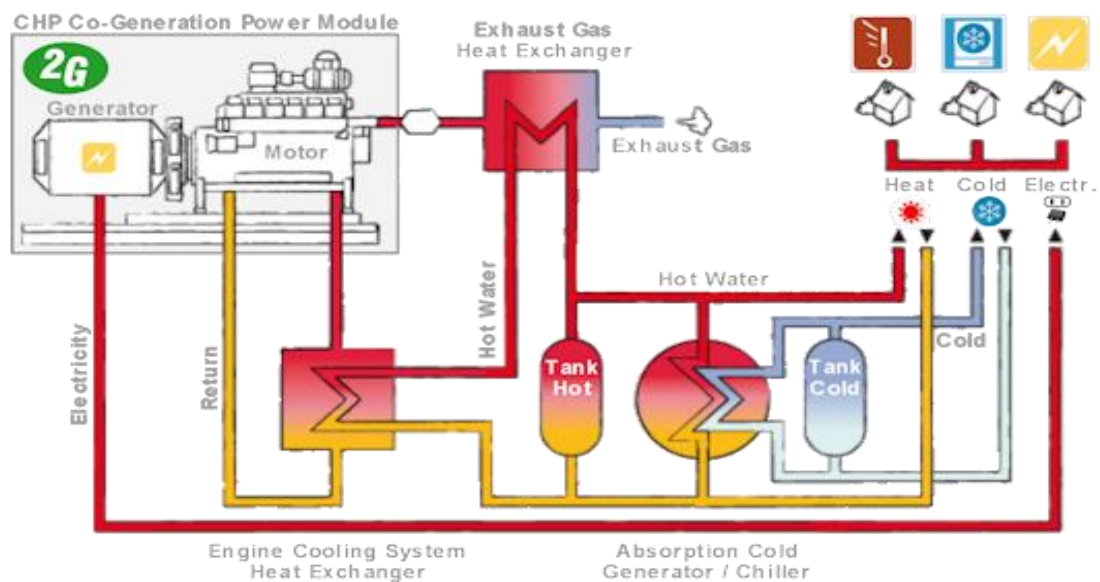




ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τεχνολογίες και μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού
θερμότητας σε μικροδίκτυα και δίκτυα διανομής ηλεκτρικής
ενέργειας



Σπουδαστής: Παραδείσης Θεολόγος

Αριθμός Μητρώου: 4287

Εισηγητής: Συλλιγνάκης Ιωάννης

**Τεχνολογίες και μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού
θερμότητας σε μικροδίκτυα και δίκτυα διανομής ηλεκτρικής
ενέργειας**

ΗΡΑΚΛΕΙΟ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2013

Ευχαριστίες

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Ιωάννη Συλλιγνάκη που μου έδωσε τη δυνατότητα να αναλάβω αυτή την εργασία. Να τον ευχαριστήσω για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε, για τις συμβουλές που μου έδωσε καθώς και ότι ήταν απαραίτητο για την εκπλήρωση αυτής της πτυχιακή εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του ΤΕΙ Κρήτης και κυρίως του τμήματος Ηλεκτρολογίας για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια καθώς και τα πολύτιμα εφόδια που μου έδωσαν για τη μετέπειτα ζωή μου.

Έπειτα να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές μου που γνώρισα, συνεργάστηκα και κυρίως τους φίλους μου οι οποίοι με στηρίξανε όλα αυτά τα χρόνια στο Ηράκλειο.

Τέλος να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, στον αδελφό μου που με στήριξε στα πρώτα φοιτητικά μου χρόνια αλλά και για τις γνώσεις που μου έδωσε, στους γονείς μου για την ψυχολογική, ηθική, οικονομική βοήθεια που μου έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια και κυρίως που με μεγάλωσαν με αρχές και αξίες ώστε να γίνω ένας καλύτερος άνθρωπος για την κοινωνία και τη μετέπειτα ζωή μου.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τεχνικές και συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας. Αρχικά, στο θεωρητικό τμήμα της εργασίας, γίνεται αναφορά στον ορισμό της συμπαραγωγής, στην αρχή λειτουργίας της, στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι τρόποι λειτουργίας και συμπεριφοράς των συστημάτων αυτών. Εκτενής αναφορά γίνεται και σε μία άλλη τεχνολογία, προϊόν της συμπαραγωγής, την τριπαραγωγή. Στο υπολογιστικό μέρος της εργασίας προσομοιώνεται το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της νήσου Πάτμου, θεωρώντας εγκατάσταση και λειτουργία μονάδας συμπαραγωγής. Ερευνώνται διάφορα σενάρια φόρτισης του δικτύου με στόχο την εύρεση της βέλτιστης θέσης για την τοποθέτηση μονάδας συμπαραγωγής που αποφέρει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα για το νησί, από πλευράς οικονομίας και ενεργειακής διαχείρισης. Τέλος γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης και σχολιασμός των κρίσιμων συμπερασμάτων που προκύπτουν.

Abstract

This thesis deals with techniques on CHP systems. Initially, in the first part of this thesis, (the theoretical one) there is a reference to the definition of cogeneration, the operating principles, advantages and disadvantages of this technology. Also the operating modes and special characteristics of these systems are presented. Extensive reference is made in another technology, product of cogeneration, trigeneration. In the second part of this thesis, the electricity grid of the island of Patmos has been simulated, considering installation and operation of a cogeneration unit. Several scenarios have been investigated, by means of different loading of the power system, in order to find the best topology for installation of a cogeneration unit that brings concrete benefits for the island in terms of economy and energy management. Finally we present the results of this study and discuss the critical conclusions.

Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1. ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	12
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	14
1.3 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	14
1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	17
1.4.1 Επιπτώσεις στην κατανάλωση καυσίμων	17
1.4.2 Επιπτώσεις στο σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας	18
1.4.3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	18
1.4.4 Οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις	20
1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	20
1.5.1 Σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας	21
1.5.2 Βιομηχανικός Τομέας	21
1.5.3 Εμπορικός – Κτιριακός Τομέας	23
1.5.4 Αγροτικός Τομέας	24
2. Η ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	26
2.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	26
2.2 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ 3468/2006	33
2.2 ΑΔΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	35
2.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ Σ.Η.Θ.Υ.Α. ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	37
2.4 ΣΥΜΒΑΣΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	38
2.5 ΚΙΝΗΤΡΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΗΘ	41
2.5.1 Για επιχειρήσεις	41
2.5.2 Για φυσικά πρόσωπα	43
3. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	44
3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	44
3.1.1 Γενικά	44
3.1.2 Κύκλος Rankine	45
3.1.3 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης	47
3.1.4 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης	48
3.1.5 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης	49
3.1.6 Κύκλοι βάσης Rankine με οργανικά ρευστά	49

3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	50
3.2.1 Γενικά	50
3.2.2 Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου	50
3.2.3 Συστήματα αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου.	53
3.2.4 Κύκλος Brayton (ή Joule)	54
3.2.5 Μικροστρόβιλος (microturbine)	55
3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ.....	57
3.3.1 Γενικά	57
3.3.2 Συστήματα Συμπαραγωγής Συνδυασμένου Κύκλου Rankine – Joule.....	57
3.3.3 Συστήματα συμπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου Diesel-Rankine.....	60
3.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ	60
3.4.1 Κατηγορίες μηχανών εσωτερικής καύσης.....	60
3.4.2 Κύκλος Otto	64
3.4.3 Κύκλος Diesel.....	65
3.5 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	65
3.6 ΜΗΧΑΝΕΣ STIRLING (Μηχανές εξωτερικής καύσης)	67
3.7 ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (“ΠΑΚΕΤΑ”).....	69
3.7.1 Συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας.....	69
3.7.2 Τεχνολογίες και καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής.....	69
3.7.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά “πακέτων”	70
4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	72
4.1 ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	72
4.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	73
5. ΜΙΚΡΟΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	84
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	84
5.2 ΜΙΚΡΟΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ (micro CHP)	84
5.2.1 Γενικά	84
5.2.2 Τεχνολογίες και καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής.....	85
5.2.3 Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων συμπαραγωγής μικρής κλίμακας	86
5.2.4 Η αγορά	87
5.2.5 Πορεία της αγοράς	88
5.2.6 Πλεονεκτήματα	88

5.2.7 Μειονεκτήματα	89
5.2.8 Ισχύον καθεστώς	90
5.2.9 Τρόποι βελτίωσης.....	90
5.2.10 Συμπεράσματα	91
5.3 ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗ	92
5.3.1 Γενικά	92
5.3.2 Ψύξη απορρόφησης	93
5.3.3 Βασική αρχή μιας μηχανής ψύξης απορρόφησης.....	94
5.3.4 Ζεύγη εργασίας	95
5.3.5 Τροποποιήσεις του συστήματος	95
5.3.6 Ψύκτες Li-Br.....	96
5.3.7 Ψύκτες αμμωνίας – νερού.....	98
Απόδοση.....	98
5.3.8 Τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά ψυκτών απορρόφησης.....	99
5.3.9 Πλεονεκτήματα	99
5.3.10 Μειονεκτήματα	100
6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ(ΡΟΗ ΦΟΡΤΙΟΥ).....	101
6.1 ΓΕΝΙΚΑ	101
6.2 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	101
6.2.1 Εισαγωγή	101
6.2.2 Οι στόχοι του προγράμματος	101
6.2.3 Εκπαιδευτική χρήση του Power World.....	103
6.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	104
Εισαγωγή.....	104
Εξίσωση ροής ισχύος.....	105
Μέθοδος Gauss-Seidel	106
Ροές γραμμών και Απώλειες γραμμών.....	109
Μέθοδος Newton-Raphson.....	110
Ταχεία Αποζευγμένη Μέθοδος	112
6.4 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΗΕ	114
6.4.1 Παράσταση γραμμών μεταφοράς	115
6.4.2 Παράσταση γεννητριών.....	115
6.4.3 Παράσταση εγκάρσιων πυκνωτών και αυτεπαγωγών	116
6.4.4 Παράσταση μετασχηματιστών	116

6.4.5 Παράσταση φορτίων	118
6.5 ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΠΑΤΜΟΥ.....	119
6.5.1 Λίγα λόγια για την Πάτμο και τον τοπικό σταθμό παραγωγής της ΔΕΗ	119
6.6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	122
6.6.1 Πραγματικό δίκτυο	122
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΟΡΤΙΩΝ	124
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ.....	126
6.6.2 Απλοποιημένο δίκτυο.....	127
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΟΡΤΙΩΝ	128
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ	129
7. ΣΕΝΑΡΙΑ, ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	130
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	130
7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ, ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΓΡΑΜΜΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	130
Συγκεντρωτικά οι απώλειες ανά περίπτωση είναι	135
Ποσοστό μείωσης απωλειών ανά ζυγό	135
Γραφήματα.....	135
7.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	138
7.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΕΡΔΟΥΣ ΓΙΑ 2000 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΗΘ	141
7.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	142
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	143
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	145
ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΝΗΣΟΥ ΠΑΤΜΟΥ	145
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	145
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	146
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	151

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας είναι μία ενδιαφέρουσα τεχνολογία η οποία όμως δεν είναι πολύ διαδεδομένη στην Ελλάδα. Από τη χρήση της προκύπτουν τεράστια οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη και δίνει τη δυνατότητα με τη χρήση μίας πηγής να παράγει δύο αποτελέσματα. Οι τομείς εφαρμογής της συμπαραγωγής είναι πάρα πολλοί όπως στη βιομηχανία, επιχειρήσεις, στον αγροτικό τομέα, σε νοσοκομεία, ξενοδοχεία και τέλος σε οικιακούς καταναλωτές.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται οι τεχνολογίες και μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας σε μικροδίκτυα και δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλυτικά η δομή της εργασίας έχει ως εξής:

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας, ιστορική αναδρομή αυτής της τεχνολογίας και αναφέρονται οι τρόποι λειτουργίας των συστημάτων αυτών. Επίσης γίνεται παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και οι επιπτώσεις των συστημάτων αυτών και τέλος αναφέρονται οι τομείς εφαρμογής της συμπαραγωγής.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά για τη συμπαραγωγή στην Ελλάδα τις εγκατεστημένες μονάδες και τα ποσοστά παραγωγής αυτών. Αρχικά αναφέρεται η ανάπτυξη της συμπαραγωγής χρονικά στην Ελλάδα και παρουσιάζονται πίνακες με εγκατεστημένες μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας σε όλους τους τομείς και για διάφορα καύσιμα λειτουργίας όπως πετρέλαιο, φυσικό αέριο, βιοαέριο, LPG και άλλα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο νόμος 3468/2006 που αναφέρεται στη συμπαραγωγή και όλα τα συναφή με αυτή όπως την άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας υψηλής απόδοσης και διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας και τέλος τη σύμβαση πώλησης και τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Κλείνοντας το κεφάλαιο αναφέρονται τα κίνητρα που υπάρχουν για την εγκατάσταση συστημάτων συμπαραγωγής τόσο για επιχειρήσεις όσο και για φυσικά πρόσωπα.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση των σύγχρονων τεχνικών συμπαραγωγής. Αρχικά με τα συστήματα ατμοστροβίλου, αναφέρεται ο κύκλος Rankine και ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων αυτών με τις τρεις βασικές διατάξεις. Έπειτα είναι τα συστήματα αεριοστροβίλου όπου υπάρχουν δύο βασικές διατάξεις, αναφέρεται ο κύκλος Brayton (ή Joule) και τέλος τα συστήματα μικροστροβίλων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου Rankine-Joule και τα συστήματα Diesel-Rankine με τους τρόπους λειτουργίας αυτών. Μετά αναφέρονται τα συστήματα με παλινδρομική μηχανή

εσωτερικής καύσης, τις κατηγορίες των μηχανών αυτών και τους τρόπους λειτουργίας των συστημάτων αυτών, επίσης γίνεται αναφορά στον κύκλο Otto και στον κύκλο Diesel. Έπειτα παρουσιάζονται οι κυψέλες καυσίμου, η τεχνολογία τους και ο τρόπος λειτουργίας τους σε ένα σύστημα συμπαραγωγής. Επίσης παρουσιάζονται οι μηχανές Stirling ή αλλιώς μηχανές εξωτερικής καύσης και ο τρόπος λειτουργίας τους. Τέλος αναφέρονται οι τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής (πακέτα) που χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα μικρής κλίμακας οι τεχνολογίες και τα καύσιμα που χρησιμοποιούν όπως και τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών.

Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ενεργειακή συμπεριφορά των συστημάτων συμπαραγωγής. Αρχικά παρουσιάζονται οι δείκτες ενεργειακής συμπεριφοράς που αφορούν τα συστήματα συμπαραγωγής και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα ενεργειακά χαρακτηριστικά όλων των συστημάτων συμπαραγωγής. Αναλυτικά δηλαδή για κάθε σύστημα τον βαθμό απόδοσης, την εξοικονόμηση καυσίμου, την εκπομπή ρύπων και παρουσιάζονται συγκριτικά τα χαρακτηριστικά κάθε συστήματος.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται δύο νέες τεχνολογίες η μικροσυμπαραγωγή και η τριπαραγωγή. Στη μικροσυμπαραγωγή γίνεται εισαγωγή στις τεχνολογίες και τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται όπως επίσης και στους τρόπους λειτουργίας των συστημάτων αυτών. Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην αγορά και στην πορεία της αγοράς των συστημάτων αυτών, στο ισχύον καθεστώς που διέπει τα συστήματα αυτά όπως και τρόποι βελτίωσης αυτού. Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση αυτής της τεχνολογίας. Έπειτα γίνεται μία εισαγωγή στην τριπαραγωγή και στον ορισμό αυτής. Παρουσιάζεται η ψύξη απορρόφησης και έπειτα η βασική αρχή μιας μηχανής ψύξης απορρόφησης, τα ζεύγη εργασίας που χρησιμοποιούνται όπως και τροποποιήσεις του συστήματος του κύκλου ψύξης. Αναλύονται οι ψύκτες Li-Br και οι ψύκτες αμμωνίας-νερού και δίνονται τα τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά των ψυκτών απορρόφησης. Τέλος αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης.

