμό απόδοσης λεβητών που λειτουργούν με φυσικό αέριο: 80%.
- Το κόστος συντήρησης είναι, σύμφωνα με τους κατασκευαστές, 0,01 ευρώ ανά παραγόμενη ηλεκτρική κιλοβατώρα.
- Όσον αφορά την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει τιμολόγιο πώλησης (βλ. Παράρτημα Γ) για σύνδεση στη μέση ή στη χαμηλή τάση. Όμως, μέχρι τώρα κανένας αυτοπαραγωγός που λειτουργεί με συμπαραγωγή δεν πωλεί ηλ. ενέργεια στον ΔΕΣΜΙΕ.

6.3.4.2 Μονάδα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο

Για το συνολικό ενεργειακό κόστος του συστήματος του αεριοστροβίλου ισχύουν τα ίδια επιμέρους κόστη που είδαμε στην παράγραφο 6.3.4.1. Το ενεργειακό κόστος φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3. Ενεργειακό κόστος συστήματος αεριοστροβίλου

	ώρες/έτος			
	4000	5000	6000	7000
Κόστος φυσικού αερίου μονάδας συμπαραγωγής	517200	646500	775800	905100
Κόστος φυσικού αερίου λεβητών	0	0	0	0
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	84516.947	11214.179	0	0
Κόστος συντήρησης	30492	38115	45738	53361
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας (αφαιρούνται)	0	0	0	0
Συνολικό κόστος λειτουργίας(ευρω)	632208.95	695829.18	821538	958461

Παρατηρήσεις επί του Πίνακα 6.3:

- Για το κόστος φυσικού αερίου και ηλ. ενέργειας ισχύουν τα ίδια της προηγούμενης παραγράφου.
- Το κόστος φυσικού αερίου των λεβητών τέθηκε μηδέν για όλες τις ώρες λειτουργίας επειδή η παραγωγή θερμότητας του Συστήματος είναι μεγαλύτερη από την ετήσια κατανάλωση του Νοσοκομείου. Η συγκεκριμένη Μονάδα καλύπτει την ετήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας του Νοσοκομείου σε 3.504 ώρες ($10.384.805 \text{ kWh} / 2963 \text{ kW}_{\text{th}} = 3.504 \text{ h}$). Αυτές οι ώρες λειτουργίας είναι αντιοικονομικές, όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 4. Επίσης, δεν είναι δυνατόν να αποθηκεύεται η θερμότητα σε μπόιλερ για όλο τον υπόλοιπο χρόνο που η μονάδα δεν θα λειτουργεί ή δεν ενδείκνυται να αποβάλλεται η παραγόμενη θερμότητα στο περιβάλλον, στην περίπτωση που η μονάδα λειτουργεί πέραν των 3.504 ωρών. Όμως, δεν υπάρχουν στο εμπόριο συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο που να έχουν ηλεκτρική ισχύ μικρότερη από 1 MW_e και αντίστοιχη θερμική ισχύ μικρότερη από 2800-2900 kW_{th} .
- Το κόστος συντήρησης, σύμφωνα με τους κατασκευαστές, είναι περίπου 7 ευρώ ανά παραγόμενη MWh_e .

6.3.5 Κόστος επένδυσης μονάδων συμπαραγωγής

Το κόστος επένδυσης των υπό εξέταση μονάδων Συμπαραγωγής παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα. Οι πληροφορίες αντλήθηκαν για τις μεν αεριομηχανές από εταιρείες που τις εμπορεύονται και τις εγκαθιστούν και για τον αεριοστρόβιλο από τη Βιβλιογραφία [1]- Κεφάλαιο 6.

Πίνακας 6.4. Κόστος επένδυσης συστημάτων Συμπαραγωγής

	Αεριομηχανές(2 X 507kW _e)	Αεριοστρόβιλος
Κόστος συστήματος συμπαραγωγής	700.000	1.200.000
Συνδέσεις,εγκαταστάσεις και λοιπά έξοδα	200.000	300.000
Σύνολο επένδυσης	900.000 ευρώ	1.500.000 ευρώ

Παρατηρήσεις:

- Το κόστος του συστήματος συμπαραγωγής περιλαμβάνει όλα τα παρελκόμενα εξαρτήματα και συσκευές, όπως λέβητες ανάκτησης θερμότητας, αντλίες, σωληνώσεις, αυτοματισμούς κλπ.
- Στο κόστος των συνδέσεων, εγκαταστάσεων και λοιπών εξόδων περιλαμβάνονται τα έξοδα για σύνδεση με το δίκτυο φυσικού αερίου, ο παραλληλισμός με τη ΔΕΗ, ο μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης (για την εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη μέση τάση), η δημιουργία κτιριακής εγκατάστασης που θα φιλοξενήσει την συμπαραγωγική μονάδα, τα έξοδα μεταφοράς και εγκατάστασης της Μονάδας, η ηχομόνωση και τυχόντα απρόβλεπτα μικροέξοδα.

6.3.6 Ενδεικτική περίοδος αποπληρωμής (simple payback period) για 6000 ώρες λειτουργίας της μονάδας

Θεωρούμε, ενδεικτικά, ότι η Μονάδα λειτουργεί 6000 ώρες από τις 8760 ώρες που έχει ο χρόνος για να κάνουμε μια σύγκριση της επένδυσης των δύο συστημάτων.

Ενεργειακό κόστος συμβατικής λύσης : 1.025.063 ευρώ

Ενεργειακό κόστος Συστήματος αεριομηχανών: 548.415 ευρώ

Ενεργειακό κόστος Συστήματος αεριοστροβίλου: 821.538 ευρώ

Εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους Συστήματος αεριομηχανών:

$$1.025.063 - 548.415 = 476.648 \text{ ευρώ}$$

Εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους Συστήματος αεριοστροβίλου:

$$1.025.063 - 821.538 = 203.525 \text{ ευρώ}$$

Σύστημα αεριομηχανών

$$\begin{aligned} \text{Περίοδος αποπληρωμής} &= \frac{\text{Συνολικό κόστος επένδυσης}}{\text{Εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους}} = \\ &= 900.000/476.648 = 1.88 \text{ έτη} \end{aligned}$$

Σύστημα αεριοστροβίλου

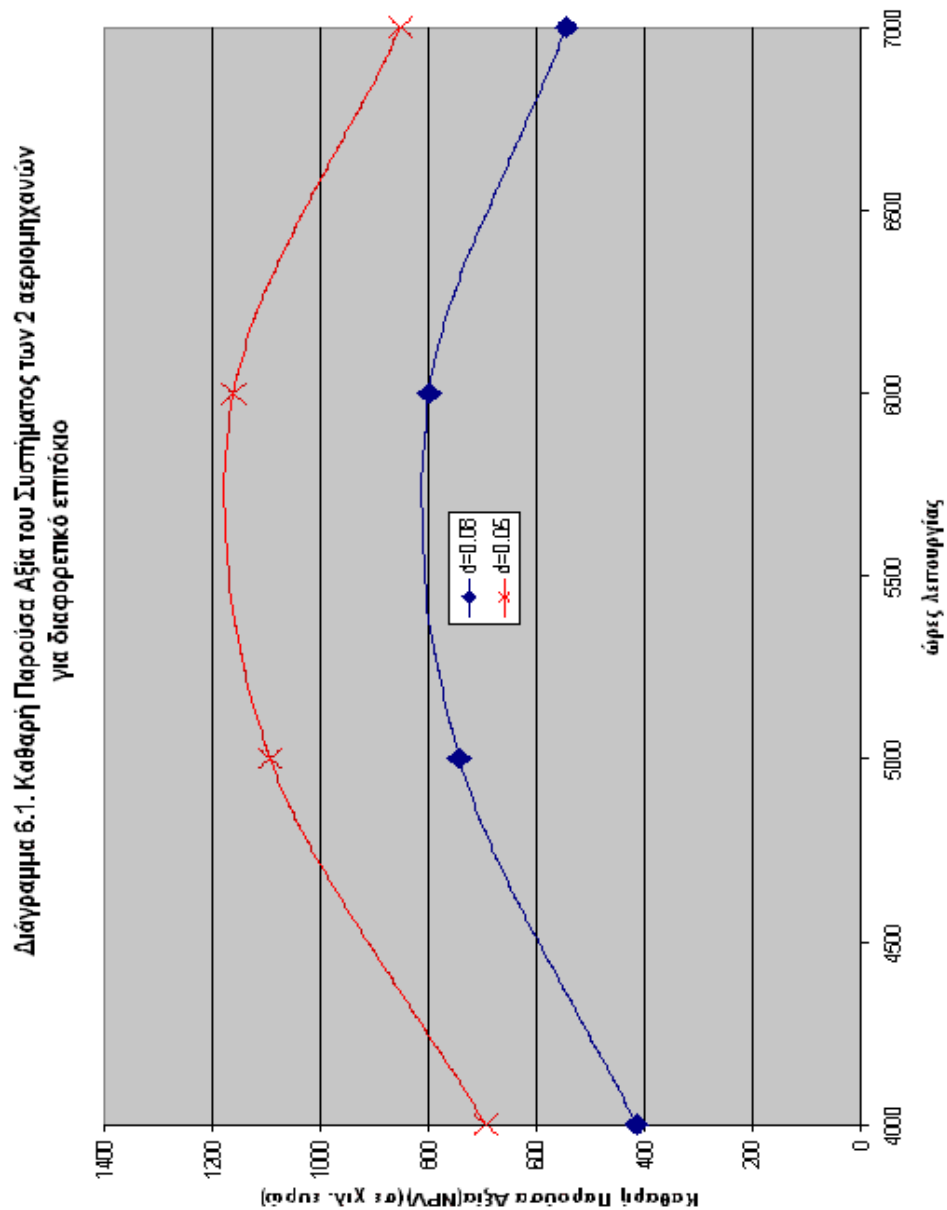
$$\begin{aligned} \text{Περίοδος αποπληρωμής} &= \frac{\text{Συνολικό κόστος επένδυσης}}{\text{Εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους}} = \\ &= 1.500.000/203.525 = 7.37 \text{ έτη} \end{aligned}$$

Όπως φαίνεται με μια πρώτη ματιά η επιλογή αεριομηχανών είναι ελκυστικότερη από τον αεριοστροβίλο. Αυτό δείχνει και η εμπειρία για εγκαταστάσεις με ηλεκτρική ζήτηση μικρότερη των 1300-1500kW.

