

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων

Φοιτητής ΑΕΜ: 91

Ρουμπέας Χαράλαμπος

Επιβλέπων Καθηγητής

Πηλαβάκης Πέτρος

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας:

« Ανάλυση Τεχνολογιών Συμπαραγωγής »

Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Αριθμ. Εισαγ.:.....1617.....
Ημερομηνία:.....19/11/06.....

Κοζάνη, Οκτώβριος 2005

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Έχοντας ολοκληρώσει την παρούσα διπλωματική εργασία αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν για την πραγματοποίησή της. Πρώτα και κύρια τον καθηγητή μου και επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας κύριο Πέτρο Πηλαβάκη, για την βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου, αλλά και για την ευκαιρία που μου έδωσε μέσω αυτής της εργασίας για την πραγματοποίηση δύο δημοσιεύσεων. Επίσης τον κύριο Naim Afgan για τα πολύτιμα στοιχεία που παρείχε. Τέλος τον κύριο Simon Minett της Cogen Europe, για τις σημαντικές πληροφορίες που μας έδωσε.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>	5
<u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	6
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</u>	9
1.1 Εισαγωγικά.....	9
1.2 Συστήματα ατμοστροβίλου.....	10
1.2.1 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης.....	11
1.2.2 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης.....	12
1.2.3 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης.....	13
1.3 Συστήματα αεριοστροβίλου.....	14
1.3.1 Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου.....	14
1.3.2 Συστήματα αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου.....	16
1.4 Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης.....	17
1.5 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου.....	19
1.6 Κύκλοι βάσης Rankine με οργανικά ρευστά.....	20
1.7 Άλλες τεχνικές συμπαραγωγής.....	21
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ</u>	22
2.1 Γενικά.....	22
2.2 Η συμπαραγωγή ανά τομέα.....	23
2.3 Η συμπαραγωγή ανά τύπο καυσίμου.....	25
2.4 Η συμπαραγωγή ανά χρησιμοποιούμενη τεχνολογία συμπαραγωγής.....	26
2.5 Τηλεθέρμανση.....	27
2.6 Η συμπαραγωγή και η συνθήκη του Κιότο.....	27
2.7 Φορείς που προάγουν την ανάπτυξη της συμπαραγωγής.....	28
2.7.1 Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).....	28
2.7.2 Υπουργείο Ανάπτυξης.....	28

2.7.3 Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ)...	28
2.8 Οργανισμοί που επηρεάζουν την αγορά συμπαραγωγής στην Ελλάδα.....	29
2.8.1 Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ).....	29
2.8.2 Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ).....	29
2.8.3 Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ).....	29
2.9 Νομοθετικό πλαίσιο που αφορά την συμπαραγωγή.....	30
2.9.1 Νόμος 2773/99 για την απελευθέρωση του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας...	30
2.9.2 Υπουργική Απόφαση 21475/4707/93.....	30
2.9.3 Νόμος 2364/1995 για το φυσικό αέριο.....	30
2.10 Παράγοντες που θα βοηθήσουν την ανάπτυξη της συμπαραγωγής στην Ελλάδα.....	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

<u>ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ.....</u>	32
3.1 Εισαγωγή.....	32
3.2 Επιλογές συστημάτων συμπαραγωγής και κριτήρια	33
3.3 Μέθοδος για τον προσδιορισμό της βιωσιμότητας με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων.....	35
3.4 Επιλογή περιπτώσεων για τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας και η πιθανότητα κυριαρχίας μεταξύ των επιλογών.....	36
3.5 Εκτίμηση της βιωσιμότητας με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων.....	40
3.5.1 Περίπτωση 1: ΑΠ > ΕΓΚ = ΚΚ = ΚΗ = ΚΘ = CO ₂ = ΧΠ.....	40
3.5.2 Περίπτωση 2: ΕΓΚ > ΑΠ = ΚΚ = ΚΗ = ΚΘ = CO ₂ = ΧΠ.....	41
3.5.3 Περίπτωση 3: ΚΚ > ΑΠ = ΕΓΚ = ΚΗ = ΚΘ = CO ₂ = ΧΠ.....	42
3.5.4 Περίπτωση 4: ΚΗ > ΑΠ = ΕΓΚ = ΚΚ = ΚΘ = CO ₂ = ΧΠ.....	43
3.5.5 Περίπτωση 5: ΚΘ > ΑΠ = ΕΓΚ = ΚΚ = ΚΗ = CO ₂ = ΧΠ.....	44
3.5.6 Περίπτωση 6: CO ₂ > ΑΠ = ΕΓΚ = ΚΚ = ΚΗ = ΚΘ = ΧΠ.....	45
3.5.7 Περίπτωση 7: ΧΠ > ΑΠ = ΕΓΚ = ΚΚ = ΚΗ = ΚΘ = CO ₂	46
3.6 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και συμπεράσματα.....	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

<u>ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ</u>	49
4.1 Ανάλυση της οικονομικής μελέτης.....	49
4.2 Αυτοπαραγωγοί και συστήματα συμπαραγωγής.....	49
4.2.1 Αυτοπαραγωγοί.....	49
4.2.2 Συστήματα συμπαραγωγής.....	50
4.3 Υπολογισμός της εξοικονόμησης ενέργειας, της μείωσης εκπομπών CO ₂ και της εξοικονόμησης χρημάτων λόγω χρήσης συστημάτων συμπαραγωγής.....	51
4.4 Υπολογισμός των τιμών πώλησης και αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και των τιμών αγοράς φυσικού αερίου.....	60
4.4.1 Υπολογισμός των τιμών πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας προς τη ΔΕΗ.....	60
4.4.2 Υπολογισμός των τιμών αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ.....	63
4.4.3 Υπολογισμός των τιμών αγοράς φυσικού αερίου από την ΔΕΠΑ.....	64
4.5 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων της οικονομικής μελέτης.....	66

<u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	69
---------------------------	----

<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	71
---------------------------	----

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια στο να πληροφορηθεί ο αναγνώστης πάνω στις τεχνολογίες συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, αλλά και στις δυνατότητες που προσφέρουν. Επίσης έγινε αναφορά για την κατάσταση του τομέα συμπαραγωγής στην Ελλάδα μέχρι στιγμής και στις προοπτικές που ανοίγονται. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων για διάφορες περιπτώσεις απαιτήσεων από μέρος του χρήστη (οικονομικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικές). Η αξιολόγηση ανέδειξε την πολυπλοκότητα και τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν κατά την επιλογή ενός συστήματος. Γι' αυτό αναπτύχθηκε μια διαδικασία που επιλύει τα προβλήματα αυτά. Τέλος γίνεται μια οικονομική μελέτη η οποία συγκρίνει την λειτουργία των συστημάτων συμπαραγωγής σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας για 4 διαφορετικούς αυτοπαραγωγούς στην Ελλάδα. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης που προκύπτει εμπεριέχει και θετικά και αρνητικά στοιχεία. Το θετικό είναι ότι για τους τρεις αυτοπαραγωγούς η δημιουργία συστήματος συμπαραγωγής είναι βιώσιμη αφού παρουσιάζεται κέρδος. Αντίθετα όσον αφορά τον μεγαλύτερο αυτοπαραγωγό, λόγω της χαμηλής τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας δεν καταφέρνει να καλύψει τα έξοδα με αποτέλεσμα να παρουσιάζει ζημιά. Γίνεται επίσης παράθεση μέτρων που θα βοηθήσουν στην βελτίωση της οικονομικής βιωσιμότητας, έτσι ώστε η συμπαραγωγή σε όλους τους καταναλωτές να μπορεί να είναι εφικτή. Κλείνοντας, στα συμπεράσματα γίνεται μια ανακεφαλαίωση όλων όσων ειπώθηκαν και διαπιστώνεται ότι η συμπαραγωγή στην Ελλάδα θα έχει μεγάλη ανάπτυξη λόγω και των συνθηκών που επικρατούν στον ενεργειακό χώρο, αλλά και λόγω των μέτρων που λαμβάνονται για την απελευθέρωση της αγοράς.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η πληροφόρηση του αναγνώστη πάνω στις τεχνολογίες συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και το κατά πόσο η συμπαραγωγή μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία στην Ελλάδα.

Ως τεχνολογία η συμπαραγωγή έχει την δυνατότητα να αξιοποιεί στον μέγιστο βαθμό το καταναλισκόμενο καύσιμο με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση καυσίμου και χρημάτων, αλλά και την δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό την καθιστά εξαιρετικά ενδιαφέρουσα ως επιλογή, αν λάβουμε υπόψη μας την κατάσταση που έχει διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια τόσο στον ενεργειακό χώρο με την αύξηση της τιμής του πετρελαίου, όσο και στον τομέα του περιβάλλοντος όπου η μείωση της μόλυνσής του καθίσταται επιτακτική.

Το γεγονός λοιπόν ότι η συμπαραγωγή δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στον ελλαδικό χώρο παρόλα τα πλεονεκτήματα που προσφέρει, εύλογα γεννά ερωτήματα για το ποιοι είναι οι λόγοι που ευθύνονται γι' αυτή την κατάσταση. Έτσι λοιπόν μέσα στα πλαίσια της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση της κατάστασης που επικρατεί στην Ελλάδα, η ανάδειξη των αιτιών που αποτέλεσαν τροχοπέδη για την ανάπτυξη της συμπαραγωγής, καθώς και η παράθεση των νέων παραγόντων που στο προσεχές χρονικό διάστημα αναμένεται να παίξουν πολύ σημαντικό, αν όχι καταλυτικό ρόλο στην ραγδαία ανάπτυξή της.

Ένα άλλο ερώτημα το οποίο δημιουργείται και θα πρέπει να απαντηθεί είναι το κατά πόσο είναι εύκολο να επιλεγεί το κατάλληλο σύστημα συμπαραγωγής από έναν ενδιαφερόμενο. Οι επιλογές των συστημάτων είναι πολλές και συνεπώς η εύρεση του συστήματος που θα καλύπτει τις ανάγκες του χρήστη και θα αποφέρει το μέγιστο των πλεονεκτημάτων μπορεί να αποδειχθεί πολύπλοκη διαδικασία.

Τέλος ενδιαφέρον παρουσιάζει και το ερώτημα αν τα συστήματα συμπαραγωγής εν συγκρίσει με τα συμβατικά συστήματα μπορούν οικονομικά να είναι βιώσιμα και τι μέτρα μπορούν να ληφθούν από το κράτος ώστε να βελτιωθεί η οικονομική βιωσιμότητά τους.

Στο πρώτο κεφάλαιο λοιπόν, γίνεται η παράθεση των διαφορετικών συστημάτων συμπαραγωγής που έχουν αναπτυχθεί και τα οποία καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος απαιτήσεων και αναγκών, ούτως ώστε να μπορεί να εξυπηρετηθεί ο κάθε χρήστης. Επίσης αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του κάθε συστήματος

ξεχωριστά και αναδεικνύονται τόσο τα πλεονεκτήματα και οι δυνατότητες που προσφέρει, όσο και τα μειονεκτήματα και τους περιορισμούς που θέτει στον χρήστη.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μια προσπάθεια έτσι ώστε ο αναγνώστης να έρθει σε επαφή με την ελληνική πραγματικότητα στον χώρο της συμπαραγωγής. Δίδονται πληροφορίες που αφορούν την εγκατεστημένη ισχύ της συμπαραγωγής στην Ελλάδα, την παραγόμενη ενέργεια και τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα, ενώ παράλληλα από τα στοιχεία αναδεικνύονται και οι τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας στους οποίους έχει διεισδύσει η συμπαραγωγή. Εν συνεχεία γίνεται αναφορά στις δεσμεύσεις που έχει λάβει η ελληνική κυβέρνηση για το περιβάλλον μέσω της συνθήκης του Κιότο και του ρόλου που μπορεί να παίξει η συμπαραγωγή. Σημαντικό επίσης υποκεφάλαιο είναι και αυτό που αναφέρεται στους φορείς της κυβέρνησης που έχουν την ευθύνη της δημιουργίας του νομικού πλαισίου και της χάραξης της ενεργειακής πολιτικής στην Ελλάδα, δηλαδή το Υπουργείο Ανάπτυξης, η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας και το Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, ζητήματα που αφορούν άμεσα τον τομέα της συμπαραγωγής. Αναφορά όμως γίνεται και για τους οργανισμούς που επηρεάζουν με τρόπο δραστικό και άμεσο τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας και είναι η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, η Δημόσια Επιχείρηση Αερίου και ο Διαχειριστής του ελληνικού δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος γίνεται σύντομη ανάλυση του νομοθετικού πλαισίου που ισχύει στην Ελλάδα και γίνεται απαρίθμηση των νέων δεδομένων που εισάγονται στην αγορά και που θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της συμπαραγωγής.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση μιας μεθοδολογίας η οποία μας βοηθά στο να κάνουμε αξιολόγηση των συστημάτων συμπαραγωγής με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων. Η χρήση πολλαπλών κριτηρίων είναι ιδιαίτερος σημαντική αφού για την επιλογή ενός συστήματος συμπαραγωγής θα πρέπει να ληφθούν πολλοί παράγοντες για να είναι η επιλογή ορθή. Μετά την παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας της μεθοδολογίας έχοντας σαν επιλογές 16 διαφορετικά συστήματα συμπαραγωγής, λαμβάνονται διάφορες περιπτώσεις βασισμένες σε διαφορετικές ανάγκες του χρήστη έτσι ώστε μέσω των αποτελεσμάτων να αναδειχθούν τα συστήματα τα οποία είναι πιο κοντά στις ανάγκες που έχουν υποτεθεί.

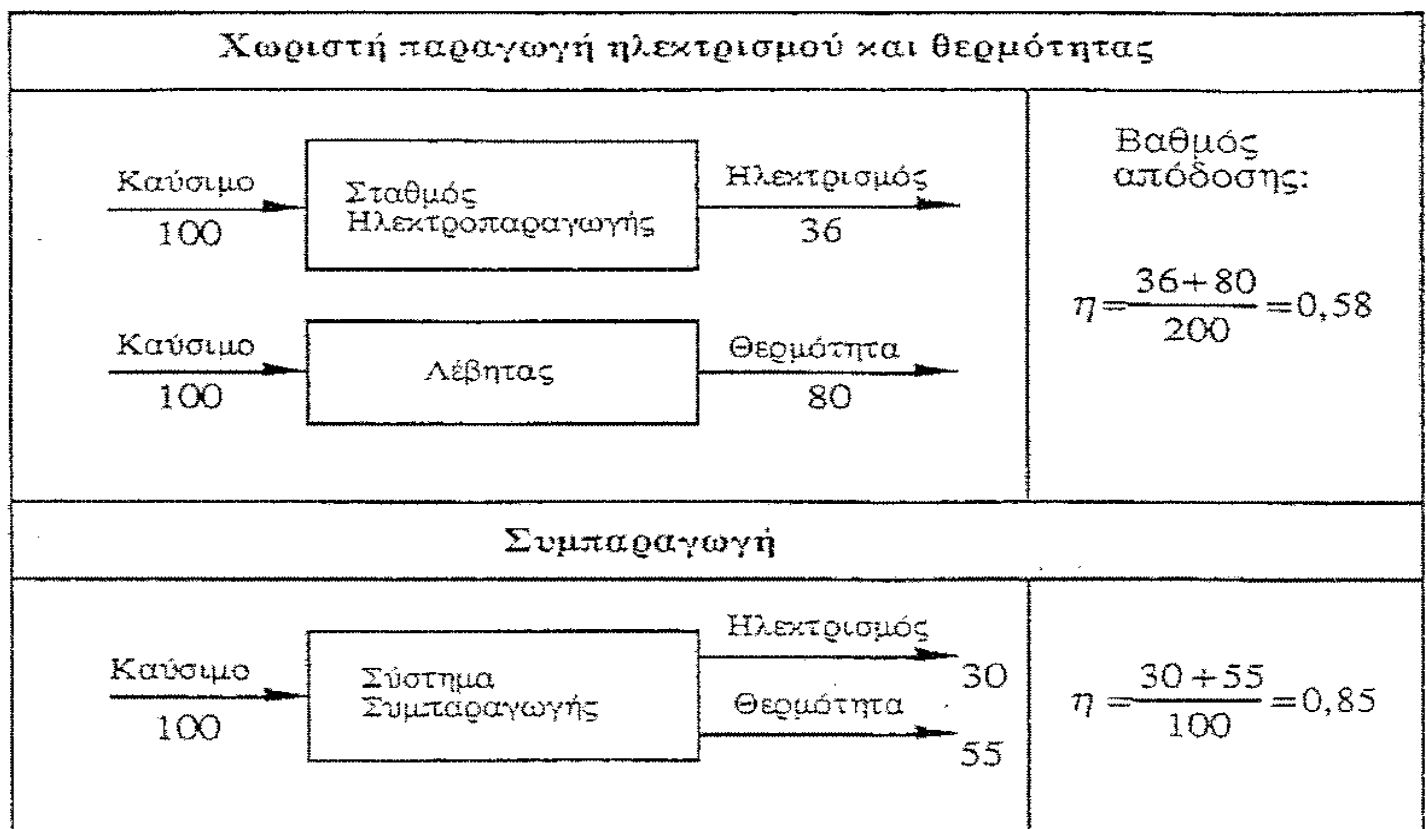
Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια οικονομική ανάλυση που αφορά την Ελλάδα ανάμεσα στα συστήματα συμπαραγωγής και στα συμβατικά συστήματα που χρησιμοποιούνται συνήθως για να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες. Η ανάλυση

αφορά χρήστες που καλύπτουν ένα ικανοποιητικό εύρος καταναλωτών ούτως ώστε να συμπεριλάβει την συντριπτική πλειοψηφία των μεγάλων καταναλωτών στην Ελλάδα. Αφού ολοκληρωθεί η οικονομική μελέτη γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων και προτείνονται μέτρα τα οποία είναι αναγκαίο να ληφθούν έτσι ώστε τα συστήματα συμπαραγωγής να γίνουν οικονομικά βιώσιμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Εισαγωγικά

Στην σημερινή εποχή η ανάγκη για παραγωγή φθηνότερης ενέργειας με μικρότερο περιβαλλοντικό κόστος και μεγαλύτερη απόδοση γίνεται όλο και περισσότερο επιβεβλημένη. Το γεγονός λοιπόν αυτό δημιουργεί πρόσφορο έδαφος για την ανάπτυξη τεχνολογιών που βελτιστοποιούν την απόδοση των συμβατικών ενεργειακών συστημάτων. Οι τεχνολογίες αυτές ονομάζονται τεχνολογίες συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και οι οποίες θα αναφέρονται στο κείμενο απλά ως τεχνολογίες συμπαραγωγής. Ως συμπαραγωγή ενέργειας σύμφωνα με τον Φραγκόπουλο (1993) ονομάζουμε την συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την



Σχήμα 1.1 Σύγκριση απόδοσης ενός συστήματος συμπαραγωγής ενέργειας σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα παραγωγής ενέργειας

ίδια αρχική πηγή ενέργειας. Σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας η τεχνολογία αυτή υπερέχει αφού μπορεί να εκμεταλλευτεί ποσά ενέργειας που διαφορετικά θα αποβάλλονταν στο περιβάλλον ως μη εκμεταλλεύσιμα.

Μια απλή σύγκριση για την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος συμπαραγωγής ενέργειας σε σχέση με μια συμβατική λύση για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών που περιλαμβάνει χωριστή παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1. Όπως είναι φανερό, η διαφορά της συμπαραγωγής, έναντι της συμβατικής λύσης που εφαρμόζεται συνήθως γίνεται άμεσα αντιληπτή. Ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα το οποίο έχει η συμπαραγωγή ενέργειας, εκτός βέβαια από τα περιβαλλοντικά και ενεργειακά οφέλη προς τον χρήστη, είναι η ποικιλία των τεχνικών συμπαραγωγής, γεγονός που την καθιστά εξαιρετικά ευέλικτη και ικανή για την ικανοποίηση πολλαπλών και εξειδικευμένων αναγκών που είναι ζητούμενο στην σημερινή αγορά.

Οι τεχνικές συμπαραγωγής διαφέρουν μεταξύ τους λόγω της διάταξης των μερών τους, του θερμοδυναμικού κύκλου που ακολουθούν και του είδους του εργαζόμενου ρευστού. Επίσης διαφοροποιούνται και ως προς το αν παράγουν πρώτα θερμότητα ή ηλεκτρισμό. Πιο συγκεκριμένα στα λεγόμενα συστήματα κορυφής το ρευστό, χρησιμοποιείται αρχικά για την παραγωγή ηλεκτρισμού και η θερμότητα που απομένει χρησιμοποιείται για θερμικές διεργασίες. Αντίθετα στα συστήματα βάσης η θερμότητα που παράγεται χρησιμοποιείται πρώτα για τις διάφορες θερμικές ανάγκες υψηλής ενεργειακής στάθμης και στη συνέχεια χρησιμοποιούμε την υπολειπόμενη θερμότητα για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Έχοντας λοιπόν υπόψη μας τα παραπάνω χωρίζουμε τα σύγχρονα συστήματα συμπαραγωγής ενέργειας στις εξής κατηγορίες:

1.2 Συστήματα ατμοστροβίλου

Τα συστήματα αυτά μπορούν να λειτουργήσουν με μια μεγάλη γκάμα καυσίμων και η ισχύς τους κυμαίνεται από 500 KW έως και πάνω από 100 MW. Τα συστήματα ατμοστροβίλου χωρίζονται σε 3 υποκατηγορίες σύμφωνα με τον τρόπο διάταξής τους:

- Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης.
- Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης.
- Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης.

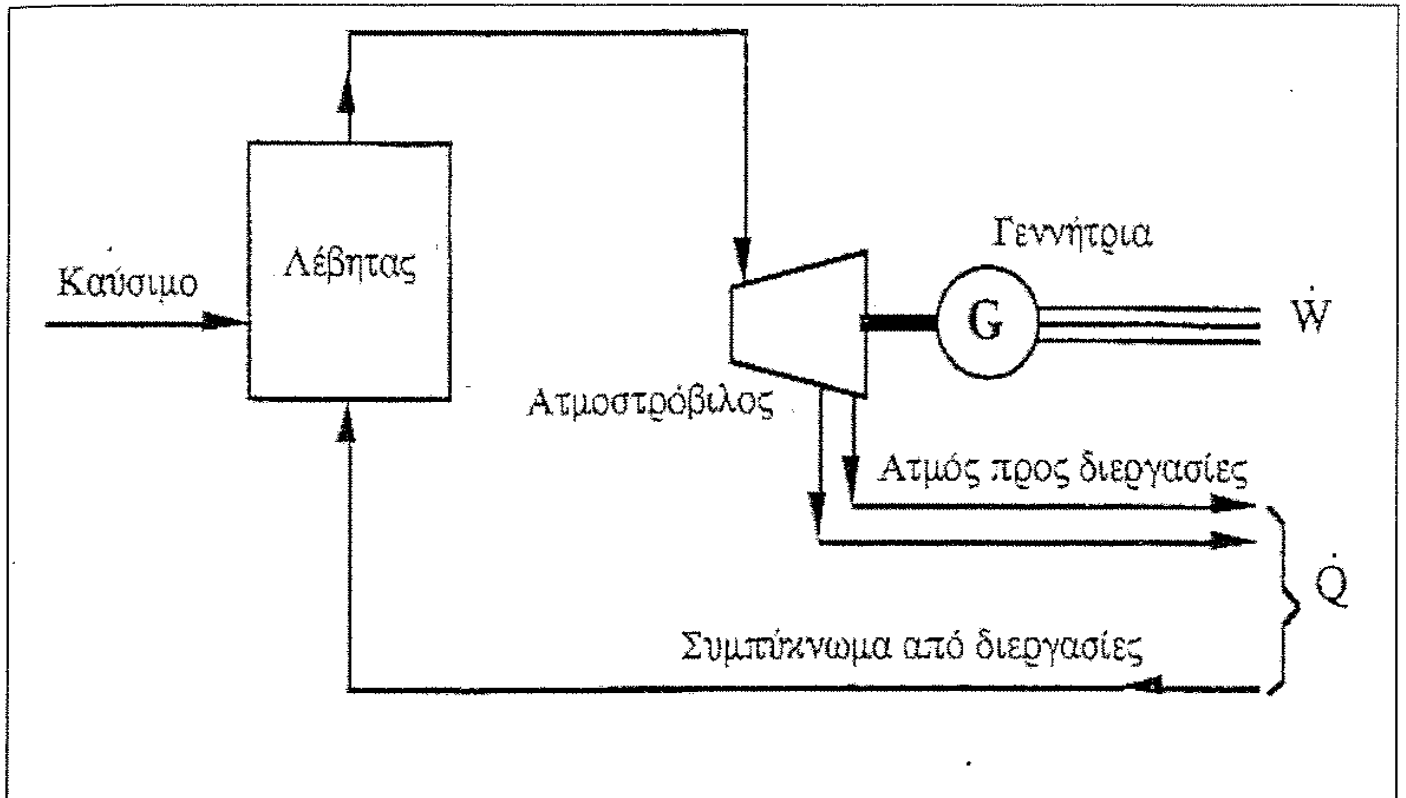
1.2.1 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν ατμό πίεσης από 20 – 100 bar και θερμοκρασίες 480 – 540 °C, ο οποίος προέρχεται από λέβητα που καταναλώνει καύσιμο (βλέπε σχήμα 1.2). Εν συνεχεία ο ατμός περνάει από ατμοστρόβιλο που είναι συνδεδεμένος με γεννήτρια ούτως ώστε να παραχθεί ηλεκτρισμός. Στην έξοδο του ατμοστροβίλου ο ατμός έχει κατάλληλη πίεση και θερμοκρασία για την χρησιμοποίησή του για προκαθορισμένες θερμικές διεργασίες. Ο όρος “αντίθλιψη” χρησιμοποιείται γιατί η πίεση του ατμού στην έξοδο του ατμοστροβίλου είναι ίση ή μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής ανάλογα με τις ανάγκες της θερμικής διεργασίας. Τα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι:

- Απλή δομή.
- Μειωμένο κόστος επένδυσης.
- Μειωμένη ως και μηδενική χρήση νερού ψύξης.
- Αυξημένο βαθμό απόδοσης λόγω του ότι δεν αποβάλλει θερμότητα στο περιβάλλον μέσω ψυγείου.