Στο 6^ο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο υπολογιστικό τμήμα της πτυχιακής, παρουσιάζεται το σύστημα μελέτης και η μεθοδολογία επίλυσης (ροή φορτίου). Παρουσιάζεται αναλυτικά το λογισμικό προσομοίωσης Power World διότι με αυτό προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και λόγω ότι το λογισμικό επιλύει με επίλυση ροής φορτίου, αναφέρονται αναλυτικά και οι τρεις μέθοδοι επίλυσης ροής φορτίου όπως επίσης παρουσιάζεται η σχηματική αναπαράσταση των στοιχείων ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας όπως χρησιμοποιείται στις μελέτες ροής φορτίου. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το δίκτυο διανομής της νήσου Πάτμου και τα χαρακτηριστικά του και τέλος γίνεται η προσομοίωση του δικτύου

αυτού σε δύο περιπτώσεις: στο πραγματικό δίκτυο και στο απλοποιημένο του. Από τις προσομοιώσεις αυτές παρουσιάζονται σε πίνακες τα αποτελέσματα της μελέτης του δικτύου και των φορτίων του.

Στο 7^ο κεφάλαιο υλοποιούνται τέσσερα διαφορετικά σενάρια φόρτισης του δικτύου (στις περιπτώσεις P_{min} , P_{aver} , P_{max} , P_{pref}), κάνοντας επίλυση ροής φορτίου προκύπτουν οι απώλειες γραμμών ανά περίπτωση φόρτισης. Παρουσιάζονται σε πίνακες οι απώλειες και τα ποσοστά μείωσης των απωλειών όπως και γραφήματα αυτών. Έπειτα γίνεται υπολογισμός του ποσοστού εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου με τη χρήση συμπαραγωγής, υπολογισμός κέρδους για 2000 ώρες λειτουργίας του συστήματος συμπαραγωγής και στο τέλος ένα παράδειγμα ενός συστήματος συμπαραγωγής.

Τέλος στο 8^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το υπολογιστικό κομμάτι αυτής της εργασίας σχετικά με το υπό μελέτη ηλεκτρικό δίκτυο, και γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της επίδρασης συστημάτων συμπαραγωγής σε περίπτωση ανάπτυξης αντιστοίχων συστημάτων σε μεγαλύτερη κλίμακα.

1. ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων ενός καταναλωτή (ή μιας ομάδας καταναλωτών) είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και η καύση κάποιου καυσίμου (σε λέβητα, κλίβανο, κ.λπ.) για την παραγωγή θερμότητας, ζεστού νερού χρήσης ή και ατμού. Όμως, η μέση απόδοση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι περίπου 35%, που σημαίνει ότι περίπου τα 2/3 της ενέργειας του καυσίμου χάνεται ως θερμότητα στο περιβάλλον. Αυτό σε συνδυασμό με την καύση πρωτογενούς καυσίμου (πετρέλαιο, αέριο, κα) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας με αποδόσεις από 70 - 90%, δημιουργούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η συνολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά εάν εφαρμοσθεί η Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας – ΣΗΘ (στα Αγγλικά: Cogeneration ή Combined Heat and Power, CHP).

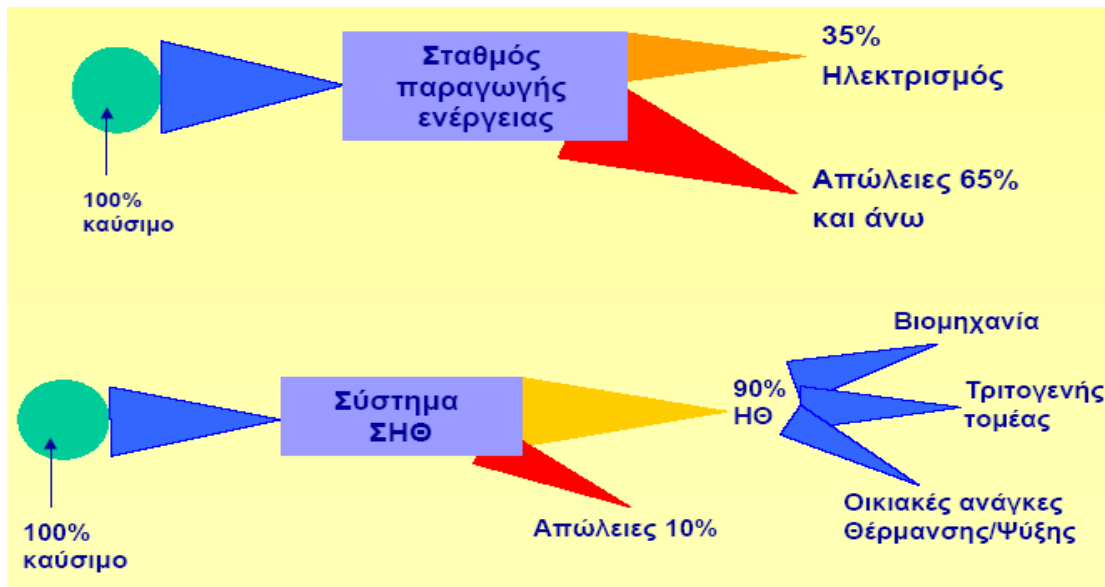
Συμπαράγωγή είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας.

Σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 2004/8/ΕΚ, αλλά και τον Ν. 3734/09, η ΣΗΘ ορίζεται ως:

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

Διευκρινίζεται ότι η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη ή κλιματισμό. Η ψύξη ή ο κλιματισμός επιτυγχάνονται με μηχανές απορρόφησης, που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό. Η τεχνολογία αυτή καλείται *Τρι-παραγωγή* ή Trigenation (Combined Cool Heat and Power, CCHP).

Κατά τη λειτουργία ενός συμβατικού θερμοηλεκτρικού σταθμού, μεγάλα ποσά θερμότητας αποβάλλονται στο περιβάλλον είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωμάτων ατμού, πύργων ψύξης, ψυγείων νερού κινητήρων Diesel, κ.λπ.) είτε μέσω των καυσαερίων (αεριοστροβίλων, κινητήρων Diesel, κινητήρων Otto, κ.λπ.). Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της θερμότητας μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα. Έτσι, ενώ οι συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής έχουν βαθμό απόδοσης 30-45%, ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων συμπαράγωγής φθάνει το 80-85%. Μια τυπική σύγκριση, ως προς τον βαθμό απόδοσης, της συμπαράγωγής με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας παρουσιάζει το Σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1: Σύγκριση βαθμού απόδοσης συμπαραγωγής με χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και Θερμότητας

Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, που επιτυγχάνεται με τη συμπαραγωγή, συντελεί, εν γένει, σε μείωση και των εκπεμπόμενων ρύπων. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ενδεχόμενη η αύξηση των ρύπων σε τοπική κλίμακα, γεγονός το οποίο επιβάλλει ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του είδους της μονάδας και του πρόσθετου εξοπλισμού της. Η διαδικασία προσδιορισμού των εκπομπών, τιμές ρύπων και παραδείγματα σύγκρισης μεταξύ συστημάτων συμπαραγωγής και χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας παρουσιάζονται σε παρακάτω ενότητες, όπου επίσης γίνεται σύντομη αναφορά στις ευρύτερες οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

Η συμπαραγωγή στον τομέα των μεταφορών είναι πλέον κάτι αυτονόητο: π.χ., ο κινητήρας ενός αυτοκινήτου ή πλοίου καλύπτει τις ανάγκες σε μηχανικό έργο, ηλεκτρισμό και θερμότητα, η οποία ανακτάται από τα ψυκτικά κυκλώματα ή και τα καυσαέρια.

Η εξοικονόμηση ενέργειας και η μείωση (τουλάχιστον σε σφαιρική κλίμακα) των ρύπων ίσως δεν είναι αρκετά κίνητρα για μια επένδυση σε σύστημα συμπαραγωγής, εάν και η ίδια η επένδυση δεν είναι οικονομικά βιώσιμη.

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

Από την άλλη πλευρά, η εξεύρεση πόρων για τις σχετικές επενδύσεις και οι οικονομικές συνθήκες, κάτω από τις οποίες θα λειτουργήσει μια μονάδα συμπαραγωγής, είναι κρίσιμης σημασίας για την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

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

Κατόπιν ακολούθησε κάμψη κυρίως για δύο λόγους:

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

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

Η ανοδική πορεία στη διάδοση της συμπααραγωγής συνοδεύτηκε και από αξιοσημείωτη πρόοδο της σχετικής τεχνολογίας. Οι βελτιώσεις και εξελίξεις συνεχίζονται και νέες τεχνικές αναπτύσσονται και δοκιμάζονται, αλλά ήδη η συμπααραγωγή έχει φθάσει σε επίπεδο ωριμότητας με αποδεδειγμένη αποδοτικότητα και αξιοπιστία. Μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων, από πλευράς είδους, μεγέθους και λειτουργικών χαρακτηριστικών, είναι διαθέσιμη.

1.3 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Ο τρόπος λειτουργίας χαρακτηρίζεται από το κριτήριο στο οποίο βασίζεται η ρύθμιση της παραγωγής του ηλεκτρισμού και της ωφέλιμης θερμότητας ενός συστήματος συμπααραγωγής. Υπάρχουν διάφοροι πιθανοί τρόποι λειτουργίας, οι πιο ευδιάκριτοι από τους οποίους παρατίθενται στη συνέχεια:

- Κάλυψη του θερμικού φορτίου (“heat match”): Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, η ωφέλιμη παραγωγή θερμότητας του συστήματος συμπααραγωγής είναι ίση με το θερμικό φορτίο (χωρίς υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος). Εάν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από το φορτίο η πλεονάζουσα ενέργεια πωλείται στο δίκτυο, ενώ εάν είναι μικρότερη η συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται από το δίκτυο.
- Κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης: Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα ΣΗΘ διαστασιολογείται ώστε να παρέχει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμική

ενέργεια για την εγκατάσταση. Εφεδρικοί λέβητες ή καυστήρες χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των περιόδων που η ζήτηση θερμότητας είναι υψηλότερη. Ο κύριος κινητήρας της μονάδας λειτουργεί πάντα υπό πλήρες φορτίο. Εάν η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια της εγκατάστασης υπερβαίνει αυτήν που μπορεί να παρέχει ο κύριος κινητήρας, τότε η υπόλοιπη ποσότητα μπορεί να αγοραστεί από το δίκτυο. Αντίστοιχα, εάν το επιτρέπουν οι ισχύοντες νόμοι, η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί στην ηλεκτρική εταιρεία.

- Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου (“electricity match”): Κάθε χρονική στιγμή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με το ηλεκτρικό φορτίο (χωρίς υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος ΣΗΘ). Εάν η συμπαραγόμενη θερμότητα είναι μικρότερη από το θερμικό φορτίο ένας βοηθητικός λέβητας υποβοηθά στην κάλυψη των αναγκών, ενώ εάν είναι μεγαλύτερη η πλεονάζουσα θερμότητα απορρίπτεται στο περιβάλλον μέσω συσκευών ψύξης ή μέσω των καυσαερίων.
- Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης: Σε αυτήν τη διάταξη, η μονάδα ΣΗΘ διαστασιολογείται ώστε να ικανοποιεί την ελάχιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης, βάσει της καμπύλης των ιστορικών αναγκών. Οι υπόλοιπες ανάγκες σε ηλεκτρισμό καλύπτονται από το δίκτυο. Οι θερμικές ανάγκες της εγκατάστασης θα μπορούσαν να καλυφθούν από το σύστημα συμπαραγωγής μόνο ή με πρόσθετους λέβητες. Εάν η θερμική ενέργεια που παράγεται σύμφωνα με το ηλεκτρικό φορτίο βάσης υπερβαίνει τις απαιτήσεις της εγκατάστασης, και εάν το επιτρέπουν οι συνθήκες, η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να πωληθεί σε γειτονικούς πελάτες.
- Μικτή κάλυψη: Σε ορισμένες χρονικές περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του θερμικού φορτίου, ενώ σε άλλες περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου. Η απόφαση βασίζεται στην εκτίμηση παραμέτρων όπως είναι τα επίπεδα των φορτίων, η τιμή των καυσίμων και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την συγκεκριμένη ημέρα και ώρα.
- Αυτόνομη λειτουργία: Υφίσταται πλήρης κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή χωρίς σύνδεση με το δίκτυο. Αυτός ο τρόπος απαιτεί να διαθέτει το σύστημα ηλεκτρική και θερμική δυναμικότητα εφεδρείας, έτσι ώστε στην περίπτωση που μια μονάδα τεθεί εκτός λειτουργίας για οποιοδήποτε λόγο, οι υπόλοιπες μονάδες να είναι σε θέση να καλύψουν το ηλεκτρικό και το θερμικό φορτίο. Αυτή είναι και η πιο δαπανηρή στρατηγική, τουλάχιστον από την άποψη του αρχικού κόστους του συστήματος.

Γενικά, η λειτουργία κάλυψης του θερμικού φορτίου οδηγεί στον υψηλότερο βαθμό αξιοποίησης του καυσίμου (λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμων - FESR) και ίσως στην καλύτερη οικονομική απόδοση της συμπαραγωγής, τόσο στο βιομηχανικό

όσο και στον κτιριακό τομέα. Στον τομέα των εταιριών ηλεκτροπαραγωγής, ο τρόπος λειτουργίας εξαρτάται από το συνολικό φορτίο του δικτύου, τη διαθεσιμότητα των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και τις υποχρεώσεις της εταιρίας προς τους πελάτες της, όσον αφορά την τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα.

Εντούτοις, η εφαρμογή γενικών κανόνων δεν είναι η συνετότερη προσέγγιση για την περίπτωση της συμπαραγωγής. Κάθε εφαρμογή έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, υπάρχει μια πληθώρα συστημάτων ΣΗΘ (ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας, το μέγεθος, τη διαμόρφωση), ενώ η σχεδίαση ενός συστήματος συμπαραγωγής μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες του χρήστη και έχει επιπτώσεις στους δυνατούς τρόπους λειτουργίας του, και το αντίστροφο. Εξάλλου, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος μπορεί να μεταβάλλονται οι διάφορες τεχνικές και οικονομικές παράμετροι με την ημέρα και τη χρονική στιγμή.

Όλες αυτές οι πτυχές καθιστούν αναγκαία τη λήψη αποφάσεων όχι βάσει γενικών κανόνων μόνο, αλλά με τη χρήση συστηματικών διαδικασιών βελτιστοποίησης που βασίζονται στο μαθηματικό προγραμματισμό, τόσο για το σχεδιασμό όσο και για τη λειτουργία του συστήματος. Για τη λειτουργία των συστημάτων συμπαραγωγής, ειδικότερα, διατίθενται συστήματα ελέγχου βασισμένα σε μικροεπεξεργαστές. Αυτά παρέχουν τη δυνατότητα τα διάφορα συστήματα ΣΗΘ να λειτουργούν για την κάλυψη κάποιου φορτίου βάσης, να παρακολουθούν τα ηλεκτρικά ή τα θερμικά φορτία, είτε να λειτουργούν κατά ένα οικονομικοτεχνικά βέλτιστο τρόπο (τρόπος μικτής κάλυψης).