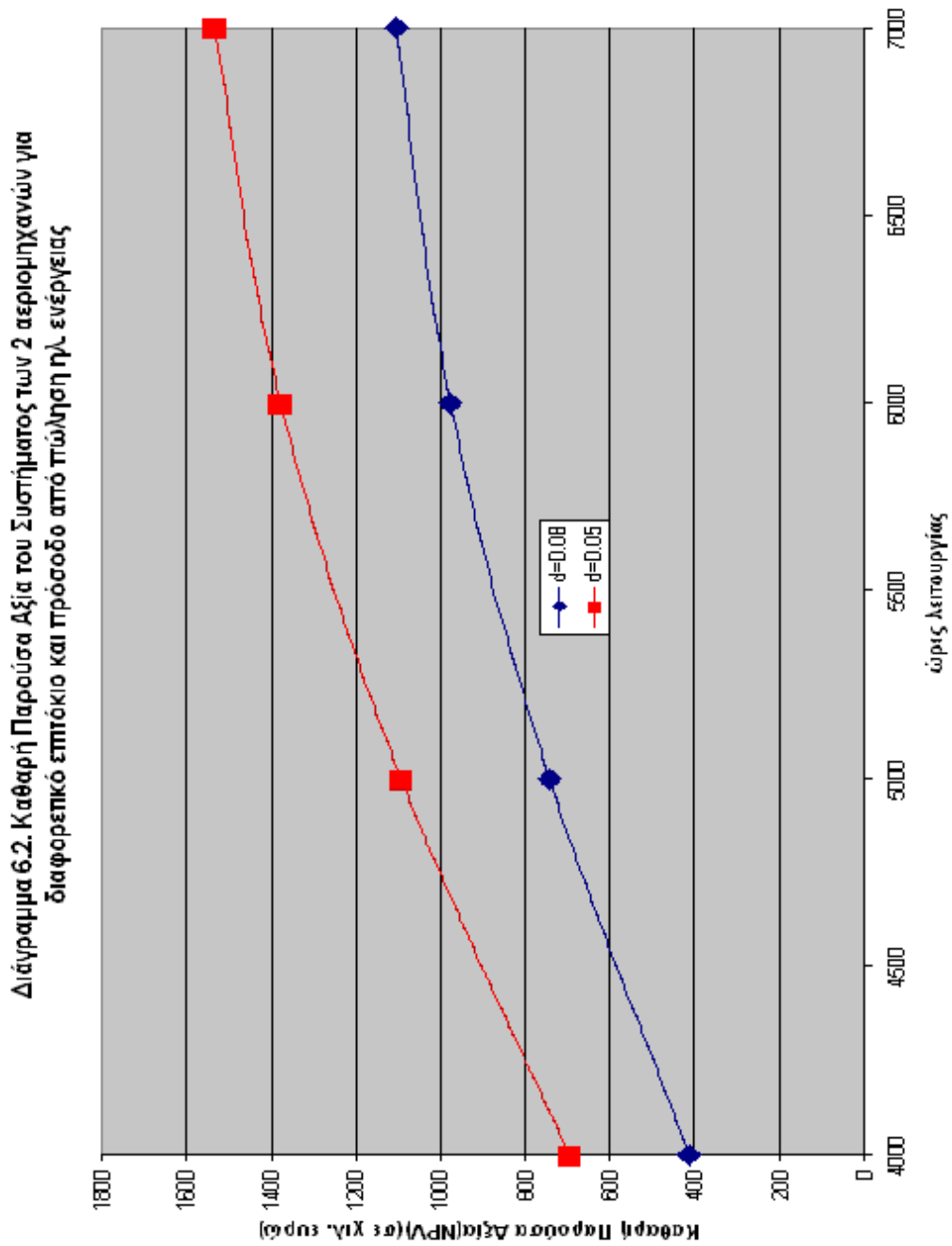
Παρακάτω θα δούμε κάποιες οικονομικές παραμέτρους για το σύστημα των δύο αεριομηχανών που έχουν γίνει σύμφωνα με την ανάλυση που γίνεται στο Κεφάλαιο 6 της [1]. Όλοι οι δείκτες πληθωρισμού είναι 0%(σταθερές τιμές). Τα ποσά αναφέρονται σε σταθερές τιμές του 2005.

6.3.7 Καθαρή παρούσα αξία επένδυσης (net present value- NPV)

Η καθαρή παρούσα αξία επένδυσης ορίστηκε στο Κεφάλαιο 3. Θέτοντας αξία εκποίησης ίση με το μηδέν ($SV_N=0$), επιτόκιο αναγωγής $d=8\%$ και $d=5\%$ και διάρκεια ζωής της επένδυσης $N=15$ έτη προκύπτει το Διάγραμμα 6.1.

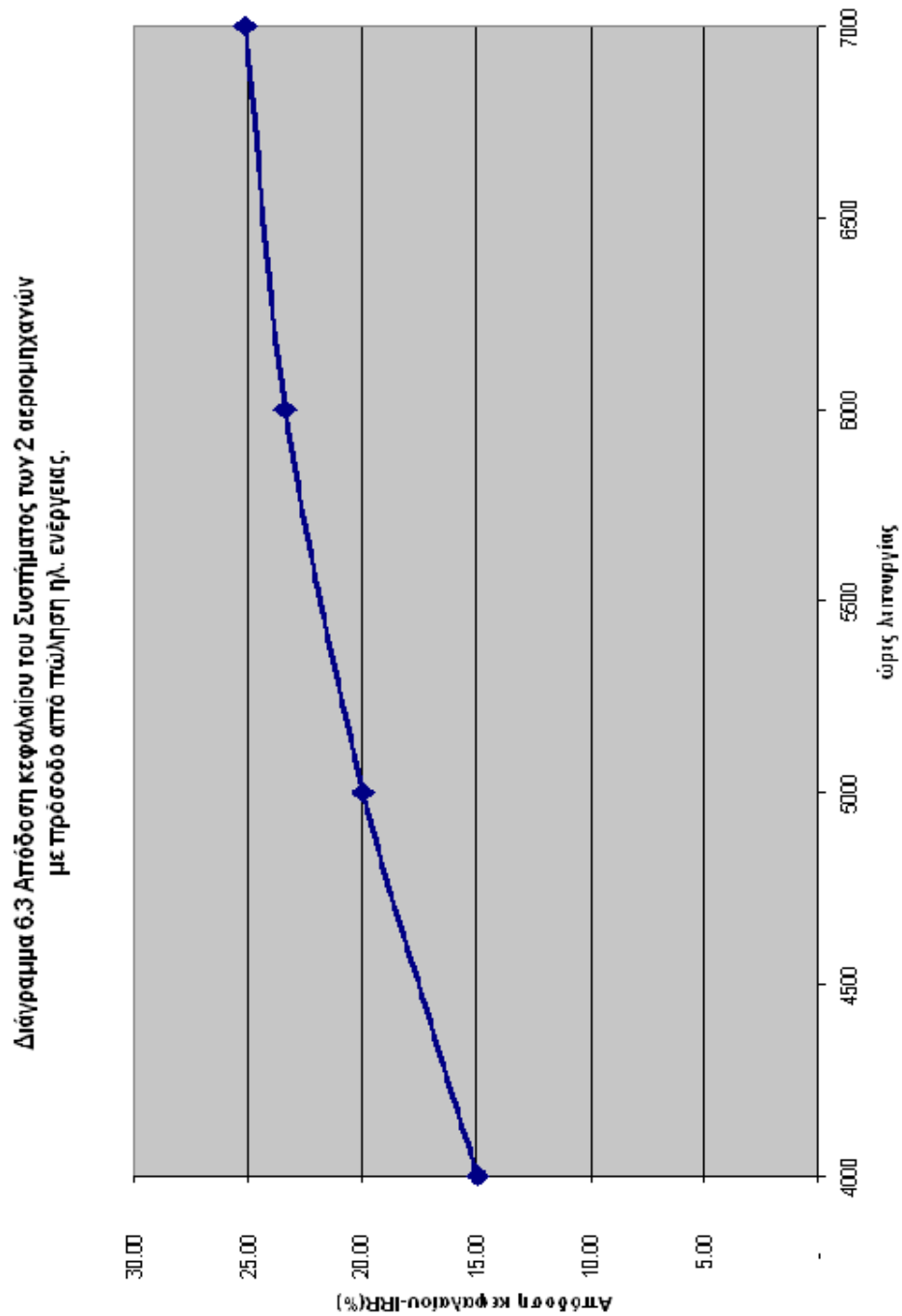


Παρατηρούμε ότι μετά τις 5500 ώρες η καμπύλη κάμπτεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι θεωρήσαμε την πρόσοδο από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας μηδενική. Αν δεν θεωρήσουμε την πρόσοδο μηδενική, τότε το διάγραμμα θα έχει ως εξής:



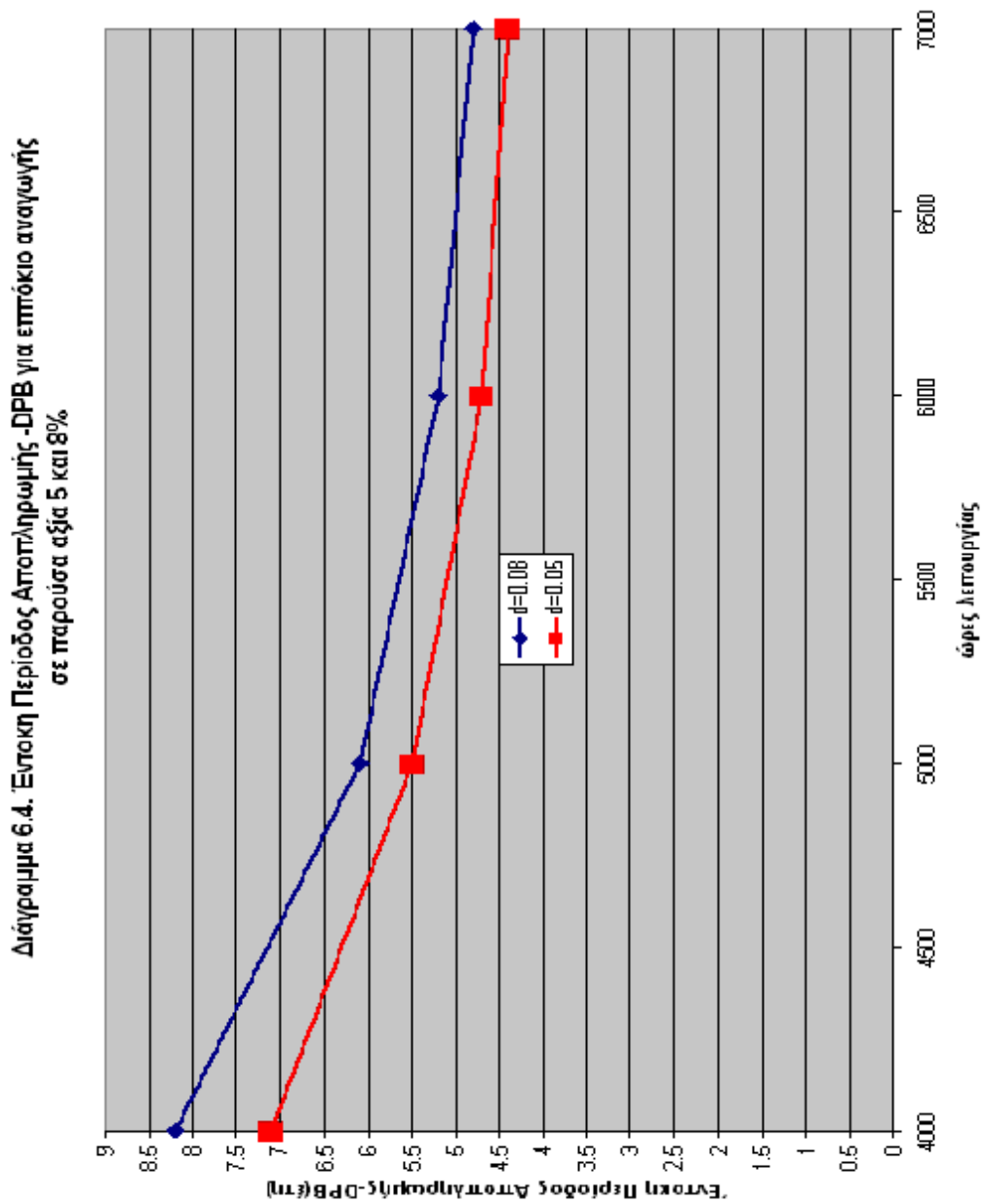
6.3.8 Απόδοση κεφαλαίου (internal rate of return- IRR)

Η απόδοση κεφαλαίου ορίστηκε στο Κεφάλαιο 3. Συνυπολογίζοντας και την πρόσοδο από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει το κάτωθι Διάγραμμα:

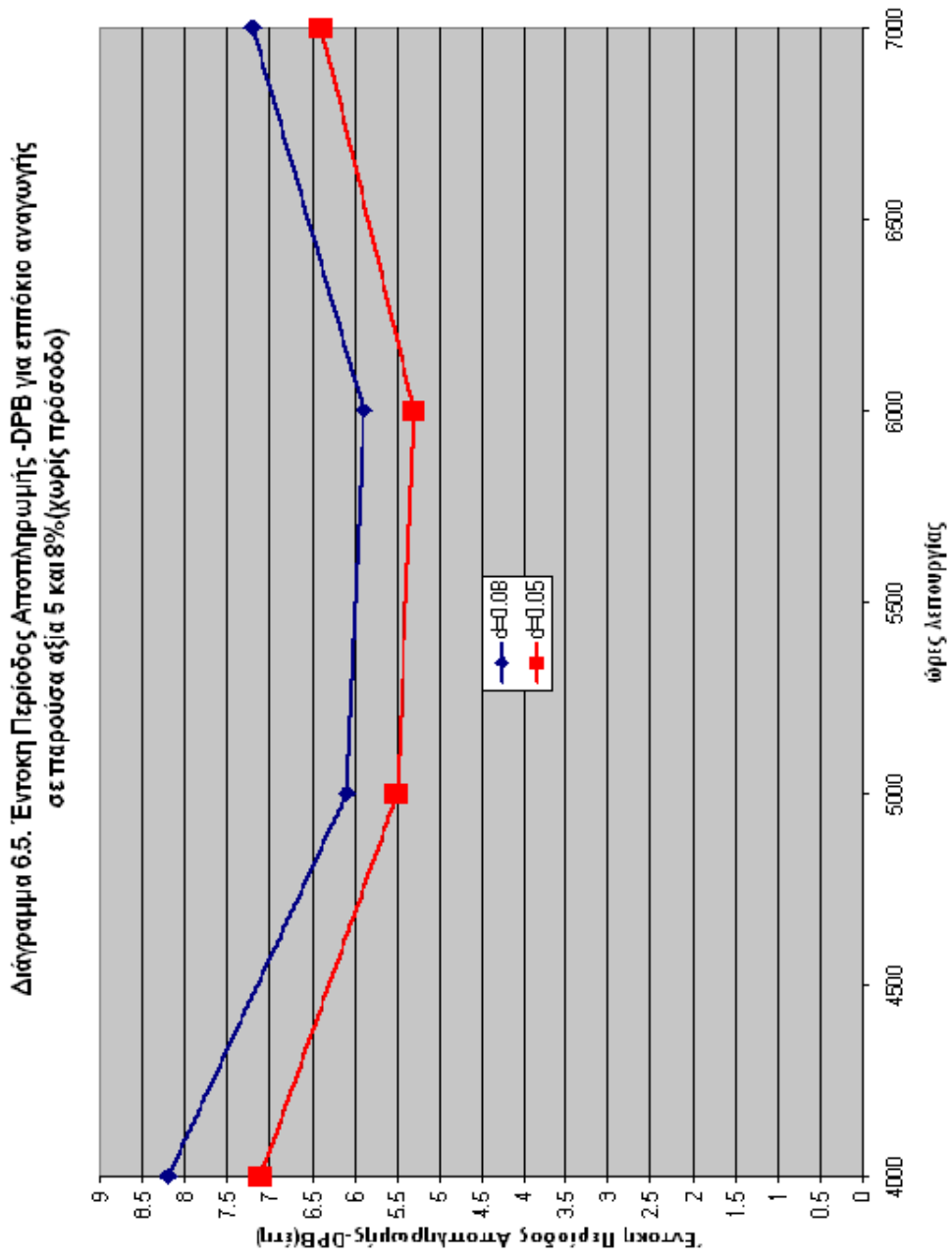


6.3.9 Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (Discounted payback period- DPB)

Η έντοκη περίοδος αποπληρωμής ορίστηκε στο Κεφάλαιο 3. Συνυπολογίζοντας και την πρόσοδο από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει το κάτωθι Διάγραμμα 6.4:



Το ίδιο Διάγραμμα αλλά χωρίς να συνυπολογιστεί η πρόσδοδος φαίνεται παρακάτω:



6.3.10 Συμπεράσματα επί των Διαγραμμάτων

Στα παραπάνω Διαγράμματα αλλού συνυπολογίστηκε η πρόσδοδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας και αλλού όχι. Προς το παρόν (Μάρτιος 2005) δεν πωλείται η περίσσεια λόγω νομικών κωλυμάτων, όμως αυτό σύντομα θα αλλάξει και ο αυτοπαραγωγός θα μπορεί να έχει έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην περίπτωση αυτή το λειτουργικό κόστος για το σύστημα των 2 αεριομηχανών και για 6000 ώρες λειτουργίας θα είναι:

Λειτουργικό κόστος (6000 ώρες, με πρόσδοδο) = 527.596 ευρώ

και η ετήσια εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους: $1.025.063 - 527.596 =$
 $= 497.467$ ευρώ

οπότε η απλή περίοδος αποπληρωμής: $900.000 / 497.467 = 1,80$ έτη

Παρατηρούμε ότι δεν έχει μεγάλη διαφορά με τον χρόνο που βρέθηκε προηγούμενα (1,88 έτη).

6.3.11 Παραγωγή θερμότητας τους «θερμούς» μήνες

Όπως φαίνεται και από τα Σχήματα του προηγούμενου κεφαλαίου τους μήνες Μάιο έως και Σεπτέμβριο παρατηρείται η λιγότερη κατανάλωση πετρελαίου. Η θερμότητα που παράγεται χρησιμοποιείται για παραγωγή ζεστού νερού, ατμού για την Κεντρική Αποστείρωση, τα Πλυντήρια και τα Μαγειρεία και για προθέρμανση του αέρα του κλιματισμού των Χειρουργείων και της Μ.Ε.Θ.

Αυτοί οι πέντε μήνες αντιστοιχούν σε 3.672 ώρες. Ας υποθέσουμε ότι το Σύστημα Συμπαγωγής λειτουργεί 7000 ώρες το έτος. Το έτος έχει 8760 ώρες, άρα οι ώρες που η Μονάδα δεν λειτουργεί είναι 1760. Αν η συντήρηση της Μονάδας γίνεται για κάποιο χρονικό διάστημα μεταξύ των μηνών Μαΐου και Σεπτεμβρίου, τότε το Σύστημα θα λειτουργεί κατά τη διάρκεια των «θερινών» μηνών :

$3672 \text{ ώρες} - 1760 \text{ ώρες} = 1.912 \text{ ώρες}$

Η παραγόμενη θερμότητα από το Σύστημα Συμπαγωγής θα είναι:
 $1284\text{kWth} \times 1.912\text{h} = \mathbf{2.455.008\text{kWh}_{\text{th}}}$

Η παραγόμενη θερμότητα από τους λέβητες (με πετρέλαιο) είναι:

$$391.506\text{lit} \times 9.90\text{kWh/lit} \times 75\%(\text{απόδοση λέβητα}) = \mathbf{2.906.937 \text{kWh}_{\text{th}}}$$

(Ο αριθμός 391.506lt προκύπτει ως το μέσο όρο της κατανάλωσης των «θερινών» μηνών των ετών 2001,2002 και 2003)

Παρατηρούμε ότι το Σύστημα Συμπαγωγής παράγει λιγότερη θερμότητα από αυτήν που χρειάζεται το Νοσοκομείο (για τους μήνες Μάιο-Σεπτέμβριο). Αυτό σημαίνει ότι το Σύστημα μπορεί να λειτουργήσει περισσότερες από 1912 ώρες κατά τη διάρκεια αυτών των μηνών για να καλύψει τις θερμικές ανάγκες του Νοσοκομείου. Το μέγιστο όριο μπορεί να υπολογιστεί :

$$8760 \text{ ώρες το έτος} - 3672 \text{ ώρες μειωμένης κατανάλωσης} = 5088 \text{ ώρες}$$

Για να καλυφθεί το «θερινό» θερμικό φορτίο η Μονάδα πρέπει να λειτουργήσει 2264 ώρες ($2.906.937 \text{ kWh}_{\text{th}} / 1284\text{kWth} = 2263.96\text{h}$)

Αν προσθέσουμε και τις υπόλοιπες ώρες του έτους θα έχουμε:

$$5088 + 2264 = 7352 \text{ ώρες.}$$

Δηλαδή το Σύστημα μπορεί (εάν αυτό είναι εφικτό) να λειτουργεί 7352 ώρες το χρόνο (στο 100% της ισχύος του) χωρίς να παράγει περισσότερο θερμικό φορτίο από αυτό που καταναλώνει το Νοσοκομείο ετησίως. Αν λειτουργήσει περισσότερο από 7352 ώρες (στο 100% της ισχύος του) θα καλύπτει, βεβαίως, το χειμώνα επαρκέστερα τις θερμικές ανάγκες, όμως τους λεγόμενους «θερινούς» μήνες θα παράγεται θερμότητα η οποία δεν θα καταναλώνεται στο Νοσοκομείο και επομένως θα ελευθερώνεται στο περιβάλλον. Η περίπτωση να αποθηκεύεται η πλεονάζουσα θερμότητα σε μπόιλερ (υπό μορφή ζεστού νερού) και να χρησιμοποιείται τη χειμερινή περίοδο είναι αδύνατη.