Τα μειονεκτήματά του είναι:

- Εξάρτηση της παραγωγής ηλεκτρισμού με την παραγωγή θερμότητας, οπότε περιορισμός στον τρόπο λειτουργίας της μονάδας.
- Αναγκαία η σύνδεση με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού αμφίδρομα για την ομαλή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.



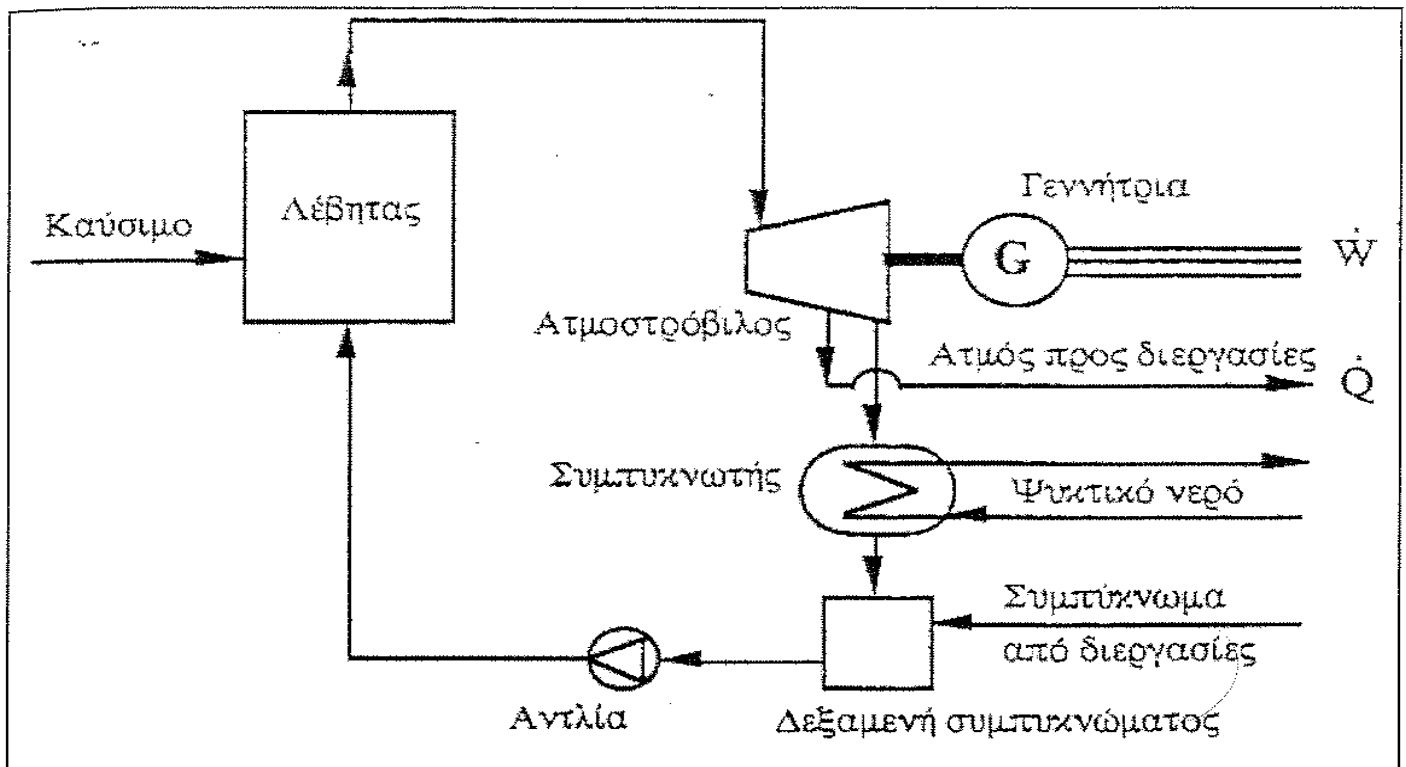
Σχήμα 1.2 Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

1.2.2 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης

Τα συστήματα αυτά διαφοροποιούνται από τα προηγούμενα ως προς το ότι ο ατμός δεν εξάγεται αποκλειστικά και μόνο από ένα σημείο του ατμοστρόβιλου, αλλά από διάφορες βαθμίδες του στις επιθυμητές θερμοκρασίες και πιέσεις. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.3 για την κατάλληλη λειτουργία του συστήματος αυτού είναι αναγκαία η ύπαρξη συμπυκνωτή στον οποίο θα αποτονώνεται ο ατμός που προέρχεται από τον ατμοστρόβιλο.

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι:

- Η παραγωγή ηλεκτρισμού γίνεται, ως ένα βαθμό, ανεξάρτητα από την παραγωγή θερμότητας.
- Κάλυψη πολλαπλών διαφορετικών θερμοκινών διεργασιών.



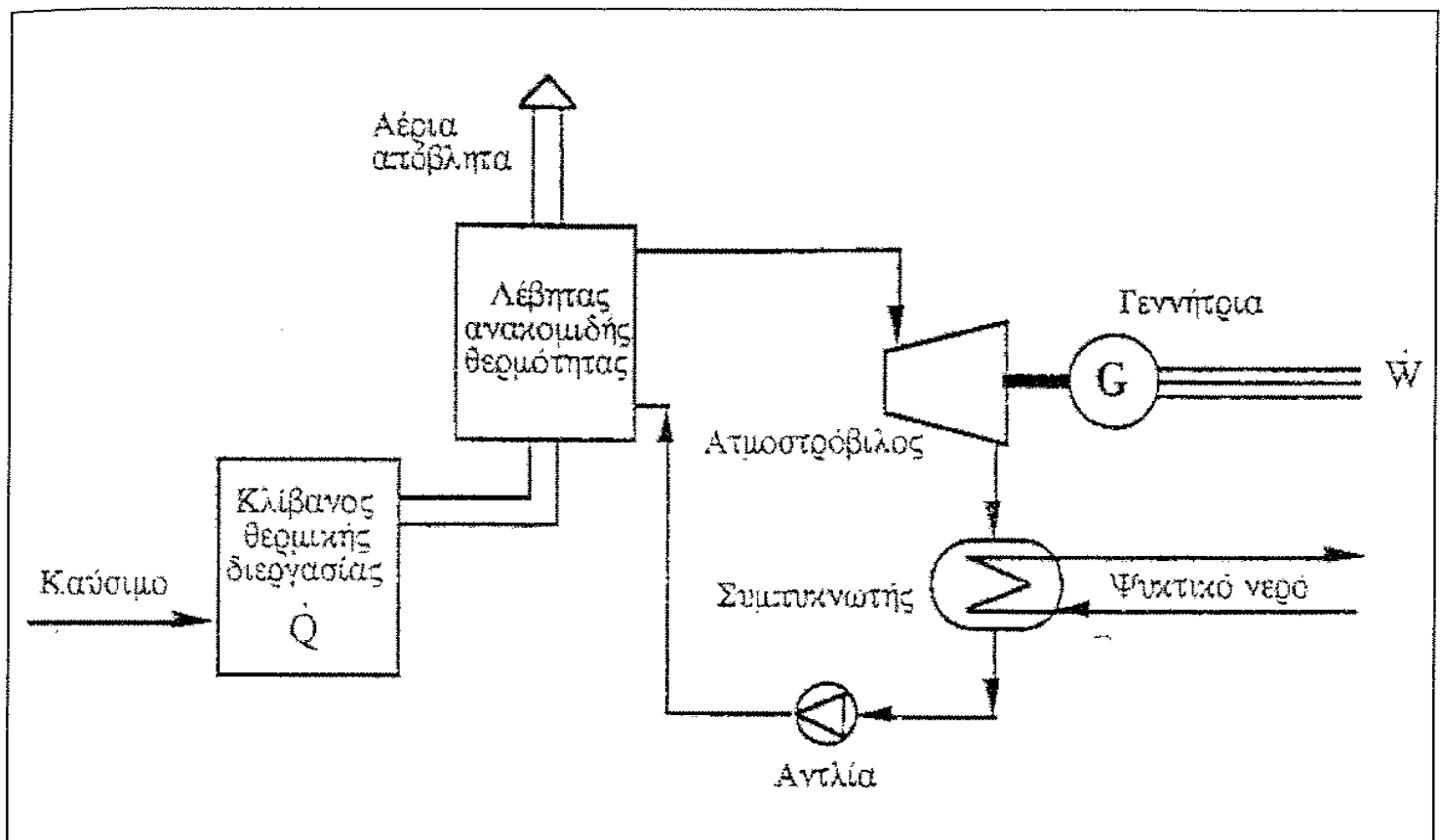
Σχήμα 1.3 Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης

Τα μειονεκτήματα είναι:

- Υψηλότερο κόστος επένδυσης.
- Μεγαλύτερη πολυπλοκότητα.
- Μικρότερος βαθμός απόδοσης λόγω της ύπαρξης του ψυγείου.

1.2.3 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης

Το σύστημα αυτό εν αντιθέσει με τα 2 προηγούμενα είναι ένα σύστημα βάσης. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου έχουμε διαθέσιμα αέρια απόβλητα υψηλής θερμοκρασίας της τάξεως των 500 έως 600 °C. Τα απόβλητα αυτά διοχετεύονται σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας, ο οποίος με τη σειρά του παράγει ατμό που οδηγείται σε ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Στο σχήμα 1.4 βλέπουμε ένα τέτοιο σύστημα. Ο κύκλος βάσης δεν είναι απαραίτητο να έχει συμπυκνωτή όπως στον ατμοστρόβιλο απομάστευσης, αλλά υπάρχει και η δυνατότητα ύπαρξης συστήματος ατμοστρόβιλου αντίθλιψης.



Σχήμα 1.4 Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης

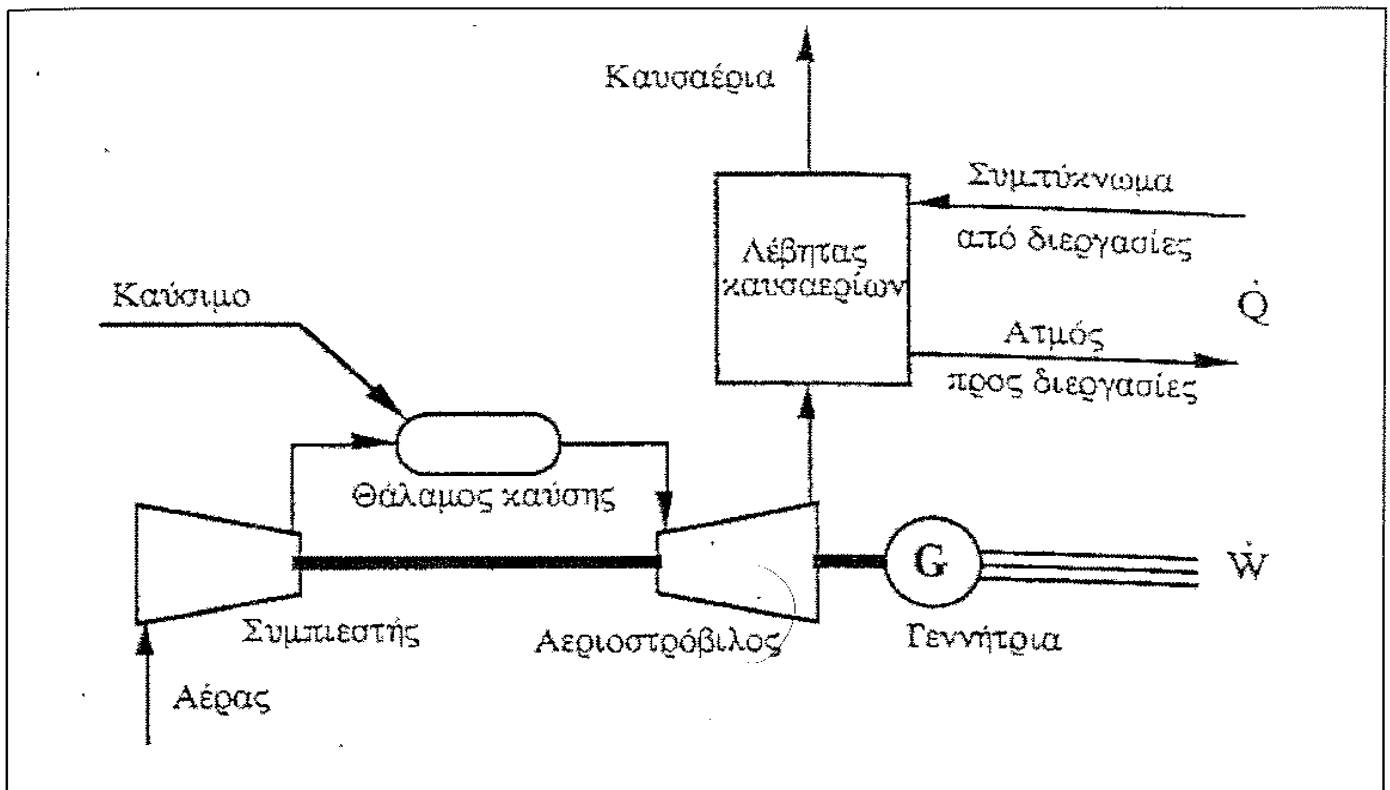
1.3 Συστήματα αεριοστροβίλου

Τα συστήματα αεριοστροβίλων χωρίζονται σε ανοικτού κύκλου, όπου το εργαζόμενο ρευστό είναι αέρας ο οποίος αναρροφάται από το περιβάλλον, και σε κλειστού κύκλου όπου το εργαζόμενο ρευστό κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα.

1.3.1 Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου

Τα συστήματα αυτά έχουν ισχύ που κυμαίνεται από 1 MW – 100 MW. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 1.5 αέρας εισάγεται στον συμπιεστή από το περιβάλλον και αφού η πίεση του φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο οδηγείται στον θάλαμο καύσης, όπου η καύση γίνεται με περίσσεια αέρα και με θερμοκρασίες που φτάνουν τους 1300 °C. Στη συνέχεια τα καυσαέρια διοχετεύονται στον αεριοστρόβιλο ο οποίος συνδέεται με γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά και με τον συμπιεστή, ούτως

ώστε να γίνεται η συμπίεση του αέρα. Τα καυσαέρια κατά την έξοδό τους από τον αεριοστρόβιλο έχουν θερμοκρασίες της τάξεως των 450-600 °C, ιδανικές δηλαδή για συμπαραγωγή. Σ' αυτό το σημείο μπορούμε είτε να χρησιμοποιήσουμε άμεσα τα καυσαέρια για χρήση τους σε θερμικές διεργασίες, είτε να τα περάσουμε από λέβητα ανακομιδής θερμότητας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.5, ούτως ώστε να παράγουμε ατμό υψηλών χαρακτηριστικών.



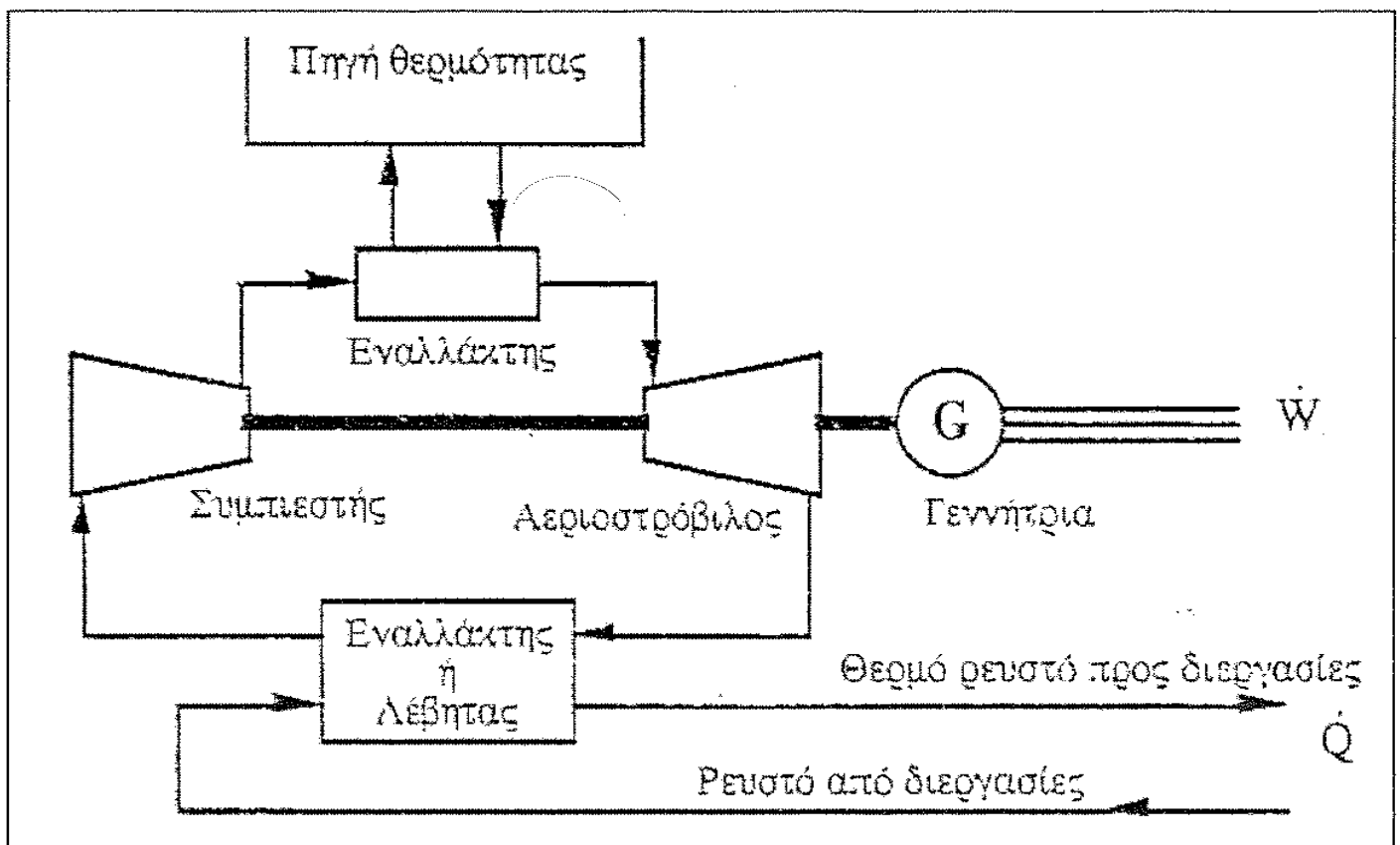
Σχήμα 1.5 Σύστημα συμπαραγωγής αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου

Μπορούμε αν θέλουμε να αυξήσουμε την θερμοκρασία των καυσαερίων μετά την έξοδό τους από τον αεριοστρόβιλο προσθέτοντας καυστήρες και εισάγοντας σε αυτούς καύσιμο. Το γεγονός πως τα καυσαέρια έχουν περίσσεια αέρα μας επιτρέπει την χρήση του για περαιτέρω καύση. Τα συστήματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούν συνήθως ως καύσιμο φυσικό αέριο, ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου ή γαιάνθρακες σε αεριοποιημένη μορφή. Το μειονέκτημα που παρουσιάζεται στην δεύτερη καύση, είναι το ότι τα καυσαέρια έρχονται σε άμεση επαφή με τα μέρη του αεριοστροβίλου, οπότε αν προκαλούν διάβρωση και έχουν σχετικά μεγάλη διάμετρο υπάρχει μεγάλος κίνδυνος τα πτερύγιά του αεριοστροβίλου να υποστούν σοβαρή ζημιά. Για το λόγο αυτό στα συστήματα ανοικτού κύκλου υπάρχει η δυνατότητα παρουσίας ειδικών

διατάξεων πριν από τον θάλαμο καύσης, οι οποίες καθαρίζουν τα καυσαέρια πριν την εισαγωγή τους στον θάλαμο.

1.3.2 Συστήματα αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στα συστήματα αυτά το εργαζόμενο ρευστό κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα οπότε και παραμένει καθαρό, ενώ η ενέργεια στο σύστημα εισάγεται μέσω ενός εναλλάκτη. Το γεγονός λοιπόν αυτό μας δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε μια ευρεία γκάμα ενεργειακών πηγών διευρύνοντας έτσι τις δυνατότητες εφαρμογής του συστήματος. Μετά την συμπίεση και θέρμανσή του το ρευστό, που είναι συνήθως αέρας ή ήλιο, εισάγεται στον αεριοστρόβιλο και δίνει ρεύμα μέσω μιας γεννήτριας, ενώ παράλληλα τροφοδοτεί και τον συμπιεστή. Στη συνέχεια το ρευστό περνά από έναν δεύτερο εναλλάκτη για να αποδώσει την ενέργεια που προορίζεται για θερμικές διεργασίες. Η ισχύς των συστημάτων αυτών κυμαίνεται από 2 – 50 MW.



Σχήμα 1.6 Σύστημα συμπαραγωγής αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου

1.4 Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης

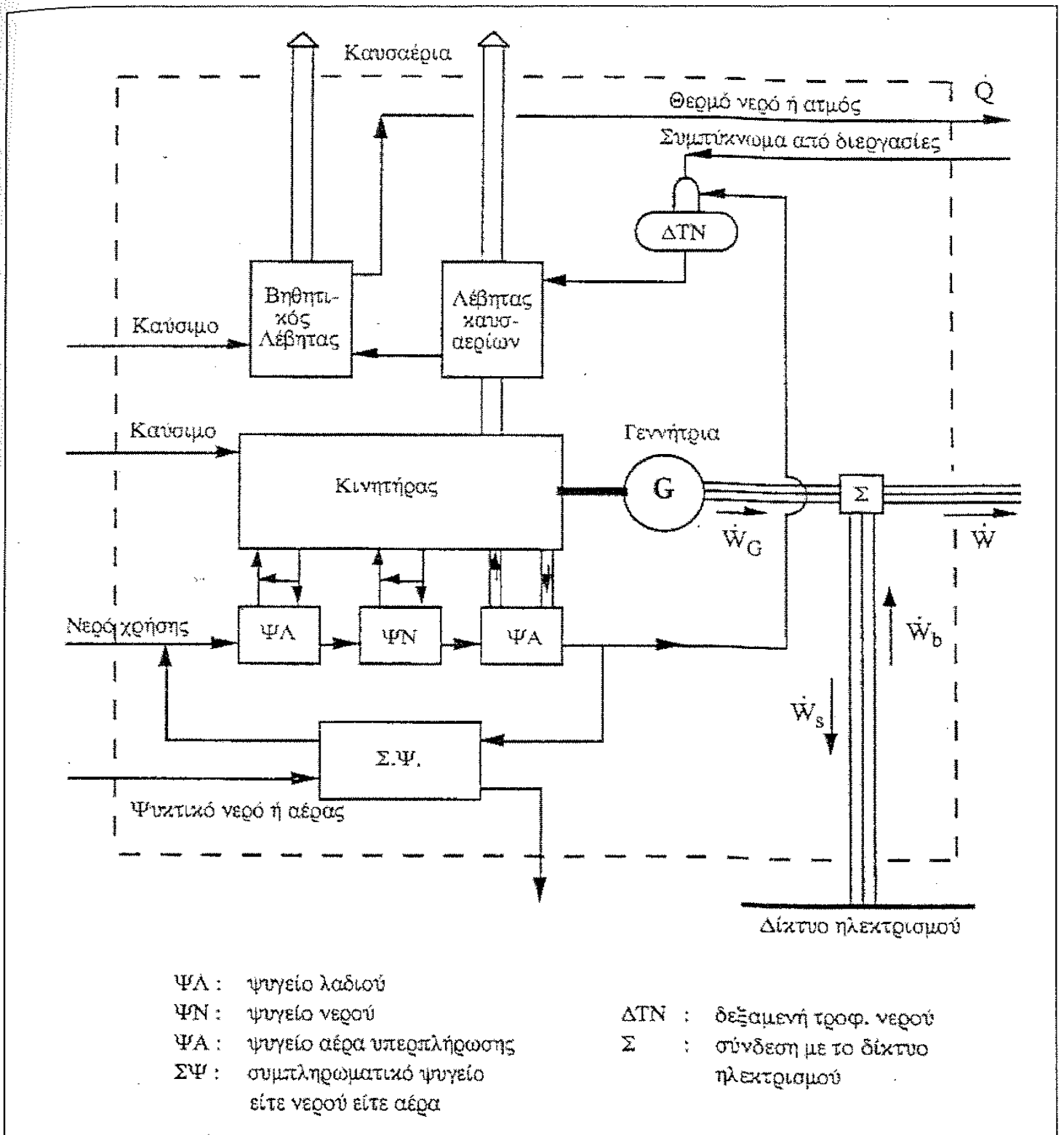
Οι 2 τύποι παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης στις οποίες βασίζονται τα συστήματα αυτά είναι οι κινητήρες Otto και Diesel. Στους μεν κινητήρες Otto το καύσιμο μπορεί να είναι είτε βενζίνη, είτε ένα αέριο καύσιμο όπως φυσικό αέριο, προπάνιο, βιοαέριο. Στους δε κινητήρες Diesel λόγω των υψηλότερων πιέσεων και θερμοκρασιών που επικρατούν, τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα είναι βαρύτερα όπως ντίζελ. Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης παρουσιάζουν μεγάλες αποδόσεις και έχουν ένα μεγάλο εύρος ισχύος, από 15 kW – 50 MW.

Οι 3 κατηγορίες των συστημάτων με παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης είναι:

- Συστήματα μικρής ισχύος με κινητήρα Otto από 15 έως 1000 kW ή κινητήρα Diesel από 75 έως 1000 kW.
- Συστήματα μέσης ισχύος από 1000 έως 6000 kW με κινητήρα Otto ή Diesel.
- Συστήματα μεγάλης ισχύος που υπερβαίνουν τα 6000 kW με κινητήρα Diesel.