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

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

Με βάση τα δεδομένα αυτά, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να καθορίσει ποιος τρόπος λειτουργίας είναι ο πιο οικονομικός, ακόμη και το κατά πόσο η μονάδα πρέπει να διακόψει τη λειτουργία της. Επιπλέον, με την παρακολούθηση των παραμέτρων λειτουργίας, όπως είναι η αποδοτικότητα, οι ώρες λειτουργίας, η θερμοκρασία των καυσαερίων, οι θερμοκρασίες του νερού ψύξης, κλπ., ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να βοηθήσει στον προγραμματισμό της συντήρησης του συστήματος. Εάν το σύστημα λειτουργεί χωρίς άμεση επίβλεψη, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να συνδεθεί μέσω τηλεφωνικής γραμμής με ένα κέντρο τηλεπαρακολούθησης, όπου η ανάλυση των δεδομένων μέσω Η/Υ μπορεί να

προειδοποιήσει το εξειδικευμένο προσωπικό για μία επικείμενη ανάγκη προγραμματισμένης ή μη συντήρησης. Επιπλέον, ως τμήμα ενός συστήματος καταγραφής δεδομένων, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να συντάσσει εκθέσεις για την τεχνική και την οικονομική απόδοση του συστήματος.

1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

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

1.4.1 Επιπτώσεις στην κατανάλωση καυσίμων

Όλα τα συστήματα συμπαραγωγής εξοικονομούν καύσιμο διότι έχουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης από τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Για παράδειγμα, ένα σύστημα συμπαραγωγής ατμοστροβίλου μειώνει την κατανάλωση καυσίμου κατά 15% περίπου (σε σύγκριση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού με μονάδα ατμοστροβίλου και θερμότητας με λέβητα), ένα σύστημα συμπαραγωγής με κινητήρα Diesel τη μειώνει κατά 25% (σε σύγκριση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού με ντιζελοκίνητη ηλεκτρογεννήτρια και θερμότητας με λέβητα), κλπ. Όμως, το εάν ένα σύστημα συμπαραγωγής εξοικονομεί ακριβό, εισαγόμενο και μη ανανεώσιμο καύσιμο, π.χ. πετρέλαιο, εξαρτάται από το καύσιμο που το ίδιο το σύστημα συμπαραγωγής χρησιμοποιεί, και τα καύσιμα που χρησιμοποιούν τα συστήματα χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, τα οποία θα αντικατασταθούν από το σύστημα συμπαραγωγής.

Μία πρόσθετη βελτίωση του βαθμού εκμετάλλευσης των καυσίμων οφείλεται στο ότι τα συστήματα συμπαραγωγής βρίσκονται συνήθως πιο κοντά στους καταναλωτές απ' ό,τι οι κεντρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής. Έτσι, περιορίζονται οι απώλειες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, που είναι της τάξεως του 8-10%.

Η επιλογή των συστημάτων συμπαραγωγής και των καυσίμων, που αυτά χρησιμοποιούν, είναι σκόπιμο να εναρμονίζεται με μια γενικότερη εθνική ενεργειακή πολιτική (π.χ. μείωση του εισαγόμενου πετρελαίου, αύξηση της συμβολής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ορθολογική χρήση του φυσικού αερίου, κ.λ.π).

1.4.2 Επιπτώσεις στο σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας

Προκειμένου να αντιμετωπισθεί η μελλοντική αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας, απαιτείται η κατασκευή νέων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Η διάδοση της συμπαραγωγής αυξάνει το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής και περιορίζει τις ανάγκες κατασκευής νέων κεντρικών σταθμών, προσφέροντας έτσι σημαντική εξοικονόμηση κεφαλαίων της εταιρείας ηλεκτρισμού (ΔΕΗ).

Καθώς τα συστήματα συμπαραγωγής έχουν μικρότερο μέγεθος και βραχύτερο χρόνο εγκατάστασης από τους μεγάλους κεντρικούς σταθμούς, προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμοστικότητα σε απρόβλεπτες μελλοντικές μεταβολές της ζήτησης ηλεκτρισμού. Ο μικρός χρόνος εγκατάστασης των συστημάτων συμπαραγωγής συντελεί επίσης σε περιορισμό του χρηματοοικονομικού κόστους, που συμβάλλει με τη σειρά του στη μείωση του μοναδιαίου κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Πολλές μικρές μονάδες συμπαραγωγής που λειτουργούν παράλληλα με τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, αυξάνουν την αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά είναι ενδεχόμενο να δημιουργήσουν προβλήματα ευστάθειας του δικτύου. Τα προβλήματα αυτά περιορίζονται ή και αποφεύγονται, όταν το σύστημα συμπαραγωγής και η σύνδεσή του με το δίκτυο πληρούν ορισμένες προδιαγραφές. Η συνεννόηση με τις αρμόδιες υπηρεσίες της ΔΕΗ είναι απαραίτητη για το σκοπό αυτόν.

Η εξάπλωση της συμπαραγωγής θα μπορούσε να έχει αρνητικές οικονομικές επιπτώσεις στο εθνικό σύστημα ηλεκτρισμού, εάν αυτό έχει ικανότητα παραγωγής μεγαλύτερη από τη ζήτηση, ή εάν ο ρυθμός αύξησης της ικανότητας με κατασκευή νέων σταθμών είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό αύξησης της ζήτησης και για διάφορους λόγους δεν μπορεί να επιβραδυνθεί. Τότε το κόστος του κεφαλαίου μοιράζεται σε μικρότερη ποσότητα παραγόμενου ηλεκτρισμού, με αποτέλεσμα την αύξηση του μοναδιαίου κόστους. Ένα τέτοιο ενδεχόμενο δεν φαίνεται να υπάρχει για την Ελλάδα διότι αφ' ενός μεν μέρος των αναγκών καλύπτεται με εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αφ' ετέρου δε το αναπτυξιακό πρόγραμμα της ΔΕΗ είναι κυλιόμενο, δηλαδή αναθεωρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα και επομένως μπορεί να προσαρμόζεται στις νέες συνθήκες.

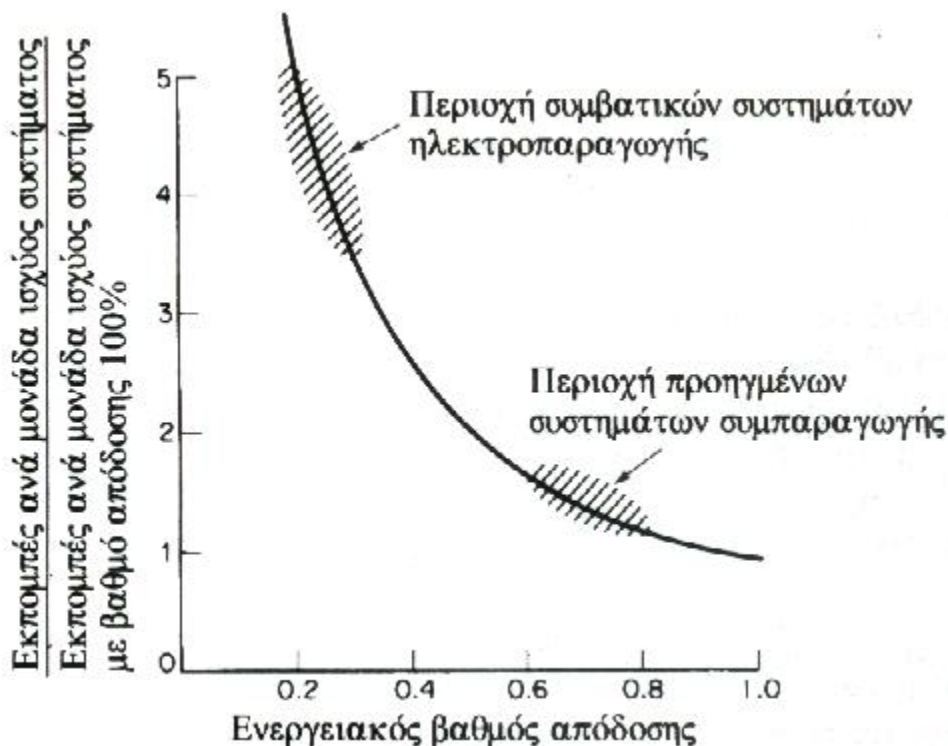
1.4.3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Χάρη στην αποδοτικότερη εκμετάλλευση του καυσίμου, η συμπαραγωγή συντελεί σε άμεση μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, όπως πολύ παραστατικά δείχνει το Σχήμα 1.2, με την προϋπόθεση ότι το καύσιμο που χρησιμοποιεί δεν είναι κατώτερης ποιότητας από εκείνο της χωριστή συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου συνοδεύεται επίσης και από μια έμμεση μείωση ρύπων από τον υπόλοιπο κύκλο καυσίμου: εξόρυξη, επεξεργασία, μεταφορά, αποθήκευση. Η ποσοτικοποίηση του κόστους αυτού είναι δύσκολη και

εξαρτάται από διάφορους παράγοντες: τεχνολογία, καύσιμο, τοπικές συνθήκες, κ.λπ.

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

Από τις διαθέσιμες τεχνολογίες συμπαραγωγής, οι κινητήρες Diesel και Otto έχουν τις υψηλότερες εκπομπές ρύπων. Καθώς οι κινητήρες αυτοί είναι οι πιο κατάλληλοι, λόγω μεγέθους, για εφαρμογές συμπαραγωγής στον εμπορικό – κτιριακό τομέα, ο κίνδυνος από τις εκπομπές τους είναι αυξημένος διότι στις κατοικημένες περιοχές οι κάτοικοι είναι άμεσα εκτεθειμένοι στους ρύπους του αέρα, και η διασπορά των ρύπων εμποδίζεται από τα μεγάλα κτίρια. Οι κυψέλες καυσίμου είναι καταλληλότερες από τους κινητήρες Diesel ή Otto για τέτοιου είδους εφαρμογές, διότι έχουν σημαντικά μικρότερες εκπομπές ρύπων.



Σχήμα 1.2: Εκπομπή χημικών ρύπων ως συνάρτηση του βαθμού απόδοσης συστημάτων

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

ηχητική ρύπανση, Όστε, η εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής σε κατοικημένες περιοχές προϋποθέτει την

- ✓ Επιλογή τεχνολογίας με χαμηλές εκπομπές ρύπων,
- ✓ Προσεκτική επιλογή του τόπου εγκατάστασης,
- ✓ Τοποθέτηση εξοπλισμού ελέγχου και περιορισμού των εκπεμπόμενων ρύπων,
- ✓ Ελαστική έδραση και ηχητική μόνωση του συστήματος,
- ✓ Κατασκευή καπνοδόχου υψηλότερης των γειτονικών κτιρίων,
- ✓ Εγκατάσταση μέσω συλλογής και αποκομιδής των στερεών και υγρών καταλοίπων.

1.4.4 Οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις

Οι οικονομικές επιπτώσεις της συμπαραγωγής στο σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας έχουν αναφερθεί στην ενότητα 1.4.2. Μία πρόσθετη ευνοϊκή επίδραση στην εθνική οικονομία προκύπτει όταν η συμπαραγωγή μειώνει το σύνολο των δαπανών για εισαγόμενα καύσιμα. Στις σχετικές οικονομικές αναλύσεις, πρέπει στο κόστος εισαγωγής να προστίθεται το κόστος επεξεργασίας και διακίνησης του καυσίμου καθώς και το κόστος προστασίας του περιβάλλοντος και αποκατάστασης των ζημιών, που μπορεί να προκληθούν όχι μόνο από τη συστηματική εκπομπή ρύπων αλλά και από πιθανά ατυχήματα (διαρροές κ.λ.π.).

Είναι γνωστό ότι οι κεντρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής κατασκευάζονται σε μεγάλα μεγέθη και εγκαθίστανται σε απομακρυσμένες περιοχές. Η κατασκευή και λειτουργία των σταθμών προκαλεί τη μετακίνηση προς τις περιοχές αυτές μεγάλου αριθμού εργαζομένων. Αντίθετα, οι μονάδες συμπαραγωγής συνήθως είναι μικρότερου μεγέθους και εγκαθίστανται πιο κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Η διασπορά τους σε διάφορες πόλεις της χώρας δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας στην κάθε περιοχή, συγκρατεί εκεί το εργατικό δυναμικό και συμβάλλει στην οικονομική ανάπτυξη του τόπου με την ανάπτυξη νέων δραστηριοτήτων, που σχετίζονται με την κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία των μονάδων.

Η συμπαραγωγή αυξάνει την αξιοπιστία ηλεκτροδότησης των καταναλωτών. Επίσης, προκαλεί αποκέντρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με επακόλουθο την αποκέντρωση της λήψεως σχετικών αποφάσεων και την ενδυνάμωση του ρόλου της τοπικής αυτοδιοίκησης.

1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τομείς της συμπαραγωγής:

- Σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας (ΔΕΗ)
- Βιομηχανικός τομέας

- Εμπορικός –κτιριακός τομέας
- Αγροτικός τομέας.

Παρουσιάζονται στη συνέχεια αναλυτικότερα στοιχεία για τον καθέναν από αυτούς τους τομείς.

1.5.1 Σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας

Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να μετατραπούν σε συμπαραγωγικούς σταθμούς και να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες πόλεων ή οικισμών, βιομηχανιών, μονάδων αφαλάτωσης νερού, θερμοκηπίων, ιχθυοκαλλιεργειών, κ.λ.π. που βρίσκονται στην περιοχή τους. Η απόσταση των καταναλωτών θερμότητας από τον σταθμό και η διασπορά τους είναι κρίσιμης σημασίας για την σκοπιμότητα της όλης εγκατάστασης. Ειδικότερα για την θέρμανση πόλεων ή οικισμών, γνωστή με τον όρο τηλεθέρμανση (στα αγγλικά district heating), επιπλέον της απόστασης και διασποράς έχουν σημασία ο ετήσιος αριθμός βαθμοημερών και η απαιτούμενη θερμική ισχύς. Στις περισσότερες περιπτώσεις η οικονομική απόσταση μεταφοράς δεν ξεπερνά τα 10 km, ενώ πολύ σπάνια μπορεί να φτάσει μέχρι τα 30 km. Στην Ελλάδα, έχουν κατασκευαστεί συστήματα τηλεθέρμανσης στην Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Μεγαλόπολη και Αμύνταιο. Η ονομαστική ισχύς των συστημάτων τηλεθέρμανσης των πόλεων αυτών δίνεται στον Πίνακα 1.1. Εκτιμάται ότι και σε άλλες περιοχές οι συνθήκες για τηλεθέρμανση είναι ευνοϊκές, αλλά οι σχετικές μελέτες δεν έχουν ολοκληρωθεί ακόμη.