Στην παραπάνω θεώρηση δεν λάβαμε υπόψιν τις μη προγραμματισμένες διακοπές που μπορούν να συμβούν οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια του έτους.

6.3.12 Ψύκτες απορρόφησης

Εάν γινόταν εγκατάσταση ψυκτών απορρόφησης θα είχαμε αύξηση της κατανάλωσης φυσικού αερίου τους θερινούς μήνες και αντίστοιχα μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Θα ήταν δυνατό η Μονάδα

Συμπαραγωγής να λειτουργεί περισσότερο από 7352 ώρες, δηλαδή να σταματά μόνο για την προγραμματισμένη συντήρηση και λόγω βλαβών.

Για να γίνει σωστά όμως, και οικονομικά, η επένδυση αυτή πρέπει να εξυπηρετείται μεγάλο μέρος των ψυκτικών φορτίων του Νοσοκομείου από τους ψύκτες απορρόφησης. Σε περιπτώσεις που το μεγαλύτερο μέρος των ψυκτικών φορτίων εξυπηρετείται από τοπικά κλιματιστικά (split) ή fancoil, πρέπει πρώτα να εγκατασταθεί ένα σύστημα μεταφοράς και διανομής του κλιματισμένου αέρα (αεραγωγοί, κανάλια, στόμια κτλ) και μετά να συνδεθεί και να λειτουργήσει με τους ψύκτες απορρόφησης. Για την οικονομοτεχνική μελέτη μιας τέτοιας επένδυσης απαιτείται η γνώση των ψυκτικών φορτίων που θα συμβάλει στην διαστασιολόγηση της Μονάδας Συμπαραγωγής, που δεν ήταν εφικτό να ευρεθούν στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Άλλωστε, η εγκατάσταση ενός συστήματος μεταφοράς και διανομής του κλιματισμένου αέρα έχει κάποιο σοβαρό κόστος το οποίο δεν είναι καθόλου εύκολο να προσδιοριστεί.

6.4 Προτάσεις-Συμπεράσματα

Από την ανάλυση που προηγήθηκε είναι φανερό ότι η εγκατάσταση Συστήματος Συμπαραγωγής με αεριομηχανές (2x507kW) είναι συμφέρουσα επένδυση για το Νοσοκομείο. Με την επένδυση αυτή επιτυγχάνεται:

- Σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και ενεργειακού κόστους
- Πλεονεκτήματα (οικονομικά, περιβαλλοντικά) της χρήσης του φυσικού αερίου

Όπως παρουσιάστηκε στην παράγραφο 5.4 κάποιοι ατμολέβητες και κάποιες ατμογεννήτριες είναι αρκετά παλαιοί, πράγμα που σημαίνει ότι η απόδοσή τους έχει μειωθεί και σύντομα θα πρέπει να αντικατασταθούν. Με την εγκατάσταση, όμως, του Συστήματος Συμπαραγωγής το κόστος αυτό θα αποφευχθεί, αφού η Συμπαραγωγική Μονάδα αναλαμβάνει το βασικό θερμικό φορτίο και κάποιοι από τους υπάρχοντες λέβητες θα λειτουργούν επικουρικά. Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι το κόστος αντικατάστασης των παλαιών λεβητών δεν έχει ληφθεί υπόψιν στον υπολογισμό του χρόνου αποπληρωμής.

Οι οικονομικοί δείκτες που αναλύθηκαν (απλή περίοδος αποπληρωμής, απόδοση κεφαλαίου, καθαρή παρούσα αξία επένδυσης, έντοκη περίοδος αποπληρωμής) δείχνουν ότι η εν λόγω επένδυση είναι οικονομικά συμφέρουσα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΜΗΧΑΝΕΣ/ΨΥΚΤΕΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ (ABSORPTION MACHINES/CHILLERS)

Οι ψύκτες απορρόφησης αποτελούν την εναλλακτική λύση, για την αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας έναντι της ηλεκτρικής. Ο ψύκτης απορρόφησης καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια μόνο 5-10% σε σύγκριση με έναν ηλεκτρικό ψύκτη, ως βοηθητική ενέργεια και ενέργεια για έλεγχο. Ως κύρια ενέργεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα είδη πηγών θερμότητας, π.χ. αέριο καύσιμο (φυσικό αέριο), υγρό καύσιμο (πετρέλαιο), ατμός (βιομηχανική χρήση), ηλιακή θερμότητα, ζεστό νερό (γεωθερμία ή βιομηχανική χρήση), υψηλής θερμοκρασίας καυσαέρια (ηλεκτρογεννήτρια συμπαραγωγής), κλπ, αντί της ηλεκτρικής ενέργειας.

Περίπου 12-13% της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ισχύος σε ένα κτίριο μπορούν να εξοικονομηθούν με χρήση ψυκτών απορρόφησης. Επομένως, εάν οι ψύκτες απορρόφησης υιοθετούνται σε μια κλίμακα εθνικού επιπέδου, είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για να λύσει η Πολιτεία τα προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη ηλεκτρικής ενέργειας (φυσικά εφόσον η τελευταία δώσει τα κατάλληλα κίνητρα). Οποιαδήποτε θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας που αποβάλλεται μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμη και να χρησιμοποιηθεί ως εφαρμογή εξοικονόμησης οδηγώντας ένα ψύκτη απορρόφησης ως πηγή θερμότητάς του. Επίσης ο ψύκτης απορρόφησης χρησιμοποιεί το νερό ως ψυκτικό μέσον αντί του φρέον. Ως εκ τούτου είναι πολύ φιλικό στο περιβάλλον.

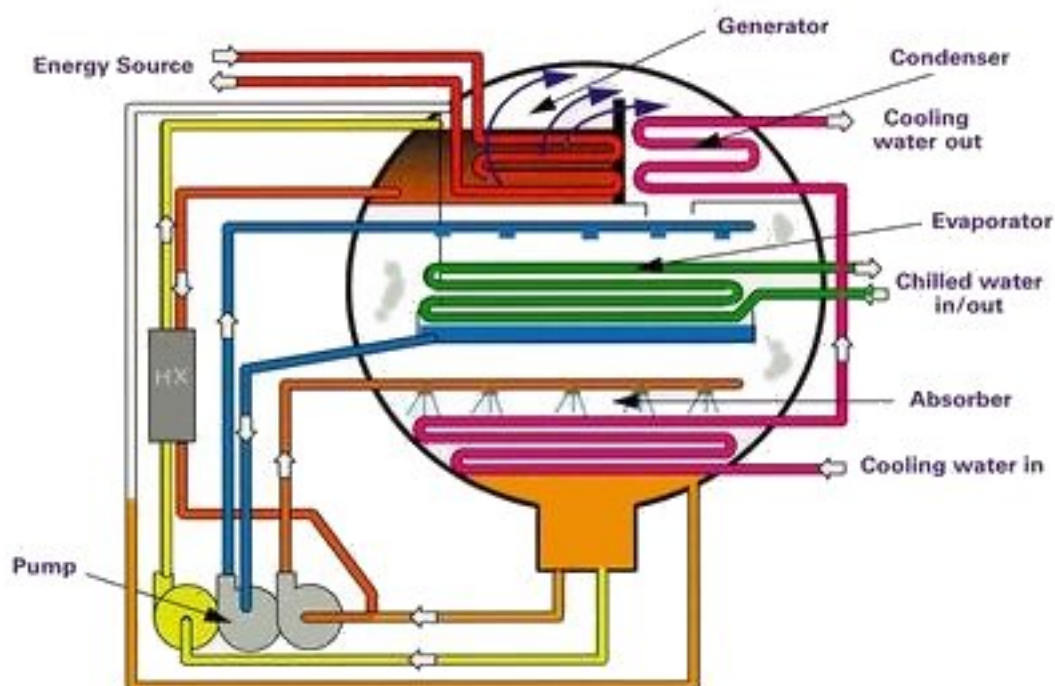
ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ – Περιγραφή του κύκλου ψύξης με απορρόφηση

Ο ψύκτης απορρόφησης δίνει μια αποδοτική και οικονομική λύση σε περιπτώσεις όπου υπάρχει φυσικό αέριο ή διαθέσιμη πλεονάζουσα θερμότητα και υπάρχει μια απαίτηση για την ψύξη ή τον κλιματισμό.

Σύντομη περιγραφή λειτουργίας

(Σημείωση; σε αυτήν την περιγραφή, το ψυκτικό μέσο είναι νερό και το απορροφητικό είναι βρωμιούχο λίθιο (LiBr_2). Για την ψύξη στις χαμηλότερες θερμοκρασίες, χρησιμοποιείται η αμμωνία ως ψυκτικό μέσο και το νερό ως απορροφητικό.)

Το μίγμα νερό/ LiBr_2 θερμαίνεται απορροφώντας τη θερμότητα της άμεσης φλόγας από την καύση φυσικού αερίου (βλ Σχήμα A1). Το νερό βράζει και υπό μορφή σχεδόν καθαρού ατμού διαχωρίζεται από το μίγμα νερό/ LiBr_2 . Κατόπιν συμπυκνώνεται και μέσω μιας βαλβίδας εκτόνωσης οδηγείται στον εξατμιστή, όπου εξατμίζεται σε χαμηλή θερμοκρασία και πίεση, παίρνοντας τη θερμότητα από το ψυχρό κύκλωμα νερού (δίκτυο κλιματισμού). Αναμιγνύεται έπειτα με το καθαρό LiBr_2 στον απορροφητή πριν αντληθεί πίσω στην γεννήτρια.