Βέβαια για την χρήση κινητήρα Otto και Diesel σε συστήματα συμπαραγωγής, ειδικά αυτών που είναι μικρής ισχύος, ενδέχεται να απαιτείται ειδική σχεδίαση του κινητήρα ή μετατροπή του εκ των υστέρων ούτως ώστε να μπορεί να λειτουργήσει με μια μεγαλύτερη γκάμα καυσίμων και ειδικά με αέρια καύσιμα. Όταν οι μηχανές καταναλώνουν αέριο καύσιμο ονομάζονται αεριομηχανές. Οι τύποι αεριομηχανών που είναι εμπορικά διαθέσιμοι και φτάνουν σε ισχύ μέχρι τα 6000 kW είναι:

- Κινητήρες Otto αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές.
- Κινητήρες Diesel αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές.
- Σταθερές μηχανές που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές ή που έχουν σχεδιαστεί ως αεριομηχανές.
- Σταθερές μηχανές διπλού καυσίμου.



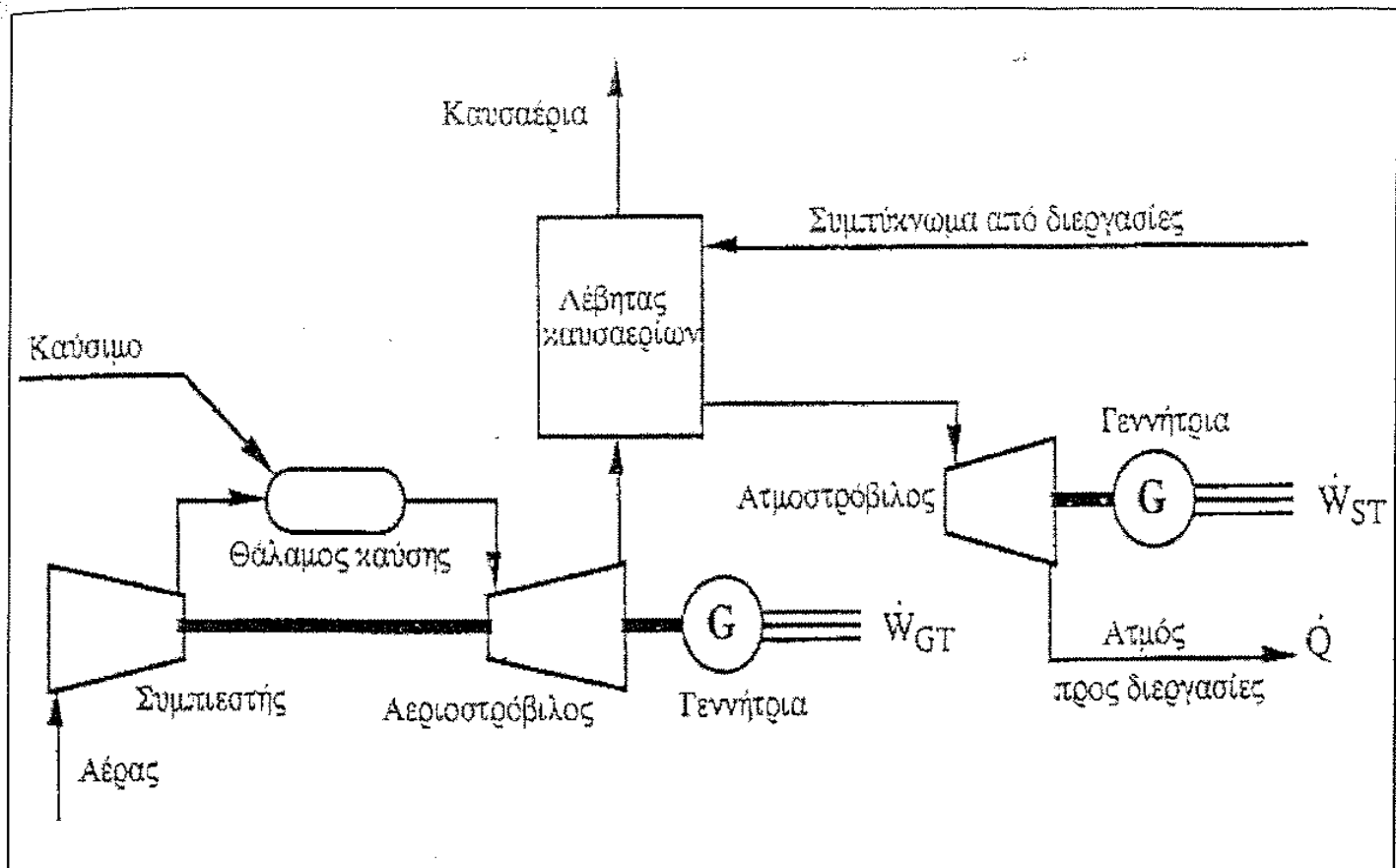
Σχήμα 1.7 Σύστημα συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης

Στο σχήμα 1.7 παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας ενός συστήματος που χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης. Αρχικά το καύσιμο και ο αέρας, έχοντας ενδεχομένως περάσει από στροβιλοπληρωτή, εισάγονται στον κινητήρα και αφού

γίνει η καύση τους και παραχθεί ο ηλεκτρισμός τα αέρια που προκύπτουν διοχετεύονται στον λέβητα καυσαερίων. Παράλληλα το νερό χρήσης αφού περάσει από όλα τα ψυγεία και προθερμανθεί ενώνεται με το συμπύκνωμα από τις διεργασίες και κατευθύνεται στον λέβητα καυσαερίων όπου θερμαίνεται έως την επιθυμητή θερμοκρασία και πίεση. Όμως επειδή τα καυσαέρια των συστημάτων που χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης είναι της τάξεως των 300 – 400 °C, πολλές φορές παρουσιάζεται η ανάγκη για την παραγωγή επιπρόσθετου ποσού θερμότητας. Έτσι ενδέχεται να υπάρχει και ένας βοηθητικός λέβητας από τον οποίο θα περνά το εργαζόμενο ρευστό πριν καταλήξει στις διεργασίες.

1.5 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου

Τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου συνδυάζουν 2 θερμοδυναμικούς κύκλους οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο εργαζόμενο ρευστό και λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.8 η θερμότητα που προκύπτει από τον κύκλο υψηλής θερμοκρασίας, αφού παραχθεί πρώτα το ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του στρόβιλου, εισάγεται μέσα στον λέβητα καυσαερίων. Στη συνέχεια, μέρος της θερμότητας παραλαμβάνεται από το εργαζόμενο ρευστό του δεύτερου κύκλου, που στο σχήμα είναι ατμοστρόβιλος αντίθλιψης, και θέτει σε λειτουργία τον δεύτερο στρόβιλο για επιπλέον παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα αυτού του τύπου είναι τα συστήματα αεριοστρόβιλου – ατμοστρόβιλου. Όπως γίνεται κατανοητό λόγω των περισσότερων κύκλων η πολυπλοκότητα του συστήματος αυξάνει, αλλά παράλληλα αυξάνει και η απόδοσή του και μάλιστα σε ηλεκτρική ισχύ. Αν η θερμοκρασία εξόδου του πρώτου κύκλου είναι μικρότερη της απαιτούμενης, υπάρχει η δυνατότητα να προσθέσουμε, στην περίπτωση που έχουμε σύστημα αεριοστρόβιλου – ατμοστρόβιλου, και άλλα ποσά ενέργειας στο σύστημα εισάγοντας στον λέβητα καυσαερίων επιπλέον ποσότητα καυσίμου. Η ισχύς των συστημάτων αυτών κυμαίνεται από 20 – 400 MW, ενώ υπάρχουν και μικρότερα συστήματα ισχύος 4 – 11 MW.



Σχήμα 1.8 Σύστημα συμπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

1.6 Κύκλοι βάσης Rankine με οργανικά ρευστά

Στα συστήματα αυτά στη θέση του νερού χρησιμοποιούνται οργανικά ρευστά με χαμηλή θερμοκρασία βρασμού, όπως η τολουόλη. Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει να εκμεταλλευτούμε καυσαέρια χαμηλής θερμοκρασίας που προέρχονται από διάφορες θερμικές διεργασίες, για την εξάτμιση του οργανικού ρευστού. Στη συνέχεια σε αέρια μορφή μετά την εξάτμισή του το ρευστό διοχετεύεται σε στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Με τον τρόπο αυτό έχουμε την δυνατότητα εκμετάλλευσης ποσών θερμότητας που στην περίπτωση χρήσης ατμού δεν θα ήταν εφικτή. Οι πηγές θερμότητας σ' αυτή την μέθοδο ποικίλουν λόγω του ότι το οργανικό ρευστό βρίσκεται σε κλειστό κύκλωμα και δεν έρχεται σε άμεση επαφή μ' αυτές. Η ισχύς τους κυμαίνεται από 2 kW – 10 MW και ο βαθμός απόδοσης από 10 – 30 %. Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι:

- Εκμετάλλευση θερμικών φορτίων που διαφορετικά θα ήταν μη χρησιμοποιήσιμα.
- Το σύστημα αυτό παράγει ισχύ χωρίς την κατανάλωση επιπρόσθετου καυσίμου.

Μειονεκτήματα:

- Τα οργανικά ρευστά είναι ακριβά.
- Μπορεί το οργανικό ρευστό που χρησιμοποιείται να είναι επικίνδυνο οπότε χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και σχεδιασμός του συστήματος.
- Ανάγκη για αυξημένη στεγανότητα του συστήματος.
- Επιλογή υλικών που να αντιστέκονται στις διαβρωτικές ικανότητες που ενδεχομένως να έχει το οργανικό ρευστό.

1.7 Άλλες τεχνικές συμπαραγωγής

Δύο ακόμη τεχνικές για την επίτευξη συμπαραγωγής είναι τα συστήματα συμπαραγωγής με στοιχεία καυσίμου και τα συστήματα συμπαραγωγής με μηχανές Stirling. Και οι δύο αυτές τεχνικές είναι σε πειραματικό στάδιο και δεν έχει ολοκληρωθεί η εμπορική εφαρμογή τους γι' αυτό και δεν θα αναλυθούν περαιτέρω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

2.1 Γενικά

Το ποσοστό που συνεισφέρει η συμπαραγωγή στην Ελλάδα καλύπτει το 3,4% επί του συνόλου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό το ποσοστό είναι ένα από τα χαμηλότερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση και είναι ενδεικτικό της μικρής διείσδυσης που έχει η συμπαραγωγή στην χώρα μας. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα το 2000 ήταν 706 MW_e, ενώ η αντίστοιχη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν 3122 GWh. Όμως οι αριθμοί αυτοί είναι πλασματικοί, όπως τονίζεται και από τους Sarmentero, Θεοφύλακτο και Πανούτσου (2003). Τα 495 MW_e αντιστοιχούν σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της ΔΕΗ οι οποίοι εκ των υστέρων και εν μέρει μετατράπηκαν σε σταθμούς συμπαραγωγής με σκοπό την παροχή τηλεθέρμανσης. Συνεπώς από τα 495 MW_e μικτή ηλεκτρική ισχύ, μόνο τα 34 MW_e αντιστοιχούν σε συμπαραγωγή, ενώ τα υπόλοιπα 461 MW_e θεωρούνται ότι αντιστοιχούν μόνο σε παραγωγή ηλεκτρισμού, δηλαδή η θερμότητα που απομένει δεν χρησιμοποιείται για συμπαραγωγή αλλά απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Συνεπώς η πραγματική ηλεκτρική ισχύς συμπαραγωγής είναι 245 MW_e και η ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή είναι 1137 GWh.

Οι λόγοι οι οποίοι συνετέλεσαν στην χαμηλή διείσδυση της συμπαραγωγής στη Ελλάδα είναι αρχικά το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι μια μεσογειακή χώρα η οποία έχει ζεστό κλίμα. Αυτό σε συνδυασμό με το ότι στον ελλαδικό χώρο δεν έχουμε βαριά βιομηχανία, δημιουργεί συνθήκες που δεν επιτρέπουν εύκολα την εγκατάσταση συστημάτων συμπαραγωγής.

Ένας δεύτερος παράγοντας που έπαιξε σημαντικό ρόλο ήταν η απουσία της επιλογής του φυσικού αερίου ως καυσίμου. Το φυσικό αέριο εκτός από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει λόγω της καθαρότητάς του και της ευκολίας μεταφοράς του, δίνει την δυνατότητα και σε μικρότερους καταναλωτές που μπορεί να ανήκουν στον τριτογενή τομέα να κάνουν χρήση της συμπαραγωγής.

Αιτία αποτέλεσαν επίσης και οι πολύπλοκες γραφειοκρατικές διαδικασίες για την εγκατάσταση και λειτουργία συστημάτων συμπαραγωγής, καθώς και η έλλειψη τεχνογνωσίας στην Ελλάδα πάνω στην τεχνολογία της συμπαραγωγής, με αποτέλεσμα

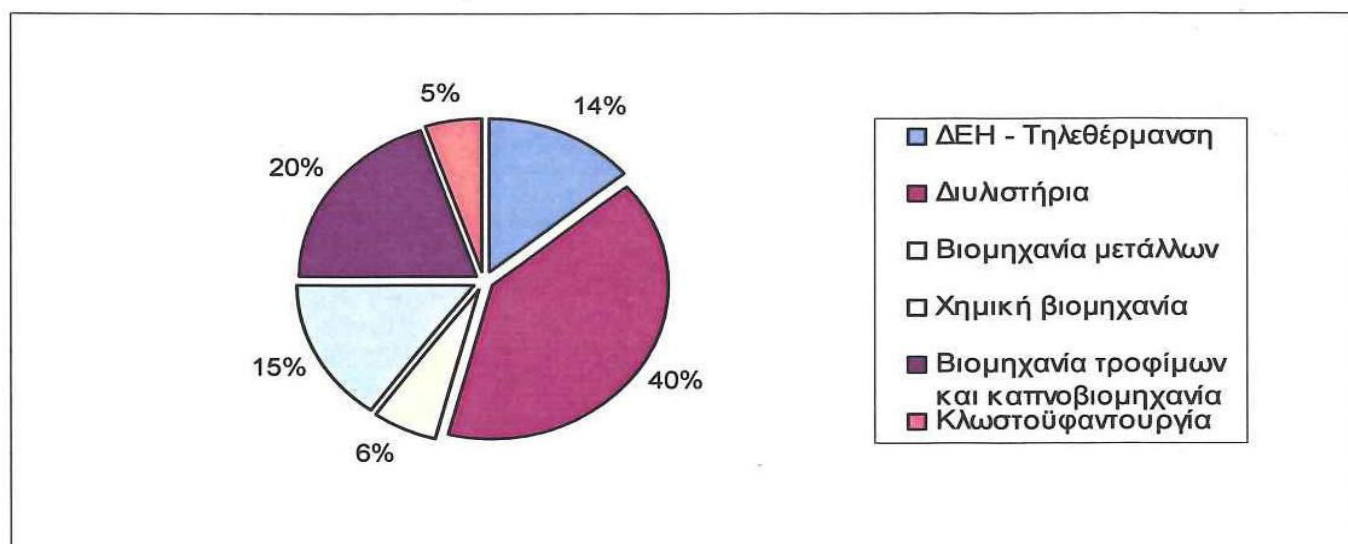
να αποθαρρύνονται οι επενδυτές και να στρέφονται σε άλλες επιλογές για την ικανοποίηση των ενεργειακών τους αναγκών.

Τέλος ρόλο έπαιξε και το γεγονός ότι η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας δεν είχε απελευθερωθεί με αποτέλεσμα οι τεχνολογίες αυτές να μην μπορούν να ανταγωνιστούν σε επίπεδο τιμών την ΔΕΗ, η οποία κατείχε το μονοπώλιο.

Τα περισσότερα εργοστάσια συμπαραγωγής ενέργειας χτίστηκαν την περίοδο 1970 – 1980 χωρίς οικονομικές διευκολύνσεις. Από το 1990 η ΔΕΗ μετέτρεψε μερικούς από τους ηλεκτρικούς σταθμούς σε σταθμούς συμπαραγωγής για την παροχή τηλεθέρμανσης στις ευρύτερες των ηλεκτρικών σταθμών περιοχές. Τα τελευταία χρόνια λόγω του νέου νομοθετικού πλαισίου που υιοθετήθηκε, αλλά και χάρις στην δημιουργία υποδομών τόσο στον τομέα του ηλεκτρισμού, όσο και στον τομέα του φυσικού αερίου η κατάσταση έχει αντιστραφεί και σε συνδυασμό με τις υψηλές τιμές πετρελαίου, αλλά και με την αλλαγή στην ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης η εξάπλωση της τεχνολογίας συμπαραγωγής αυξάνεται συνεχώς.

2.2 Η συμπαραγωγή ανά τομέα

Η συμπαραγωγή όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από το σχήμα 2.1 μπορεί να διεισδύσει σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Για την



Σχήμα 2.1 Ποσοστό της συμπαραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα ανά τομέα με βάση την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ

Ελλάδα από άποψη εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος τα διυλιστήρια κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό το οποίο φτάνει το 40%. Αυτό οφείλεται στο ότι τα διυλιστήρια έχουν συνεχόμενη λειτουργία, χρησιμοποιούν ως καύσιμο υποπροϊόντα διυλιστηρίου τα οποία κοστίζουν πολύ φθηνά, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα που παρουσιάζουν είναι πάρα πολύ καλός. Από την άλλη πλευρά, στην βιομηχανία τροφίμων και στην καπνοβιομηχανία έχουμε μεγάλο αριθμό εγκαταστάσεων συμπαραγωγής.

Στον εμπορικό τομέα αντίθετα ο αριθμός των εγκατεστημένων συστημάτων συμπαραγωγής είναι πολύ μικρός γι' αυτό και δεν περιλαμβάνεται στον πίνακα 2.1. Μελέτες για συγκεκριμένα έργα έχουν δείξει ότι οι επενδύσεις στην συμπαραγωγή για τον συγκεκριμένο τομέα δεν είναι βιώσιμες, εκτός και αν η παραγόμενη θερμότητα από την εγκατάσταση συμπαραγωγής χρησιμοποιείται και για ψύξη κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

Τομέας	Μέγιστη ισχύς			Παραγωγή ενέργειας			Καύσιμο	Αριθμός συστημάτων ΣΗΘ
	Ηλεκτρισμός		Θερμότητα	Ηλεκτρισμός		Θερμότητα	Κατανάλωση	
	Από ΣΗΘ (MW)	Μικτή (MW)	Από ΣΗΘ (MW)	Από ΣΗΘ (GWh)	Μικτή (GWh)	Από ΣΗΘ (TJ)	TJ	
ΔΕΗ - Τηλεθέρμανση	34	495	120	147	2132	1174	21844	2
Διυλιστήρια	99	99	201	635	635	3394	7310	7
Βιομηχανία μετάλλων	14	14	85	54	54	1270	1947	3
Χημική βιομηχανία	36	36	106	156	156	2043	4821	6
Βιομηχανία τροφίμων και καπνοβιομηχανία	50	50	331	110	110	2944	3719	14
Κλωστοϋφαντουργία	13	13	67	36	36	736	1077	2
Σύνολο αυτοπαραγωγών	211	211	790	990	990	10386	18872	32
Σύνολο	245	706	910	1137	3122	11560	40717	34

Πίνακας 2.1 Η παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ισχύς και ενέργεια από συμπαραγωγή στην Ελλάδα ανά τομέα

2.3 Η συμπαραγωγή ανά τύπο καυσίμου

Τα είδη των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για συμπαραγωγή στην Ελλάδα είναι πολλά. Καταρχήν είναι το φυσικό αέριο το οποίο λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει προτιμάται σε μεγάλο ποσοστό από τους αυτοπαραγωγούς. Μάλιστα όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από τα στοιχεία του πίνακα 2.2, το $575 / 1137 = 51\%$ της ηλεκτρικής ενέργειας και το $5207 / 11560 = 45\%$ της θερμικής ενέργειας που προέρχονται από συμπαραγωγή παράγονται σε συστήματα που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο. Ένα άλλο καύσιμο που επιλέγεται για συμπαραγωγή και παράγει το $1174 / 11560 = 10\%$ της θερμικής ενέργειας είναι ο λιγνίτης, ο οποίος χρησιμοποιείται στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της ΔΕΗ. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως τα υποπροϊόντα διύλισης χρησιμοποιούνται και αυτά στα συστήματα συμπαραγωγής των διυλιστηρίων. Επίσης το πετρέλαιο είναι ευρέως διαδεδομένο στην συμπαραγωγή, ενώ σιγά σιγά αρχίζει να αυξάνεται το ενδιαφέρον και για τα συμβατικά καύσιμα. Για παράδειγμα η βιομάζα έχει καλές δυνατότητες χρησιμοποίησης ως καύσιμο συμπαραγωγής, λόγω των υπολογίσιμων ποσοτήτων αγροτικών και δασικών υπολειμμάτων οι οποίες παράγονται στην χώρα τον χρόνο.

Χρήστες συστήματος συμπαραγωγής	Τύπος καυσίμου	Παραγωγή ενέργειας			Κατανάλωση Καυσίμου
		Ηλεκτρισμός		Θερμότητα	
		Από ΣΗΘ (GWh)	Μικτή (GWh)	Από ΣΗΘ (TJ)	Μικτή (TJ)
ΔΕΗ	Λιγνίτης	147	2132	1174	21844
Αυτοπαραγωγοί	Φυσικό Αέριο	575	575	5207	10798
	Άλλα καύσιμα	415	415	5178	8075
Σύνολο		1137	3122	11560	40717

Πίνακας 2.2 Παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ισχύς και ενέργεια από συμπαραγωγή στην Ελλάδα ανά τύπο καύσιμου

Υπάρχουν ήδη τρεις μονάδες συμπαραγωγής με βιομάζα οι οποίες λειτουργούν στην Ελλάδα και οι οποίες παράγουν 179 GWh ηλεκτρισμού το χρόνο.

2.4 Η συμπαραγωγή ανά χρησιμοποιούμενη τεχνολογία συμπαραγωγής

Οι τύποι των τεχνολογιών συμπαραγωγής που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα όπως φαίνεται και στον πίνακα 2.3 είναι δύο. Οι αεριοστρόβιλοι με ανάκτηση θερμότητας οι οποίοι αποτελούν το $106 / 245 = 43 \%$ της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος των μονάδων συμπαραγωγής και παράγουν το $664 / 1137 = 58 \%$ της ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή και οι ατμοστρόβιλοι αντίθλιψης οι οποίοι αποτελούν το $139 / 245 = 57 \%$ της ισχύος και παράγουν το $473 / 1137 = 42 \%$ της ενέργειας αντίστοιχα.

Τύπος συστήματος συμπαραγωγής ενέργειας	Μέγιστη ισχύς		Παραγωγή ενέργειας			Καύσιμο	Αριθμός συστημάτων ΣΗΘ	
	Ηλεκτρισμός		Θερμότητα	Ηλεκτρισμός		Θερμότητα		Κατανάλωση
	Από ΣΗΘ (MW)	Μικτή (MW)	Από ΣΗΘ (MW)	Από ΣΗΘ (GWh)	Μικτή (GWh)	Από ΣΗΘ (TJ)		TJ
Συνδυασμένου Κύκλου	0	0	0	0	0	0	0	0
Αεριοστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας	106	106	218	664	664	33708	7766	10
Μηχανή εσωτερικής καύσης	0	0	0	0	0	0	0	0
Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης	139	600	693	473	2458	7852	32951	24
Ατμοστρόβιλος απομάστευσης	0	0	0	0	0	0	0	0
Άλλα συστήματα	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	245	706	910	1137	3122	11560	40717	34

Πίνακας 2.3 Παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ισχύς και ενέργεια από συμπαραγωγή στην Ελλάδα ανά τύπο χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας συμπαραγωγής



2.5 Τηλεθέρμανση

Υπάρχουν 4 μεγάλα συστήματα τηλεθέρμανσης στην Ελλάδα, όπως φαίνεται και στον πίνακα 2.4, εκ των οποίων τα τρία βρίσκονται στην Δυτική Μακεδονία και το τέταρτο στην Πελοπόννησο. Η θερμότητα των συστημάτων αυτών προέρχεται από τους ΑΗΣ της ΔΕΗ οι οποίοι αναβαθμίστηκαν σε συστήματα συμπαραγωγής για να εξυπηρετούν τις ανάγκες θέρμανσης του πληθυσμού των γύρω περιοχών.

Περιοχή	Θερμική ισχύς σταθμού (MW)
Κοζάνη	67
Πτολεμαίδα	50
Αμύνταιο	40
Μεγαλόπολη	20

Πίνακας 2.4 Εγκατεστημένη θερμική ισχύς τηλεθέρμανσης ανά περιοχή

2.6 Η συμπαραγωγή και η συνθήκη του Κιότο

Μέσω της συνθήκης του Κιότο η Ελλάδα επιτρέπεται να αυξήσει κατά 25 % τις εκπομπές CO₂ σε σχέση με τις εκπομπές του 1990, μέσα στην περίοδο 2008 – 2012. Δυστυχώς το 2003 οι εκπομπές έφτασαν το 23 % του επιπέδου εκπομπών του 1990 και αν δεν ληφθούν ουσιαστικά μέτρα άμεσα, το ποσοστό των εκπομπών έως το 2010 θα φτάσει το 28,9 % ξεπερνώντας το συμφωνημένο όριο, πράγμα το οποίο εκτός από περιβαλλοντικές επιπτώσεις συνεπάγεται και οικονομικές επιπτώσεις. Το δεύτερο εθνικό πρόγραμμα για την κλιματική αλλαγή αναδεικνύει την διεύρυνση της συμπαραγωγής στην βιομηχανία και τον τριτογενή τομέα ως ένα από τα κυριότερα μέτρα που πρέπει να χρησιμοποιηθούν στον τομέα της ενέργειας χωρίς όμως να επιβάλλει σαφείς στόχους και χρονοδιαγράμματα.