Πίνακας 1.1 Θερμική ισχύς συστημάτων τηλεθέρμανσης ελληνικών πόλεων

Πόλη	Ισχύς	
	Gcal/h	MWth
Κοζάνη	70,0	81,4
Πτολεμαΐδα	60,0	69,8
Αμύνταιο	20,0	23,3
Αμύνταιο	30,0	34,9
Μεγαλόπολη	17,2	20,0

1.5.2 Βιομηχανικός Τομέας

Στον βιομηχανικό τομέα, πολλές διεργασίες απαιτούν θερμότητα παράλληλα με τις ανάγκες για ηλεκτρισμό. Η θερμοκρασία, που απαιτείται, οδηγεί στην ακόλουθη κατάταξη.

- Διεργασίες **χαμηλών** θερμοκρασιών (μικρότερων των 100°C), π.χ. ξήρανση γεωργικών προϊόντων, θέρμανση ή ψύξη χώρων, θερμό νερό χρήσης.

- Διεργασίες **μέτριων** θερμοκρασιών (100-300°C), π.χ. διεργασίες στη χαρτοποιία, στην κλωστοϋφαντουργία, στα εργοστάσια ζάχαρης, σε μερικές χημικές βιομηχανίες, κ.λπ. Συνήθως οι διεργασίες αυτές απαιτούν θερμότητα με μορφή ατμού.
- Διεργασίες **υψηλών** θερμοκρασιών (300-700°C), π.χ. σε μερικές χημικές βιομηχανίες.
- Διεργασίες **πολύ υψηλών** θερμοκρασιών (πάνω από 700°C), π.χ. σε εργοστάσια τσιμέντου, μεταλλουργικές βιομηχανίες, υαλουργία, κ.λπ.

Σημαντικό δυναμικό συμπαραγωγής παρουσιάζουν οι ακόλουθοι βιομηχανικοί κλάδοι:

- ✚ βιομηχανίες τροφίμων και ποτών,
- ✚ κλωστοϋφαντουργίες,
- ✚ βιομηχανίες χάρτου,
- ✚ χημικές βιομηχανίες,
- ✚ εργοστάσια τσιμέντου,
- ✚ βασικές μεταλλουργικές βιομηχανίες (χαλυουργεία, εργοστάσια παραγωγής αλουμινίου, κ.λπ.).

Μικρότερο δυναμικό, αλλά ίσως όχι αμελητέο, έχουν οι υαλουργίες, βιομηχανίες κεραμικών υλικών, ξυλοβιομηχανίες, κ.λπ.

Οι περισσότερες βιομηχανίες με σημαντικό δυναμικό συμπαραγωγής έχουν ορισμένες παραγωγικές διεργασίες, που παράγουν ή αποβάλλουν θερμότητα σε ικανοποιητική ποσότητα και ποιότητα (θερμοκρασιακή στάθμη). Είναι σκόπιμη η ανάκτηση της θερμότητας αυτής, η οποία έτσι προστίθεται σ' εκείνη που παράγεται άμεσα από το σύστημα συμπαραγωγής. Ορισμένες χημικές διεργασίες παράγουν καύσιμα αέρια, που μπορούν να αποτελέσουν καύσιμο είτε για τους λέβητες είτε για το ίδιο το σύστημα συμπαραγωγής.

Το σύνολο της ετήσιας ηλεκτροπαραγωγής των μονάδων, που λειτουργούν είναι της τάξης των 900000 MWh και αποτελεί περίπου το 2,5% της όλης ηλεκτροπαραγωγής της χώρας.

Επιπλέον του θεσμικού πλαισίου, η εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής σε βιομηχανία είναι συμφέρουσα όταν:

- ✚ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα βρίσκεται σε ορισμένα όρια,
- ✚ οι καμπύλες θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου δεν παρουσιάζουν μεγάλη χρονική απόκλιση (διαφορά φάσης) μεταξύ τους,
- ✚ το σύστημα συμπαραγωγής πρόκειται να λειτουργεί επί αρκετές ώρες το έτος αν και γενικοί κανόνες δεν είναι εύκολο να διατυπωθούν, διάρκεια

λειτουργίας μικρότερη των 400 h/έτος έχει ως συνέπεια σχετικά μεγάλο (για τις απαιτήσεις του ιδιωτικού τομέα) χρόνο αποπληρωμής.

Οι παράγοντες αυτοί είναι πιο εύκολο να ικανοποιηθούν σε οργανωμένες ζώνες βιομηχανικής ανάπτυξης, όπως πχ στις Βιομηχανικές Περιοχές (ΒΙΠΕ). Τέτοιες περιοχές υπάρχουν στη Θεσσαλονίκη, στο Βόλο, στην Πάτρα και αλλού.

1.5.3 Εμπορικός – Κτιριακός Τομέας

Στον τομέα αυτό ανήκουν τα ξενοδοχεία, νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα, σχολεία, κτίρια γραφείων, κατοικίες, κλπ. Η συμπαραγωγή καλύπτει τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό και θερμότητα των κτιρίων (θέρμανση ή ψύξη χώρων, θερμό νερό χρήσης, κλίβανοι, κλπ).

Ο εμπορικός – κτιριακός τομέας μπορεί να διακριθεί σε τρεις κύριους υποτομείς:

- (α) νοσοκομεία και ξενοδοχεία,
- (β) πολυκατοικίες,
- (γ) κτίρια γραφείων.

Ο καθένας από αυτούς χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη μορφή της καμπύλης φορτίου. Άλλου είδους κτίρια (πχ πανεπιστήμια, καταστήματα, κλπ), έχουν καμπύλες φορτίου, που προκύπτουν με συνδυασμό των τριών κύριων υποτομέων. Η συμπαραγωγή εξυπηρετεί εδώ τις ανάγκες όχι μόνο για θέρμανση και ηλεκτρισμό, αλλά και ψύξη. Οι καμπύλες φορτίου πρέπει να ληφθούν υπόψη, τόσο κατά τη μελέτη σκοπιμότητας, όσο και κατά τον τελικό σχεδιασμό του συστήματος συμπαραγωγής.

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

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

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

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

Στην Ελλάδα, είναι γνωστές δυο μονάδες συμπαραγωγής του τομέα αυτού. Η μία είναι εγκατεστημένη στο Ηλιακό Χωριό (Λυκόβρυση Αττικής) και η άλλη στο Αμερικανικό Κολλέγιο (Αγ. Παρασκευή Αττικής). Οι μονάδες αυτές εγκαταστάθηκαν και λειτουργούν με ειδική άδεια ως πειραματικές – επιδεικτικές.

1.5.4 Αγροτικός Τομέας

Η συμπαραγωγή δεν είναι πολύ διαδεδομένη στον αγροτικό τομέα, η εφαρμογή της όμως μπορεί να εξοικονομήσει καύσιμα και να έχει θετικές οικονομικές επιπτώσεις σε αγροτικές κοινότητες. Υπολείμματα αγροτικών διεργασιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο. Αιθανόλη παράγεται από ανανεώσιμη βιομάζα (πχ κόκκους, σακχαροκάλαμο, κλπ) και είναι καύσιμο κατάλληλο για κινητήρες Otto. Η ανακτώμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για ξήρανση γεωργικών προϊόντων, θέρμανση σπιτιών, θερμοκηπίων, κλπ.

Στην Ελλάδα, μόνο ένα σύστημα συμπαραγωγής μπορεί να θεωρηθεί ότι σχετίζεται με τον αγροτικό τομέα. Πρόκειται για μονάδα ατμοστροβίλου, που είναι εγκατεστημένη στα Εκκοκκιστήρια Βάμβακος Δαύλειας, Α.Ε.Β.Ε. Απορρίμματα (4000-5000 τόνοι ανά έτος) από τον εκκοκκισμό του βαμβακιού, με κατώτερη θερμογόνο ικανότητα περίπου 3600 Kcal/kg, καίγονται σε ειδικό λέβητα ισχύος 4×10^6 kcal/h. Ο παραγόμενος ατμός καλύπτει τις θερμικές ανάγκες του συγκροτήματος (εκκοκκιστηρίου και σποροelaiουργείου) και κινεί ατμοστροβιλογεννήτρια ηλεκτρικής ισχύος 500 kW. Χάρη στη μονάδα συμπαραγωγής, εξοικονομούνται 300.000 lt πετρελαίου Diesel, 450.000 lt μαζούτ και $1,35 \times 10^6$ kWh ηλεκτρισμού (αποφυγή αγοράς από τη ΔΕΗ) σε κάθε εκκοκκιστική περίοδο. Η περίοδος αποπληρωμής του συστήματος εκτιμάται σε πέντε εκκοκκιστικές περιόδους.

Πριν από την εγκατάσταση του συστήματος συμπαραγωγής, τα απορρίμματα του εκκοκκισμού οδηγούνταν σε πύργο αποτέφρωσης. Η ατελής καύση στον πύργο, όχι μόνο προκαλούσε υπερβολική ρύπανση του περιβάλλοντος, αλλά και δημιουργούσε κινδύνους πυρκαγιάς. Έτσι, το σύστημα συμπαραγωγής έχει διπλά ευνοϊκή επίδραση στο περιβάλλον. Αποφυγή της ρύπανσης από την καύση υγρού καυσίμου στους λέβητες και αντικατάσταση του πύργου αποτέφρωσης με ειδικό λέβητα, όπου οι συνθήκες καύσης των απορριμμάτων είναι πολύ καλύτερες.

Τα απορρίμματα εκκοκκισμού αποτελούν το 8-10 % του βάρους του εκκοκκιζόμενου βαμβακιού. Είναι λοιπόν διαθέσιμη σε ολόκληρη τη χώρα μια ποσότητα 60000-70000 τόνων ετησίως, που ισοδυναμεί, από πλευράς ενεργειακής, με 20000-30000

τόνους πετρελαίου. Η ποσότητα αυτή είναι αρκετή, για να καλύψει πλήρως τις θερμικές ανάγκες των εκκοκκιστηρίων και μέρος των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια.

Μελέτες που έχουν γίνει από το ΚΑΠΕ, έχουν δείξει ότι πολλές εφαρμογές στον ελληνικό αγροτικό τομέα είναι τεχνικά δυνατές και οικονομικά βιώσιμες και το καύσιμο που θα χρησιμοποιείται, θα είναι συνήθως βιομάζα.

2. Η ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

2.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η συμπαραγωγή στην Ελλάδα ξεκινά στις αρχές του 20ου αιώνα, όταν στο Βόλο και ειδικότερα στην κεραμοποιεία Τσαλαπάτα εγκαταστάθηκε, από Βέλγους μηχανικούς, σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας για τις ανάγκες της, που λειτούργησε μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του '70. Σε ευρύτερη κλίμακα, οι πρώτες μονάδες συμπαραγωγής εγκαταστάθηκαν σε μεγάλες ελληνικές βιομηχανίες στις αρχές της δεκαετίας του '70. Σήμερα, λειτουργούν μονάδες συμπαραγωγής σε βιομηχανίες ζάχαρης και χάρτου, διυλιστήρια πετρελαίου, κλωστοϋφαντουργίες, κ.λ.π. Επίσης, ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες της ΔΕΗ έχουν τροποποιηθεί κατάλληλα, ώστε να καλύπτουν τις θερμικές ανάγκες αστικών περιοχών με τα δίκτυα τηλεθέρμανσης, όπως τα δίκτυα της Κοζάνης, της Πτολεμαΐδας, του Αμυνταίου και της Μεγαλόπολης.

Αναλύοντας τα στοιχεία των εγκαταστάσεων μέχρι σήμερα φαίνεται ότι από το 1990 και μετά έχουμε σημαντικές βελτιώσεις στις εγκαταστάσεις ΣΗΘ στις ελληνικές βιομηχανίες. Η βελτίωση δεν ήταν μόνο ποιοτική, αλλά και ποσοτική (αύξηση εγκατεστημένης ισχύος) σε επίπεδο βιομηχανίας. Μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1990, η άφιξη του φυσικού αερίου στην Ελλάδα και οι δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογία της συμπαραγωγής, οδήγησαν στη δραστηριοποίηση ενός σημαντικού αριθμού εταιρειών ή οργανισμών, με στόχους την ενημέρωση του επιχειρηματικού κόσμου, την παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών για την μελέτη και κατασκευή εγκαταστάσεων συμπαραγωγής με το “κλειδί στο χέρι”, τη συντήρηση, λειτουργία και εκμετάλλευση εγκαταστάσεων συμπαραγωγής. Οι Πίνακες 2.1-2.5 που ακολουθούν παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις εγκατεστημένες μονάδες ΣΗΘ στην Ελλάδα.

Πίνακας 2.1 : ΣΗΘ στην Ελλάδα μέχρι τη δεκαετία του '90 (Χωρίς Φυσικό Αέριο),
Βιομηχανικές εγκαταστάσεις συμπαραγωγής

A/A	Εταιρεία	Πόλη	Εγκαταστάσεις ΣΗΘ	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	Παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (1995)(GW)
1	Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης	Λάρισα	Ατμοστρόβιλος	12	16,34
2	>>	Πλατύ	>>	12	12,95
3	>>	Σέρρες	>>	6	11,58
4	>>	Ξάνθη	>>	16	10,91
5	>>	Ορεσιτιάδα	>>	10	12,5
6	ΕΤΜΑ	Αθήνα	>>	13,1	36,1
7	Πειραιϊκή Πατραϊκή	Πάτρα	>>	1,25	ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
8	Αθηναϊκή Χαρτοποιία	Δράμα	ΜΕΚ (DIESEL)	34,55	ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
9	Θεσσαλική Χαρτοποιία	Λάρισα	Ατμοστρόβιλος	5,5	ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
10	Λαδόπουλος	Πάτρα	>>	3	ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
11	Χαλυβουργική	Ελευσίνα	>>	80	ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
12	Motor Oil	Κόρινθος	Αεριοστρόβιλος	27	215,73
13	Ελληνικά Διυλιστήρια	Ασπρόπυργος	Αεριοστρόβιλος	34	268,37
			Ατμοστρόβιλος	16	
14	North Aegean Oil Company	Καβάλα	Αεριοστρόβιλος	11	70,9
			Ατμοστρόβιλος	5,5	
15	Ελληνικά Λιπάσματα ΑΕ	Δραπετσώνα	Ατμοστρόβιλος	11,8	18,11
16	Φωσφορικά Λιπάσματα	Καβάλα	Ατμοστρόβιλος	25	53,47
17	Χημικές Βιομηχανίες Β. Ελλάδος	Θεσσαλονίκη	Ατμοστρόβιλος	11	25,4
18	Αλουμίνιον της Ελλάδος	Δίστομο	Ατμοστρόβιλος	11,6	63,32
19	Davlia Cotton Gins	Δαύλεια	Βιομάζα	0,5	-
ΣΥΝΟΛΟ				346,8	818,83
ΣΥΝΟΛΟ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ				222,5	

Η προσπάθεια για ανάπτυξη της ΣΗΘ μετά τη δεκαετία του '90 βασίστηκε στο φυσικό αέριο και στο βιοαέριο, και ενισχύθηκε από θεσμικές αλλαγές και οικονομικά κίνητρα. Όχι όμως ούτε τόσο γρήγορα, ούτε όσο μεθοδευμένα απαιτούσε η αγορά, η οποία, ενώ έδειξε στην αρχή σημαντικό ενδιαφέρον για τη ΣΗΘ, προχώρησε τελικά σε λίγες μόνο εγκαταστάσεις. Έτσι το 2006, μετά από την αξιοποίηση του 2ου και 3ου κοινοτικού πλαισίου στήριξης, τα συστήματα ΣΗΘ σε λειτουργία είναι :