Σχήμα A1. Τυπικός ψύκτης απορρόφησης

Απλουστευμένη περιγραφή

Μερικές σημαντικές αρχές:

1. Όταν ένα ρευστό εξατμίζεται, ή βράζει, παίρνει τη θερμότητα από το περιβάλλον του. Όταν συμπυκνώνεται (μεταβάλλεται από ατμό σε υγρό) δίνει έξω τη θερμότητα στο περιβάλλον του.
2. Επίσης, το σημείο βρασμού ενός ρευστού γίνεται χαμηλότερο όταν μειώνεται η πίεση. Είναι επομένως δυνατό να βράσει ένα υγρό σε μια πολύ χαμηλή θερμοκρασία με τη μείωση της πίεσης του. Παραδείγματος χάριν, σε μια πίεση περίπου 1 BAR (κανονική ατμοσφαιρική πίεση), το νερό βράζει σε 100 °C, αλλά εάν η πίεση μειωθεί σε 0,01 BAR, το νερό θα βράσει ψυχρά σε 7°C άντ' αυτού. Αυτά τα γεγονότα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ψύξη.

Υπάρχει μια φυσική τάση για τη θερμότητα να ρεύσει από μια θερμότερη περιοχή σε μια πιο ψυχρή περιοχή. Αυτό που ελπίζουμε να επιτύχουμε σε έναν κύκλο ψύξης είναι να αντιστραφεί αυτή η φυσική κατεύθυνση της ροής θερμότητας και να οδηγηθεί η θερμότητα από μια κρύα περιοχή σε μια θερμότερη περιοχή. Παραδείγματος χάριν, μπορεί να επιθυμούμε να πάρουμε τη θερμότητα από το σώμα ενός ψυγείου, το οποίο είναι στους 4°C, και να τη μεταφέρουμε στον αέρα του δωματίου, ο οποίος μπορεί να είναι στους 15°C.

Ένας τρόπος να γίνει αυτό είναι ένα ρευστό, αποκαλούμενο ψυκτική ουσία, να οδηγηθεί σε έναν κύκλο, μεταξύ της κρύας περιοχής και της θερμής περιοχής, παίρνοντας τη θερμότητα από την κρύα περιοχή και παραδίδοντας την στη θερμή περιοχή.

Ένας χαρακτηριστικός κύκλος ψυκτικών ουσιών περιλαμβάνει το ρευστό ψυκτικών ουσιών που εξατμίζεται στη χαμηλή πίεση, και παίρνει τη θερμότητα από την ουσία που καταψύχεται. Η ψυκτική ουσία αντλείται έπειτα σε έναν συμπυκνωτή, όπου γυρίζει πίσω στην υγρή φάση και αποβάλλει τη θερμότητα που έχει πάρει από την κατεψυγμένη ουσία.

Ο συμπυκνωτής πρέπει να είναι σε μια υψηλότερη πίεση από τον εξατμιστή, έτσι ώστε η θερμοκρασία (σημείο) βρασμού της ψυκτικής ουσίας

να είναι υψηλότερη και η θερμότητα να μεταφερθεί στο θερμότερο περιβάλλον. Στον κύκλο "συμπύεσης ατμού" αυτή η διαφορά πίεσης επιτυγχάνεται με την άντληση του ατμού ψυκτικών ουσιών από τον εξατμιστή στο συμπυκνωτή, χρησιμοποιώντας έναν συμπιεστή που οδηγείται από μια ηλεκτρική μηχανή. Αυτός είναι χαρακτηριστικά ο κύκλος που χρησιμοποιείται σε ένα συμβατικό ψύκτη. Ένας ψύκτης απορρόφησης επίσης χρησιμοποιεί την εξάτμιση και τη συμπύκνωση ενός ρευστού ψυκτικών ουσιών για να μεταφέρει τη θερμότητα από μια κρύα ουσία σε μια θερμή ουσία, αλλά αντί της άντλησης του ατμού ψυκτικών ουσιών που χρησιμοποιεί έναν συμπιεστή, αντλεί ένα υγρό μίγμα ψυκτικής ουσίας (νερό) και ενός ρευστού μεταφοράς (LiBr_2). Αυτό είναι επιθυμητό επειδή πολύ λιγότερη εργασία απαιτείται για να αντληθεί ένα υγρό από το να αντληθεί ένα αέριο. Ο κύκλος απορρόφησης επομένως λαμβάνει την ακόλουθη μορφή:

- η ψυκτική ουσία (νερό) εξατμίζεται στη χαμηλή πίεση, και παίρνει τη θερμότητα από την ουσία που καταψύχεται,
- ο ατμός ψυκτικών ουσιών αναμιγνύεται με ένα ρευστό μεταφοράς LiBr_2 και αντλείται σε ένα δοχείο, όπου η ψυκτική ουσία χωρίζεται από το ρευστό μεταφοράς με μια διαδικασία απόσταξης,
- η υγρή ψυκτική ουσία περνά μέσω μιας βαλβίδας εκτόνωσης στην περιοχή χαμηλής πίεσης όπου εξατμίζεται ακόμα μια φορά.

Βαθμός απόδοσης

Ο συντελεστής της απόδοσης (COP) είναι ένα μέτρο της αποδοτικότητας με την οποία ο ψύκτης μετασχηματίζει τη θερμότητα σε ψύξη.

Το COP ορίζεται ως η μείωση ενθαλπίας στο ρευστό που καταψύχεται (ενέργεια έξω) διαιρεμένη με την ενθαλπία που μεταφέρεται στο σύστημα από την πηγή θερμότητας (ενέργεια μέσα) . Η χαρακτηριστική COP για ενός σταδίου ψύκτη απορρόφησης είναι περίπου 0,7. Οι ψύκτες BCT της BROAD δίνουν COP 1 -1,1. Όσο μεγαλύτερη η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της επιθυμητής θερμοκρασίας ψύξης, τόσο υψηλότερο θα είναι το COP.

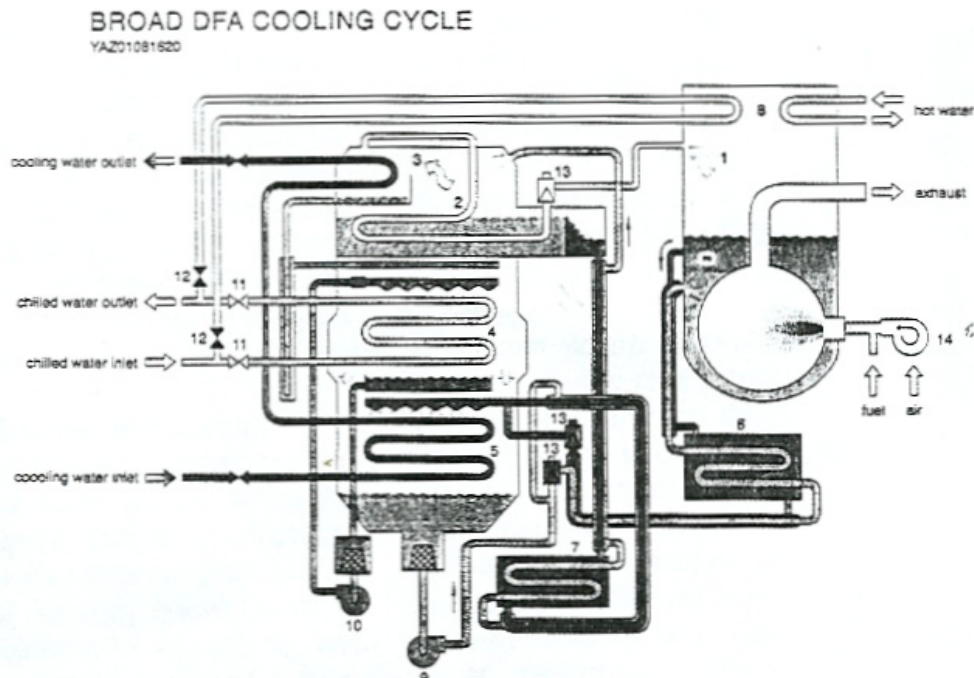
Όσο χαμηλότερη η πίεση εξάτμισης, τόσο χαμηλότερη θερμοκρασία μπορούμε να επιτύχουμε στην παραγωγή.

Εάν η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας είναι λιγότερο από 100°C, θα πρέπει επίσης να διατηρήσουμε την πίεση συμπυκνωτών λιγότερη από την περιβαλλοντική.

Ένας διβάθμιος ψύκτης απορρόφησης επιτρέπει να επιτευχθεί μια υψηλότερη COP, χαρακτηριστικά περίπου 1 -1.1. Η ενέργεια συντηρείται και επομένως όλη η θερμότητα που μεταφέρεται στο σύστημα θα πρέπει να αποβάλλεται με κάποια μέσα, όπως ένας ψυκτικός πύργος. Αυτό περιλαμβάνει τη θερμότητα που λαμβάνεται από το κατεψυγμένο ρευστό!

Το ζεύγος αμμωνία-νερό συναντάται συχνά σε εφαρμογές ψύξης, με μικρές θερμοκρασίες εξάτμισης, κάτω από 0°C. Τα επίπεδα πίεσης στη μηχανή αμμωνίας-νερού είναι συνήθως πάνω από την ατμοσφαιρική, ενώ οι μηχανές νερού- βρωμιούχου λιθίου λειτουργούν σε μερικό κενό.