2.7 Φορείς που προάγουν την ανάπτυξη της συμπαραγωγής

Οι φορείς που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση του τοπίου στην Ελλάδα, τόσο για την δημιουργία του νομικού πλαισίου, όσο και για την ανάπτυξη του ενεργειακού σχεδιασμού είναι οι 3 που ακολουθούν:

2.7.1 Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)

Ιδρύθηκε τον Ιούλιο του 2000 και σκοπός της είναι να συμβουλεύει το Υπουργείο Ανάπτυξης σε θέματα που αφορούν την αγορά του ηλεκτρισμού, τον καθορισμό των τιμών του τελικού χρήστη του ηλεκτρισμού, καθώς και την αδειοδότηση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης ευθύνη της ΡΑΕ είναι και ο έλεγχος του Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ). Τέλος, ο ρόλος της ΡΑΕ είναι γνωμοδοτικός και είναι απαραίτητη η συγκατάθεση του Υπουργού Ανάπτυξης για την λήψη οποιασδήποτε απόφασης.

2.7.2 Υπουργείο Ανάπτυξης (ΥΠΑΝ)

Το Υπουργείο Ανάπτυξης είναι ο κυβερνητικός φορέας ο οποίος έχει την ευθύνη για ότι αφορά τον ενεργειακό τομέα. Ένα από τα καθήκοντά του είναι ο έλεγχος της ΡΑΕ και έχει τη δυνατότητα να ασκεί μεγάλη επιρροή στο έργο της. Επιπροσθέτως ο Υπουργός Ανάπτυξης είναι υπεύθυνος για τον σχεδιασμό της ενεργειακής πολιτικής της χώρας, συνεπώς επηρεάζει τόσο τον τομέα του ηλεκτρισμού όσο και τον τομέα του φυσικού αερίου.

2.7.3 Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ)

Σκοπός του υπουργείου στον ενεργειακό τομέα, είναι η επίτευξη των δεσμεύσεων που έχει αναλάβει η ελληνική κυβέρνηση όσον αφορά τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και την αλλαγή του κλίματος εν γένει. Για τον λόγο αυτό το υπουργείο έχει την ευθύνη για την ανάπτυξη της στρατηγικής που θα ακολουθηθεί για την επίτευξη των στόχων αυτών.

2.8 Οργανισμοί που επηρεάζουν την αγορά συμπαραγωγής στην Ελλάδα

2.8.1 Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ)

Η ΔΕΗ από τις 12 / 12 / 2001 είναι μια ιδιωτική εταιρία και έπαψε να ανήκει εξ' ολοκλήρου στο δημόσιο. Έχει εισαχθεί στο χρηματιστήριο και μόνο ένα ποσοστό των μετοχών της ανήκει στο κράτος. Στη ΔΕΗ ανήκει το 97 % της εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα, ενώ παράλληλα είναι ιδιοκτήτης όλου του συστήματος μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος η ΔΕΗ είναι ο διαχειριστής του συστήματος διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας.

2.8.2 Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ)

Η ΔΕΠΑ είναι μία ιδιωτική εταιρία της οποίας το 65 % των μετοχών ανήκει στο δημόσιο και το υπόλοιπο 35 % ανήκει στα ελληνικά πετρέλαια. Είναι ο μόνος εισαγωγέας φυσικού αερίου στην Ελλάδα και σ' αυτόν ανήκει το σύστημα μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου. Είναι επίσης ο διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς και διανομής και έχει την ευθύνη τόσο της συντήρησης, όσο και της επέκτασης των δικτύων αυτών, αλλά και την δημιουργία των όποιων υποδομών χρειαστούν.

2.8.3 Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ)

Ο ΔΕΣΜΗΕ είναι μια ιδιωτική εταιρία της οποίας το 51 % των μετοχών ανήκει στο δημόσιο και το υπόλοιπο 49 % ανήκει στην ΔΕΗ. Το ποσοστό βέβαια της ΔΕΗ θα μειωθεί τα επόμενα χρόνια καθώς όλοι οι μεγάλοι παραγωγοί του συστήματος που θα μπουν στην αγορά τα επόμενα χρόνια, θα έχουν δικαίωμα στην κατοχή μετοχών της εταιρίας, σε αναλογία βέβαια με το μερίδιο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που εκπροσωπούν. Σκοπός του ΔΕΣΜΗΕ είναι η διαχείριση του συστήματος τόσο από τεχνικής απόψεως ούτως ώστε και να υλοποιούνται οι συναλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και από οικονομικής απόψεως έτσι ώστε να

καθορίζεται η τιμή αγοράς και πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα πλαίσιο ελεύθερου ανταγωνισμού. Επίσης ευθύνη του ΔΕΣΜΗΕ είναι η συντήρηση του συστήματος και η κατάρτιση μελετών για την ανάπτυξή του.

2.9 Νομοθετικό πλαίσιο που αφορά την συμπαραγωγή

2.9.1 Νόμος 2773/99 για την απελευθέρωση του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας

Αυτός ο νόμος υιοθετήθηκε το 1999 ώστε να αναδιαμορφωθεί ο τομέας του ηλεκτρισμού στην Ελλάδα και να ευθυγραμμιστεί η Ελλάδα με την ευρωπαϊκή πολιτική που αφορά την απελευθέρωση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας.

2.9.2 Υπουργική Απόφαση 21475/4707/93

Καθιερώνει μέτρα και συνθήκες για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, κάτι το οποίο βοηθά στην εξάπλωση της χρήσης συμπαραγωγής στον τομέα αυτό. Μέχρι στιγμής αναμένεται Προεδρικό Διάταγμα, ούτως ώστε να ολοκληρωθεί η απόφαση αυτή.

2.9.3 Νόμος 2364/1995 για το φυσικό αέριο

Ο νόμος αυτός καθορίζει ότι η ΔΕΠΑ είναι υπεύθυνη για την εισαγωγή, μεταφορά και διανομή του φυσικού αερίου στην Ελλάδα στους μεγάλους καταναλωτές (με ζήτηση άνω των 100 εκατομμυρίων NM^3 /έτος). Επίσης ορίζει ότι το ελληνικό κράτος θα πρέπει να κατέχει ποσοστό των εταιριών διανομής ούτως ώστε να τις ελέγχει, ενώ η ΔΕΠΑ παραμένει στην κατοχή του ελληνικού κράτους. Αυτή η κατάσταση αναμένεται να μειώσει το ενδιαφέρον από μέρους των ιδιωτών για την επένδυση στην ανάπτυξη του δικτύου του φυσικού αερίου, αλλά και στην ανάπτυξη υγιούς ανταγωνισμού.

2.10 Παράγοντες που θα βοηθήσουν την ανάπτυξη της συμπαραγωγής στην Ελλάδα

Η συμπαραγωγή στην Ελλάδα όπως έχει γίνει αντιληπτό δεν έχει αναπτυχθεί όπως πρέπει, όμως το περιβάλλον το οποίο αρχίζει να διαμορφώνεται θα βοηθήσει στην ραγδαία ανάπτυξή της. Οι παράγοντες που το επηρεάζουν αυτό είναι:

- Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεξάρτητους παραγωγούς.
- Η αναμενόμενη απελευθέρωση της αγοράς φυσικού αερίου.
- Η εισαγωγή του φυσικού αερίου και η κατασκευή σημαντικών υποδομών στην Ελλάδα, καυσίμου το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην συμπαραγωγή.
- Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας την περίοδο 2000 – 2010 αναμένεται να αυξάνεται κατά 4,5 % σύμφωνα με την ΡΑΕ, γεγονός που θα δώσει ώθηση στον ενεργειακό τομέα και στον τομέα συμπαραγωγής ειδικότερα.
- Η πολιτική επιβολής προστίμων για την εκπομπή CO₂ η οποία αναμένεται να καθιερωθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- Η υψηλή τιμή του πετρελαίου.
- Η προσπάθεια της ελληνικής κυβέρνησης να μειώσει την εξάρτηση από το πετρέλαιο και να περιορίσει το κόστος αγοράς ενεργειακών πρώτων υλών
- Η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον ενεργειακό τομέα η οποία προάγει την χρήση εναλλακτικών τεχνολογιών, όπως η συμπαραγωγή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Η αξιολόγηση ενός συστήματος συμπαραγωγής είναι μία πολύπλοκη και απαιτητική εργασία. Η κλασική μέθοδος ανάλυσης η οποία βασίζεται στη χρησιμοποίηση ενός κριτηρίου για την αξιολόγηση ενός ενεργειακού συστήματος στις περισσότερες περιπτώσεις δεν μπορεί να οδηγήσει σε αποτελέσματα τα οποία να ικανοποιούν απόλυτα τις απαιτήσεις του τελικού χρήστη και να μπορούν να τους βοηθήσουν να γίνουν πιο ανταγωνιστικοί. Η κατασκευή και λειτουργία ενός συστήματος συμπαραγωγής είναι ένα τεχνικό έργο, το οποίο θα πρέπει να αξιολογηθεί από πολλές πλευρές συμπεριλαμβάνοντας την οικονομική, την κοινωνική και περιβαλλοντική. Όλοι αυτοί οι παράγοντες είναι αναγκαίοι και θα πρέπει να ληφθούν υπόψη από αυτόν που θα πάρει την τελική απόφαση. Ταυτόχρονα το σύστημα θα πρέπει να καλύπτει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις ενεργειακές ανάγκες του χρήστη. Τέλος υπάρχουν κάποιοι συγκεκριμένοι κρίσιμοι παράγοντες για την επιτυχή επιλογή ενός συστήματος συμπαραγωγής. Αυτοί οι παράγοντες εκφράζονται μέσω δεικτών έτσι ώστε να είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της εγκατάστασης. Η εφαρμοζόμενη μέθοδος με την οποία θα γίνει η αξιολόγηση της βιωσιμότητας της εγκατάστασης βασίζεται στην εκτίμηση μέσω πιθανοτήτων ενός αριθμού δεικτών πεπλεγμένων με μη κανονικό τρόπο (fuzzy) για τους οποίους υπάρχει έλλειψη πληροφοριών. Με άλλα λόγια η μέθοδος αυτή συλλέγει και οργανώνει πληροφορίες όσον αφορά την διαδικασία και τα μετατρέπει σε πληροφορίες. Από τις πληροφορίες δημιουργείται ένα πολύπλοκο αντικείμενο του οποίου η επεξεργασία γίνεται από μαθηματικό μοντέλο ούτως ώστε να εξάγονται αξιοποιήσιμα για την αξιολόγηση αποτελέσματα. Η μέθοδος αυτή θα βοηθήσει να επιτευχθεί η λήψη της απόφασης για πολύπλοκα αντικείμενα, που στην περίπτωση μας είναι συστήματα συμπαραγωγής, με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων. Άλλα συστήματα έχουν μελετηθεί από τους Afgan και Carvalho (2002) και από τους Afgan, Πηλαβάκη και Carvalho (2005).

3.2 Επιλογές συστημάτων συμπαραγωγής και κριτήρια

Σ' αυτό το υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα κριτήρια και οι επιλογές για τα συστήματα συμπαραγωγής. Τη διαδικασία πραγματοποίησης λήψης αποφάσεων για πολύπλοκα αντικείμενα με τη χρήση πολλαπλών κριτηρίων θα την εξηγήσουμε στον υποκεφάλαιο 3.3

Επιλογές συστημάτων συμπαραγωγής:

Οι επιλογές των συστημάτων συμπαραγωγής που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη σύγκριση καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος τεχνολογιών συμπαραγωγής (μηχανές συμπίεσης, αεριομηχανές, αεριοστρόβιλοι, μικροτουρμπίνες, αεριοστρόβιλοι συνδυασμένου κύκλου και ατμοστρόβιλοι), δυνατότητες ισχύος (1 kW_e έως 225 MW_e) και περιοχές εφαρμογών (οικιακή χρήση και βιομηχανία). Ειδικότερα τα παρακάτω συστήματα συμπαραγωγής έχουν επιλεγεί:

1. Μηχανές Συμπίεσης ντίζελ (ΜΣΝ) 200 kW_e (βιομηχανία)
2. Μηχανές Συμπίεσης ντίζελ (ΜΣΝ) 20 MW_e (βιομηχανία)
3. Αεριομηχανές – Κύκλος Όττο (ΑΜ – Όττο) 1 kW_e (οικιακή χρήση)
4. Αεριομηχανές – Κύκλος Όττο (ΑΜ – Όττο) 13 MW_e (βιομηχανία)
5. Αεριοστρόβιλοι (ΑΣ) 500 kW_e (βιομηχανία)
6. Αεριοστρόβιλοι (ΑΣ) 225 MW_e (βιομηχανία)
7. Μικροτουρμπίνες (ΜΤ) 10 kW_e (βιομηχανία)
8. Μικροτουρμπίνες (ΜΤ) 500 kW_e (βιομηχανία)
9. Αεριοστρόβιλοι Συνδυασμένου Κύκλου (ΑΣΣΚ) 8 MW_e (βιομηχανία)
10. Αεριοστρόβιλοι Συνδυασμένου Κύκλου (ΑΣΣΚ) 750 MW_e (βιομηχανία)
11. Ατμοστρόβιλοι (ΑΤΣ) 500 kW_e (άνθρακας) (ζεστό νερό) (βιομηχανία)
12. Ατμοστρόβιλοι (ΑΤΣ) 500 kW_e (μαζούτ) (ζεστό νερό) (βιομηχανία)
13. Ατμοστρόβιλοι (ΑΤΣ) 500 kW_e (φυσικό αέριο) (ζεστό νερό) (βιομηχανία)
14. Ατμοστρόβιλοι (ΑΤΣ) 150 MW_e (άνθρακας) (ζεστό νερό) (βιομηχανία)
15. Ατμοστρόβιλοι (ΑΤΣ) 150 MW_e (μαζούτ) (ζεστό νερό) (βιομηχανία)
16. Ατμοστρόβιλοι (ΑΤΣ) 150 MW_e (φυσικό αέριο) (ζεστό νερό) (βιομηχανία)

Τα χαρακτηριστικά των παραπάνω επιλογών έχουν ληφθεί από την Eurostat (2003a), Eurostat (2003b) και Minett (2004) και παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠ/ΓΩΓΗΣ	ΗΛΕΚΤΡ. ΙΣΧΥΣ	ΛΟΓΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	ΑΠΟΔΟΣΗ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
ΜΕΝ 200 kW _e	200 kW _e	1.00	85%	500 € / kW _e	1 c€/kWh _e
ΜΕΝ 20 MW _e	20 000 kW _e	1.23	88%	1 500 € / kW _e	0.5 c€/kWh _e
ΑΜ-Όττο 1 kW _e	1 kW _e	0.45	85%	500 € / kW _e	2 c€/kWh _e
ΑΜ-Όττο 13 MW _e	13 000 kW _e	0.90	88%	2 500 € / kW _e	0.7 c€/kWh _e
ΑΣ 500 kW _e	500 kW _e	0.45	80%	500 € / kW _e	0.8 c€/kWh _e
ΑΣ 225 MW _e	225 000 kW _e	0.70	90%	1 200 € / kW _e	0.2 c€/kWh _e
ΜΤ 10 kW _e	10 kW _e	0.29	75%	1 500 € / kW _e	1 c€/kWh _e
ΜΤ 500 kW _e	500 kW _e	0.60	85%	1 100 € / kW _e	0.5 c€/kWh _e
ΑΣΣΚ 8 MW _e	8 000 kW _e	0.96	73%	1 000 € / kW _e	0.8 c€/kWh _e
ΑΣΣΚ 750 MW _e	750 000 kW _e	1.25	90%	500 € / kW _e	0.2 c€/kWh _e
ΑΤΣ 500 kW _e (Αν.)	500 kW _e	0.25	82%	2 000 € / kW _e	0.5 c€/kWh _e
ΑΤΣ 500 kW _e (Μα.)	500 kW _e	0.25	82%	2 000 € / kW _e	0.45 c€/kWh _e
ΑΤΣ 500 kW _e (ΦΑ)	500 kW _e	0.25	82%	2 000 € / kW _e	0.4 c€/kWh _e
ΑΤΣ 150 MW _e (Αν.)	150 000 kW _e	0.60	85%	1 100 € / kW _e	0.25 c€/kWh _e
ΑΤΣ 150 MW _e (Μα.)	150 000 kW _e	0.60	85%	1 100 € / kW _e	0.2 c€/kWh _e
ΑΤΣ 150 MW _e (ΦΑ)	150 000 kW _e	0.60	85%	1 100 € / kW _e	0.15 c€/kWh _e
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠ/ΓΩΓΗΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ	ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ CO ₂	ΧΡΗΣ. ΠΕΡΙΟΧΗ
ΜΕΝ 200 kW _e	6.19 c€/kWh _f	5.64 c€/kWh _e	7.74 c€/kWh _{th}	623.53 kg/MWh _e	0.02 m ² /kW _e
ΜΕΝ 20 MW _e	3.87 c€/kWh _f	2.30 c€/kWh _e	4.84 c€/kWh _{th}	545.96 kg/MWh _e	0.011 m ² /kW _e
ΑΜ-Όττο 1 kW _e	14.28 c€/kWh _f	32.82 c€/kWh _e	17.85 c€/kWh _{th}	758.17 kg/MWh _e	0.3 m ² /kW _e
ΑΜ-Όττο 13 MW _e	3.87 c€/kWh _f	3.81 c€/kWh _e	4.84 c€/kWh _{th}	479.80 kg/MWh _e	0.014 m ² /kW _e
ΑΣ 500 kW _e	6.19 c€/kWh _f	15.93 c€/kWh _e	7.74 c€/kWh _{th}	805.56 kg/MWh _e	0.015 m ² /kW _e
ΑΣ 225 MW _e	3.78 c€/kWh _f	4.37 c€/kWh _e	4.72 c€/kWh _{th}	539.68 kg/MWh _e	0.0045 m ² /kW _e
ΜΤ 10 kW _e	7.69 c€/kWh _f	33.84 c€/kWh _e	9.61 c€/kWh _{th}	1 186.21 kg/MWh _e	0.05 m ² /kW _e
ΜΤ 500 kW _e	6.19 c€/kWh _f	10.12 c€/kWh _e	7.74 c€/kWh _{th}	627.45 kg/MWh _e	0.02 m ² /kW _e
ΑΣΣΚ 8 MW _e	4.14 c€/kWh _f	5.78 c€/kWh _e	5.18 c€/kWh _{th}	559.36 kg/MWh _e	0.03 m ² /kW _e
ΑΣΣΚ 750 MW _e	3.78 c€/kWh _f	1.73 c€/kWh _e	4.72 c€/kWh _{th}	400 kg/MWh _e	0.025 m ² /kW _e
ΑΤΣ 500 kW _e (Αν.)	0.408 c€/kWh _f	2.23 c€/kWh _e	0.51 c€/kWh _{th}	2 042.68 kg/MWh _e	0.06 m ² /kW _e
ΑΤΣ 500 kW _e (Μα.)	1.744 c€/kWh _f	8.23 c€/kWh _e	2.18 c€/kWh _{th}	1 615.85 kg/MWh _e	0.05 m ² /kW _e
ΑΤΣ 500 kW _e (ΦΑ)	6.19 c€/kWh _f	28.35 c€/kWh _e	7.74 c€/kWh _{th}	1 219.51 kg/MWh _e	0.027 m ² /kW _e
ΑΤΣ 150 MW _e (Αν.)	0.408 c€/kWh _f	0.77 c€/kWh _e	0.51 c€/kWh _{th}	1 050.98 kg/MWh _e	0.06 m ² /kW _e
ΑΤΣ 150 MW _e (Μα.)	1.744 c€/kWh _f	2.82 c€/kWh _e	2.18 c€/kWh _{th}	831.37 kg/MWh _e	0.05 m ² /kW _e
ΑΤΣ 150 MW _e (ΦΑ)	3.78 c€/kWh _f	5.98 c€/kWh _e	4.72 c€/kWh _{th}	627.45 kg/MWh _e	0.027 m ² /kW _e

Πίνακας 3.1 Τα χαρακτηριστικά των 16 συστημάτων συμπαραγωγής

Κριτήρια:

Τα παρακάτω 7 κριτήρια χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί η βιωσιμότητα των συστημάτων συμπαραγωγής και για να μετρηθεί η επίδοσή τους όσον αφορά τις οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές πτυχές:

- Απόδοση (οικονομία, περιβάλλον, κοινωνία)
- Κόστος εγκατάστασης (οικονομία)
- Κόστος καυσίμου (οικονομία)
- Κόστος ηλεκτρισμού (οικονομία)
- Κόστος θερμότητας (οικονομία)
- Παραγωγή CO₂ (περιβάλλον)
- Χρησιμοποιούμενη περιοχή (οικονομική, κοινωνική)

3.3 Μέθοδος για τον προσδιορισμό της βιωσιμότητας με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων

Η μέθοδος ονομάζεται ASPID (Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency) και έχει την δυνατότητα να παράγει χρήσιμα αποτελέσματα ακόμα και όταν τα εισαγόμενα δεδομένα είναι μη αριθμητικά, μη ακριβή και ελλιπή όπως παρουσιάζεται από τους Hovanon, Kornikov και Seregin (1997). Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο το πλήθος των πληροφοριών που χρησιμοποιείται ταυτοποιείται με ανύσματα της μορφής: $x^{(j)} = x_1^{(j)}, \dots, x_k^{(j)}, x_i^{(j)} \in E^1, x^{(j)} \in E^n$. Στην περίπτωση μας $x_i^{(j)}, 1 \leq i \leq 16, 1 \leq j \leq 7$ είναι κάθε μία από τις τιμές οι οποίες έχουν επιλεγθεί από τα χαρακτηριστικά των συστημάτων συμπαραγωγής που παρουσιάζονται στον πίνακα 1 και $x^{(j)}$ είναι κάθε μία από τις στήλες που φαίνονται στον πίνακα 3.1, όπως η απόδοση του συστήματος, το κόστος εγκατάστασης, το κόστος καυσίμου, κλπ. Εν συνεχεία χρησιμοποιούμε τις παρακάτω συναρτήσεις:

Όταν η συνάρτηση $q_i(x_i)$ αυξάνεται, όταν αυξάνεται το x_i τότε χρησιμοποιούμε την συνάρτηση (1): $q_i(x_i) = \left(\frac{x_i - MIN(i)}{MAX(i) - MIN(i)} \right)^\lambda$ (1), όπου

$$MIN(i) \leq x_i \leq MAX(i) \text{ και } 0 \leq q_i(x_i) \leq 1.$$

Όταν η συνάρτηση $q_i(x_i)$ μειώνεται, όταν αυξάνεται το x_i τότε χρησιμοποιούμε την συνάρτηση (2): $q_i(x_i) = \left(\frac{MAX(i) - x_i}{MAX(i) - MIN(i)} \right)^\lambda$ (2), όπου $MIN(i) \leq x_i \leq MAX(i)$ και $0 \leq q_i(x_i) \leq 1$. Οι τιμές $MIN(i)$ και $MAX(i)$ είναι η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του x_i σε κάθε μία από τις υπό εξέταση στήλες. Η σύνθετη συνάρτηση θα χρησιμοποιηθεί για να δημιουργηθεί ο γενικός δείκτης. Αναφέρουμε εκ των προτέρων ότι η σύνθετη συνάρτηση που χρησιμοποιείται στην περίπτωσή μας είναι η προσθετική αθροιστική συνάρτηση, έτσι $\lambda=1$. Η πραγματοποίηση της μεθόδου μετατρέπει τις τιμές του πίνακα 1 σε δείκτες οι οποίοι παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2 και οι τιμές που μπορούν να λάβουν είναι από μηδέν έως ένα.

Έχοντας μετασχηματίσει τις τιμές αυτές σε δείκτες πρέπει να βρούμε την κατάλληλη τιμή για τον συντελεστή βαρύτητας του κάθε επιμέρους δείκτη. Θεωρώντας ότι γνωρίζουμε τις τιμές των συντελεστών βαρύτητας παίρνουμε την προσθετική αθροιστική συνάρτηση (σταθμισμένος αριθμητικός μέσος) η οποία φαίνεται στην εξίσωση (3), η οποία προκύπτει από τον εκθετικό σταθμισμένο μέσο

$$\text{όταν } \lambda=1: Q_\lambda = \left(\sum_{i=1}^m w_i \cdot q_i^\lambda \right)^{\frac{1}{\lambda}}, \lambda > 0 \Rightarrow Q = \sum_{i=1}^m w_i \cdot q_i \quad (3), \text{ όπου } w_i \text{ είναι}$$

ο συντελεστής βαρύτητας, q_i είναι η τιμή του δείκτη και Q ο γενικός δείκτης, ο οποίος είναι το μέτρο σύγκρισης των συστημάτων συμπαραγωγής. Η προσθετική αθροιστική συνάρτηση έχει επιλεγεί λόγω της ευκολίας που προσφέρει στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων της.