- 9 στη γεωργία, βιομηχανία και τριτογενή τομέα με καύση φυσικού αερίου συνολικής ισχύος 28,5MWe
- 7 σε ΟΤΑ, ΕΥΔΑΠ, ΔΕΥΑΠ (26,25MW) με καύση βιοαερίου συνολικής ισχύος 26,25MWe
- 1 στον τριτογενή τομέα με καύση LPG ισχύος 0,25MWe
- 2 εφαρμογές τηλεθέρμανσης της ΔΕΗ σε Αμύνταιο και Μεγαλόπολη με συνολική θερμική ισχύ 60MWe

Πίνακας 2.2 : Εφαρμογές ΣΗΘ στην Ελλάδα ως το 2006 με φυσικό αέριο

ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ				
A/A	Ιδιοκτήτης	Τεχνολογία ΣΗΘ	Ισχύς (MWe)	Παρούσα κατάσταση
1	ΕΧΑΛCO ΑΕ	ΜΕΚ	2,72	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
2	Ι.Μ.ΜΑΙΛΗΣ	ΜΕΚ	2,1	ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
3	ΕΜΠ	ΜΕΚ	1,5	ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
4	ΕΤΕΜ	ΜΕΚ	0,23	ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
5	ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	ΜΕΚ	2,72	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
6	ΕΛΦΙΚΟ ΑΕΕ	ΜΕΚ	1,1	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
7	ΓΕΝΝΕΣΙΣ ΜΑΙΕΥΤΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ ΑΕ	ΜΕΚ	0,73	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
8	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΧΑΛΥΒΑ	ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	11,5	ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
9	ΚΟΘΑΛΗΣ ΑΕ	ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	1,13	ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
10	ΑΜΥΛΟΥΜ ΕΛΛΑΣ ΑΕ	ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	4,5	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
11	ΙΙΒΕΑΑ-ΙΑΤΡΙΚΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	ΜΕΚ	0,3	ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

12	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΔΡΑΜΑΣ	ΜΕΚ	4,5	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
13	ΑΡΧΙΤΕΧ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ	ΜΕΚ	4,5	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
14	ΑΙΓΑΙΟ- ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ	ΜΕΚ	0,02	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
15	ΕΓΝΑΤΙΑ- ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ	ΜΕΚ	0,02	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
	ΣΥΝΟΛΟ		35,57	
	ΣΥΝΟΛΟ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		20,81	

Πίνακας 2.3 : Εφαρμογές ΣΗΘ στην Ελλάδα ως το 2006 με βιοαέριο

ΒΙΟΑΕΡΙΟ LPG				
A/A	Ιδιοκτήτης	Τεχνολογία ΣΗΘ	Ισχύς (MWe)	Παρούσα κατάσταση
1	ΕΥΔΑΠ	ΜΕΚ	11,4	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
2	ΒΙΟΑΕΡΙΟ- ΕΝΕΡΓΕΙΑ- ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ ΑΕ	ΜΕΚ	13,56	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
3	ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΟΤΑ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	ΜΕΚ	0,24	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
4	ΔΕΥΑΠ ΒΟΛΟΥ	ΜΕΚ	0,35	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
5	ΔΕΥΑΠ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	ΜΕΚ	0,17	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
6	ΔΕΥΑΠ ΧΑΝΙΩΝ	ΜΕΚ	0,19	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
7	BRIGHT (LPG fired installation)	ΜΕΚ	0,25	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
	ΣΥΝΟΛΟ		26,16	

Πίνακας 2.4 : Εφαρμογές τηλεθέρμανσης της ΔΕΗ ως το 2006

ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ				
A/A	ΔΕΗ	Τεχνολογία ΣΗΘ	Ισχύς (MWe)	Παρούσα κατάσταση
1	ΑΜΥΝΤΑΙΟ	ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	40	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
2	ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	20	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
	ΣΥΝΟΛΟ		60	

Πίνακας 2.5 : Λοιπές εφαρμογές ΣΗΘ στην Ελλάδα ως το 2008

Α/Α	Τομέας	Τεχνολογία ΣΗΘ	Ισχύς (ΜWe)
1	ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ		
	ΘΕΡΜΗ ΣΕΡΡΩΝ	ΜΕΚ	16,5
	ΘΕΡΜΗ ΔΡΑΜΑΣ	ΜΕΚ	18
2	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ		
	ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	250
		ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	84
	ΔΕΛΤΑ	ΜΕΚ	2
3	ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ		
	ΡΑΡ HOTEL	ΜΕΚ	0,07
4	ΔΗΜΟΣΙΟΙ ΦΟΡΕΙΣ		
	ΕΥΔΑΠ	ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	14
5	ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ		
	ΜΗΤΕΡΑ	ΜΕΚ	0,5
	ΓΝΑ	ΜΕΚ	1,4
	ΝΝΑ	ΜΕΚ	0,5
	ΓΕΝΝΗΜΑΤΑΣ	ΜΕΚ	1,3
	ΣΙΣΜΑΝΟΓΛΕΙΟ	ΜΕΚ	1,2
	ΑΤΤΙΚΟ	ΜΕΚ	1,65
	ΚΑΤ	ΜΕΚ	1,2
ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΣ	ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	1,5	
6	ΑΛΛΑ		
	ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ ΔΟΥΚΑΣ	ΜΕΚ	2,85
7	ΒΙΟΑΕΡΙΟ		
	ALFA WOOD	ΜΕΚ	0,75
	ΟΛΥΜΠΟΣ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ	ΜΕΚ	2,04
	VEAL LTD	ΜΕΚ	9,7
	ΣΥΝΟΛΟ		406,31

Από τους παραπάνω πίνακες συγκεντρωτικά έχουμε:

Κατηγορία	Ισχύς (MW _e)
Μονάδες ΣΗΘ με καύσιμο φυσικό αέριο	20,81
Μονάδες ΣΗΘ με καύσιμο βιοαέριο - LPG	26,16
Τηλεθέρμανση	60
Λοιπές εφαρμογές ΣΗΘ από το 2008	406,31
Σύνολο	513,28

Είναι ενδιαφέρον εδώ το παράδειγμα της γειτονικής Τουρκίας που στο ίδιο περίπου χρονικό διάστημα κατάφερε από 4MW_e εγκατεστημένη ισχύ το 1992 να φθάσει στα 4.500MW_e εγκατεστημένη ισχύ το 2004 από τα οποία τα 2.700MW_e προέρχονται από ΣΗΘ με καύση φυσικού αερίου.

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους φθάνει τα 406,11MW_e αλλά τα 334MW_e αφορούν μία μόνο βιομηχανία, την Αλουμίνιον Ελλάδας. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως οι μονάδες ΣΗΘ φυσικού αερίου αποτελούν το 56,5% της συνολικής ΣΗΘ ισχύος 710 MW_e ή 3.4% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος. Η βιομηχανία και ο 3-γενής τομέας, εξαιρώντας την Αλουμίνιον της Ελλάδος, έχει μόνο 23.5 MW_e, δηλαδή 3.3% της συνολικής ΣΗΘ ή 0.2% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος. Άρα στη χώρα μας είναι ακόμα απογοητευτική η διεύρυνση της ΣΗΘ με φυσικό αέριο στον 2-γενή και 3-γενή τομέα, εκεί όπου στην ΕΕ η ΣΗΘ/Φ.Α. έχει το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό εγκαταστάσεων.

Το ερώτημα που προκύπτει είναι αν υπάρχει γόνιμη αγορά για ΣΗΘ στην Ελλάδα. Με αυτό το θέμα ασχολήθηκαν οι παρακάτω μελέτες που έγιναν στην Ελλάδα αλλά και στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την Ελλάδα (με Ελληνική συμμετοχή):

- “Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τη ΣΗΘ στην Ελλάδα” από το Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας (ΕΛΚΕΠΑ) και την EXERGIA (1997)
- “Προϋποθέσεις για την ανάπτυξη της αγοράς ΣΗΘ με Φυσικό Αέριο” από το Οικονομικό Τμήμα του Πανεπιστημίου Πειραιά (1998)
- “Ελληνική Εθνική Μελέτη για την Τριπαραγωγή στον Τριτογενή Τομέα” από την ΛΔΚ (2004)
- “Η Ευρωπαϊκή Μελέτη Συμπαράγωγής”, (TECS) από πέντε Ευρωπαϊκές Εταιρείες και την COGEN Europe (2001)

Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν είναι η δυνατότητα ΣΗΘ για βιομηχανία και τριτογενή τομέα με συνολική εγκατεστημένη ισχύ από 500 MW_e έως 800 MW_e. Αυτό βέβαια προϋποθέτει τιμές ενέργειας και οικονομικά κίνητρα, αλλά και απελευθέρωση των αγορών ενέργειας, εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Κγτο, κ.α.

Όσον αφορά στα κίνητρα, το 3ο ΚΠΣ τελειώνει και δεν είναι ακόμη γνωστό αν θα υπάρχει επιδότηση για ΣΗΘ στο 4ο ΚΠΣ, ενώ ο Αναπτυξιακός Νόμος 3299/2004 άλλαξε από το 2007, με θέσπιση ενισχύσεων, αλλά και διαφοροποίησή τους κατά Περιφέρεια, σε σχέση και με το 4ο ΚΠΣ. Είναι επομένως άγνωστο, ακόμη και στη

θετική ακόμη περίπτωση που θα υπάρξει γενικά επιδότηση για ΣΗΘ, αν αυτή θα αφορά ολόκληρη τη χώρα, αν θα περιλαμβάνει μεγάλες αστικές περιοχές στον τριτογενή τομέα, κλπ.

Αν και αρκετές νέες εγκαταστάσεις κατασκευάσθηκαν την τελευταία δεκαετία, παίρνοντας μάλιστα χρηματοδότηση από τα υπάρχοντα επενδυτικά προγράμματα, πολλές από τις εγκαταστάσεις ΣΗΘ με φυσικό αέριο έχουν βγει εκτός λειτουργίας. Στην Ελλάδα τα εμπόδια για την προώθηση της ΣΗΘ παραμένουν και ενισχύονται εξαιτίας των σημερινών τιμών ενέργειας που σχετίζονται με ΣΗΘ φυσικού αερίου δηλαδή τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Ο λόγος της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας προς φυσικού αερίου για βιώσιμη συμπαραγωγή, από την εμπειρία της ΕΕ, πρέπει να είναι πάνω από 3.5. Στην Ελλάδα σήμερα είναι 1,6 – 2,1 για τη Βιομηχανία και 2 – 2.7 για τον τριτογενή τομέα. Όσο για το μέλλον, μάλλον αναμένονται αυξητικές τάσεις στην τιμή του πετρελαίου, και άρα του Φ.Α. ενώ έστω και αν υπάρξουν αυξήσεις στην ηλεκτρική ενέργεια, δεν θα είναι της ίδιας τάξης.

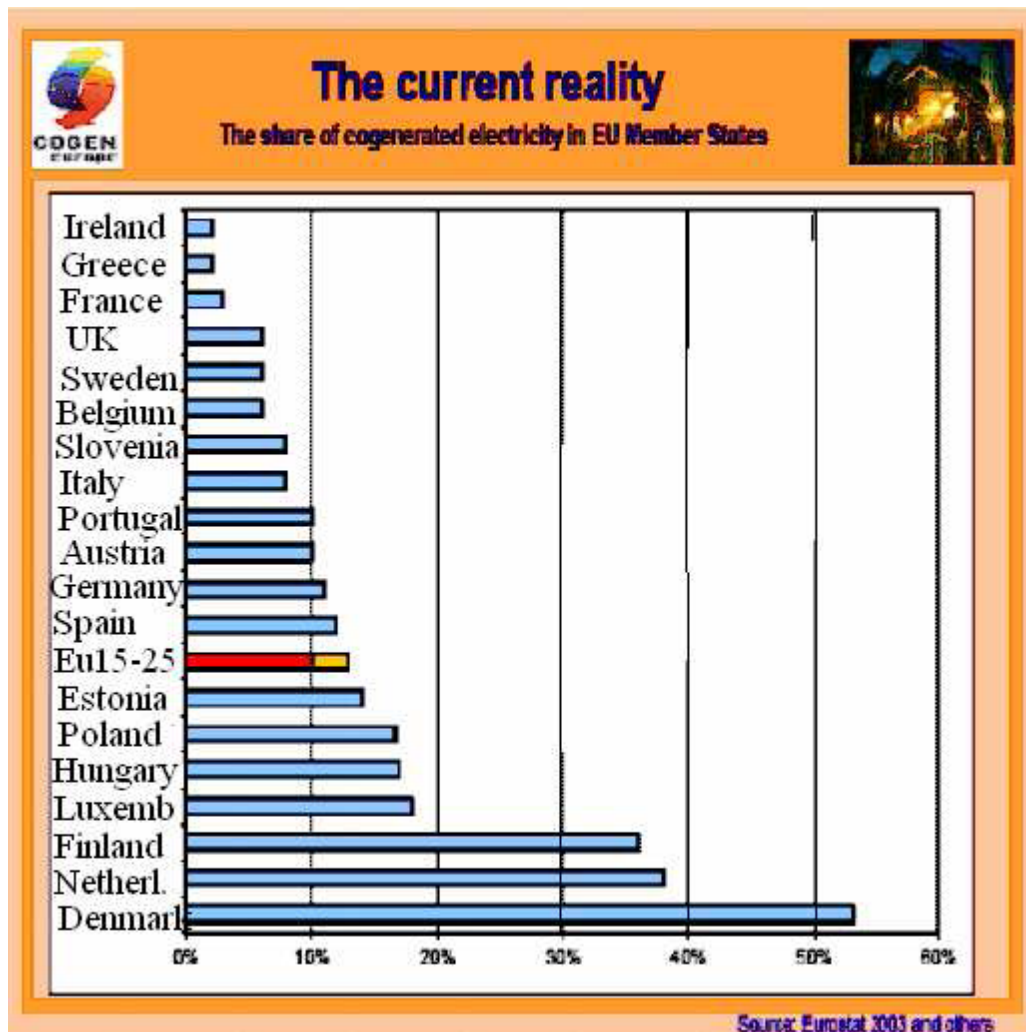
Το “Νέο Θεσμικό Πλαίσιο για την Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘ” που πρόσφατα παρουσιάσθηκε στην Κυβερνητική Επιτροπή, αναμένεται να αυξήσει σημαντικά την τιμή πώλησης της Ηλεκτρικής Ενέργειας που παράγεται από ΣΗΘ. Η αύξηση αυτή αναμένεται να βοηθήσει τους Ανεξάρτητους Παραγωγούς από ΣΗΘ, αλλά όχι κατ’ ανάγκη, και τους Αυτοπαραγωγούς, οι οποίοι αποτελούν, τόσο από την εμπειρία της ΕΕ όσο και στις παραπάνω μελέτες για την Ελλάδα, τον κορμό της ανάπτυξης της ΣΗΘ, με ή χωρίς καύση Φ.Α.