Στάδια του ψύκτη απορρόφησης



Σχ Α2 Στάδια του ψύκτη απορρόφησης

- 1 **Γεννήτρια:** Ένας εναλλάκτης θερμότητας στον οποίο η θερμότητα μεταφέρεται από την πηγή θερμότητας (π.χ, φλόγα από καυστήρα φυσικού αερίου) στο μίγμα ψυκτική ουσία (νερό)/απορροφητικού (βρωμιούχο λίθιο) βράζοντας έτσι η ψυκτική ουσία, με αποτέλεσμα να εξατμιστεί και να διαχωριστεί από το μίγμα.
- 2 **Διορθωτής:** Ένας εναλλάκτης θερμότητας που συμπυκνώνει και επιστρέφει στη γεννήτρια οποιοδήποτε περιπλανώμενο απορροφητικό που μπορεί να είχε εξατμιστεί στη γεννήτρια.
- 3 **Συμπυκνωτής:** Ένας εναλλάκτης θερμότητας όπου η ψυκτική ουσία από τη γεννήτρια συμπυκνώνεται, αποβάλλοντας τη θερμότητα συμπύκνωσης της στο νερό των πύργων ψύξης.
Βαλβίδα εκτόνωσης: Στραγγαλίζει την υγρή ψυκτική ουσία και διατηρεί μια διαφορά πίεσης μεταξύ της περιοχής συμπυκνωτών και της περιοχής εξατμιστήρων.
- 4 **Εξατμιστής:** Ένας εναλλάκτης θερμότητας όπου η ψυκτική ουσία εξατμίζεται στη χαμηλή πίεση και τη θερμοκρασία, με αποτέλεσμα η

- ψυκτική ουσία να παίρνει τη θερμότητα από το νερό ψύξης (του κυκλώματος κλιματισμού).
- 5 Απορροφητής: Η ψυκτική ουσία απορροφάται εκ νέου στο απορροφητικό (βρωμιούχο λίθιο) και συσσωρεύεται στο φρεάτιο για να αντληθεί στην γεννήτρια.
- 9 *Αντλία*: Το μίγμα ψυκτική ουσία /απορροφητικό αντλείται πίσω από τον απορροφητή μέχρι την γεννήτρια υπό πίεση.
- 6,7 *Εξοικονομητής*: Ένας εναλλάκτης θερμότητας που χρησιμοποιείται για να προθερμάνει το μίγμα ψυκτική ουσία / απορροφητικού που επιστρέφεται στη γεννήτρια, με τη μεταφορά της θερμότητας από το απορροφητικό μέσο στο δρόμο του από τη γεννήτρια στον απορροφητή.

Ο κύκλος απορρόφησης

- 1 Θερμότητα μεταφέρεται από την καύση φυσικού αερίου στο μίγμα ψυκτική ουσία /απορροφητικό μέσα στην γεννήτρια.
- 2 Το μίγμα ψυκτική ουσία/ απορροφητικό θερμαίνεται στη γεννήτρια.
- α. Σχεδόν καθαρή ψυκτική ουσία ο ατμός εξατμίζεται από το μίγμα και καθαρίζεται περαιτέρω σε έναν διορθωτή που αφαιρεί οποιοδήποτε απορροφητικό ατμό και τον επιστρέφει στη γεννήτρια. Ο ατμός ψυκτικών ουσιών συμπυκνώνεται σε κορεσμένο υγρό στο συμπυκνωτή. Η υγροποιημένη ψυκτική ουσία εκτονώνεται μέσω της βαλβίδας εκτόνωσης και εξατμίζεται σε χαμηλή πίεση. Ο ατμός ψυκτικών ουσιών απορροφάται έπειτα με έναν ψεκασμό του απορροφητικού και το μίγμα συλλέγεται στο φρεάτιο, και αντλείται πίσω μέσω του εξοικονομητή στη γεννήτρια.
- β. Το καυτό ισχυρό απορροφητικό υγρό λαμβάνεται από τη γεννήτρια και περνά μέσω ενός εξοικονομητή, ψεκάζεται μετά στον εξατμιστή και απορροφάει εκ νέου την ψυκτική ουσία και το μίγμα οδηγείται στον απορροφητή.
- 3 Το ψυχρό νερό των πύργων ψύξης περνά μέσω του απορροφητή, του συμπυκνωτή και του διορθωτή, και παίρνει τη θερμότητα από την ψυκτική ουσία.

- 4 Το νερό ψύξης του δικτύου κλιματισμού εισάγεται στον εξατμιστή και ψύχεται από την εξάτμιση της ψυκτικής ουσίας σε χαμηλή πίεση.

Μονοβάθμιοι ψύκτες (single effect chillers)

Οι περισσότεροι κατασκευαστές διαθέτουν μονοβάθμιους ψύκτες στην κλίμακα 100RT-1500RT, δηλαδή 350KWth-5.2 MWth. (Ένας ψυκτικός τόνος (RT, Refrigeration Tons) ισοδυναμεί με 3.5KWth παραγωγής ψύξης). Αυτοί μπορούν να λειτουργούν με ατμό πίεσεως 135-205kPa που αντιστοιχεί σε ατμό θερμοκρασίας 110-120°C. Εναλλακτικά μπορούν να λειτουργούν με ζεστό νερό 115-150°C και μέγιστη πίεση 9bar. Το COP κυμαίνεται στην περιοχή 0.6-0.7.

Η κατανάλωση ατμού σε ένα μονοβάθμιο ψύκτη είναι περίπου 23 Kg/h ανά KWth. Η ροή του ζεστού νερού που απαιτείται είναι από 30 μέχρι 72 Kg/h ανά KWth ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού.

Διβάθμιοι ψύκτες (double effect chillers)

Τα συστήματα δύο βαθμίδων ενσωματώνουν δύο μπλοκ γεννήτρια-απορροφητής με σκοπό να αξιοποιείται η θερμότητα που παρέχεται εις διπλούν. Η θερμότητα χορηγείται στην πρώτη γεννήτρια στους 170 °C και αυτή που αποβάλλεται από τον αντίστοιχο συμπυκνωτή χρησιμοποιείται για έναυση της δεύτερης γεννήτριας σε χαμηλότερο επίπεδο.

Οι διβάθμιοι ψύκτες είναι περίπου της ίδιας δυνατότητας με τους μονοβάθμιους. Η μικρότερη δυνατότητα ψύξης είναι λίγο υψηλότερη από τους μονοβάθμιους: 200RT από μια εταιρεία και 350 RT από μια άλλη εταιρεία (700 και 1200KWth αντίστοιχα). Ο ατμός φαίνεται ότι είναι το προτεινόμενο μέσο για «έναυση» αυτών των ψυκτών, και η πίεσή του πρέπει να είναι από 9-11 bar, που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 175-185 °C. Σύμφωνα με πληροφορίες, είναι επίσης πιθανό, να λειτουργήσουν οι διβάθμιοι ψύκτες με ζεστό νερό η θερμοκρασία του οποίου ποικίλλει, 155-205 °C. Το COP είναι από 0.9 έως 1.2.

Η κατανάλωση ατμού στους διβάθμιους ψύκτες είναι 1.4 Kg/h ανά KWth

Απόδοση και λειτουργία

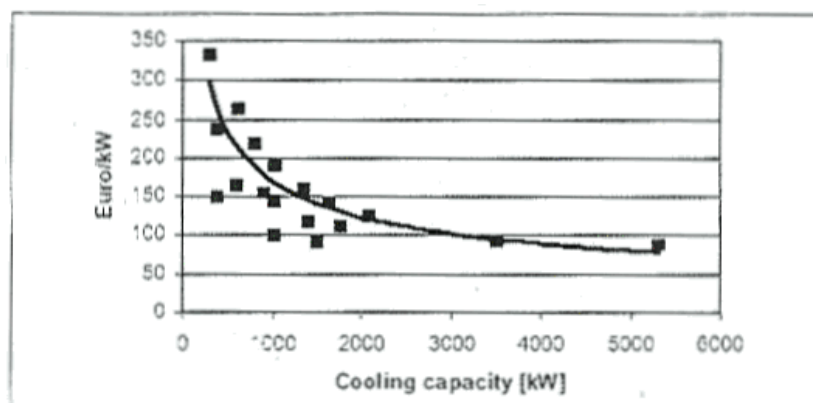
Η θερμική ικανότητα μετριέται ως η ψυχρή έξοδος ως προς την θερμή είσοδο-συντελεστής απόδοσης (COP, Coefficient of performance). Οι μονοβάθμιοι ψύκτες έχουν τυπικές τιμές COP γύρω από το 0.7, οι διβάθμιοι γύρω από το 1.1. Αυτό σημαίνει ότι ο πύργος ψύξης που απαιτείται για ένα διβάθμιο ψύκτη είναι μικρότερος από αυτόν για ένα μονοβάθμιο (περίπου 40%).

Η πολυπλοκότητα των διβάθμιων αυξάνει το κόστος τους έναντι των μονοβάθμιων. Όλες οι διαθέσιμες εμπορικά μηχανές κύκλου απορρόφησης, αποβάλλουν θερμότητα σε ένα πύργο ψύξης. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι θερμοκρασίες στο κύκλωμα του πύργου ψύξης είναι 32-37 °C.

Κόστος

Θεωρώντας κύκλο απορρόφησης με εργαζόμενο ρευστό νερό-βρωμιούχο λίθιο, ο ψύκτης κοστίζει από 870 σε 920€ ανά τόνο ικανότητας (για τους διβάθμιους προστίθεται 58€ ανά τόνο ικανότητας). Ένας ηλεκτρικός φυγοκεντρικός ψύκτης κοστίζει περίπου 290 με 350€ ανά τόνο ικανότητας.

Κατόπιν έρευνας μεταξύ των κατασκευαστών μονάδων βρωμιούχου-λιθίου για εφαρμογές κλιματισμού, βρέθηκαν και αποτυπώνονται στο Σχ.Α3 οι παρακάτω σχέσεις τιμών.



Σχ.Α3 Εκτιμώμενο κόστος για ψύκτη απορρόφησης νερού/ βρωμιούχου λιθίου (μονοβάθμιο)

Η γραμμή τάσης στο Σχ.Α3 αντιπροσωπεύει τη συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε για το μοντέλο αξιολόγησης. Προφανώς το κόστος μιας

μονάδας ανά KWth ψυκτικής ικανότητας εξαρτάται από το μέγεθός της, αλλά γίνεται περίπου σταθερό πάνω από 2MWth. Ένας κανόνας λέει ότι ο διβάθμιος ψύκτης είναι περίπου 20% ακριβότερος από ένα μονοβάθμιο ίδιας ικανότητας. Ο λόγος του υψηλότερου κόστους είναι η πρόσθετη γεννήτρια και ο επιπλέον συμπυκνωτής που υπάρχουν στη μονάδα.

Ένας άλλος κανόνας, λέει ότι οι μονάδες που λειτουργούν με ζεστό νερό είναι περίπου 25 ακριβότερες από αυτές του ατμού της ίδιας ικανότητας. Η αιτία αυτής της διαφοράς είναι το μέγεθος των αγωγών που μεταφέρουν το θερμό ρευστό στη μηχανή απορρόφησης και είναι μεγαλύτεροι στην περίπτωση του ζεστού νερού.