3.4 Επιλογή περιπτώσεων για τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας και η πιθανότητα κυριαρχίας μεταξύ των επιλογών

Η μέθοδος υπολογισμού του γενικού δείκτη παίρνει την μορφή ενός σταθμισμένου αριθμητικού μέσου όπως η συνάρτηση (4) και ορίζεται ως:

$$Q(q; w) = \sum_{i=1}^m w_i q_i \quad (4), \text{ όπου } w_i = \text{συντελεστής βαρύτητας και } q_i = \text{δείκτης}$$

κριτηρίων. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση δίνονται από τον πίνακα 3.2.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΑΠΟΔΟΣΗ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ
ΜΣΝ 200 kW _e	0.705	1	0.583	0.853
ΜΣΝ 20 MW _e	0.882	0.5	0.75	0.954
ΑΜ – Κύκλος Όττο 1 kW _e	0.705	1	0	0.031
ΑΜ – Κύκλος Όττο 13 MW _e	0.882	0	0.75	0.908
ΑΣ 500 kW _e	0.411	1	0.583	0.542
ΑΣ 225 MW _e	1	0.65	0.757	0.891
ΜΤ 10 kW _e	0.117	0.5	0.475	0
ΜΤ 500 kW _e	0.705	0.7	0.583	0.717
ΑΣΣΚ 8 MW _e	0	0.75	0.731	0.848
ΑΣΣΚ 750 MW _e	1	1	0.757	0.971
ΑΤΣ 500 kW _e (Ανθρακας)	0.529	0.25	1	0.956
ΑΤΣ 500 kW _e (Μαζούτ)	0.529	0.25	0.904	0.774
ΑΤΣ 500 kW _e (Φ.Α.)	0.529	0.25	0.583	0.166
ΑΤΣ 150 MW _e (Ανθρακας)	0.705	0.7	1	1
ΑΤΣ 150 MW _e (Μαζούτ)	0.705	0.7	0.904	0.938
ΑΤΣ 150 MW _e (Φ.Α.)	0.705	0.7	0.757	0.842
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ CO ₂	ΧΡΗΣ. ΠΕΡΙΟΧΗ	
ΜΣΝ 200 kW _e	0.583	0.864	0.948	
ΜΣΝ 20 MW _e	0.75	0.911	0.978	
ΑΜ – Κύκλος Όττο 1 kW _e	0	0.782	0	
ΑΜ – Κύκλος Όττο 13 MW _e	0.75	0.951	0.968	
ΑΣ 500 kW _e	0.583	0.753	0.965	
ΑΣ 225 MW _e	0.757	0.915	1	
ΜΤ 10 kW _e	0.475	0.521	0.846	
ΜΤ 500 kW _e	0.583	0.862	0.948	
ΑΣΣΚ 8 MW _e	0.731	0.903	0.914	
ΑΣΣΚ 750 MW _e	0.757	1	0.931	
ΑΤΣ 500 kW _e (Ανθρακας)	1	0	0.812	
ΑΤΣ 500 kW _e (Μαζούτ)	0.904	0.26	0.846	
ΑΤΣ 500 kW _e (Φ.Α.)	0.583	0.501	0.924	
ΑΤΣ 150 MW _e (Ανθρακας)	1	0.604	0.812	
ΑΤΣ 150 MW _e (Μαζούτ)	0.904	0.737	0.846	
ΑΤΣ 150 MW _e (Φ.Α.)	0.757	0.862	0.924	

Πίνακας 3.2 Τα χαρακτηριστικά των 16 συστημάτων συμπαραγωγής μετά την μετατροπή τους σε δείκτες

Επειδή δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια το συντελεστή βαρύτητας λόγω έλλειψης πληροφοριών, η αβεβαιότητα που έχουμε εισάγεται στον συντελεστή (με τυχαία επιλογή συντελεστή) μέσα στα όρια των δυνατοτήτων. Τότε παράγονται στοχαστικά δεδομένα από τις αντίστοιχες συναρτήσεις και τον τυχαίο συντελεστή βαρύτητας που επιλέχθηκε. Θεωρείται ότι η μέτρηση των συντελεστών βαρύτητας είναι ακριβής εντός βήματος $h = 1/n$, όπου n θετικός ακέραιος. Ο συντελεστής βαρύτητας υποδεικνύει την σημασία του κάθε δείκτη στην τιμή που θα πάρει στο τέλος ο γενικός δείκτης. Δυστυχώς οι τιμές των συντελεστών βαρύτητας είναι δύσκολο να προσδιοριστούν γιατί προκύπτουν από μη αριθμητικές, μη ακριβείς και υποκειμενικές πληροφορίες. Γι' αυτό τον λόγο παίρνουμε αυθαίρετα τιμές για τους συντελεστές βαρύτητας. Η αυθαίρετη εισαγωγή των τιμών ακολουθεί κάποιους κανόνες. Αρχικά ορίζουμε το βήμα $h = 1/n$, όπου n θετικός ακέραιος. Τώρα κάθε τιμή του συντελεστή w_j πρέπει να είναι πολλαπλάσιο του βήματος h :

$$w_j \in \left\{ 0, \frac{1}{n}, \frac{2}{n}, \dots, 1 \right\}$$

Επίσης γνωρίζουμε όπως φαίνεται και από την εξίσωση (5), ότι το άθροισμα όλων των συντελεστών βαρύτητας ισούται με το 1: $w_1 + w_2 + \dots + w_m = 1$ (5)

Οι πιθανοί συνδυασμοί των τιμών των συντελεστών βαρύτητας δίνονται από την εξίσωση (6): $N(m, n) = \binom{n+m-1}{n} = \binom{n+m-1}{m-1} = \frac{(n+m-1)!}{n!(m-1)!}$ (6)

Στην περίπτωσή μας έχουμε $m = 7$ και $n = 47$, έτσι ώστε $h = 1/47 = 2,13$. Συνεπώς προκύπτουν 22.957.480 πιθανοί συνδυασμοί. Είναι εύκολο να καταλάβουμε ότι η αυθαίρετη επιλογή της τιμής του συντελεστού βαρύτητας μπορεί να μας οδηγήσει σε πολλά διαφορετικά συμπεράσματα. Για τον λόγο αυτό, παίρνουμε ένα φάσμα διαφορετικών περιπτώσεων με προκαθορισμένες τιμές συντελεστών βαρύτητας, πάντα με βήμα h , για να καλύψουν ένα μεγάλο εύρος των συνδυασμών που φαίνονται παρακάτω και να μας βοηθήσει στην αξιολόγηση των συστημάτων συμπαραγωγής.

Περίπτωση 1: Δίνουμε προτεραιότητα στην απόδοση, έτσι αυτός ο συντελεστής βαρύτητας είναι μεγαλύτερος από τους υπολοίπους. Οι υπόλοιποι 6 συντελεστές είναι ίσοι.

Περίπτωση 2: Δίνουμε προτεραιότητα στο κόστος εγκατάστασης, έτσι αυτός ο συντελεστής βαρύτητας είναι μεγαλύτερος από τους υπολοίπους. Οι υπόλοιποι 6 συντελεστές είναι ίσοι.

Περίπτωση 3: Δίνουμε προτεραιότητα στο κόστος καυσίμου, έτσι αυτός ο συντελεστής βαρύτητας είναι μεγαλύτερος από τους υπολοίπους. Οι υπόλοιποι 6 συντελεστές είναι ίσοι.

Περίπτωση 4: Δίνουμε προτεραιότητα στο κόστος ηλεκτρισμού, έτσι αυτός ο συντελεστής βαρύτητας είναι μεγαλύτερος από τους υπολοίπους. Οι υπόλοιποι 6 συντελεστές είναι ίσοι.

Περίπτωση 5: Δίνουμε προτεραιότητα στο κόστος θερμότητας, έτσι αυτός ο συντελεστής βαρύτητας είναι μεγαλύτερος από τους υπολοίπους. Οι υπόλοιποι 6 συντελεστές είναι ίσοι.

Περίπτωση 6: Δίνουμε προτεραιότητα στην παραγωγή CO₂, έτσι αυτός ο συντελεστής βαρύτητας είναι μεγαλύτερος από τους υπολοίπους. Οι υπόλοιποι 6 συντελεστές είναι ίσοι.

Περίπτωση 7: Δίνουμε προτεραιότητα στην χρησιμοποιούμενη περιοχή, έτσι αυτός ο συντελεστής βαρύτητας είναι μεγαλύτερος από τους υπολοίπους. Οι υπόλοιποι 6 συντελεστές είναι ίσοι.

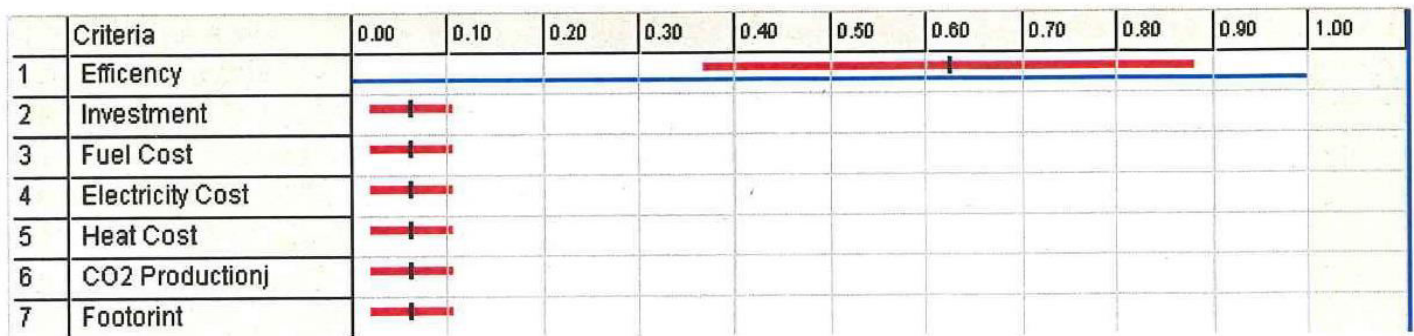
Επίσης στην ανάλυση θα χρησιμοποιήσουμε την πιθανότητα κυριαρχίας η οποία ορίζεται από τους Afgan και Carvalho (2002). Η πιθανότητα κυριαρχίας είναι ένας πρόσθετος παράγοντας για να αξιολογηθεί η βαθμολόγηση ανάμεσα στα διάφορα συστήματα συμπαραγωγής. Είναι μία σύγκριση ανάμεσα σε δύο διαδοχικά συστήματα. Αν η πιθανότητα κυριαρχίας έχει υψηλή τιμή τότε το υπό εξέταση ζευγάρι των δύο επιλογών συστημάτων έχει μεγάλες πιθανότητες να παρουσιαστεί ως έχει στην βαθμολόγηση.

3.5 Εκτίμηση της βιωσιμότητας με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων

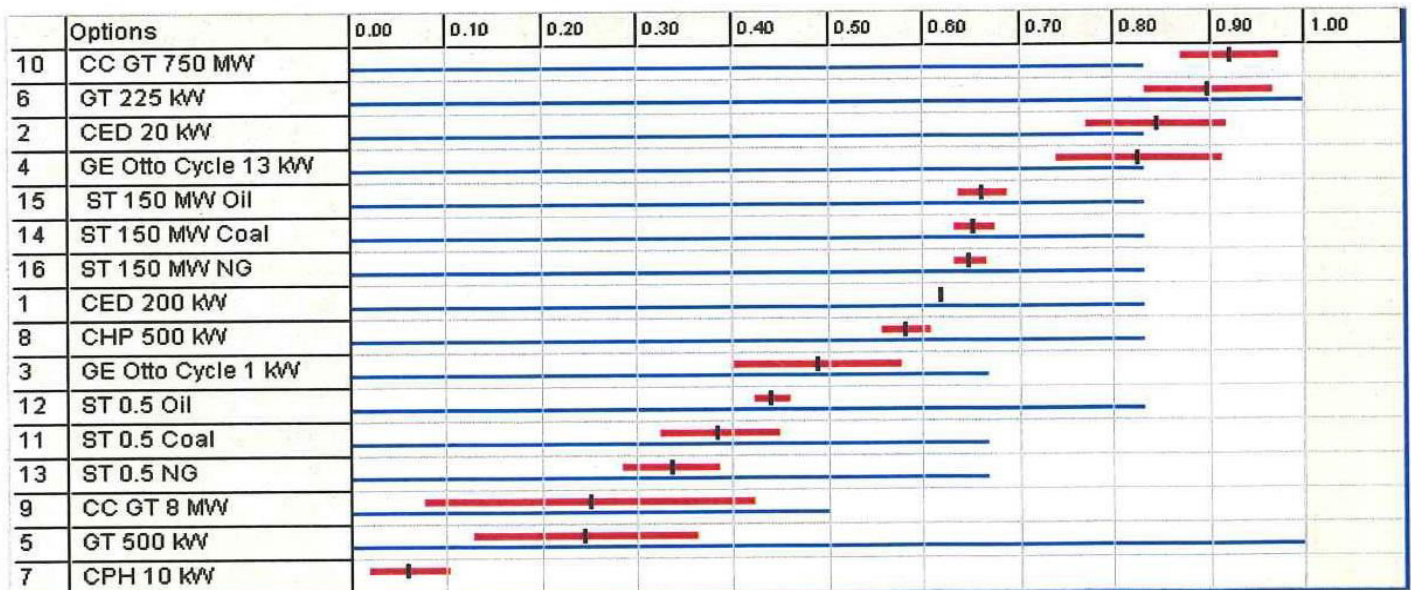
3.5.1 Περίπτωση 1: $ΑΠ > ΕΓΚ = ΚΚ = ΚΗ = ΚΘ = CO_2 = ΧΠ$

Η περίπτωση αυτή μας δείχνει την κατάσταση στην οποία δίνεται προτεραιότητα στην απόδοση. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.1, ο Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου 750 MW_e και ο Αεριοστρόβιλος 225 MW_e βρίσκονται στις δύο πρώτες θέσεις των πιθανών επιλογών μας. Η Μηχανή Συμπιέσης ντίζελ ισχύος 20 MW_e και η Αεριομηχανή Κύκλου Όττο 13 MW_e είναι οι επιλογές που ακολουθούν παρόλο που δεν έχουν υψηλές τιμές στους δευτερεύοντες δείκτες. Όπως μπορούμε να δούμε η πιθανότητα κυριαρχίας παίρνει υψηλές τιμές σε πολλά ζευγάρια συνεπώς αυτή η σειρά επιλογών ως έχει, έχει μεγάλες πιθανότητες εμφάνισης.

Συντελεστής Βαρύτητας



Γενικός Δείκτης

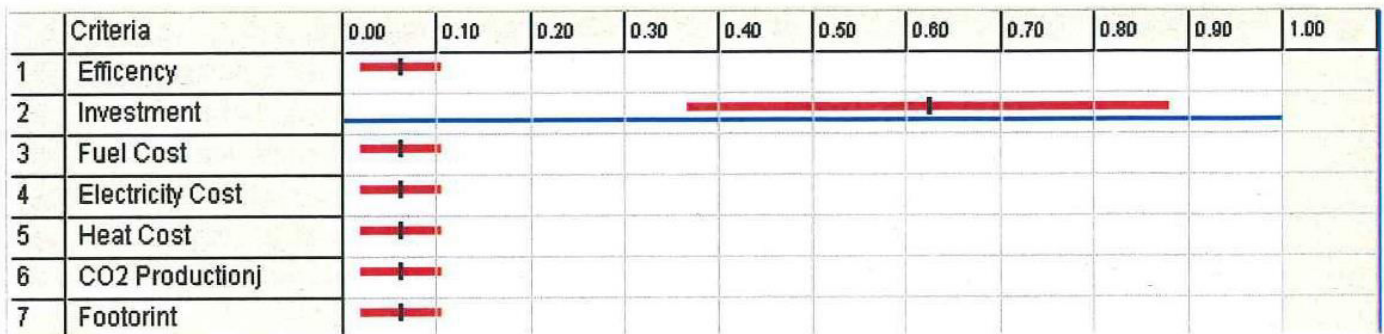


Σχήμα 3.1 Η προτεραιότητα δίνεται στην απόδοση

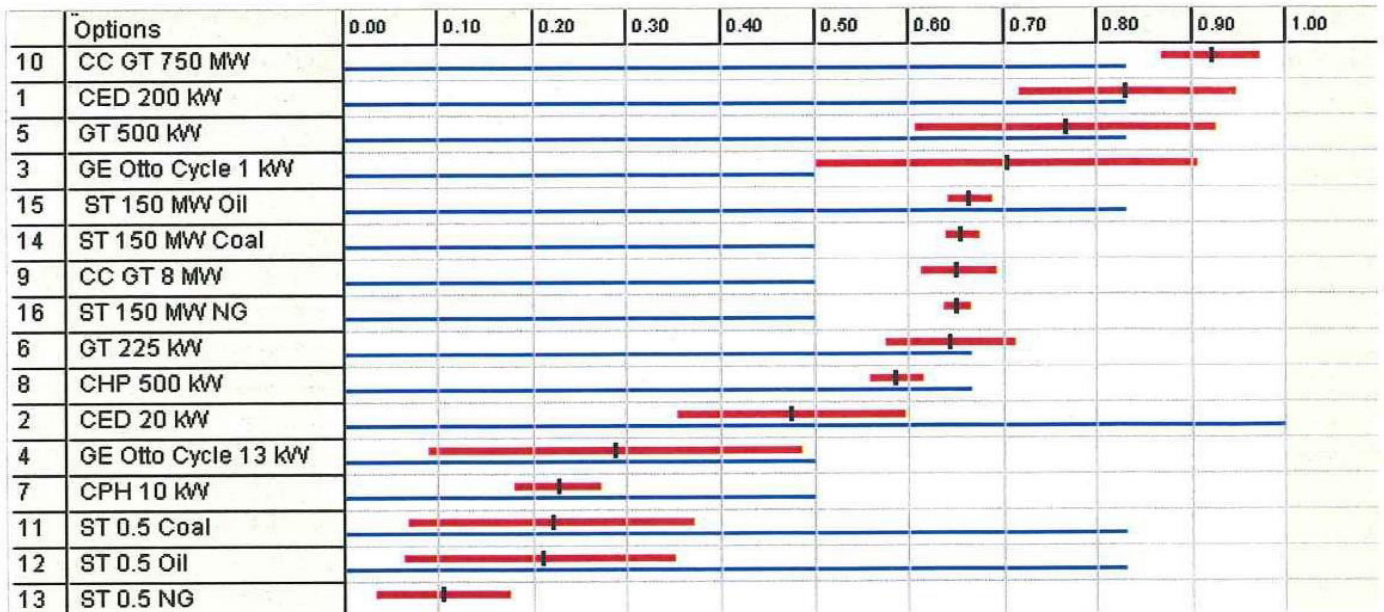
3.5.2 Περίπτωση 2: ΕΓΚ > ΑΠ = ΚΚ = ΚΗ = ΚΘ = CO₂ = ΧΠ

Στην δεύτερη περίπτωση η προτεραιότητα δίνεται στο κόστος εγκατάστασης όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2. Η επιλογή η οποία βρίσκεται στην πρώτη θέση είναι ο Ατμοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου ισχύος 750 MW_e. Η Μηχανή Συμπύεσης ντίζελ 200 MW_e και ο Αεριοστρόβιλος 500 kW_e βρίσκονται στην δεύτερη και τρίτη επιλογή κατά σειρά. Λόγω των χαμηλών τιμών πιθανότητας κυριαρχίας η σειρά με την οποία δίνονται οι επιλογές των συστημάτων συμπαραγωγής είναι μάλλον απίθανη.

Συντελεστής Βαρύτητας



Γενικός Δείκτης



Σχήμα 3.2 Η προτεραιότητα δίνεται στο κόστος εγκατάστασης

3.5.3 Περίπτωση 3: $ΚΚ > ΑΠ = ΕΓΚ = ΚΗ = ΚΘ = CO_2 = ΧΠ$

Εδώ ο δείκτης στον οποίο δίνεται προτεραιότητα είναι το κόστος καυσίμου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.3 το σύστημα συμπαραγωγής Ατμοστρόβιλου το οποίο χρησιμοποιεί άνθρακα παίρνει υψηλή βαθμολογία λόγω του ότι ο άνθρακας είναι φτηνό καύσιμο. Οι Ατμοστρόβιλοι που χρησιμοποιούν μαζούτ ακολουθούν και λίγο πιο κάτω έχουμε τον Αεριοστρόβιλο Συνδυασμένου Κύκλου 750 MW_e. Η πιθανότητα κυριαρχίας όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε μας υποδεικνύει ότι η συγκεκριμένη περίπτωση έχει μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης.

Συντελεστής Βαρύτητας

Criteria	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
1 Efficiency	[Red bar from 0.00 to 0.10]										
2 Investment	[Red bar from 0.00 to 0.10]										
3 Fuel Cost	[Red bar from 0.30 to 0.80]										
4 Electricity Cost	[Red bar from 0.00 to 0.10]										
5 Heat Cost	[Red bar from 0.00 to 0.10]										
6 CO2 Production]	[Red bar from 0.00 to 0.10]										
7 Footorint	[Red bar from 0.00 to 0.10]										

Γενικός Δείκτης

Options	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
14 ST 150 MW Coal	[Red bar from 0.75 to 0.95]										
15 ST 150 MW Oil	[Red bar from 0.75 to 0.90]										
11 ST 0.5 Coal	[Red bar from 0.60 to 0.90]										
12 ST 0.5 Oil	[Red bar from 0.60 to 0.85]										
10 CC GT 750 MW	[Red bar from 0.60 to 0.80]										
6 GT 225 kW	[Red bar from 0.60 to 0.75]										
2 CED 20 kW	[Red bar from 0.60 to 0.70]										
16 ST 150 MW NG	[Red bar from 0.60 to 0.70]										
4 GE Otto Cycle 13 kW	[Red bar from 0.60 to 0.70]										
9 CC GT 8 MW	[Red bar from 0.50 to 0.55]										
1 CED 200 kW	[Red bar from 0.30 to 0.50]										
8 CHP 500 kW	[Red bar from 0.30 to 0.45]										
5 GT 500 kW	[Red bar from 0.20 to 0.40]										
13 ST 0.5 NG	[Red bar from 0.20 to 0.25]										
3 GE Otto Cycle 1 kW	[Red bar from 0.00 to 0.20]										
7 CPH 10 kW	[Red bar from 0.00 to 0.10]										

Σχήμα 3.3 Η προτεραιότητα δίνεται στο κόστος καυσίμου

3.5.4 Περίπτωση 4: $KH > \Lambda\Pi = \text{ΕΓΚ} = \text{ΚΚ} = \text{ΚΘ} = \text{CO}_2 = \text{ΧΠ}$

Εδώ ο δείκτης στον οποίο δίνεται η προτεραιότητα είναι το κόστος ηλεκτρισμού. Όπως είναι αναμενόμενο οι επιλογές με τις μεγαλύτερες βαθμολογίες είναι αυτές που έχουν μεγάλη ηλεκτρική ισχύ και χαμηλή τιμή στο καύσιμο που καταναλώνουν όπως για παράδειγμα ο άνθρακας. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.4, έχουμε τον Ατμοστρόβιλο Συνδυασμένου Κύκλου 750 MW_e, τον Αεριοστρόβιλο 225 MW_e και τον Ατμοστρόβιλο 150 MW_e ο οποίος χρησιμοποιεί άνθρακα στις τρεις πρώτες θέσεις. Η μοναδική επιλογή με υψηλή βαθμολογία που έχει μικρή ηλεκτρική ισχύ είναι η Μηχανή Συμπύεσης ντίζελ 20 MW_e.

Συντελεστής Βαρύτητας

	Criteria	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
1	Efficiency											
2	Investment											
3	Fuel Cost											
4	Electricity Cost											
5	Heat Cost											
6	CO2 Productionj											
7	Footorint											

Γενικός Δείκτης

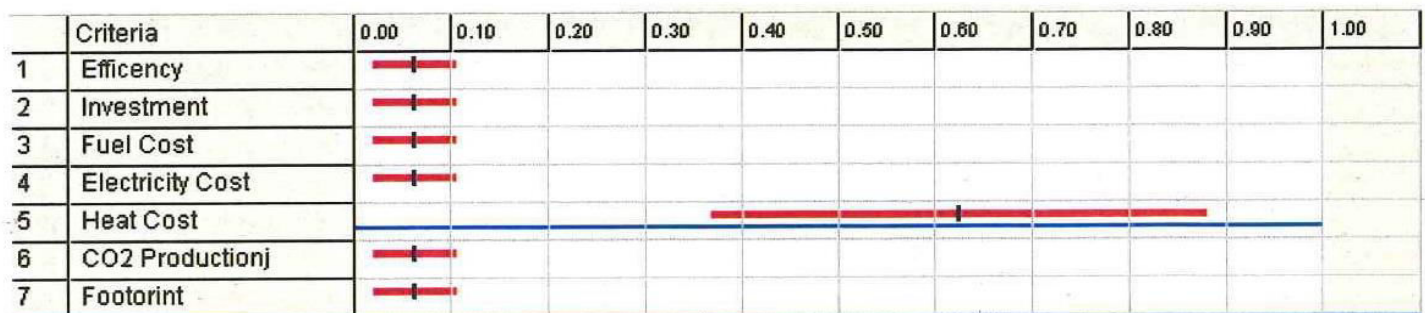
	Options	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
10	CC GT 750 MW											
6	GT 225 kW											
14	ST 150 MW Coal											
2	CED 20 kW											
15	ST 150 MW Oil											
16	ST 150 MW NG											
4	GE Otto Cycle 13 kW											
11	ST 0.5 Coal											
1	CED 200 kW											
9	CC GT 8 MW											
12	ST 0.5 Oil											
8	CHP 500 kW											
5	GT 500 kW											
3	GE Otto Cycle 1 kW											
13	ST 0.5 NG											
7	CPH 10 kW											

Σχήμα 3.4 Η προτεραιότητα δίνεται στο κόστος ηλεκτρισμού

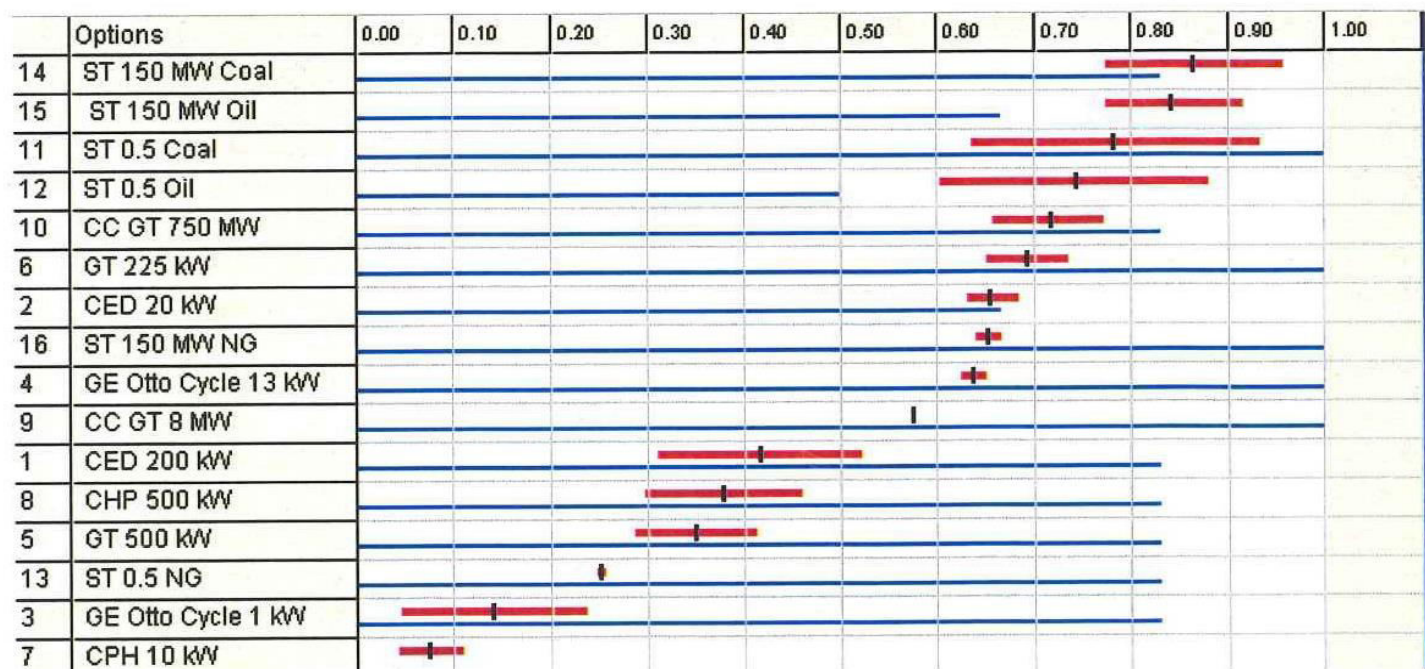
3.5.5 Περίπτωση 5: $K\Theta > A\Pi = EΓK = KΚ = KΗ = CO_2 = X\Pi$

Η περίπτωση αυτή, όπου ο δείκτης στον οποίο δίνεται η προτεραιότητα είναι το κόστος θερμότητας, μας επιστρά την προσοχή στα συστήματα Ατμοστρόβιλου τα οποία παράγουν θερμότητα χαμηλού κόστους. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.5, έχουμε τους Ατμοστρόβιλους ισχύος 150 MW_e οι οποίοι χρησιμοποιούν ως καύσιμο άνθρακα και μαζούτ στις δύο πρώτες θέσεις και εν συνεχεία ακολουθούν στην τρίτη και τέταρτη θέση οι Ατμοστρόβιλοι ισχύος 0,5 MW_e οι οποίοι χρησιμοποιούν άνθρακα και μαζούτ αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας την πιθανότητα κυριαρχίας εκτιμούμε ότι η βαθμολόγηση που προκύπτει έχει μεγάλες πιθανότητες παρουσίασης.