Συμπερασματικά, σημαντικό ρόλο στην προώθηση της ΣΗΘ διαδραματίζει το φυσικό αέριο επειδή έχει σημαντική διείσδυση στη Βιομηχανία, τον τριτογενή και τον Αγροτικό τομέα. Αν λοιπόν, σε μια χρονική περίοδο που οι τιμές της ενέργειας δεν βοηθούν, ενδιαφέρει την Πολιτεία:

- η αποκεντρωμένη παραγωγή,
- η εξοικονόμηση ενέργειας,
- η εναρμόνιση με τους στόχους του Kyoto
- η μείωση των ρύπων στο περιβάλλον

τα οποία αποτελούν μερικά μόνο από τα οφέλη της ΣΗΘ, τότε θα πρέπει να εξετασθούν και να ληφθούν πρόσθετα μέτρα, μερικά από τα οποία μπορεί είναι:

- η βελτίωση των διαδικασιών και η μείωση του χρόνου αδειοδοτήσεων
- η νομοθετική ρύθμιση για χρηματοδοτήσεις από τρίτους στον ιδιωτικό και δημόσιο τομέα
- η θέσπιση ουσιαστικών οικονομικών κινήτρων



Σχήμα 2.1 : Ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΣΗΘ στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Πηγή Cogeneration Europe)

2.2 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ 3468/2006

Η Ελλάδα καταβάλει προσπάθειες προκειμένου να εισαγάγει ένα ρυθμιστικό πλαίσιο για την παραγωγή ηλεκτρισμού από Α.Π.Ε και Σ.Η.Θ. Οι συγκεκριμένες προσπάθειες αποβλέπουν στην ενθάρρυνση διάφορων επενδύσεων, στον εκσυγχρονισμό της ενεργειακής υποδομής και στην “ευθυγράμμιση” της Ελλάδας με τα υπόλοιπα ευρωπαϊκά κράτη. Η νομική μεταρρύθμιση βρίσκεται ακόμα σε πρωταρχικό στάδιο, ωστόσο αρκετές αξιόλογες αλλαγές αναμένεται να διαδραματιστούν τα επόμενα χρόνια.

Ο Νόμος 3468/2006 άλλαξε ριζικά το τοπίο στον τομέα της Συμπαραγωγής με τη διατύπωση νέου ορισμού για τις μονάδες συμπαραγωγής και θερμότητας υψηλής απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α).

Στη συνέχεια παρατίθενται τα βασικά στοιχεία του νόμου αυτού, καθώς και κάποιες

συνοπτικές πληροφορίες σχετικά με την αδειοδότηση και τη λειτουργία νέων μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Ο Νόμος 3468/2006 τροποποίησε μερικώς τις έννοιες του Ανεξάρτητου Παραγωγού και του Αυτοπαραγωγού οι οποίες είχαν εισαχθεί με τους προηγούμενους νόμους (Ν.2773/1999 “Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας – Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις” και Ν.2244/1994 “Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις”). Αναφορικά με την συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας ο νέος νόμος εισάγει τις ακόλουθες έννοιες :

- Παραγωγός από Α.Π.Ε ή Σ.Η.Θ.Υ.Α : Ο παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε) ή από μονάδες Συμπαραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α).
- Αυτοπαραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε ή Σ.Η.Θ.Υ.Α : Ο Παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από μονάδες Α.Π.Ε ή Σ.Η.Θ.Υ.Α κυρίως για δική του χρήση και διοχετεύει τυχόν πλεόνασμα της ενέργειας αυτής στο Σύστημα ή στο Δίκτυο.
- Αυτόνομος Παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε : Ο Παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από Α.Π.Ε και του οποίου ο σταθμός δεν είναι συνδεδεμένος με το Σύστημα ή το Δίκτυο.(Ο ορισμός αυτός επεκτείνεται έμμεσα και για τις μονάδες συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης)

Ο νόμος εισήγαγε παράλληλα τον όρο “Συμπαραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ). Συγκεκριμένα στην παράγραφο 20 του άρθρου 2, η Σ.Η.Θ.Υ.Α ορίζεται ως εξής :

- Ως ΣΗΘΥΑ χαρακτηρίζεται η συμπαραγωγή που εξασφαλίζει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 10%, σε σχέση με τη θερμική και ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στο πλαίσιο διακριτών διαδικασιών, καθώς και η παραγωγή από Μονάδες Συμπαραγωγής Μικρής και Πολύ Μικρής Κλίμακας που εξασφαλίζει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας,, ανεξάρτητα από το ποσοστό εξοικονόμησης.

Στις παραγράφους 21 και 22 του άρθρου 2 ορίζεται η συμπαραγωγή μικρής και πολύ μικρής κλίμακας :

- Συμπαραγωγή Μικρής Κλίμακας : Η μονάδα συμπαραγωγής με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη του ενός (1) MWe.
- Συμπαραγωγή Πολύ Μικρής Κλίμακας : Η μονάδα συμπαραγωγής με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη των πενήντα (50) kWe.

Ο υπολογισμός της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας για τις μονάδες άνω του ενός MW ηλεκτρικής ισχύος γίνεται σύμφωνα με τα οριζόμενα στην περίπτωση β' του Παραρτήματος ΙΙΙ της οδηγίας 2004/8/ΕΚ.

Για τη Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης ορίζονται τα εξής :

Α. Μόνο η Σ.Η.Θ.Υ.Α δικαιούται τα ευεργετήματα του νόμου ενώ το καθεστώς της απλής συμπαράγωγής (Σ.Η.Θ) χρειάζεται περαιτέρω διευκρινήσεις.

Β. Ο Παραγωγός Σ.Η.Θ.Υ.Α δικαιούται να διαθέσει όλη την παραγωγή του στο σύστημα με τη νέα τιμή των 0,073 €/kWh την οποία καθορίζει ο νόμος (η συγκεκριμένη τιμή δεν είναι πλέον η ισχύουσα).

Γ. Ο Αυτοπαραγωγός Σ.Η.Θ.Υ.Α δικαιούται να διαθέτει μόνο το πλεόνασμα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη νέα ευεργετική τιμή. Όμως το πλεόνασμα αυτό δεν μπορεί να υπερβαίνει το 20% της παραγωγής του σε ετήσια βάση.

Δ. Ο Αυτόνομος Παραγωγός Σ.Η.Θ.Υ.Α εξ ορισμού είναι εκείνος που δεν συνδέεται με το δίκτυο της Δ.Ε.Η ή το σύστημα μεταφοράς εν γένει.

Σημειώνεται ότι το κριτήριο χαρακτηρισμού είναι πολύ σημαντικό από πλευράς αξιολόγησης της οικονομικής βιωσιμότητας της συμπαράγωγής. Με αυτό κρίνεται κατά πόσο μια μονάδα συμπαράγωγής θα υπαχθεί στις ευεργετικές διατάξεις του νόμου και θα δικαιούται να διαθέτει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ή το πλεόνασμά της στο δίκτυο της ΔΕΗ, με βάση τις προκαθορισμένες από το νόμο τιμές.

2.2 ΑΔΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σύμφωνα με τον νόμο 3468/2006, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ απαιτείται σχετική άδεια. Η άδεια αυτή χορηγείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης, μετά από γνώμη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ), με βάση τα κριτήρια :

α) Της εθνικής ασφάλειας.

β) Της προστασίας της δημόσιας υγείας και ασφάλειας.

γ) Της εν γένει ασφάλειας των εγκαταστάσεων και του σχετικού εξοπλισμού του Συστήματος και του Δικτύου.

δ) Της ενεργειακής αποδοτικότητας του έργου για το οποίο υποβάλλεται η σχετική αίτηση.

ε) Της ωριμότητας της διαδικασίας υλοποίησης του έργου, όπως αυτή προκύπτει από μελέτες που έχουν εκπονηθεί, γνωμοδοτήσεις αρμόδιων υπηρεσιών, καθώς και από άλλα συναφή στοιχεία.

στ) Της εξασφάλισης ή της δυνατότητας εξασφάλισης του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου.

ζ) Της δυνατότητας του αιτούντος να υλοποιήσει το έργο με βάση την οικονομική, επιστημονική και τεχνική επάρκειά του.

η) Της διασφάλισης παροχής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και προστασίας των Πελατών.

θ) Της προστασίας του περιβάλλοντος, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία και το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις ΑΠΕ.

Η Ρ.Α.Ε εξετάζει αν πληρούνται τα παραπάνω κριτήρια και, πριν διατυπώσει τη γνώμη της, διαβιβάζει την Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Π.Π.Ε.), στις περιπτώσεις που αυτή απαιτείται, στην αρχή που είναι αρμόδια για την περιβαλλοντική αδειοδότηση. Η αρχή αυτή γνωμοδοτεί επί της Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (Π.Π.Ε.Α.) και διαβιβάζει τη γνωμοδότησή της στη Ρ.Α.Ε. εντός εξήντα (60) ημερών από τη συμπλήρωση του φακέλου της Π.Π.Ε.. Η Ρ.Α.Ε., μετά την έκδοση της γνωμοδότησης, υποβάλλει τη γνώμη της στον Υπουργό Ανάπτυξης εντός τεσσάρων (4) μηνών από τη γνωστοποίηση, σε αυτήν, της δημοσίευσης της αίτησης. Ο Υπουργός Ανάπτυξης εκδίδει τη σχετική απόφαση εντός δεκαπέντε (15) ημερών από την υποβολή, σε αυτόν, της γνώμης της Ρ.Α.Ε..

Η άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

α) τον κάτοχό της,

β) τον τόπο εγκατάστασης του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,

γ) την Εγκατεστημένη Ισχύ και τη Μέγιστη Ισχύ Παραγωγής,

δ) τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία,

ε) τη διάρκεια ισχύος της,

στ) το ή τα πρόσωπα τα οποία έχουν την οικονομική δυνατότητα για τη χρηματοδότηση και υλοποίηση του έργου.

Η άδεια παραγωγής χορηγείται για χρονικό διάστημα μέχρι είκοσι πέντε (25) ετών και μπορεί να ανανεώνεται, μέχρι ίσο χρόνο. Εάν εντός είκοσι τεσσάρων (24) μηνών από τη χορήγηση της άδειας παραγωγής δεν έχει χορηγηθεί άδεια εγκατάστασης, η άδεια παραγωγής ανακαλείται. Στο χρονικό διάστημα των είκοσι τεσσάρων (24)

μηνών δεν υπολογίζονται:

α) Ο χρόνος δικαστικής αναστολής της εκτέλεσης οποιασδήποτε άδειας ή έγκρισης που απαιτείται για τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης.

β) Ο χρόνος καθυστέρησης για τη λήψη της άδειας εγκατάστασης, εφόσον η καθυστέρηση δεν οφείλεται, αποδεδειγμένα, σε παράλειψη ή σε οποιασδήποτε μορφής υπαιτιότητα του κατόχου της άδειας παραγωγής.

Εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής πρόσωπα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από Σ.Η.Θ.Υ.Α., με Εγκατεστημένη Ισχύ έως είκοσι (20) kWe, εκτός εάν πρόκειται για σταθμούς που εγκαθίστανται σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά όπου υφίσταται κορεσμός του δικτύου, ο οποίος διαπιστώνεται με απόφαση της Ρ.Α.Ε.. Τα πρόσωπα που έχουν την ευθύνη της λειτουργίας των σταθμών αυτών υποχρεούνται, πριν εγκαταστήσουν τους σταθμούς, να ενημερώνουν τον αρμόδιο Διαχειριστή για τη θέση, την ισχύ και την τεχνολογία των σταθμών αυτών. Αν παραλειφθεί η υποχρέωση ενημέρωσης, η λειτουργία των σταθμών αποβαίνει παράνομη. Ο αρμόδιος Διαχειριστής ενημερώνει, στο τέλος κάθε διμήνου, τον Υπουργό Ανάπτυξης και τη Ρ.Α.Ε. για την εγκατάσταση των ανωτέρω σταθμών.

Εξαιρούνται, επίσης, από τη λήψη άδειας παραγωγής οι αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. οι οποίοι δεν συνδέονται στο Σύστημα ή στο Δίκτυο, με Εγκαταστημένη Ισχύ μικρότερη ή ίση των πέντε (5) MWe.

2.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ Σ.Η.Θ.Υ.Α. ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για την εγκατάσταση ή επέκταση σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α., απαιτείται σχετική άδεια. Η άδεια αυτή εκδίδεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας, στα όρια της οποίας εγκαθίσταται ο σταθμός. Η άδεια εγκατάστασης εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την υποβολή, από τον ενδιαφερόμενο, της σχετικής αίτησης με τα απαραίτητα δικαιολογητικά. Αν ο αρμόδιος Γενικός Γραμματέας Περιφέρειας δεν εκδώσει την άδεια εγκατάστασης εντός της προθεσμίας, για την έκδοση αυτής καθίσταται αρμόδιος ο Υπουργός Ανάπτυξης, προς τον οποίο ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει την αίτηση με το συνοδευτικό της φάκελο και την απόφαση Ε.Π.Ο. ή επικυρωμένα αντίγραφα αυτών. Ο Υπουργός Ανάπτυξης εκδίδει την άδεια εγκατάστασης εντός τριάντα (30) ημερών από την παραλαβή των ανωτέρω εγγράφων.

Για την έκδοση της άδειας εγκατάστασης σταθμών Σ.Η.Θ.Υ.Α., οι οποίοι συνδέονται με το Σύστημα, το Δίκτυο ή το Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, τηρούνται υποχρεωτικά και όσα επιπλέον προβλέπονται στους Κώδικες Διαχείρισης για τη σύνδεση σταθμών.

Η άδεια εγκατάστασης ισχύει για δύο (2) έτη και μπορεί να παρατείνεται, κατά ανώτατο όριο, για ίσο χρόνο, μετά από αίτηση του κατόχου της, εφόσον: α) κατά τη λήξη της διετίας έχει εκτελεσθεί έργο, οι δαπάνες του οποίου καλύπτουν το 50% της επένδυσης ή β) δεν έχει γίνει έναρξη εκτέλεσης του έργου για λόγους που, αποδεδειγμένα, δεν οφείλονται σε παράλειψη ή σε οποιασδήποτε μορφής υπαιτιότητα του κατόχου της άδειας εγκατάστασης, με την προϋπόθεση ότι έχουν συναφθεί οι αναγκαίες συμβάσεις για την προμήθεια του εξοπλισμού ο οποίος απαιτείται για την υλοποίηση του έργου.

Για τη λειτουργία σταθμών απαιτείται και άδεια λειτουργίας. Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του οργάνου που είναι αρμόδιο για τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου και έλεγχο, από τα αρμόδια όργανα, της τήρησης των τεχνικών όρων εγκατάστασης κατά τη δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού, καθώς και έλεγχο, από το Κ.Α.Π.Ε., της διασφάλισης των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού του σταθμού. Η άδεια λειτουργίας εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την ολοκλήρωση των ανωτέρω ελέγχων, εφόσον αυτοί αποβούν θετικοί.

Η άδεια λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. ισχύει για είκοσι (20) τουλάχιστον έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρονικό διάστημα.

Η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. ισχύει για δέκα (10) έτη και μπορεί να ανανεώνεται, μία ή περισσότερες φορές, μέχρι ίσο χρόνο, κάθε φορά.

Για σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. που εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής, δεν απαιτείται η λήψη άδειας εγκατάστασης και λειτουργίας. Για τους σταθμούς αυτούς απαιτείται, σε κάθε περίπτωση, η περιβαλλοντική αδειοδότηση, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία.

2.4 ΣΥΜΒΑΣΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για την ένταξη σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. στο Σύστημα ή στο Δίκτυο, περιλαμβανομένου και του Δικτύου των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, ο Διαχειριστής του Συστήματος, εφόσον οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται στο Σύστημα είτε απευθείας είτε μέσω του Δικτύου ή ο Διαχειριστής Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, εφόσον οι εγκαταστάσεις παραγωγής συνδέονται με το Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, υποχρεούνται να συνάπτουν σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με τον κάτοχο της άδειας παραγωγής της.

Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας ισχύει για δέκα (10) έτη και μπορεί να παρατείνεται για δέκα (10), επιπλέον, έτη, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού, εφόσον αυτή υποβάλλεται τρεις (3), τουλάχιστον, μήνες πριν από τη λήξη της αρχικής σύμβασης.