Στον παρακάτω πίνακα A1 φαίνονται συγκεντρωτικά μερικά ενδιαφέροντα στοιχεία για τις μηχανές που ως απορροφητή έχουν αμμωνία NH₃ ή βρωμιούχο λίθιο-LiBr.

Πίνακας A1 Χαρακτηριστικά Ψυκτών Απορρόφησης

Indices	NH ₃ - absorption	LiBr - absorption	
	Single	Single	Double
Cooling capacity (kW)	20 - 2500	300 - 5000	300 - 5000
Thermal COP	0.6 - 0.7	0.5 - 0.6	0.9 - 1.1
Temp. range (°C)	120 - 132	120 - 132	150 - 170
Machine costs (€/ton)	1250 to 1750	870 to 920	930 to 980

Πλεονεκτήματα του ψύκτη απορρόφησης

1) Η ηλεκτρική κατανάλωση ισχύος είναι μόνο το 1/20 -1/10 ενός ηλεκτρικού ψύκτη τύπου συμπίεσης.

Η σύγκριση για την ηλεκτρική κατανάλωση ισχύος είναι η ακόλουθη σε περίπτωση που ένας 170 usRT ψύκτης είναι εγκατεστημένος. Η ηλεκτρική κατανάλωση ισχύος είναι περίπου 187 KWh όταν εγκαθίστανται ένας ηλεκτρικά καθοδηγούμενος φυγοκεντρικός ψύκτης και ένας λέβητας ως σύστημα HVAC. Εδώ ο φυγοκεντρικός ψύκτης καταναλώνει περίπου 130 KWh και καταλαμβάνει σχεδόν το 70% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος ολόκληρου του συστήματος κλιματισμού. Αντίθετα, εάν ένας ψύκτης

απορρόφησης καύσης φυσικού αερίου διπλής επίδρασης (directed-fired double effect) είναι εγκατεστημένος, η κατανάλωση ισχύος ολόκληρου του συστήματος κλιματισμού μπορεί να μειωθεί σε 70 KWh. Σε αυτήν την περίπτωση ο ψύκτης απορρόφησης καταναλώνει περίπου 8 KWh το οποίο είναι μόνα 6,1 % της ηλεκτρικής κατανάλωσης ισχύος του φυγοκεντρικού ψύκτη.

2) Συμβάλλει στην πρόληψη της περιβαλλοντικής μόλυνσης από την εισαγωγή του ψυκτικού μέσου χωρίς φρέον. Ο ψύκτης απορρόφησης χρησιμοποιεί το νερό ως ψυκτική ουσία, και το διάλυμα βρωμιούχου λιθίου ως απορροφητή. Ο απορροφητής είναι επίσης σταθερός και αβλαβής για το ανθρώπινο σώμα. Ως εκ τούτου ο ψύκτης απορρόφησης είναι πολύ φιλικός στο περιβάλλον.

3) Το σύστημα είναι ασφαλές δεδομένου ότι λειτουργεί υπό συνθήκες κενού.

Το νερό που χρησιμεύει ως ψυκτικό μέσο εξατμίζεται στους 5°C, συμπυκνώνεται στους 40°C, και αναπαράγεται στους 90-120°C κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του πλήρως εν κενό ψύκτη απορρόφησης. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα διατηρεί συνθήκες κενού σε λειτουργία. Έτσι, δεν υπάρχει καμία πιθανότητα για το σύστημα να προκληθεί ζημία από έκρηξη ή διαρροή.

4) Εξοικονόμηση χώρου στην περιοχή εγκατάστασης.

Σε περίπτωση όπου απαιτείται θέρμανση και ψύξη, το σύστημα ψύκτη απορρόφησης μειώνει την απαραίτητη περιοχή εγκατάστασης κατά 40% σε σύγκριση με ένα σύστημα που αποτελείται από ένα ηλεκτρικό φυγοκεντρικό ψύκτη και έναν λέβητα. Δεν χρειάζεται επιπλέον υποσταθμό πράγμα που σημαίνει ακόμα λιγότερος δεσμευμένος χώρος και οικονομία χρημάτων.

Συνεπώς, ο ψύκτης απορρόφησης αυξάνει τη διαθεσιμότητα του κτιρίου.

5) Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας κάτω από μερικό φορτίο είναι άριστα. Ο ψύκτης απορρόφησης έχει την υψηλότερη αποδοτικότητα στη μερική λειτουργία φορτίων, περισσότερο από την πλήρη λειτουργία φορτίων. Οι ψύκτες λειτουργούν σε μερικό φορτίο μεταξύ 50% και 70% για την περισσότερη περίοδο λειτουργίας. Κατά συνέπεια ο ψύκτης απορρόφησης μπορεί να κερδίσει τρέχον κόστος σε μια μεγάλη έκταση.

6) Δεν έχει πολλά κινούμενα μέρη, άρα:

- α. Έχει πολύ λιγότερες φθορές και μεγαλύτερο χρόνο ζωής
- β. Δεν έχει κραδασμούς και θόρυβο
- γ. Ελάχιστη πιθανότητα βλάβης.

Παραπομπές-Βιβλιογραφία

- 1 Εφαρμογές του ψύκτη απορρόφησης Τεχνική Επιθεώρηση, Κλιματισμός, Ιαν.2004
2. Trigeneration in the Mediterranean Countries, Technologies and Prospects

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ-ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

- **Πετρέλαιο Diesel**

Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη: $H_u=10200 \text{ kcal/kg}= 11,86\text{kwh/kg}=\mathbf{9.90\text{kwh/lit}}$
Πυκνότητα: $\rho= 0,835\text{Kg/m}^3$ (15 °C)

Κόστος: Διαμορφώνεται κατά 65% από τη μέση τιμή του πετρελαίου θέρμανσης και κατά 35% από τη μέση τιμή χονδρικής πώλησης του πετρελαίου Diesel.

Τιμές: (Μάρτιος 2005)

Μέσες Τιμές (€/λίτρο) - Παρασκευή 4 Μαρτίου 2005				
Βενζίνη Αμόλυβδη	Super Αμόλυβδη	Βενζίνη Super	Πετρέλαιο Κίνησης	Πετρέλαιο Θέρμανσης
0.809	0.947	0.865	0.805	0.476

- **Φυσικό αέριο**

Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη: $H_u=10,17 \text{ kwh/Nm}^3$

Σύσταση:

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	-
Αζωτο (N2)	0,8	1,0
Διοξείδιο του άνθρακα (CO2)	0,1	-
Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη	από 8,600 kcal/Nm ³ εώς 9,200 kcal/Nm ³	από 9,640 kcal/Nm ³ εώς 10,650 kcal/Nm ³

Το φυσικό αέριο δεν περιέχει στερεά σώματα.

Τιμολόγιο Συμπαραγωγής

Η χρέωση είναι κλιμακωτή ανάλογα με τη μηνιαία κατανάλωση. Υπάρχουν 2 κατηγορίες κατανάλωσης και η τιμή του Φ.Α. υπολογίζεται σε μηνιαία βάση και προκύπτει ως εξής:

$$N_p = \left\{ 40\% \frac{DIESEL_{hp} + DIESEL_{ht} + (DIESEL_{hm} \times I_w)}{ΑΘΔDIESEL_h} + 60\% \frac{DIESEL_{tp} + DIESEL_{tt} + (DIESEL_{tm} \times I_w)}{ΑΘΔDIESEL_t} \right\} \times K \times 859845$$

ΟΠΟΥ

N_p	ΤΙΜΗ Φ.Α. σε €/MWh (εκτός Φ.Π.Α.)
$DIESEL_{hp}$	Μέση τιμή διυλιστηρίου σε €/1.000 lt για το DIESEL heating
$DIESEL_{ht}$	Σύνολο φόρων (εκτός Φ.Π.Α.) για το DIESEL heating (€/1.000lt)
$DIESEL_{hm}$	Περιθώριο Εταιριών Εμπορίας Πετρελαιοειδών την 1/1/2002 για το DIESEL heating (47 €/ 1000 lt)
$ΑΘΔDIESEL_h$	Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμις DIESEL heating σε kcal/1000 lt (9.050.000 kcal/1000 lt)
$DIESEL_{tp}$	Μέση τιμή διυλιστηρίου σε €/1000 lt για το DIESEL transportation
$DIESEL_{tt}$	Σύνολο φόρων (εκτός Φ.Π.Α.) για το DIESEL transportation (€/1000 lt)
$DIESEL_{tm}$	Περιθώριο Εταιριών Εμπορίας Πετρελαιοειδών την 1/1/2002 για το DIESEL transportation (47 €/ 1000 lt)
$ΑΘΔDIESEL_t$	Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμις DIESEL transportation σε kcal/1000 lt (9.250.000 kcal/1000 lt)
I_w	Δείκτης μεταβολής κατώτατου ημερομισθίου ανειδίκευτου εργάτη ($I_w = 1$ μέχρι 30/9/2002, $I_w=1.107$ από 1/10/2003)
K	Συντελεστής κλιμάκωσης που διαμορφώνεται ανάλογα με την κατηγορία κατανάλωσης <ul style="list-style-type: none"> ▪ Κατηγορία Σ1: $K=80\%$ Αφορά τις πρώτες 400 MWh Ανωτέρας Θερμογόνου Δυνάμεως Φ.Α. ▪ Κατηγορία Σ2: $K=77\%$ Αφορά κατανάλωση επιπλέον των 400 MWh Ανωτέρας Θερμογόνου Δυνάμεως Φ.Α.

Χρέωση Ισχύος b2b

Η τιμή της πάγιας συνιστώσας (χρέωση ισχύος) ανά μήνα εξαρτάται από τη δηλωθείσα μέγιστη ωριαία κατανάλωση και ορίζεται ως εξής:

Μεγάλος Εμπορικός Τομέας (μόνο θέρμανση): καταναλωτές	όπως	οι	b2c
Μεγάλος Εμπορικός Τομέας:	183,00 x Iw	€/MW	
Ψύξη:	91,50 x Iw	€/MW	
Συμπαραγωγή και Μεγάλος Βιομηχανικός Τομέας:	183,00 x Iw	€/MW	

Iw: Δείκτης μεταβολής κατώτατου ημερομίσθιου ανειδίκευτου εργάτη

(Iw = 1 μέχρι και 30/9/2002, Iw=1.107 από 1/10/2003)

Εκπτώσεις

Οι καταναλωτές θα δικαιούνται έκπτωση μετατροπής (όπως περιγράφεται παρακάτω) μόνο στην περίπτωση που ικανοποιούνται οι δύο παρακάτω όροι:

1. Η σύμβαση να έχει υπογραφεί το αργότερο έως το πέρας δύο μηνών από την έγγραφη προσφορά από την ΕΠΑ Αττικής.
2. 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).