Συντελεστής Βαρύτητας



Γενικός Δείκτης

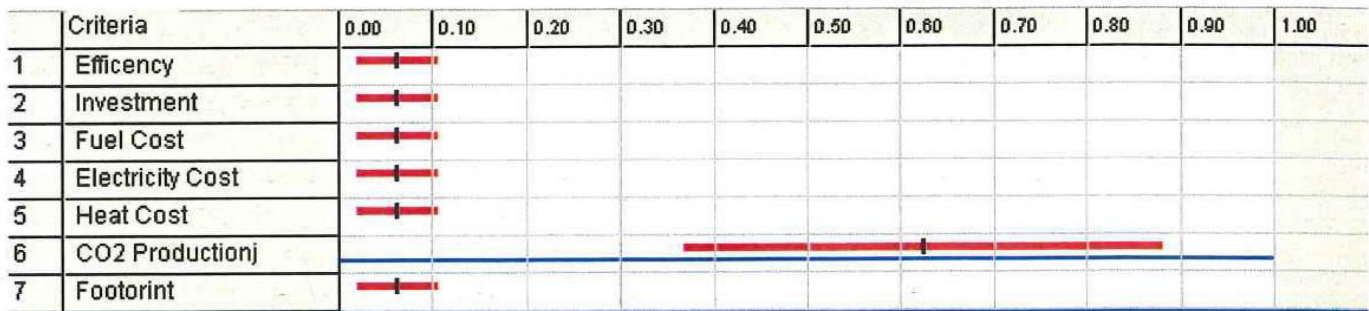


Σχήμα 3.5 Η προτεραιότητα δίνεται στο κόστος θερμότητας

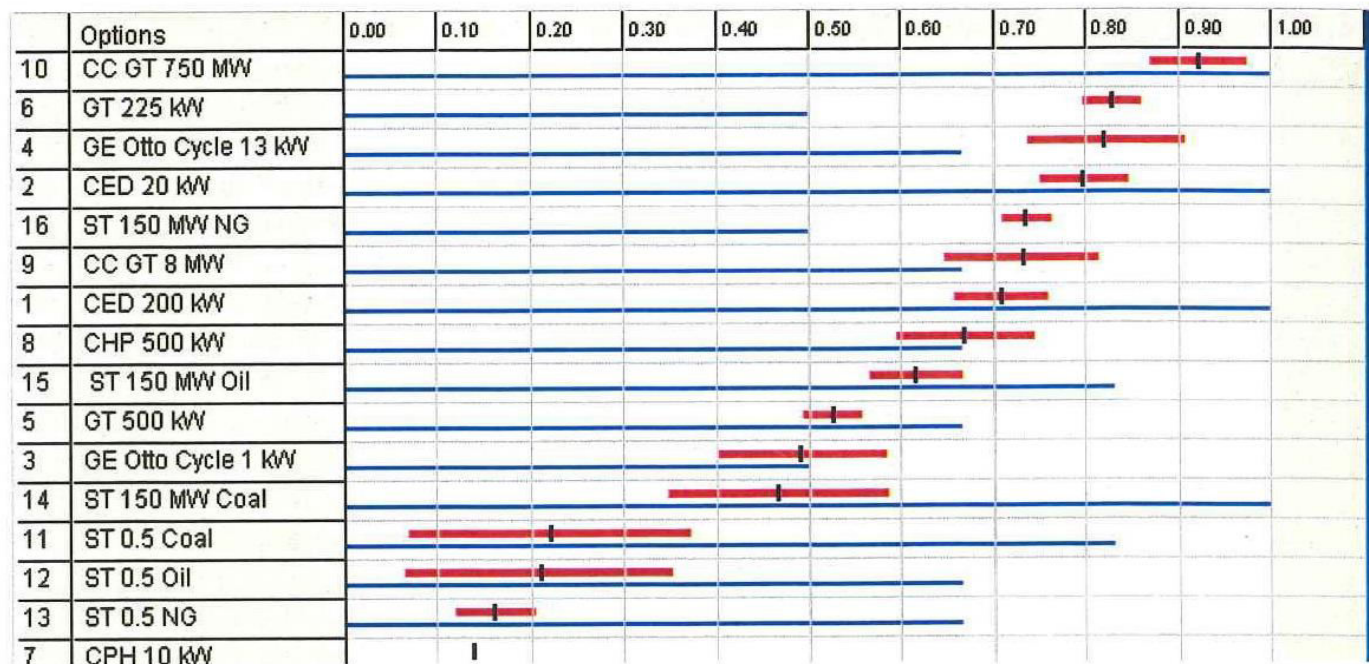
3.5.6 Περίπτωση 6: CO₂ > ΑΠ = ΕΓΚ = ΚΚ = ΚΗ = ΚΘ = ΧΠ

Δίνοντας την προτεραιότητα στην παραγωγή CO₂, η επιλογή από τα συστήματα συμπαραγωγής που παρουσιάζει την μεγαλύτερη βαθμολογία άρα και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι ο Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου 750 MW_e. Με μικρή διαφορά ακολουθεί μία ομάδα τριών ακόμα επιλογών: Αεριοστρόβιλος 225 MW_e, Αεριομηχανή Κύκλου Όττο 13 MW_e και Μηχανή Συμπίεσης ντίζελ 20 MW_e. Η συνολική βαθμολογία παρουσιάζεται στο σχήμα 3.6. Θα πρέπει επίσης να παρατηρήσουμε ότι λόγω των χαμηλών τιμών της πιθανότητας κυριαρχίας η περίπτωση αυτή είναι μάλλον απίθανη.

Συντελεστής Βαρύτητας



Γενικός Δείκτης

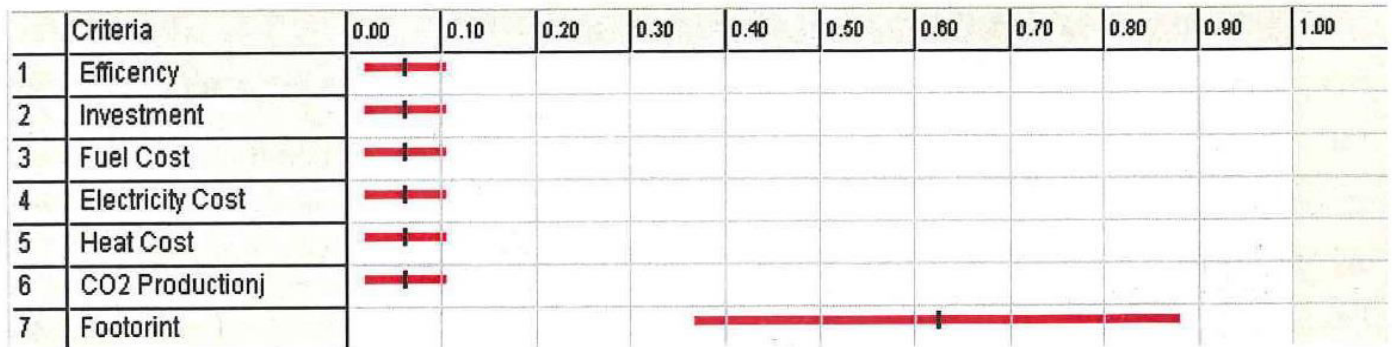


Σχήμα 3.6 Η προτεραιότητα δίνεται στην παραγωγή CO₂

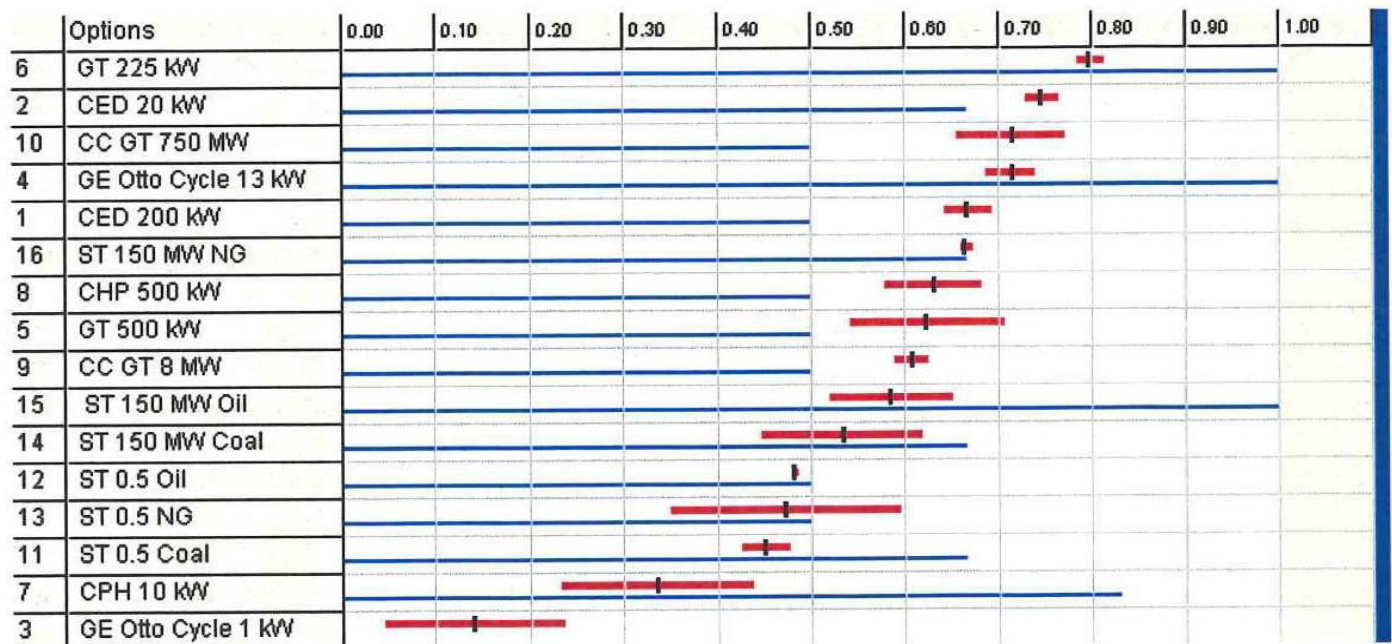
3.5.7 Περίπτωση 7: $X\Pi > A\Pi = EΓΚ = ΚΚ = ΚΗ = ΚΘ = CO_2$

Στην τελευταία αυτή περίπτωση, όπου η προτεραιότητα δίνεται στην χρησιμοποιούμενη περιοχή, οι δύο καλύτερες επιλογές συστημάτων συμπαραγωγής είναι ο Αεριοστρόβιλος 225 MW_e και η Μηχανή Συμπίεσης ντίζελ η οποία έχει ηλεκτρική ισχύ 20 MW_e, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.7. Οι δύο άλλες επιλογές οι οποίες ακολουθούν είναι ο Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου 750 MW_e και η Αεριομηχανή Κύκλου Όττο με ηλεκτρική ισχύ 13 MW_e.

Συντελεστής Βαρύτητας



Γενικός Δείκτης



Σχήμα 3.7 Η προτεραιότητα δίνεται στην χρησιμοποιούμενη περιοχή

3.6 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και συμπεράσματα

Ο ρόλος της διαδικασίας αξιολόγησης με την χρησιμοποίηση πολλαπλών κριτηρίων όπως παρατηρούμε στις παραπάνω περιπτώσεις, είναι η χρησιμοποίηση πληροφοριών οι οποίες βρίσκονται σε μη αριθμητική μορφή ώστε να επιτευχθεί η σύνδεση εντελώς διαφορετικών συντελεστών και να γίνει εφικτή η αξιολόγηση των παραπάνω συστημάτων συμπαραγωγής. Και στις επτά περιπτώσεις η προτεραιότητα δόθηκε σε έναν από τους επτά επιμέρους δείκτες. Είναι προφανές ότι η επιλογή των επτά αυτών περιπτώσεων είναι ένα μικρό ποσοστό όλων των δυνατών συνδυασμών των συντελεστών βαρύτητας, όπως αναφέρεται και από τους Πηλαβάκη, Ρουμπέα, Afgan, Minett, (2005a), (2005b). Αυτό επιτρέπει στον άτομο που έχει την ευθύνη της λήψης της απόφασης για την επιλογή του συστήματος να κατασκευάσει και να συγκρίνει τις διάφορες περιπτώσεις με διαφορετικούς κάθε φορά συντελεστές βαρύτητας ούτως ώστε να παρατηρήσει τις αλλαγές που γίνονται στην βαθμολογική κατάταξη των επιλογών μας. Οι απαιτήσεις και οι ανάγκες του τελικού χρήστη θα καθορίσουν ποιες περιπτώσεις θα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Είδαμε ότι η επιλογή των περιπτώσεων επηρεάζει άμεσα στην βαθμολόγηση και συχνά τυχαίνει να υπάρχουν περισσότερες από μία προτιμώμενες επιλογές. Μόνο διαμέσου μιας πολύ λεπτομερούς ανάλυσης με τη βοήθεια της διαδικασίας επιλογής με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων, είναι δυνατόν να γίνει σύγκριση των παραπάνω επιλογών και να καταλήξουμε σε ένα ασφαλές αποτέλεσμα. Θα πρέπει σ' αυτό το σημείο να τονίσουμε ότι η διαδικασία αξιολόγησης με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων αποτελεί μόνο ένα εργαλείο και δεν μπορεί από μόνη της να καθορίσει την καλύτερη δυνατή επιλογή.

Σε αυτή την ανάλυση που είδαμε παραπάνω έχουμε 7 περιπτώσεις οι οποίες μας δίνουν μια γενική εικόνα της βαθμολόγησης των 16 συστημάτων συμπαραγωγής σε διάφορες καταστάσεις. Δεν μπορούμε να αποφασίσουμε ποια από τις επιλογές που έχουμε στην διάθεσή μας είναι η καλύτερη διότι δεν γνωρίζουμε ποιες είναι οι απαιτήσεις και οι ανάγκες του τελικού χρήστη. Για παράδειγμα αν η απόδοση είναι ο δείκτης ο οποίος έχει την μεγαλύτερη σημασία για την επιλογή του συστήματος, τότε η πρώτη περίπτωση είναι αυτή που μας ταιριάζει και οι πιο κατάλληλες επιλογές φαίνονται να είναι ο Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου 750 MW_e, ο Αεριοστρόβιλος 225 MW_e, η Μηχανή Συμπίεσης ντίζελ 20 MW_e και η Αεριομηχανή

Κύκλου Όττο 13 MW_e. Η θεώρηση επιπρόσθετων περιπτώσεων όπου η απόδοση έχει και πάλι βασικό ρόλο, αλλά με την ταυτόχρονη παρουσία και άλλων δεικτών μας επιτρέπει με αξιόπιστο τρόπο να προσδιορίσουμε το κατάλληλο σύστημα συμπαραγωγής.

Σύμφωνα με τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν παραπάνω καταλληλότερο σύστημα που προέκυψε ήταν ο Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου 750 MW_e. Βρίσκεται στην πρώτη θέση σε τέσσερις περιπτώσεις, τρίτο σε μία και πέμπτο στις υπόλοιπες δύο περιπτώσεις. Αυτό μας δείχνει ότι το συγκεκριμένο σύστημα παρουσιάζει ενδιαφέρον και θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή από αυτόν που θα κάνει την επιλογή του καταλληλότερου συστήματος.

Ο αριθμός των περιπτώσεων που αναλύθηκαν παραπάνω είναι περιορισμένος. Σε μια πραγματική ανάλυση θα πρέπει να υπάρχει ένας μεγαλύτερος αριθμός περιπτώσεων στον οποίο θα περιλαμβάνονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί με σκοπό την διατήρηση της γενικής εικόνας των υπό εξέταση συστημάτων. Αυτό θα μας οδηγήσει σε μια αξιόπιστη βάση για την λήψη σωστών αποφάσεων. Εδώ θα πρέπει να ειπωθεί ότι η διαδικασία αξιολόγησης με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων μπορεί να επεκταθεί σε μια αξιολόγηση πολλών επιπέδων με την ομαδοποίηση δεικτών οι οποίοι παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά όπως οικονομικά, περιβαλλοντικά, τεχνολογικά και κοινωνικά.

Εν κατακλείδι η διαδικασία αξιολόγησης με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων δίνει την δυνατότητα σ' αυτόν που πρέπει να επιλέξει την βέλτιστη επιλογή, να εξάγει ακριβή αποτελέσματα με την ταυτόχρονη εισαγωγή διαφορετικών δεικτών ακόμα και όταν αυτοί χρησιμοποιούν μη αριθμητικές πληροφορίες. Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου εν συγκρίσει με άλλες διαδικασίες αξιολόγησης. Παρόλο που η μέθοδος δεν μπορεί να απαλλάξει τους αναλυτές από το βάρος της τελικής απόφασης για το ποιο είναι το καταλληλότερο σύστημα συμπαραγωγής καταφέρνει και απλοποιεί την κατάσταση αποκαλύπτοντας τον τρόπο με τον οποίο ορισμένοι δείκτες επηρεάζουν στην επιλογή του συστήματος. Έτσι σε συνδυασμό με άλλα δεδομένα όπως η περιβαλλοντική νομοθεσία, το κόστος εξοπλισμού και καυσίμου, μπορεί να μετατραπεί σε ένα πολύ σημαντικό εργαλείο αξιολόγησης διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

4.1 Ανάλυση της οικονομικής μελέτης

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μία μελέτη εφαρμογής συστημάτων συμπαραγωγής στην Ελλάδα. Ταυτόχρονα γίνεται σύγκριση της εφαρμογής αυτής με την συμβατική λύση που χρησιμοποιείται συνήθως για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Για την πραγματοποίηση αυτής της μελέτης θα θεωρήσουμε 4 αυτοπαραγωγούς οι οποίοι καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος θερμικής και ηλεκτρικής ισχύος και οι οποίοι θα αποτελέσουν την βάση των υπολογισμών μας. Εν συνεχεία θα γίνει η επιλογή των κατάλληλων συστημάτων συμπαραγωγής, ούτως ώστε να έχουν την ικανότητα να καλύψουν επαρκώς τα ενεργειακά φορτία των αυτοπαραγωγών Έχοντας ως δεδομένο την ενέργεια καταναλισκόμενου καυσίμου των συστημάτων συμπαραγωγής, την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ και την παραγόμενη ποσότητα ατμού (με βάση την απαιτούμενη θερμική ενέργεια του αυτοπαραγωγού), θα υπολογισθούν η θερμική, ηλεκτρική και συνολική απόδοσή των συστημάτων, καθώς και οι εκπομπές CO₂. Ακολούθως, θα γίνει σύγκριση των συστημάτων συμπαραγωγής και των συμβατικών συστημάτων σε επίπεδο κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών CO₂. Τέλος, θα γίνει μία οικονομική μελέτη λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία όπως το κόστος καυσίμου και το κόστος πώλησης και αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ολοκληρώνοντας θα εξετασθεί αν είναι βιώσιμα τα συστήματα συμπαραγωγής στην Ελλάδα και αν είναι εφικτή η βελτίωση των συνθηκών για την ακόμα μεγαλύτερη διείσδυση αυτών των τεχνολογιών στον ελλαδικό χώρο.

4.2 Αυτοπαραγωγοί και συστήματα συμπαραγωγής

4.2.1 Αυτοπαραγωγοί

Οι αυτοπαραγωγοί που θα μελετήσουμε είναι τέσσερις στον αριθμό και έχουν τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1 Τόσο η ηλεκτρική όσο και η

θερμική ισχύς του πίνακα είναι μέσες τιμές. Αυτό σημαίνει πως θεωρούμε ότι ο αυτοπαραγωγός λειτουργεί με την αναγραφόμενη μέση ηλεκτρική και θερμική ισχύ επί 24ώρου βάσεως, όλες τις μέρες του χρόνου και χωρίς διακοπή κάτι το οποίο δεν ισχύει στην πραγματικότητα και αποτελεί μια θεωρητική εκδοχή.

Αυτοπαραγωγός	1	2	3	4
Αεριοστρόβιλος	Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου GE 9FA	Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου GE 6	Αεριοστρόβιλος GE LM2500	Αεριοστρόβιλος Ruston Typhoon
Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς (MW)	100	40	50	2
Καταναλισκόμενη θερμική ισχύς (MW)	191	115	69	8

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά αυτοπαραγωγών

Όπως παρατηρούμε για τον πρώτο αυτοπαραγωγό, τόσο η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς, όσο και η καταναλισκόμενη θερμική ισχύς έχουν πάρα πολύ μεγάλες τιμές οι οποίες αντιστοιχούν μόνο σε πολύ μεγάλες βιομηχανίες τις οποίες η Ελλάδα δεν διαθέτει. Το ότι συμπεριλάβαμε έναν τέτοιο αυτοπαραγωγό στην μελέτη δικαιολογείται αφενός για το ότι θέλαμε να δείξουμε θεωρητικά τι βιωσιμότητα θα μπορούσε να έχει ένα μεγάλο σύστημα συμπαραγωγής στην Ελλάδα, και αφετέρου διότι παρόλο το μέγεθός του θα μπορούσε αυτό το σύστημα συμπαραγωγής να εγκατασταθεί σε μια βιομηχανική περιοχή και να εξυπηρετεί πάνω από μία βιομηχανίες.

4.2.2 Συστήματα συμπαραγωγής

Αυτοπαραγωγός	1	2	3	4
Αεριοστρόβιλος	Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου GE 9FA	Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου GE 6	Αεριοστρόβιλος GE LM2500	Αεριοστρόβιλος Ruston Typhoon
Ηλεκτρική ισχύς (MW)	360	80	22	5
Τάση στη σύνδεση με το δίκτυο	Υψηλή	Μέση	Μέση	Μέση

Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστικά των συστημάτων συμπαραγωγής που αντιστοιχούν στον κάθε αυτοπαραγωγό

Τα συστήματα συμπαραγωγής που θα χρησιμοποιηθούν παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2. Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα τα δύο συστήματα είναι αεριοστρόβιλοι, και τα συστήματα των δύο πρώτων καταναλωτών είναι συνδυασμένου κύκλου. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την λειτουργία τους είναι σε όλες τις περιπτώσεις το φυσικό αέριο. Τα τρία από τα τέσσερα συστήματα συμπαραγωγής είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο με μέση τάση και μόνο ο Αεριοστρόβιλος GE frame 9FA είναι συνδεδεμένος με υψηλή τάση.