Σχήμα 2.2 : Αδειοδοτική διαδικασία

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από Παραγωγό ή Αυτοπαραγωγό μέσω σταθμού Σ.Η.Θ.Υ.Α. και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, τιμολογείται, σε μηνιαία βάση, κατά τα ακόλουθα:

α) Η τιμολόγηση γίνεται με βάση την τιμή, σε ευρώ ανά μεγαβατώρα (MWh), της ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου και του Δικτύου Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

β) Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την προηγούμενη περίπτωση γίνεται με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 2.6.

γ) Οι τιμές του Πίνακα 2.6 για τους Αυτοπαραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας ισχύουν μόνο για σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α. με Εγκατεστημένη Ισχύ έως 35 MW και για το πλεόνασμα της ηλεκτρικής ενέργειας που διατίθεται στο Σύστημα ή στο Δίκτυο, το οποίο μπορεί να ανέλθει μέχρι ποσοστό 20% της συνολικά παραγόμενης, από τους σταθμούς αυτούς, ηλεκτρικής ενέργειας, σε ετήσια βάση.

δ) Ειδικά, η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από σταθμούς που συνδέονται στο Δίκτυο χαμηλής τάσης, γίνεται κάθε τέσσερις (4) μήνες.

(Οι τιμές του Πίνακα 2.6 είναι οι ισχύουσες μετά την αναπροσαρμογή των τιμολογίων τον Οκτώβριο του 2008.)

Πίνακας 2.6 : Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας για παραγωγούς και αυτοπαραγωγούς

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από :	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
Αιολική ενέργεια	80,14	91,74
Αιολική ενέργεια από αιολικά πάρκα στη θάλασσα	97,14	
Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ έως δεκαπέντε (15) MWe	80,14	91,74
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από φωτοβολταϊκές μονάδες, με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση των εκατό (100) kW _{peak} , οι οποίες εγκαθίστανται σε ακίνητο ιδιοκτησίας ή νόμιμης κατοχής ή όμορα ακίνητα του ίδιου ιδιοκτήτη ή νομίμου κατόχου	457,14	507,14
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από φωτοβολταϊκές μονάδες, με Εγκατεστημένη Ισχύ μεγαλύτερη των εκατό (100) kW _{peak}	407,14	457,14
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από μονάδες άλλης τεχνολογίας, πλην αυτής των φωτοβολταϊκών, με Εγκατεστημένη Ισχύ έως πέντε (5) MWe	257,14	277,14
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από μονάδες άλλης τεχνολογίας, πλην αυτής των φωτοβολταϊκών, με Εγκατεστημένη Ισχύ μεγαλύτερη των πέντε (5) MWe	237,14	257,14
Γεωθερμική ενέργεια, βιομάζα, αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια	80,14	91,74
Λοιπές Α.Π.Ε	80,14	91,74
Σ.Η.Θ.Υ.Α	80,14	91,74

2.5 ΚΙΝΗΤΡΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΗΘ

2.5.1 Για επιχειρήσεις

Η εν λόγω τεχνολογία επιδοτείται μέσω του Αναπτυξιακού Νόμου [14,17] σε ποσοστό που κυμαίνεται αναλόγως της περιοχής που βρίσκεται ο πελάτης και του εταιρικού σχήματος που πραγματοποιεί την επένδυση από 20-40% του συνολικού κόστους της επένδυσης.



Εικόνα 2.3 : Κατηγοριοποίηση γεωγραφικών περιοχών

	A	B	Γ
Μεγάλη	20%	30%	40%
Μεσαία	30%	40%	40%
Μικρή	40%	40%	40%
Πολύ Μικρή	40%	40%	40%

Πίνακας 2.7 : Κατηγορία επιχείρησης-περιοχής σύμφωνα με τον Αναπτυξιακό Νόμο

Για την εφαρμογή των διατάξεων του Αναπτυξιακού νόμου η επικράτεια κατανέμεται σε τρεις περιοχές ως εξής :

A

Περιλαμβάνει τους Νομούς Αττικής και Θεσσαλονίκης, πλην των Βιομηχανικών Επιχειρηματικών Περιοχών (Β.Ε.Π.Ε.) και των νησιών των Νομών αυτών που εντάσσονται στην Περιοχή Β'.

B

Περιλαμβάνει τις Βιομηχανικές Επιχειρηματικές Περιοχές (Β.Ε.Π.Ε.) και τα νησιά των Νομών της Γεωγραφικής Ζώνης Α', τους Νομούς της Περιφέρειας Θεσσαλίας (Καρδίτσας, Λάρισας, Μαγνησίας, Τρικάλων), τους Νομούς της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου (Κυκλάδων, Δωδεκανήσου), τους Νομούς της Περιφέρειας Ιονίων Νήσων (Κέρκυρας, Λευκάδας, Κεφαλληνίας, Ζακύνθου), τους Νομούς της Περιφέρειας Κρήτης (Ηρακλείου, Λασιθίου, Ρεθύμνου, Χανίων), τους Νομούς της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας (Χαλκιδικής, Σερρών, Κιλκίς, Πέλλας, Ημαθίας, Πιερίας), τους Νομούς της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας (Γρεβενών, Κοζάνης, Φλώρινας, Καστοριάς), καθώς και τους Νομούς της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας (Φθιώτιδας, Φωκίδας, Εύβοιας, Βοιωτίας, Ευρυτανίας).

Γ

Περιλαμβάνει τους Νομούς της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας Θράκης (Καβάλας, Δράμας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου), τους Νομούς της Περιφέρειας Ηπείρου (Άρτας, Πρέβεζας, Ιωαννίνων, Θεσπρωτίας), τους Νομούς της Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου (Λέσβου, Χίου, Σάμου), τους Νομούς της Περιφέρειας Πελοποννήσου (Λακωνίας, Μεσσηνίας, Κορινθίας, Αργολίδας, Αρκαδίας), καθώς και τους Νομούς της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας (Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Ηλείας).

	ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΓΑΛΗ
Εργαζόμενοι	<10	<50	<250	>250
Κύκλος Εργασιών	<2 εκ. €	<10 εκ. €	<50 εκ. €	>50 εκ. €
Σύνολο Ενεργητικού	<2 εκ. €	<10 εκ. €	<43 εκ. €	>43 εκ. €

Πίνακας 2.8 : Κατάταξη εταιριών σε κατηγορίες

Προϋποθέσεις για υπαγωγή επενδυτικού σχεδίου στον Αναπτυξιακό :

- Έγκριση περιβαλλοντικών όρων
- Άδεια παραγωγής ή εξαίρεση
- Προσφορά σύνδεσης του σταθμού με το Δίκτυο
- Πιστοποιητικό ISO κατασκευαστή
- Άδεια εγκατάστασης ή εξαίρεση

2.5.2 Για φυσικά πρόσωπα

Για τα φυσικά πρόσωπα οι διατάξεις δείχνουν να μην είναι το ίδιο ευνοϊκές.

Σύμφωνα με το άρθρο του νόμου 2364/95 που ίσχυε μέχρι πρόσφατα, έως 75% του συνολικού κόστους για την αγορά και την εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ μπορούσε να αφαιρεθεί από το φορολογητέο εισόδημα των φυσικών προσώπων. Υπολογίστηκε ότι η φοροαπαλλαγή του νόμου 2364/95 μπορούσε να μειώσει το κόστος των οικιακών συστημάτων ΑΠΕ έως 30%. Το Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας κατήργησε αυτή την φοροαπαλλαγή από το δημοσιονομικό έτος του 2003, επαναφέροντας όμως ένα νέο κίνητρο με την παρακάτω τροποποίηση.

Σύμφωνα με το άρθρο 2 του Ν3296/2004, στις εκπώσεις δαπανών από το εισόδημα φορολογούμενου συμπεριλαμβάνεται ποσοστό είκοσι τοις εκατό (20%) της δαπάνης είτε για την αλλαγή της εγκατάστασης χρήσης καυσίμου από πετρέλαιο σε φυσικό αέριο είτε για νέα εγκατάσταση φυσικού αερίου, ηλιοθερμικών και φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το ποσό που αφαιρείται δεν μπορεί να υπερβαίνει τα πεντακόσια (500) ευρώ .

3. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Τα περισσότερα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να χαρακτηρισθούν είτε

- ως συστήματα “κορυφής” (topping systems) είτε
- ως συστήματα “βάσης” (bottoming systems).

Στα συστήματα “κορυφής”, ρευστό υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ η αποβαλλόμενη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες, θέρμανση χώρων ή ακόμη και για παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.

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

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή σύγχρονων συστημάτων συμπαραγωγής:

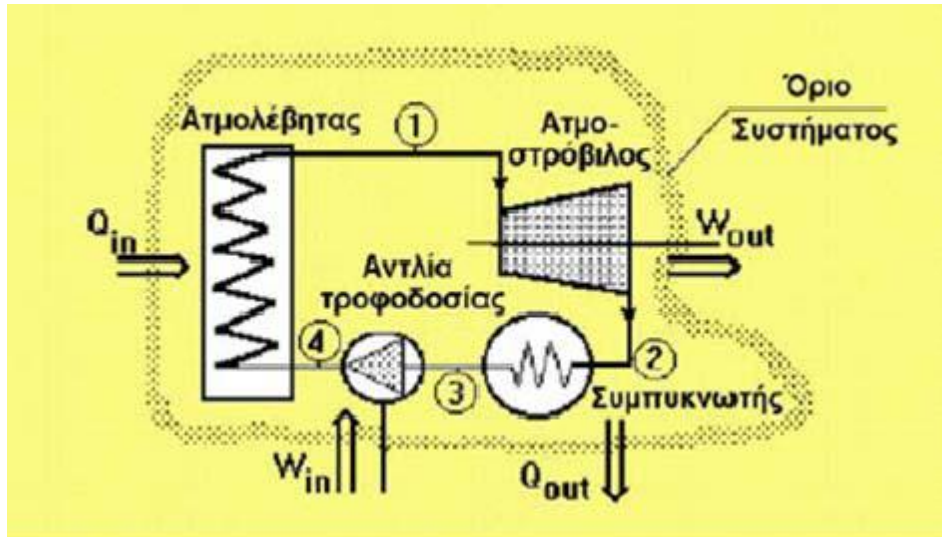
3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

3.1.1 Γενικά

Ένα σύστημα βασισμένο στο στρόβιλο ατμού αποτελείται από τρία σημαντικά στοιχεία : μια πηγή θερμότητας, ένα ατμοστρόβιλο και μια δεξαμενή θερμότητας. Το σύστημα λειτουργεί στον κύκλο Rankine, είτε με βασική μορφή του είτε στις βελτιωμένες εκδόσεις του με τη θέρμανση εκ νέου ατμού και την αναπαραγωγική προθέρμανση ύδατος. Το μεγαλύτερο ποσοστό μονάδων που εγκαταστάθηκαν στην αρχή του 20ου αιώνα είναι βασισμένες σε συστήματα αυτού του τύπου.

Η πιο κοινή πηγή θερμότητας είναι ένας λέβητας, που μπορεί να κάψει οποιοδήποτε τύπο καυσίμων ή ορισμένους συνδυασμούς καυσίμων, και παράγει τον υπέρθερμο ατμό. Αντί ενός λέβητα, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην θέση του. Αφ' ετέρου, το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η βιομάζα ή η ηλιακή ακτινοβολία. Ακόμη και τα υποπροϊόντα αποβλήτων μπορούν να καούν, δεδομένου ότι ο λέβητας είναι εξοπλισμένος με τις κατάλληλες μονάδες μείωσης ρύπανσης.

Ο ατμός ρέει μέσα από το στρόβιλο και παράγει μηχανική ισχύ, και μπορεί να είναι υγρός, ξηρός κορεσμένος ή υπέρθερμος. Όταν εξέρχεται από τον στρόβιλο συμπυκνώνεται και επιστρέφει στο λέβητα για να επαναληφθεί η διαδικασία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 : Τα στάδια ενός ολοκληρωμένου συστήματος ατμοστροβίλου

Σύμφωνα με το διάγραμμα του παραπάνω κύκλου, η ωφέλιμη ισχύς του στροβίλου σε κατάσταση σταθερής ροής είναι :

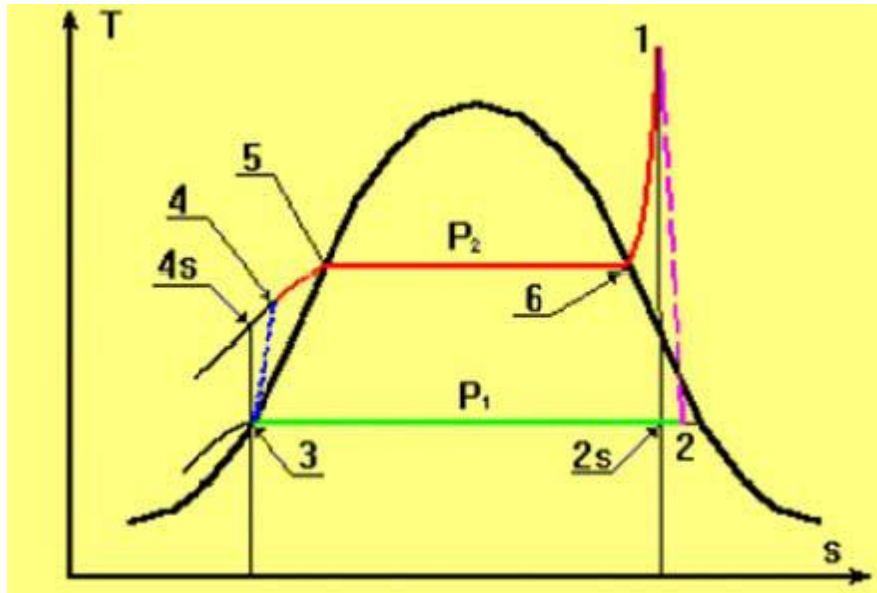
$$W_{out} = m \cdot (h_1 - h_2) \quad (2-1)$$

όπου m είναι η παροχή μάζας του ατμού μέσα από τον στρόβιλο, ενώ h_1 και h_2 είναι η ειδική ενθαλπία του ατμού στην είσοδο και την έξοδο του στροβίλου αντίστοιχα. Η αποδοτικότητα των ατμοστροβίλων συχνά περιγράφεται από τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης της διαδικασίας εκτόνωσης. Η παρουσία σταγονιδίων στον ατμό μειώνει την απόδοση του στροβίλου και προκαλεί τη φυσική διάβρωση των πτερυγίων. Για το λόγο αυτό, ο λόγος ξηρότητας του ατμού στην έξοδο του στροβίλου δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 0,9.