Χορηγείται **έκπτωση μετατροπής** ύψους 25% στην τρέχουσα τιμή του φυσικού αερίου. Θα σταματά με τη λήξη του συμβολαίου (5 έτη).

Χρέωση:

ΤΙΜΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

ΕΤΟΣ 2004

ΕΠΑ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΤΙΜΕΣ ΠΩΛΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΤΗΣΙΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ, ΚΑΤΩ ΑΠΟ 1.100 MWh*

ΧΡΕΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΤΙΜΗ προ ΦΠΑ €/kWh	ΦΠΑ (%)	ΤΙΜΗ με ΦΠΑ €/kWh
ΟΙΚΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ			
ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ-ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ / Οικιακός τομέας	0,03450	8	0,03726
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ			
Οι πρώτες 22.000 kWh/δίδμηνο	0,02800	8	0,03024
Οι υπόλοιπες kWh/δίδμηνο	0,02700	8	0,02916
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΧΡΗΣΗ (για ετήσια κατανάλωση < 1.100 MWh)			
Οι πρώτες 11.000 kWh/μήνα	0,02700	8	0,02916
Οι υπόλοιπες kWh/μήνα	0,02500	8	0,02700
ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ			
ΘΕΡΜΑΝΣΗ	**	8	**

ΧΡΕΩΣΗ ΙΣΧΥΟΣ	Το δίδμηνο €	ΦΠΑ (%)	ΤΙΜΗ €/δίδμηνο
Εγκατεστημένο φορτίο μέχρι 55 kW (ή 5 Nm ³ /ώρα)	4,00	8	4,32
Εγκατεστημένο φορτίο μέχρι 442 kW (ή 40 Nm ³ /ώρα)	7,50	8	8,10
Εγκατεστημένο φορτίο μέχρι 663 kW (ή 60 Nm ³ /ώρα)	14,00	8	15,12
Εγκατεστημένο φορτίο μέχρι 1768 kW (ή 160 Nm ³ /ώρα)	24,00	8	25,92

* 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. Παρακαλούμε να απευθύνεστε στην ΕΠΑ Αττικής για περισσότερες πληροφορίες.

**Η χρέωση ενέργειας για τη θέρμανση αναπροσαρμόζεται ανά δίδμηνο έτσι ώστε η τιμή του φυσικού αερίου να είναι 20% χαμηλότερη από την τιμή του πετρελαίου θέρμανσης (συμπεριλαμβανομένης της διαφοράς στο ΦΠΑ).

Για καταναλωτές όπως το Νοσοκομείο «ΚΑΤ» η τιμή πώλησης του φυσικού αερίου κυμαίνεται στα 25 ευρώ/MWh, σύμφωνα με την Ε.Π.Α

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

- **ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ**

ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

(Τιμολόγια, Νοέμβριος 2004)

1. Τιμολόγιο B1 Μηνιαία χρέωση

Ενέργεια:

Οι πρώτες 400 kWh ανά kW (MZ)	0,05607 €/kWh
Οι υπόλοιπες	0,03714 €/kWh

Ισχύς: Χρεωστέα ζήτηση (XZ)	9,4138 €/kW
-----------------------------	-------------

Ελάχιστη χρέωση

Για XZ < 5kW	215,67 €
Για XZ > 5kW	2,1517 * (XZ-5) + 215,67 €

1. Τιμολόγιο B2 Μηνιαία χρέωση

Ισχύς: Χρεωστέα ζήτηση (XZ)	3,3941 €/kW
Ενέργεια: Όλες οι kWh	0,07345 €/kWh

Ελάχιστη χρέωση

Για XZ < 5kW	215,67 €
Για XZ > 5kW	2,1517 * (XZ-5) + 215,67 €

ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

(Τιμολόγια, Νοέμβριος 2004)

1. Τιμολόγιο B1/B Μηνιαία χρέωση

-Ισχύς:	
- Χρεωστέα Ζήτηση (XZ)	7,4989 €/kWh
-Ενέργεια:	
- Οι πρώτες 400 kWh ανά kW (MZ)	0,04436 €/kWh
Οι υπόλοιπες kWh	0,02943 €/kWh

-Ελάχιστη χρέωση	
Για ΧΖ < 5kW	171,86 €
Για ΧΖ > 5kW	$1,7130 * (ΧΖ-5) + 171,86$ €

2. Τιμολόγιο B2/B Μηνιαία χρέωση

-Ισχύς: Χρεωστέα ζήτηση (ΧΖ)	2,7184 €/kW
-Ενέργεια: Όλες οι kWh	0,05803 €/kWh
-Ελάχιστη χρέωση	
Για ΧΖ < 5kW	171,86 €
Για ΧΖ > 5kW	$1,7130 * (ΧΖ-5) + 171,86$ €

3. Τιμολόγιο B15/B Μηνιαία χρέωση

	Ζώνη Αιχμής	Ζώνη Ημέρας	Ζώνη Νύχτας
-Ενέργεια (€/kWh):	0,06656	0,03404	0,02517
-Ισχύς (€/kW):	9,6443	5,7860	0,9606
Χρέωση Αέργου Ενέργειας: 0,00674 €/kVarh			

4. Τιμολόγιο B25/B Μηνιαία χρέωση

	Ζώνη Αιχμής	Ζώνη Ημέρας	Ζώνη Νύχτας
-Ενέργεια (€/kWh):	0,09135	0,04672	0,03452
-Ισχύς (€/kW):	4,2040	2,5262	0,4226
Χρέωση Αέργου Ενέργειας: 0,00691 €/kVarh			

- ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

**ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΠΩΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ Α.Π.Ε.
ΚΑΙ ΧΡΕΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ**

	ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ		
		ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ	ΥΨΗΛΗ ΤΑΣΗ
ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ από ΣΘΗ με λοιπά καύσιμα (πλην ΑΠΕ)	-	0,05448 €/kWh	0,04407 €/kWh	Ενέργεια (€/kWh): Αιχμή: 0,02878 Ενδιάμεσο φορτίο: 0,01994 Ελάχιστο φορτίο: 0,01480
ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ από ΣΘΗ με λοιπά καύσιμα (πλην ΑΠΕ)	-	-	Ενέργεια: 0,05142 €/kWh Ισχύς: 1,69705 €/kW	Ενέργεια (€/kWh): Αιχμή: 0,03357 Ενδιάμεσο φορτίο: 0,02326 Ελάχιστο φορτίο: 0,01726 Ισχύς (€/kW): Αιχμή: 3,85195 Ενδιάμεσο φορτίο: - Ελάχιστο φορτίο: -
ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (από ΑΠΕ ή από ΣΘΗ με ΑΠΕ)	Από ΑΠΕ: 0,06356 €/kWh Από ΣΘΗ: 0,05448 €/kWh	0,06356 €/kWh	0,05142 €/kWh	Ενέργεια (€/kWh): Αιχμή: 0,03357 Ενδιάμεσο φορτίο: 0,02326 Ελάχιστο φορτίο: 0,01726
ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (από ΑΠΕ ή από ΣΘΗ με ΑΠΕ)	0,08172 €/kWh	-	Ενέργεια: 0,06611 €/kWh Ισχύς: 1,69705 €/kW	Ενέργεια: 0,06611 €/kWh Ισχύς: 1,69705 €/kW

Τιμή πώλησης Αέργου Ενέργειας: 0,00454 €/KVahr*

*Με την τιμή πώλησεως αέργου ενεργείας χρεώνεται η άεργος 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.

(Τιμολόγια, Νοέμβριος 2004)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Φραγκόπουλος Χρήστος, Ηλίας Π.Καρυδογιάννης, Γιάννης Κ. Καραλής. *'Συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού'* Αθήνα: Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας,1994
- [2] **GOOD PRACTICE GUIDE 267**, *'Combined heat and power in hospitals'* ENERGY EFFICIENCY, BEST PRACTICE PROGRAMME
- [3] *'National Strategies to develop cogeneration'*, COGEN Europe, Briefing 15,3 November 2000
- [4] *'Cogeneration in Europe, Country Report: Greece 'The European Cogeneration Review'* Editor:Simon Minett ,Author: Andrea Sarmentero COGEN EUROPE, September 2003
- [5] *'Cogeneration in Europe, Country Report: Spain 'The European Cogeneration Review'*,Authors: Simon Minett, Peter Loffler. COGEN EUROPE, January 2003
- [6] *'Cogeneration in Europe, Country Report: France 'The European Cogeneration Review'*,Author: Tomas Bouquet, Editor:Simon Minett, COGEN EUROPE, June 2004
- [7] *'Cogeneration in Europe, Country Report: Ireland 'The European Cogeneration Review'*,Author:Andrea Sarmentero Garzon , Editors:Simon Minett & Peter Loffler, COGEN EUROPE, February 2003
- [8] *'Cogeneration in Europe, Country Report: United Kingdom 'The European Cogeneration Review'*,Authors:Andrea Sarmentero & Tomas Bouquet , Editor:Simon Minett , COGEN EUROPE, July 2004
- [9] **The Department of the Environmental Transport and the Region's Energy Efficiency Best Practice Programme. 'How to appraise CHP'**, Good Practice Guide 227
- [10] **The Department of the Environmental Transport and the Region's Energy Efficiency Best Practice Programme. 'The application of Combined Heat and Power in the U.K. Health Service'** ,Good Practice Guide 60,1998
- [11] **Ι.Α.Τεγόπουλος.** *Ηλεκτρικές Μηχανές, Μέρος Β', Μόνιμη κατάσταση*,εκδ.Συμμετρία, Αθήνα 1991.
- [12] **Βασιλείου Κ.Παπαδιά.** *'Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας Τόμος Ι, Μόνιμη κατάσταση λειτουργίας'*,Αθήνα 1985.

- [13] **Χ.Περίης, Ι.Κατσάνης, Γ.Μαλαχίας, Π.Μπούρκας.** *Εισήγηση: Έφαρμογές συμπαραγωγής σε νοσοκομεία*, 5^ο Κ Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Management Υπηρεσιών Υγείας, Ρόδος, 23-25 Οκτωβρίου 2003
- [14] **J.H.Horlockk.** *Cogeneration-Compined Heat and Power, Thermodynamicw and Economics* R.S. KRIEGER PUBLISHING COMPANY MALABAR, FLORIDA 1997.