4.3 Υπολογισμός της εξοικονόμησης ενέργειας, της μείωσης εκπομπών CO₂ και της εξοικονόμησης χρημάτων λόγω χρήσης συστημάτων συμπαραγωγής

Ο υπολογισμός της παραγωγής ενέργειας και κατανάλωσης καυσίμου για κάθε ένα από τα τέσσερα συστήματα συμπαραγωγής συνοψίζεται στον πίνακα 4.3. Υπολογίζεται ξεχωριστά η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, η θερμική ενέργεια και οι εκπομπές CO₂, ενώ στο κάτω μέρος του πίνακα έχουμε τον υπολογισμό της ηλεκτρικής, της θερμικής και της συνολικής απόδοσης.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 4.3, μας δίνεται ως δεδομένο η κατανάλωση του καυσίμου σε ετήσια βάση που χρειάζονται τα συστήματα συμπαραγωγής τόσο σε GJ/a, όσο και σε MWh/a και με αυτήν υπολογίζουμε την μέση ισχύ καταναλισκόμενου καυσίμου ως εξής:

$$B \text{ [MWh/a]} = A \text{ [GJ/a]} * 0,277778$$

$$C \text{ [MW]} = A \text{ [GJ/a]} * 1000 / 8760 * 3600$$

A: Ενέργεια καταναλισκόμενου καυσίμου ανά έτος [GJ/a]

B: Ενέργεια καταναλισκόμενου καυσίμου ανά έτος [MWh/a]

C: Μέση ισχύς καταναλισκόμενου καυσίμου [MW]

Εν συνεχεία υπολογίζουμε τις εκπομπές του CO₂ σε ετήσια βάση:

Στοιχεία των εγκαταστάσεων Συμπαραγωγής

	Μονάδες	Αυτο/γωγός 1	Αυτο/γωγός 2	Αυτο/γωγός 3	Αυτο/γωγός 4	Σύνολο
Χαρακτηριστικά των συστημάτων						
Σύστημα συμπαραγωγής		Αεριοστρόβιλος GE 9FA	Αεριοστρόβιλος GE 6	Αεριοστρόβιλος GE LM2500	Αεριοστρόβιλος Ruston Typhoon	
Ηλεκτρική ισχύς	MW	360	80	22	5	467
Τάση σύνδεσης με το δίκτυο		Υψηλή	Μέση	Μέση	Μέση	
Μέσος χρόνος λειτουργίας	h/a					
Καύσιμο						
Ενέργεια καταναλισκόμενου καυσίμου ανά έτος: (A)	GJ/a	22.500.000	6.500.000	3.000.000	400.000	32.400.000
Ενέργεια καταναλισκόμενου καυσίμου ανά έτος: (B)	MWh/a	6.250.001	1.805.556	833.333	111.111	9.000.001
Μέση ισχύς καταναλισκόμενου καυσίμου: (C)	MW	713,5	206,1	95,1	12,7	1.027
Εκπομπές CO ₂ από καύση φυσικού αερίου: (D)	t/MWh	0,2	0,2	0,2	0,2	
Εκπομπές CO ₂ από καύση φυσικού αερίου ανά έτος: (E)	t/a	1.250.000	361.111	166.667	22.222	1.800.000
Ηλεκτρική ενέργεια						
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς: (F)	MW	300	70	20	4	394
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος: (G)	MWh/a	2.628.000	613.200	175.200	35.040	3.451.440
Χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ισχύς: (H)	MW	100	40	50	2	192
Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος: (I)	MWh/a	876.000	350.400	438.000	17.520	1.681.920
Χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ισχύς από δίκτυο: (J)	MW	200	30	0	2	232
Εξαγόμενη ηλεκτρικής ενέργεια προς δίκτυο ανά έτος: (K)	MWh/a	1.752.000	262.800	0	17.520	2.032.320
Χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ισχύς από δίκτυο: (L)	MW	0	0	30	0	30
Εισαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από δίκτυο ανά έτος: (M)	MWh/a	0	0	262.800	0	262.800
Θερμική ενέργεια						
Παραγόμενος ατμός ανά ώρα: (N)	t/h	250	150	90	10	500
Παραγόμενη θερμική ενέργεια ανά έτος: (O)	GJ/a	6.022.500	3.613.500	2.168.100	240.900	12.045.000
Παραγόμενη θερμική ενέργεια ανά έτος: (P)	MWh/a	1.672.917	1.003.750	602.250	66.917	3.345.834
Παραγόμενη θερμική ισχύς: (Q)	MW	191	115	69	8	382
Απόδοση						
Ηλεκτρική απόδοση: (R)	%	42,0%	34,0%	21,0%	31,5%	32,1%
Θερμική απόδοση: (S)	%	26,8%	55,6%	72,3%	60,2%	53,7%
Συνολική απόδοση: (T)	%	68,8%	89,6%	93,3%	91,8%	85,9%

Πίνακας 4.3 Υπολογισμός παραγωγής ενέργειας και κατανάλωσης καυσίμου των συστημάτων συμπαραγωγής

$$E [t/a] = B [MWh/a] * D [t/MWh]$$

B: Ενέργεια καταναλισκόμενου φυσικού αερίου για συμπαραγωγή ανά έτος [MWh/a]

D: Εκπομπές CO₂ από καύση φυσικού αερίου = 0,2 [t/MWh]

E: Εκπομπές CO₂ από καύση φυσικού αερίου ανά έτος [t/a]

Την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος την υπολογίζουμε σε MWh/a χρησιμοποιώντας την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ του συστήματος συμπαραγωγής:

$$G [MWh/a] = F [MW] * 8760$$

F: Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς [MW]

G: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος [MWh/a]

Γνωρίζοντας την χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ισχύ βρίσκουμε την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται ετησίως:

$$I [MWh/a] = H [MW] * 8760$$

H: Χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ισχύς [MW]

I: Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος [MWh/a]

Εν συνεχεία υπολογίζουμε την ηλεκτρική ισχύ και την ηλεκτρική ενέργεια που εξάγεται στο δίκτυο αν έχουμε πλεόνασμα παραγωγής, ή που εισάγεται αν το σύστημα συμπαραγωγής δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια πλήρως.

$$J [MW] = F [MW] - H [MW], \text{ όταν } F > H, \text{ διαφορετικά } J = 0$$

$$K [MWh/a] = J [MW] * 8760$$

J: Χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ισχύς από δίκτυο [MW]

K: Εξαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προς δίκτυο ανά έτος [MWh/a]

Ελλάδα

	Μονάδες	Αυτο/γωγός 1	Αυτο/γωγός 2	Αυτο/γωγός 3	Αυτο/γωγός 4	Σύνολο
Ενέργεια και CO₂						
Απόδοση ηλεκτρ. ενέργειας ΔΕΗ (Α')	%	38%	38%	38%	38%	
Απόδοση λέβητα: (Β')	%	90%	90%	90%	90%	
Απώλειες δικτύου ΔΕΗ: (C')	%	0%	0%	0%	0%	
Καταναλισκόμενη ενέργεια λιγνίτη στη ΔΕΗ ανά έτος: (D')	MWh/a	6.915.789	1.613.684	461.053	92.211	9.082.737
Καταναλισκόμενη ενέργεια φυσικού αερίου στο λέβητα ανά έτος: (E')	MWh/a	1.858.796	1.115.278	669.167	74.352	3.717.593
Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια ανά έτος: (F')	MWh/a	8.774.586	2.728.962	1.130.219	166.562	12.800.330
Εκπομπές CO ₂ από τη ΔΕΗ: (G')	t/MWh	0,269	0,269	0,269	0,269	
Εκπομπής CO ₂ από τον λέβητα φυσικού αερίου: (H')	t/MWh	0,202	0,202	0,202	0,202	
Εκπομπές CO ₂ από ΔΕΗ ανά έτος: (I')	t/a	1.857.304	433.371	123.820	24.764	2.439.260
Εκπομπές CO ₂ από λέβητα φυσικού αερίου ανά έτος: (J')	t/a	375.403	225.242	135.145	15.016	750805
Συνολικές εκπομπές CO ₂ ανά έτος: (K')	t/a	2.232.707	658.612	258.965	39.780	3.190.065
Εξοικονόμηση από συμπαραγωγή						
Εξοικονόμηση καυσίμου από συμπαραγωγή ανά έτος: (L')	MWh/a	2.524.585	923.406	296.886	55.451	3.800.329
Εξοικονόμηση καυσίμου από συμπαραγωγή: (M')	%	28,8%	33,8%	26,3%	33,3%	30,5%
Μείωση CO ₂ από συμπαραγωγή ανά έτος: (N')	t/a	982.707	297.501	92.299	17.558	1.390.064
Μείωση CO ₂ από συμπαραγωγή: (O')	%	44,0%	45,2%	35,6%	44,1%	42,2%
Τιμές φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας						
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ από συμπαραγωγή: (P')	€/MWh	20,548	45,61	45,61	45,61	
Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ: (Q')	€/MWh	45,6	45,6	45,6	58,4	
Τιμή αγοράς φυσικού αερίου: (R')	€/MWh	25,094	25,094	25,094	28,92	
Οικονομικό ισοζύγιο						
Κόστη						
Κόστος καυσίμου για συμπαραγωγή ανά έτος: (S')	€/a	156.837.513	45.308.615	20.911.668	3.213.334	226.271.129
Κόστος συντήρησης συστήματος συμπαραγωγής: (T')	€/Mwh	6	6	6	6	
Κόστος συντήρησης συστήματος συμπαραγωγής ανά έτος: (U')	€/a	15.768.000	3.679.200	1.051.200	210.240	20.708.640
Συνολικό κόστος για λειτουργία συστήματος συμπαραγωγής ανά έτος: (V')	€/a	172.605.513	48.987.815	21.962.868	3.423.574	246.979.769
Κέρδη						
Κέρδος από ιδιοκατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος: (W')	€/a	39.945.600	15.978.240	19.972.800	1.023.168	76.919.808
Ενέργεια φυσικού αερίου για καύση σε λέβητα ανά έτος: (X')	MWh/a	1.858.796	1.115.278	669.167	74.352	3.717.593
Κέρδος από μη καύση φυσικού αερίου σε λέβητα ανά έτος: (Y')	€/a	46.644.638	27.986.783	16.792.070	2.150.256	93.573.746
Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ ανά έτος: (Z')	€/a	36.000.096	11.986.308	0	799.087	48.785.491
Συνολικό κέρδος ανά έτος: (AA')	€/a	122.590.334	55.951.331	36.764.870	3.972.511	219.279.045
Συνολική εξοικονόμηση χρημάτων						
Συνολική εξοικονόμηση χρημάτων ανά έτος: (AB')	€/a	-50.015.179	6.963.516	14.802.001	548.937	-27.700.724

Πίνακας 4.4 Σύγκριση συστημάτων συμπαραγωγής με συμβατικά συστήματα σε επίπεδο καταναλισκόμενης ενέργειας, εκπομπών CO₂ και σε εξοικονόμηση χρημάτων

$L \text{ [MW]} = H \text{ [MW]} - F \text{ [MW]}$, όταν $H > F$, διαφορετικά $L = 0$

$M \text{ [MWh/a]} = L \text{ [MW]} * 8760$

L: Χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ισχύς από δίκτυο [MW]

M: Εισαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από δίκτυο ανά έτος [MWh/a]

Γνωρίζοντας τον παραγόμενο ατμό των μονάδων συμπαραγωγής σε τόνους ανά ώρα, υπολογίζουμε την παραγόμενη ετήσια θερμική ενέργεια σε GJ/a καθώς και την θερμική ισχύ σε MWh/a. Παρατηρούμε ότι στα συστήματα συμπαραγωγής η παραγόμενη θερμική ενέργεια ταυτίζεται με τις θερμικές ανάγκες του καταναλωτή. Θεωρούμε ότι το ενεργειακό περιεχόμενο του παραγόμενου ατμού είναι 2,75 kJ/kg.

$O \text{ [GJ/a]} = N \text{ [t/h]} * 8760 * 2,75$

$P \text{ [MWh/a]} = O \text{ [GJ/a]} * 2,77778 \text{ [MWh/GJ]}$

$Q \text{ [MW]} = O \text{ [GJ/a]} * 1000 / 8760 * 3600$

N: Παραγόμενος ατμός ανά ώρα [t/h]

O: Παραγόμενη θερμική ενέργεια ανά έτος [GJ/a]

P: Παραγόμενη θερμική ενέργεια ανά έτος [MWh/a]

Q: Παραγόμενη θερμική ισχύς [MW]

Τέλος στα συστήματα συμπαραγωγής γνωρίζοντας την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ, την παραγόμενη θερμική ισχύ και την μέση ισχύ καταναλισκόμενου καυσίμου θα υπολογίσουμε την ηλεκτρική, θερμική και συνολική απόδοση των συστημάτων συμπαραγωγής.

$R \text{ [%]} = F \text{ [MW]} / C \text{ [MW]}$

$S \text{ [%]} = Q \text{ [MW]} / C \text{ [MW]}$

$T \text{ [%]} = R \text{ [%]} + S \text{ [%]}$

C: Μέση ισχύς καταναλισκόμενου καυσίμου [MW]

F: Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς [MW]

Q: Παραγόμενη θερμική ισχύς [MW]

R: Ηλεκτρική απόδοση [%]

S: Θερμική απόδοση [%]

T: Συνολική απόδοση [%]

Έχοντας τελειώσει τους υπολογισμούς για τα συστήματα συμπαραγωγής και έχοντας εξάγει τα αποτελέσματα που θέλουμε, τώρα θα υπολογίσουμε τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας. Θεωρούμε την απόδοση των λιγνιτικών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα ίση με 38 %. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ως καύσιμο ο λιγνίτης είναι φτωχός σε ενεργειακό περιεχόμενο. Επίσης θεωρούμε 90 % την απόδοση λέβητα φυσικού αερίου για την περίπτωση συμβατικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Έχοντας λοιπόν τις παραπάνω αποδόσεις και μη λαμβάνοντας υπόψη (στους υπολογισμούς) τις απώλειες δικτύου βρίσκουμε την καταναλισκόμενη ενέργεια από τα εργοστάσια της ΔΕΗ, την καταναλισκόμενη ενέργεια από τον λέβητα, καθώς και την συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια σε MWh/a.

Στις παρακάτω σχέσεις η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη ΔΕΗ και η παραγόμενη θερμική ενέργεια του λέβητα συμπίπτουν με την παραγόμενη ηλεκτρική και παραγόμενη θερμική ενέργεια του συστήματος συμπαραγωγής:

$D' \text{ [MWh/a]} = G \text{ [MWh/a]} / (A' \text{ [%]} - (A' \text{ [%]} * C' \text{ [%]}))$, όπου $A * C' = 0$ διότι θεωρούμε, όπως ειπώθηκε και παραπάνω, πως το δίκτυο δεν έχει απώλειες.

$E' \text{ [MWh/a]} = P \text{ [MWh/a]} / B' \text{ [%]}$

$F' \text{ [MWh/a]} = D' \text{ [MWh/a]} + E' \text{ [MWh/a]}$

G: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή ή από ΔΕΗ ανά έτος [MWh/a]

P: Παραγόμενη θερμική ενέργεια από συμπαραγωγή ανά έτος [MWh/a]

A': Απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας ΔΕΗ [%] = 38 %

B': Απόδοση λέβητα [%] = 90 %

C': Απώλειες δικτύου ΔΕΗ [%] = 0 %

D': Καταναλισκόμενη ενέργεια λιγνίτη στη ΔΕΗ ανά έτος [MWh/a]

E': Καταναλισκόμενη ενέργεια φυσικού αερίου στο λέβητα ανά έτος [MWh/a]

F': Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια ανά έτος [MWh/a]

Εν συνεχεία βρίσκουμε τις εκπομπές CO₂ τόσο από τη ΔΕΗ, όσο και από τον λέβητα φυσικού αερίου. Οι εκπομπές CO₂ για τη ΔΕΗ είναι 0,269 και για τον λέβητα φυσικού αερίου είναι 0,202.

$$I' [t/a] = D' [MWh/a] * G' [t/MWh]$$

$$J' [t/a] = E' [MWh/a] * H' [t/MWh]$$

$$K' [t/a] = I' [t/a] + J' [t/a]$$

D': Καταναλισκόμενη ενέργεια λιγνίτη στη ΔΕΗ ανά έτος [MWh/a]

E': Καταναλισκόμενη ενέργεια φυσικού αερίου λέβητα ανά έτος [MWh/a]

G': Εκπομπές CO₂ από τη ΔΕΗ [t/MWh] = 0,269

H': Εκπομπής CO₂ από τον λέβητα φυσικού αερίου [t/MWh] = 0,202

I': Εκπομπές CO₂ από ΔΕΗ ανά έτος [t/a]

J': Εκπομπές CO₂ από λέβητα φυσικού αερίου ανά έτος [t/a]

K': Συνολικές εκπομπές CO₂ ανά έτος [t/a]

Γνωρίζοντας την συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια και τις εκπομπές CO₂ του συμβατικού συστήματος παραγωγής ενέργειας (ΔΕΗ), θα κάνουμε σύγκριση με τα αντίστοιχα μεγέθη των συστημάτων συμπαραγωγής ενέργειας.

$$L' [MWh/a] = F' [MWh/a] - B [MWh/a]$$

$$M' [%] = L' [MWh/a] / F' [MWh/a]$$

$$N' [t/a] = K' [t/a] - E [t/a]$$

$$O' [%] = N' [t/a] / K' [t/a]$$

B: Ενέργεια καταναλισκόμενου φυσικού αερίου για συμπαραγωγή ανά έτος [MWh/a]

E: Εκπομπές CO₂ από συμπαραγωγή ανά έτος [t/a]

F': Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια με συμβατικά συστήματα ανά έτος [MWh/a]

K': Συνολικές εκπομπές CO₂ από συμβατικό σύστημα ανά έτος [t/a]

L': Εξοικονόμηση καυσίμου από συμπαραγωγή ανά έτος [MWh/a]

M': Εξοικονόμηση καυσίμου από συμπαραγωγή [%]

N': Μείωση CO₂ από συμπαραγωγή ανά έτος [t/a]

O': Μείωση CO₂ από συμπαραγωγή [%]

Όπως βλέπουμε παραπάνω την εξοικονόμηση καυσίμου και τις μειώσεις εκπομπών CO₂ τις βρίσκουμε και σε ποσοστά.

Ένα επόμενο βήμα στην σύγκριση συστημάτων συμπαραγωγής με συμβατικά συστήματα ενέργειας θα ήταν ο υπολογισμός εξοικονόμησης χρημάτων. Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 4.4 μπορεί να γίνει σύγκριση των δύο επιλογών καθώς γνωρίζουμε την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή στη ΔΕΗ, την τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ, καθώς και την τιμή αγοράς φυσικού αερίου.

Στον υπολογισμό λοιπόν της εξοικονόμησης χρημάτων βρίσκουμε αρχικά το κόστος καυσίμου για συμπαραγωγή. Λαμβάνοντας το κόστος που χρειάζεται για συντήρηση ως 6 €/MWh για όλα τα συστήματα συμπαραγωγής υπολογίζουμε το συνολικό κόστος συντήρησης και στη συνέχεια αθροίζοντας τα κόστη βρίσκουμε το συνολικό κόστος.

$$S' \text{ [€/a]} = B \text{ [MWh/a]} * R' \text{ [€/MWh]}$$

$$U' \text{ [€/a]} = G \text{ [MWh/a]} * T' \text{ [€/MWh]}$$

$$V' \text{ [€/a]} = S' \text{ [€/a]} + U' \text{ [€/a]}$$

B: Ενέργεια καταναλισκόμενου καυσίμου ανά έτος [MWh/a]

R': Τιμή αγοράς φυσικού αερίου [€/MWh]

G: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος [MWh/a]

T': Κόστος συντήρησης συστήματος συμπαραγωγής = 6 [€/MWh]

S': Κόστος καυσίμου για συμπαραγωγή ανά έτος [€/a]

U': Κόστος συντήρησης συστήματος συμπαραγωγής ανά έτος [€/a]

V': Συνολικό κόστος για λειτουργία συστήματος συμπαραγωγής ανά έτος [€/a]

Στη συνέχεια κάνουμε υπολογισμό των κερδών που έχουμε από την συμπαραγωγή. Αρχικά θα βρούμε το κέρδος από ιδιοκατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, το κέρδος από τη μη χρήση λέβητα, καθώς και το κέρδος από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο. Αφού τα βρούμε θα τα αθροίσουμε για να προκύψει το συνολικό κέρδος από την χρήση συμπαραγωγής.

$$W' [\text{€/a}] = I [\text{MWh/a}] * Q' [\text{€/MWh}]$$

$$X' [\text{MWh/a}] = P [\text{MWh/a}] / B' [\%]$$

$$Y' [\text{€/a}] = X' [\text{MWh/a}] * R' [\text{€/MWh}]$$

$$Z' [\text{€/a}] = K [\text{MWh/a}] * P' [\text{€/MWh}]$$

$$AA' [\text{€/a}] = W' [\text{€/a}] + Y' [\text{€/a}] + Z' [\text{€/a}]$$

I: Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος [MWh/a]

Q': Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ [€/MWh]

W': Κέρδος από ιδιοκατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος [€/a]

P: Παραγόμενη θερμική ενέργεια ανά έτος [MWh/a]

B': Απόδοση λέβητα [%] = 90 %

X': Ενέργεια φυσικού αερίου για καύση σε λέβητα ανά έτος [MWh/a]

R': Τιμή αγοράς φυσικού αερίου [€/MWh]

Y': Κέρδος από μη καύση φυσικού αερίου σε λέβητα ανά έτος [€/a]

K: Εξαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προς δίκτυο ανά έτος [MWh/a]

P': Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ από συμπαραγωγή [€/MWh]

Z': Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ ανά έτος [€/a]

AA': Συνολικό κέρδος ανά έτος [€/a]

Έχοντας υπολογίσει το συνολικό κόστος, αλλά και το συνολικό κέρδος που προκύπτει από την χρήση της συμπαραγωγής για κάθε έναν από τους 4 καταναλωτές που διαθέτουμε βρίσκουμε την συνολική εξοικονόμηση χρημάτων.

$$AB' [\text{€/a}] = AA' [\text{€/a}] - V' [\text{€/a}]$$

AA': Συνολικό κέρδος ανά έτος [€/a]


V': Συνολικό κόστος για λειτουργία συστήματος συμπαραγωγής ανά έτος [€/a]

AB': Συνολική εξοικονόμηση χρημάτων ανά έτος [€/a]

4.4 Υπολογισμός των τιμών πώλησης και αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και των τιμών αγοράς φυσικού αερίου

4.4.1 Υπολογισμός των τιμών πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας προς τη ΔΕΗ

Όπως βλέπουμε στον πίνακα 4.5, η τιμή με την οποία αγοράζεται ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από συμπαραγωγή, σύμφωνα με τα τιμολόγια της ΔΕΗ (2005a), διαφοροποιείται ανάλογα με την τάση με την οποία συνδέεται ο αυτοπαραγωγός με το δίκτυο και ανάλογα με τον αν η ενέργεια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ή από λοιπά καύσιμα. Στην περίπτωση μας θα επιλεγεί η δεύτερη στήλη.

	Πλεόνασμα Αυτοπαραγωγής α) από ΑΠΕ β) από ΣΘΗ με ΑΠΕ (€/MWh)	Πλεόνασμα Αυτοπαραγωγής από ΣΘΗ με λοιπά καύσιμα (πλην ΑΠΕ) (€/MWh)
Υψηλή τάση	Αιχμή 34,75 Ενδιάμεσο Φορτίο 24,07 Ελάχιστο φορτίο 17,86	Αιχμή 29,78 Ενδιάμεσο Φορτίο 20,63 Ελάχιστο Φορτίο 15,31
Μέση τάση	53,21	45,61
Χαμηλή τάση	65,79	56,39

Πίνακας 4.5 Τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή προς τη ΔΕΗ

Συνεπώς η τιμή για τα συστήματα συμπαραγωγής με μέση τάση θα είναι: 45,61 €/MWh. Για να βρεθεί η τιμή για την υψηλή τάση θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον πίνακα 4.6 ο οποίος μας δείχνει τις ζώνες φορτίου που έχει ορίσει η ΔΕΗ (2005b). Εφόσον έχουμε θεωρήσει ότι παραμένει σταθερή η λειτουργία των συστημάτων συμπαραγωγής όλο τον χρόνο θα πρέπει να βρούμε το ποσοστό επί τοις εκατό της κάθε ζώνης σε ετήσια βάση. Εν συνεχεία το κάθε ποσοστό θα πολλαπλασιαστεί με την αντίστοιχη τιμή ζώνης και το άθροισμα των τριών γινομένων που θα προκύψει θα αποτελέσει την μέση τιμή αγοράς για το σύστημα συμπαραγωγής υψηλής τάσης.

	Οκτώβριος - Απρίλιος	Μάιος - Σεπτέμβριος
Ζώνη Υψηλού Φορτίου (Δευτέρα - Παρασκευή)	10.00 - 14.00 και 18.00 - 21.00	10.00 - 14.00
Ζώνη Χαμηλού Φορτίου	01.00 - 08.00	24.00 - 08.00
Ζώνη Μέσου Φορτίου	Οι υπόλοιπες ώρες	Οι υπόλοιπες ώρες

Πίνακας 4.6 Ωρες υψηλού, μέσου και χαμηλού φορτίου όπως έχουν καθοριστεί από την ΔΕΗ

Υπολογισμός του ποσοστού κάθε ζώνης σε ετήσια βάση:

Υπολογίζουμε αρχικά τις ημέρες που αντιστοιχούν στην περίοδο Οκτωβρίου – Απριλίου και Μαΐου – Σεπτεμβρίου και στην συνέχεια βρίσκουμε τις εβδομάδες που προκύπτουν για την κάθε περίοδο.

$$\begin{aligned} \text{Οκτώβριος} - \text{Απρίλιος} &= 31 + 30 + 31 + 31 + 28 + 31 + 30 = 212 = \\ &= 30 * 7 + 2 \approx 30 * 7 \text{ ημέρες} = 30 \text{ εβδομάδες} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Μάιος} - \text{Σεπτέμβριος} &= 31 + 30 + 31 + 31 + 30 = 153 = 21 * 7 + 6 \approx 22 * 7 \text{ ημέρες} = \\ &= 22 \text{ εβδομάδες} \end{aligned}$$

Εφόσον βρήκαμε τον αριθμό των εβδομάδων για την κάθε περίοδο, θα υπολογίσουμε και τον αριθμό των ωρών της κάθε περιόδου για υψηλό, μέσο και χαμηλό φορτίο:

Οκτώβριος – Απρίλιος:

$$\text{Υψηλό Φορτίο: } (4 + 3) * 5 = 35 \text{ ώρες / εβδομάδα}$$

$$35 \text{ ώρες / εβδομάδα} * 30 \text{ εβδομάδες} = 1050 \text{ ώρες}$$

Χαμηλό Φορτίο: $7 * 7 = 49$ ώρες / εβδομάδα
 49 ώρες / εβδομάδα * 30 εβδομάδες = 1470 ώρες

Μέσο Φορτίο: $7 * 24 - 35 - 49 = 84$ / εβδομάδα
 84 ώρες / εβδομάδα * 30 εβδομάδες = 2520 ώρες

Μάιος – Σεπτέμβριος:

Υψηλό Φορτίο: $4 + 5 = 20$ ώρες / εβδομάδα
 20 ώρες / εβδομάδα * 22 εβδομάδες = 440 ώρες

Χαμηλό Φορτίο: $8 * 7 = 56$ ώρες / εβδομάδα
 56 ώρες / εβδομάδα * 22 εβδομάδες = 1232 ώρες

Μέσο Φορτίο: $7 * 24 - 20 - 56 = 92$ / εβδομάδα
 92 ώρες / εβδομάδα * 22 εβδομάδες = 2024 ώρες

Εν συνεχεία υπολογίζουμε τις συνολικές ώρες ανά έτος για κάθε μία από τις ζώνες φορτίου καθώς και το ετήσιο ποσοστό τους :

Υψηλό Φορτίο = $1050 + 440 + 7 = 1497$ ώρες
 1497 ώρες / 8760 ώρες = $17,09$ %

Χαμηλό Φορτίο = $1470 + 1232 + 7 = 2709$ ώρες
 2709 ώρες / 8760 ώρες = $30,92$ %


Μέσο Φορτίο = $2520 + 2024 + 10 = 4554$ ώρες
 4554 ώρες / 8760 ώρες = $51,99$ %

* Οι τιμές 7 , 7 και 10 που παρουσιάζονται στις 3 παραπάνω σχέσεις αποτελούν τις 24 ώρες της μέρας που δεν λήφθηκε υπόψη κατά τον υπολογισμό των εβδομάδων.

Συνεπώς η τιμή πώλησης της ενέργειας από τους αυτοπαραγωγούς που είναι συνδεδεμένοι σε υψηλή τάση θα είναι:

$$17,09 \% * 29,78 + 30,92 \% * 15,31 + 51,99 \% * 20,63 = 20,548 \text{ €/MWh}$$


Οι τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας προς την ΔΕΗ των 4 αυτοπαραγωγών παρουσιάζονται συγκεντρωμένες στον πίνακα 4.7.

	Αυτο/γωγός 1	Αυτο/γωγός 2	Αυτο/γωγός 3	Αυτο/γωγός 4
Τιμή (€/MWh)	20,548	45,61	45,61	45,61

Πίνακας 4.7 Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας προς τη ΔΕΗ για κάθε έναν από τους 4 αυτοπαραγωγούς

4.4.2 Υπολογισμός των τιμών αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ

Όσον αφορά τις τιμές αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ που λαμβάνουμε για τον υπολογισμό του λογαριασμού των αυτοπαραγωγών είναι μέσες τιμές οι οποίες έχουν ληφθεί από την Eurostat (2005a), (2005b). Ο κάθε καταναλωτής ανήκει σε μία από τις κατηγορίες τιμολόγησης. Όπως βλέπουμε στον πίνακα 4.8, ο αυτοπαραγωγός 1 ανήκει στην μεγαλύτερη κατηγορία τιμολόγησης των 75 MW, οι αυτοπαραγωγοί 2 και 3 στην κατηγορία των 50 MW, ενώ ο τελευταίος αυτοπαραγωγός μιας και είναι μικρότερος δεν συμπεριλαμβάνεται στην τιμολόγηση των πολύ μεγάλων καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά σ' αυτή των μεγάλων καταναλωτών και συγκεκριμένα στην κατηγορία Ig. Στον πίνακα 4.8 φαίνονται οι τιμές αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ για κάθε έναν από τους αυτοπαραγωγούς.

 Eurostat	Αυτο/γωγός 1	Αυτο/γωγός 2	Αυτο/γωγός 3	Αυτο/γωγός 4
Κατηγορία τιμολόγησης Eurostat	Πολύ Μεγάλοι Βιομηχανικοί Καταναλωτές 75 MW (62,5 - 75 MW)	Πολύ Μεγάλοι Βιομηχανικοί Καταναλωτές 50 MW (37,5 - 62,5 MW)	Πολύ Μεγάλοι Βιομηχανικοί Καταναλωτές 50 MW (37,5 - 62,5 MW)	Μεγάλοι Βιομηχανικοί Καταναλωτές Ig
Τιμή χωρίς ΦΠΑ 9% (€/MWh)	42,2	42,2	42,2	54,1
Τιμή με ΦΠΑ 9% (€/MWh)	45,6	45,6	45,6	58,4

Πίνακας 4.8 Τιμές αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ για κάθε έναν από τους αυτοπαραγωγούς σύμφωνα με την Eurostat

4.4.3 Υπολογισμός των τιμών αγοράς φυσικού αερίου από την ΔΕΠΑ

Οι τιμές αγοράς αερίου που χρησιμοποιούμε είναι μέσες τιμές και εμπεριέχουν την χρέωση ισχύος, την χρέωση ενέργειας, την έκπτωση συμπαραγωγής και τον ΦΠΑ που είναι 9%.

Η χρέωση ισχύος για όλους τους καταναλωτές σύμφωνα με την ΔΕΠΑ (2005) και το Αέριο Αττικής (2005) είναι 213 €/MW μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης ανά μήνα. Συνεπώς αν έχουμε X MW μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης ανά μήνα τότε το ποσό που θα πληρώνουμε θα είναι:

$X * 213 * 12$ [€/έτος]. Όμως επειδή θεωρούμε ότι τα συστήματα έχουν σταθερή κατανάλωση καυσίμου όλο τον χρόνο $X =$ Μέση ισχύς καταναλισκόμενου καυσίμου.

Γνωρίζουμε επίσης ότι η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια ανά έτος θα είναι:

Μέση ισχύς καταναλισκόμενου καυσίμου * 8760 ώρες = $X * 8760$ [MWh/έτος].

Συνεπώς η χρέωση ισχύος ανά καταναλισκόμενη MWh φυσικού αερίου θα είναι:

$(X * 213 * 12)$ [€/έτος] / $(X * 8760)$ [MWh/έτος] = 0,292 €/MWh.

Η χρέωση ενέργειας για τους 3 μεγάλους καταναλωτές είναι 22,03 €/MWh, ενώ για τον μικρότερο καταναλωτή το πώς διαμορφώνεται η χρέωση ενέργειας παρουσιάζεται στον πίνακα 4.9.

Αυτοπαραγωγός 4	Χρέωση ενέργειας (€/MWh)
Οι πρώτες 180 MWh/μήνα	30,84
Κατανάλωση από 180 MWh - 560 MWh/μήνα	29,96
Κατανάλωση από 560 MWh - 2000 MWh/μήνα	28,49
Κατανάλωση από 2000 MWh - 5000 MWh/μήνα	27,61
Κατανάλωση πάνω από 5000 MWh/μήνα	22,03

Πίνακας 4.9 Χρέωση ενέργειας του τέταρτου αυτοπαραγωγού

Συνεπώς γι' αυτόν τον καταναλωτή θα έχουμε:

$$180 \text{ MWh/μήνα} * 12 \text{ μήνες/έτος} * 30,84 \text{ €/MWh} = 66.614 \text{ €/έτος}$$

$$(560-180) \text{ MWh/μήνα} * 12 \text{ μήνες/έτος} * 29,96 \text{ €/MWh} = 136.617 \text{ €/έτος}$$

$$(2000-560) \text{ MWh/μήνα} * 12 \text{ μήνες/έτος} * 28,49 \text{ €/MWh} = 492.308 \text{ €/έτος}$$

$$(5000-2000) \text{ MWh/μήνα} * 12 \text{ μήνες/έτος} * 27,61 \text{ €/MWh} = 993.960 \text{ €/έτος}$$


$$(111.111 \text{ MWh/έτος} - 5000 \text{ MWh/μήνα} * 12 \text{ μήνες/έτος}) * 22,03 \text{ €/MWh} = 1.125.975 \text{ €/έτος}$$

Άρα η μέση χρέωση ενέργειας που προκύπτει για τον τέταρτο αυτοπαραγωγό ανά MWh θα είναι:

$$(66.614 + 136.617 + 492.308 + 993.960 + 1.125.975) \text{ €/έτος} / 111.111 \text{ MWh/έτος} = 25,34 \text{ €/MWh}$$

Η έκπτωση συμπαραγωγής είναι 0,9 €/MWh για κατανάλωση η οποία φτάνει μέχρι 10 GWh/μήνα και 0,7 €/MWh για μεγαλύτερη κατανάλωση. Συνεπώς ο αυτοπαραγωγός 4 θα έχει έκπτωση 0,9 €/MWh και οι υπόλοιποι 3 και σαφώς μεγαλύτεροι αυτοπαραγωγοί θα έχουν έκπτωση 0,7 €/MWh.

Συγκεντρώνοντας λοιπόν όλα τα παραπάνω στοιχεία στον πίνακα 4.10 προκύπτει η μέση τιμή αγοράς φυσικού αερίου για κάθε έναν από τους 4 καταναλωτές.

 ΔΕΠΑ	Αυτοπαραγωγός 1	Αυτοπαραγωγός 2	Αυτοπαραγωγός 3	Αυτοπαραγωγός 4
Χρέωση ισχύος (€/MWh)	0,292	0,292	0,292	0,292
Χρέωση ενέργειας (€/MWh)	22,03	22,03	22,03	25,34
Έκπτωση συμπαγωγής (€/MWh)	0,7	0,7	0,7	0,9
Τιμή αγοράς φυσικού αερίου χωρίς ΦΠΑ 9% (€/MWh)	23,022	23,022	23,022	26,532
Τιμή αγοράς φυσικού αερίου με ΦΠΑ 9% (€/MWh)	25,094	25,094	25,094	28,92

Πίνακας 4.10 Τελική τιμή αγοράς φυσικού αερίου για συμπαγωγή από ΔΕΠΑ

4.5 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων της οικονομικής μελέτης

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της οικονομικής μελέτης γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ενώ οι αυτοπαραγωγοί 2, 3 και 4 εξοικονομούν χρήματα από την εγκατάσταση των συστημάτων συμπαγωγής και μάλιστα σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό ο αυτοπαραγωγός 1 παρουσιάζει μεγάλη ζημιά. Αυτό οφείλεται σε πάρα πολλούς παράγοντες. Πρώτα και κύρια η τιμή την οποία προσφέρει η ΔΕΗ για αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαγωγή στην υψηλή τάση είναι πάρα πολύ μικρή με αποτέλεσμα να μην μπορεί να καλύψει το κόστος της αγοράς φυσικού αερίου. Όσο μάλιστα μεγαλύτερη είναι η ηλεκτρική απόδοση του συστήματος συμπαγωγής τόσο μεγαλύτερη είναι και η απώλεια χρημάτων.

Μια δεύτερη αιτία που οδηγεί σε αυτήν την κατάσταση είναι υψηλή τιμή του φυσικού αερίου. Εξαιτίας δηλαδή του ότι δεν έχει γίνει ακόμα η απελευθέρωση στην αγορά φυσικού αερίου, το κόστος του καυσίμου βρίσκεται ακόμα σε σχετικά υψηλά επίπεδα με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η προσπάθειά μας στο να έχουμε κέρδος.

Παράγοντα επίσης, αποτελεί και το γεγονός ότι στην Ελλάδα η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η πιο χαμηλή στην Ευρώπη. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την χρήση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλο ποσοστό, καυσίμου το οποίο είναι πάρα πολύ φθινό και το οποίο αφθονεί στον ελλαδικό χώρο.

Μεγάλο ρόλο σ' αυτό το αποτέλεσμα παίζει και το γεγονός ότι δεν υπάρχει ακόμα φορολογία για τις εκπομπές CO₂. Ο λιγνίτης είναι ένα καύσιμο το οποίο απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες CO₂ ανά μονάδα ενέργειας σε σχέση με το φυσικό αέριο το οποίο είναι πολύ πιο καθαρό. Επίσης η απόδοση 38 % με την οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια τα λιγνιτικά εργοστάσια στην Ελλάδα δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να συγκριθεί με την απόδοση της τάξης του 68,8 % στο πρώτο σύστημα συμπαραγωγής και του 85,9 % κατά μέσο όρο σε όλα τα συστήματα συμπαραγωγής. Οι εκπομπές CO₂ λοιπόν στην περίπτωση του λιγνίτη είναι σαφώς μεγαλύτερες και αν μπορούσαν μέσω ενός περιβαλλοντικού φόρου να μεταφραστούν σε χρήματα, θα μιλούσαμε για ένα σημαντικό οικονομικό πλεονέκτημα της συμπαραγωγής σε σχέση με την καύση του λιγνίτη.

Ένας ακόμη σημείο στο οποίο θα πρέπει να αναφερθούμε είναι η έλλειψη από την πλευρά της πολιτείας σημαντικών άμεσων και έμμεσων οικονομικών κινήτρων τα οποία θα μπορούσαν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας από συμπαραγωγή, έτσι ώστε αυτή η μορφή ενέργειας να γίνει πιο ανταγωνιστική.

Ολοκληρώνοντας την παράθεση των παραγόντων δεν θα πρέπει να ξεχάσουμε και το ότι στην Ελλάδα έχει αργήσει χαρακτηριστικά η απελευθέρωση της αγοράς τόσο της ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και του φυσικού αερίου. Από την μία η καθυστέρηση στην ουσιαστική απελευθέρωση της ηλεκτρικής ενέργειας εμποδίζει την λειτουργία της αγοράς με όρους υγιούς ανταγωνισμού. Αυτό οδηγεί την ΔΕΗ να ακολουθεί την εκάστοτε κοινωνική πολιτική που θέτει η κυβέρνηση στην διαμόρφωση των τιμών με αποτέλεσμα οι τιμές να είναι χαμηλότερες απ' ότι στην πραγματικότητα, και έτσι να μειώνεται η ανταγωνιστικότητα και η επενδυτική αξία εναλλακτικών ενεργειακών επιλογών όπως είναι η συμπαραγωγή. Από την άλλη η καθυστέρηση της απελευθέρωσης της αγοράς φυσικού αερίου εμποδίζει στην ανάπτυξη μιας αγοράς υγιούς ανταγωνισμού η οποία θα προσφέρει στους καταναλωτές φυσικό αέριο σε πολύ χαμηλή τιμή.

Από τα παραπάνω μπορούμε εύκολα να συμπεράνουμε πως μια επένδυση συμπαραγωγής στην Ελλάδα μπορεί να είναι βιώσιμη, παρόλο που στην υψηλή τάση

με τα σημερινά δεδομένα κάτι τέτοιο είναι ανέφικτο, όμως οι παραπάνω λόγοι αποτελούν τροχοπέδη για την ραγδαία ανάπτυξη του κλάδου. Γι' αυτό είναι αναγκαία η λήψη μέτρων από την πολιτεία για να γίνει η συμπαραγωγή πιο ελκυστική για τους επενδυτές. Αρχικά θα πρέπει να αυξηθεί το ποσό αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή με επιδότηση από το κράτος, ούτως ώστε να προκύπτει σημαντικό κέρδος από την πώλησή της.

Εν συνεχεία θα πρέπει να επιταχυνθούν οι διαδικασίες απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Αυτό το μέτρο αναμένεται να υλοποιηθεί σύντομα από το Υπουργείο Ανάπτυξης λόγω κυρίως των πιέσεων που δέχεται η οικονομία από την αύξηση στην τιμή του πετρελαίου. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του θα είναι η σημαντική μείωση στην τιμή αγοράς του φυσικού αερίου, αλλά και η αύξηση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη σε επίπεδα που να ανταποκρίνονται σε μια ελεύθερη αγορά.

Τέλος θα πρέπει επίσης να γίνει η επιβολή του φόρου CO₂. Το μέτρο αυτό αναμένεται να υιοθετηθεί από το κράτος πολύ σύντομα λόγω των δεσμεύσεων της Ελλάδας σύμφωνα με την συνθήκη του Κιότο και αναμένεται να συμβάλει στην βελτίωση της θέσης της συμπαραγωγής από άποψη ανταγωνιστικότητας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως έγινε κατανοητό απ' όλα τα παραπάνω η τεχνολογία συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας έχει πολύ μεγάλες δυνατότητες. Τόσο το γεγονός ότι αξιοποιεί το καταναλισκόμενο καύσιμο σε μεγαλύτερο ποσοστό απ' ότι τα αντίστοιχα συμβατικά συστήματα, όσο και το ότι ρυπαίνει λιγότερο είναι στοιχεία που την καθιστούν ανταγωνιστική.

Όπως είδαμε στο πρώτο κεφάλαιο, θετικό στοιχείο είναι και το εύρος που προσφέρει σε τεχνολογίες συμπαραγωγής που μπορούν να καλύψουν όλες τις ανάγκες που ενδέχεται να προκύψουν από την πλευρά του χρήστη. Παράλληλα δεν απαιτεί στις περισσότερες των περιπτώσεων ειδική τεχνογνωσία αφού βασίζεται στις ευρέως διαδεδομένες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Τέλος λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες που επικρατούν στην παγκόσμια αγορά με την αύξηση της τιμής του πετρελαίου γίνεται πασιφανές ότι η συμπαραγωγή μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον ενεργειακό τομέα.

Βέβαια οι ιδιαίτερες συνθήκες που επικράτησαν στην Ελλάδα ως και τα τελευταία χρόνια, και οι οποίες καταδείχθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο, εμπόδισαν την ανάπτυξη της συμπαραγωγής. Η γραφειοκρατία και το γεγονός ότι η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας δεν είχε απελευθερωθεί έπαιξαν αρνητικό ρόλο. Βέβαια μαζί με αυτά συνετέλεσε και το ότι η Ελλάδα δεν είναι βιομηχανική χώρα.

Παρόλη όμως την κατάσταση, είναι φανερό ότι σήμερα βρίσκονται σε εξέλιξη πολύ μεγάλα βήματα στον τομέα της συμπαραγωγής. Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας έχει δώσει μια πολύ μεγάλη ώθηση, αφού δίνει την δυνατότητα στους ιδιώτες επενδυτές να εγκαταστήσουν συστήματα συμπαραγωγής με απλούστερες, ταχύτερες και πιο σαφείς διαδικασίες απ' ότι παλιότερα. Όσο περνά ο χρόνος, η απελευθέρωση ολοκληρώνεται, οι επενδυτές θα έχουν την δυνατότητα να εμπορευθούν με καλύτερο τρόπο την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Η διείσδυση του φυσικού αερίου στην Ελλάδα και η δημιουργία σημαντικών υποδομών και δικτύου δίνει την επιλογή της χρήσης του φυσικού αερίου για συμπαραγωγή, ένα καύσιμο ιδιαίτερα εύχρηστο γι' αυτόν τον σκοπό. Η απελευθέρωση της αγοράς του φυσικού αερίου είναι το επόμενο βήμα που αναμένεται στον χώρο της συμπαραγωγής έτσι ώστε να δημιουργηθεί ανταγωνισμός και να υπάρξει μείωση στην τιμή πώλησης

του φυσικού αερίου. Τέλος δεν θα πρέπει να ξεχάσουμε και τον φόρο CO₂ που θα μπει σε εφαρμογή σύντομα και ο οποίος θα δράσει υπέρ της συμπαραγωγής έναντι των συμβατικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας.

Όπως είδαμε στο τρίτο κεφάλαιο, υπάρχουν και κάποιες δυσκολίες στην συμπαραγωγή. Η επιλογή του συστήματος συμπαραγωγής, που είναι μια πολυκριτηριακή διαδικασία, είναι πολύπλοκη και παίζει καθοριστικό ρόλο στο αν το σύστημα συμπαραγωγής θα μπορέσει να καλύψει τις ανάγκες του χρήστη και ταυτόχρονα να είναι κερδοφόρος. Για παράδειγμα στην περίπτωση 1 όπου στην απόδοση του συστήματος δίνεται η μεγαλύτερη βαρύτητα, οι πιο κατάλληλες επιλογές από τα 16 προτεινόμενα συστήματα είναι ο Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου 750 MW_e, ο Αεριοστρόβιλος 225 MW_e, η Μηχανή Συμπίεσης ντίζελ 20 MW_e και η Αεριομηχανή Κύκλου Όττο 13 MW_e. Για να γίνει όμως η τελική επιλογή ανάμεσα στα τέσσερα συστήματα, θα πρέπει να ληφθούν επιπλέον περιπτώσεις μεταβάλλοντας τους υπόλοιπους συντελεστές βαρύτητας και λαμβάνοντας υπόψη μας και ότι περιορισμούς έχουμε όπως νομοθεσία, περιβάλλον κτλ.

Στο τέταρτο κεφάλαιο είδαμε ότι στην Ελλάδα και ειδικά όσον αφορά τα μεγάλα συστήματα συμπαραγωγής, οι συνθήκες δεν έχουν φτάσει ακόμα στο επιθυμητό επίπεδο. Για παράδειγμα όσον αφορά τον αυτοπαραγωγό 1 η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ είναι 20,548 €/MWh σε σχέση με τους υπόλοιπους τρεις αυτοπαραγωγούς των οποίων η τιμή πώλησης είναι 45,61 €/MWh. Αυτό έχει ως συνέπεια η συνολική χρηματορροή για τον αυτοπαραγωγό 1 να είναι - 50.015.179 €/έτος, άρα να μην έχουμε οικονομική βιωσιμότητα.

Όμως το μέλλον προοιωνίζεται αισιόδοξο. Ο κυριότερος λόγος είναι το γεγονός ότι η στρατηγική που ακολουθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση στον ενεργειακό τομέα συμπεριλαμβάνει την στροφή στις εναλλακτικές τεχνολογίες ενέργειας, όπως η συμπαραγωγή. Έτσι λοιπόν είναι σίγουρο ότι τα επόμενα χρόνια ο τομέας συμπαραγωγής στην Ελλάδα θα αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Afgan, N.H., Carvalho, M.G., 2002, Multi-Criteria Assessment of New and Renewable Energy Power Plants, *Energy*, 27, pp. 739-755.
- Afgan, N.H., Pilavachi, P.A., Carvalho, M.G., 2005, Sustainability Assessment of Natural Gas Systems, *αναμένεται να δημοσιευθεί*.
- Eurostat, 2003a, Gas Prices for EU Households on 1 July 2003.
- Eurostat, 2003b, Gas Prices for EU Industry on 1 July 2003.
- Eurostat, 2005a, ES – Marker prices – half yearly prices
[http://epp.eurostat.ceceu.int/environment and energy.html](http://epp.eurostat.ceceu.int/environment%20and%20energy.html)
- Eurostat, 2005b, ES – Electricity – industrial consumers - half yearly prices
[http://epp.eurostat.ceceu.int/environment and energy.html](http://epp.eurostat.ceceu.int/environment%20and%20energy.html)
- Hovanov, N.V., Kornikov, V.V., Seregin, I.A, 1997, June 9-13, Qualitative Information Processing in DSSS ASPID-3W For Complex Objects Estimations Under Uncertainty, *Proceedings of the International Conference on Informatics and Control St-Petersburg (Russia)*, Vol. 2, pp. 808-816.
- Minett, S., 2004, Χαρακτηριστικά συστημάτων συμπαραγωγής, *προσωπική επικοινωνία*.
- Pilavachi, P.A., Roumpeas, C.P., Afgan, N.H., Minett, S., 2005a, Multi-Criteria Evaluation for CHP System Options, *Heat Transfer in Components and Systems for Sustainable Technologies, Heat SET 2005, 5-7 April 2005, Grenoble, France*
- Pilavachi, P.A., Roumpeas, C.P., Afgan, N.H., Minett, S., 2005b, Multi-Criteria Evaluation for CHP System Options, *Energy Conversion and Management, Elsevier, αναμένεται να δημοσιευθεί*
- Sarmentero, A., Theofylactos, C.G., Panoutsou, P., 2003, Cogeneration in Europe – Country: Greece September 2003, *Cogen Europe - A series of country reports on Cogeneration in European Countries*.
- Αέριο Αττικής, 2005, [www.aerioattikis.gr/επαγγελματική χρήση/βιομηχανικοί πελάτες/τιμολόγια φυσικού αερίου.html](http://www.aerioattikis.gr/επαγγελματική_χρήση/βιομηχανικοί_πελάτες/τιμολόγια_φυσικού_αερίου.html)

- ΔΕΗ, 2005a, [www.dei.gr/εξυπηρέτηση πελατών/αναλυτικά τιμολόγια/τιμοκατάλογος αγορών ηλεκτρισμού/τιμές αγοράς στο διασυνδεδεμένο σύστημα.html](http://www.dei.gr/εξυπηρέτηση_πελατών/αναλυτικά_τιμολόγια/τιμοκατάλογος_αγορών_ηλεκτρισμού/τιμές_αγοράς_στο_διασυνδεδεμένο_σύστημα.html)
- ΔΕΗ, 2005b, [www.dei.gr/εξυπηρέτηση πελατών/αναλυτικά τιμολόγια/τιμοκατάλογος αγορών ηλεκτρισμού/όροι τιμολόγησης.html](http://www.dei.gr/εξυπηρέτηση_πελατών/αναλυτικά_τιμολόγια/τιμοκατάλογος_αγορών_ηλεκτρισμού/όροι_τιμολόγησης.html)
- ΔΕΠΙΑ, 2005, [www.depra.gr/εμπορική δραστηριότητα/βιομηχανία/τιμολόγιο.html](http://www.depra.gr/εμπορική_δραστηριότητα/βιομηχανία/τιμολόγιο.html)
- Φραγκόπουλος, Χ.Α., 1993, Συμπαραγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού, Σεμινάριο κατάρτισης Διπλ. Μηχανικών με θέμα: «Εξοικονόμηση Ενέργειας στη Βιομηχανία» Αθήνα – Οκτώβριος 1993.