3.1.2 Κύκλος Rankine

Ο κύκλος Rankine αντιστοιχεί σε μια θερμική μηχανή με κύκλο ισχύος ατμού. Το πιο κοινό εργαζόμενο μέσο είναι το νερό. Ο κύκλος συνίσταται από τέσσερις διεργασίες όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2:

- 1 έως 2 : ισεντροπική εκτόνωση στον ατμοστρόβιλο
- 2 έως 3 : αποβολή της θερμότητας υπό σταθερή πίεση στον συμπυκνωτή
- 3 έως 4 : ισεντροπική συμπίεση στην αντλία
- 4 έως 1 : θέρμανση υπό σταθερή πίεση στον λέβητα



Σχήμα 3.2 : Διάγραμμα T – s του κύκλου Rankine

Το παραγόμενο έργο του κύκλου στον ατμοστρόβιλο W_1 και το εισαγόμενο έργο του κύκλου στην αντλία W_2 είναι αντίστοιχα :

$$W_1 = m \cdot (h_1 - h_2) \quad (2-2)$$

$$W_2 = m \cdot (h_4 - h_3) \quad (2-3)$$

Η παρεχόμενη θερμότητα στον κύκλο από το λέβητα Q_1 και η απορριπτόμενη από τον κύκλο στο συμπυκνωτή Q_2 είναι αντίστοιχα :

$$Q_1 = m \cdot (h_1 - h_4) \quad (2-4)$$

$$Q_2 = m \cdot (h_2 - h_3) \quad (2-5)$$

Το ωφέλιμο έργο του κύκλου είναι $W_1 - W_2$ και ο θερμικό βαθμός απόδοσης ενός κύκλου Rankine ορίζεται τότε ως :

$$n = (W_1 - W_2) / Q_1 \quad (2-6)$$

Ο βαθμός απόδοσης του κύκλου Rankine δεν είναι τόσο υψηλός όπως αυτός του κύκλου Carnot, αλλά ο κύκλος αυτός παρουσιάζει λιγότερες πρακτικές δυσκολίες και είναι πιο οικονομικές.

Οι συνθήκες λειτουργίας μπορούν να ποικίλουν σε μεγάλο βαθμό. Για τις εφαρμογές συμπαραγωγής, η πίεση ατμού μπορεί να κυμανθεί από μερικά bar μέχρι και 100 bar καθώς και ακόμα υψηλότερες πιέσεις. Η θερμοκρασία ατμού μπορεί να πλησιάσει τους 450 °C ενώ σε ορισμένες εφαρμογές έως και 540 °C. Η ισχύς εξόδου είναι συνήθως από 0.5 έως 100 MW, αν και ακόμα μεγαλύτερη ισχύς εξόδου είναι δυνατή.

Τα συστήματα στροβίλων ατμού έχουν υψηλή αξιοπιστία, που μπορεί να φθάσει σε 95%, υψηλή διαθεσιμότητα 90-95% και μακροχρόνιο κύκλο ζωής 25-35 έτη. Η

περίοδος εγκαταστάσεων είναι μάλλον μεγάλη: 12-18 μήνες για τις μικρές μονάδες, μέχρι τρία έτη για τα μεγάλα συστήματα. Η συνολική ενεργειακή απόδοση είναι σχετικά υψηλή 60–85% και μειώνεται μόνο ελαφρώς σε μερικό φορτίο. Εντούτοις, η ηλεκτρική αποδοτικότητα είναι χαμηλή 15–20%, το οποίο οδηγεί σε χαμηλό power to heat ratio $PHR = 0,1-0.5$. Γενικά, όσο υψηλότερη η θερμοκρασία που απαιτείται για τον ατμό, τόσο χαμηλότερη είναι η ηλεκτρική απόδοση. Η ηλεκτρική αποδοτικότητα μπορεί να αυξηθεί μέχρι ένα σημείο με την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας του ατμού στον στρόβιλο.

Είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής, κατάλληλα για ισχείς 500 Kw-100 MW ή και μεγαλύτερες. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καύσιμο. Ακόμη και στερεά απόβλητα καίγονται σε ειδικούς λέβητες εφοδιασμένους με συστήματα κατακράτησης ή και εξουδετέρωσης ρύπων και τοξικών ουσιών, που δημιουργούνται κατά την καύση. Ο βαθμός απόδοσης φθάνει το 60-85%. Για σύγκριση, υπενθυμίζεται ότι ο βαθμός απόδοσης ενός συμβατικού ατμοηλεκτρικού σταθμού βρίσκεται στην περιοχή του 35%.

Οι τρεις βασικές διατάξεις συστημάτων της κατηγορίας αυτής περιγράφονται πιο αναλυτικά στη συνέχεια.

3.1.3 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

Ατμός υψηλής πίεσης (20-100 bar) και θερμοκρασίας (480-540°C) παράγεται σε λέβητα με κατανάλωση καυσίμου και χρησιμοποιείται για την κίνηση ατμοστροβίλου, στον άξονα του οποίου είναι συνδεδεμένη ηλεκτρογεννήτρια (Σχήμα 3.3). Ο ατμός βγαίνει από τον στρόβιλο σε πίεση και θερμοκρασία κατάλληλη για τις θερμικές διεργασίες. Ο όρος “αντίθλιψη” οφείλεται στο ότι η πίεση αυτή είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής (3-20 bar). Απομάστευση (δηλ. εξαγωγή) μέρους του ατμού από ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές πιέσεις είναι επίσης δυνατή.

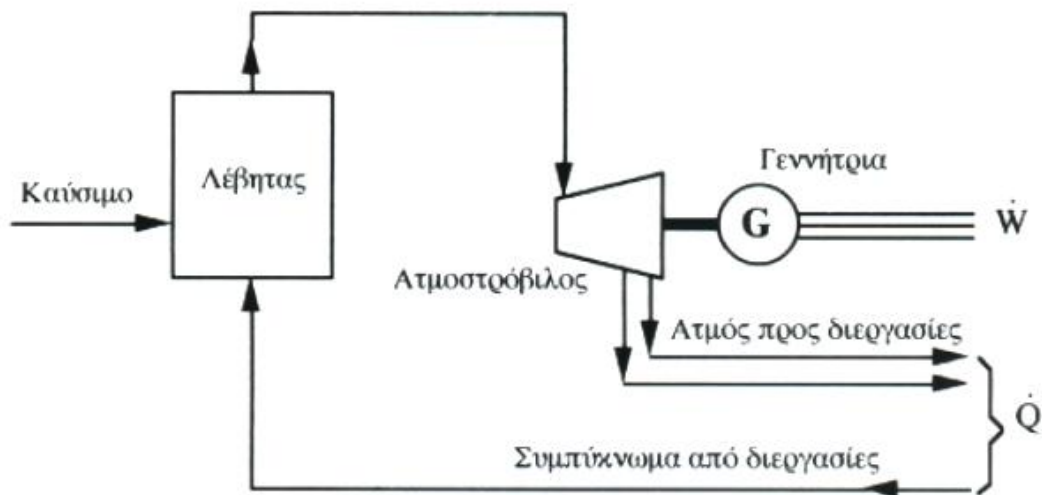
Σε σύγκριση με το απομάστευσης, που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο, το σύστημα αντίθλιψης έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- απλή μορφή,
- μικρότερο κόστος,
- μειωμένη ή και καθόλου ανάγκη ψυκτικού νερού,
- υψηλότερο βαθμό απόδοσης (περίπου 85%), κυρίως διότι δεν αποβάλλει θερμότητα στο περιβάλλον μέσω ψυγείου.

Σημαντικό μειονέκτημα του, όμως, είναι ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι στενά συνδεδεμένη με την απαιτούμενη θερμότητα. Έτσι,

α) είναι αδύνατη η ανεξάρτητη λειτουργία του ατμοηλεκτρικού σταθμού από το δίκτυο θέρμανσης, και

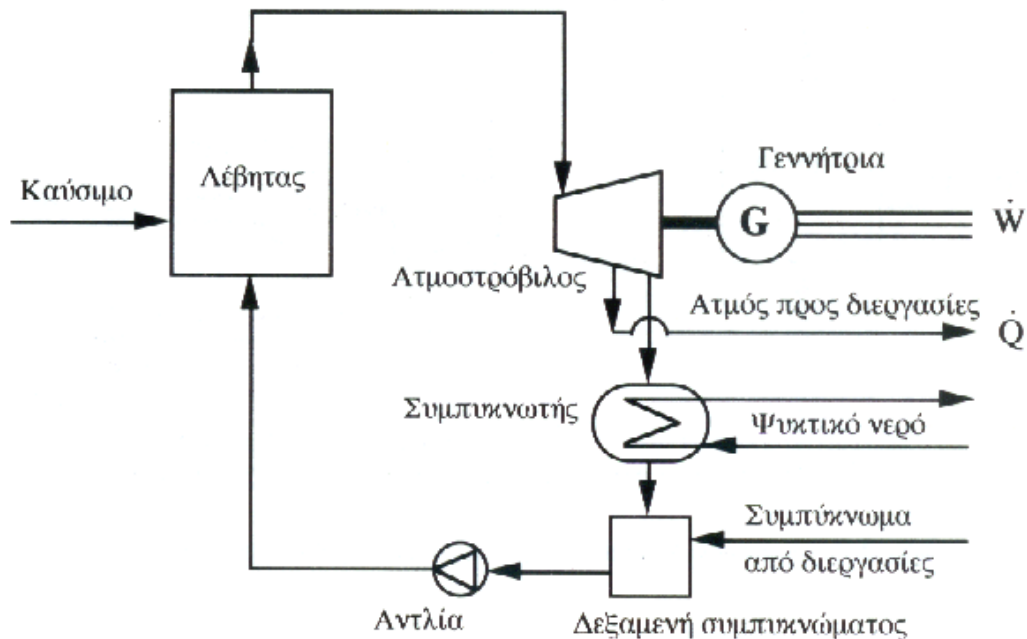
β) είναι αναγκαία η αμφίδρομη σύνδεση με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού για την κάλυψη πρόσθετων αναγκών ή για τη διοχέτευση της πιθανής περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 3.3: Σύστημα ΣΗΘ με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

3.1.4 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης

Μέρος του ατμού απομαστεύεται από μία ή περισσότερες ενδιάμεσες βαθμίδες του στρόβιλου στις επιθυμητές πιέσεις, ενώ ο υπόλοιπος εκτονώνεται μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή (λέγεται και ψυγείο ατμού) που είναι 0,05-0,10 bar. (Σχήμα 3.4).

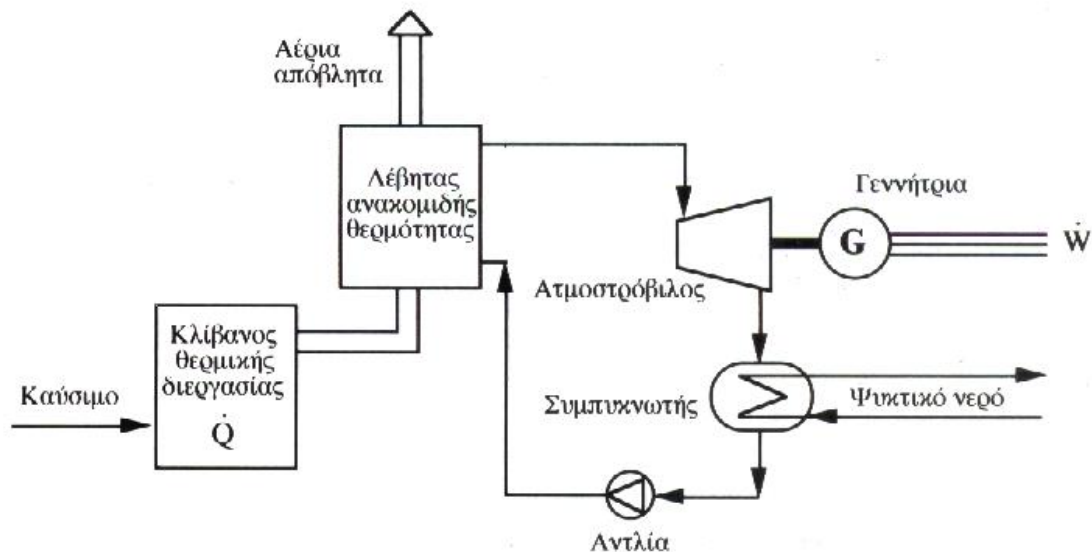


Σχήμα 3.4 : Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης

Τα συστήματα απομάστευσης είναι ακριβότερα και έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης (περίπου 80%) από τα συστήματα αντίθλιψης. Όμως, έχουν τη δυνατότητα ανεξάρτητης (μέσα σε ορισμένα όρια) ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος. Αυτό επιτυγχάνεται με ρύθμιση της ολικής παροχής ατμού και επομένως της παροχής ατμού προς τον συμπυκνωτή.

3.1.5 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης.

Αρκετές βιομηχανίες (π.χ. χαλυβουργεία, υαλουργεία, κεραμουργεία, εργοστάσια τσιμέντου, εργοστάσια αλουμινίου, διυλιστήρια πετρελαίου, κ.λπ.) έχουν αέρια απόβλητα υψηλής θερμοκρασίας. Μετά τη θερμική διεργασία, τα αέρια αυτά μπορούν να περάσουν μέσα από λέβητα ανακομιδής θερμότητας, όπου παράγεται ατμός που κινεί μια ατμοστροβιλογεννήτρια. Έτσι, η μονάδα παραγωγής θερμότητας μετατρέπεται σε σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5: Σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού

3.1.6 Κύκλοι βάσης Rankine με οργανικά ρευστά

Στον κύκλο βάσης του παραπάνω σχήματος, εργαζόμενο μέσο είναι το νερό, που εξατμίζεται με ανάκτηση θερμότητας από αέρια υψηλής θερμοκρασίας 600oC ή και υψηλότερης. Η παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας με ανάκτηση θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας 80-300oC είναι δυνατή εάν χρησιμοποιηθούν οργανικά ρευστά, π.χ. τολουένη, που έχουν θερμοκρασία βρασμού αρκετά χαμηλότερης εκείνης του νερού. Έτσι, πηγές θερμότητας μπορούν να είναι η ηλιακή ενέργεια, βιομηχανικά απόβλητα, γεωθερμική ενέργεια, καυσαέρια ή θερμότητα ψύξης μηχανών, κ.λπ.

Η ισχύς των συστημάτων αυτών κυμαίνεται στην περιοχή 2 kW – 10 MW. Ο βαθμός απόδοσης είναι μικρός, 10-30%, αλλά σημασία έχει το γεγονός ότι ένα τέτοιο

σύστημα παράγει πρόσθετη ισχύ χωρίς να ξοδεύει καύσιμο. Από κατασκευαστικής πλευράς, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των υλικών, ώστε να μην παθαίνουν διάβρωση από το οργανικό ρευστό π.χ. χρήση ανοξείδωτου χάλυβα, και στη στεγανότητα των στοιχείων του συστήματος, ώστε να μην διαφεύγει το οργανικό ρευστό στην ατμόσφαιρα.

Ο χρόνος εγκατάστασης μικρών συστημάτων μέχρι 50 kW, και ιδιαίτερα εκείνων που είναι κατάλληλα για χρήση στον εμπορικό – κτιριακό τομέα, είναι 4-8 μήνες, ενώ για μεγαλύτερες μονάδες είναι 1-2 έτη. Καθώς η τεχνολογία αυτή είναι σχετικά νέα, δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες για την αξιοπιστία των συστημάτων. Εκτιμάται ότι η μέση ετήσια διαθεσιμότητά τους είναι 80-90%. Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 20 έτη.

3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

3.2.1 Γενικά

Οι αεριοστρόβιλοι είτε σε έναν απλό κύκλο είτε σε έναν συνδυασμένο κύκλο είναι η πιο συχνά χρησιμοποιημένη τεχνολογία στα πρόσφατα συστήματα συμπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειάς τους κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες kW έως αρκετά MW .

Οι αεριοστρόβιλοι έχουν αναπτυχθεί ως είτε υψηλών απαιτήσεων μονάδες για τις βιομηχανικές εφαρμογές, είτε ως ελαφριές, συμπαγείς και αποδοτικές μηχανές αεροσκαφών. Γενικά, έχουν ως χαρακτηριστικά την γρήγορη εκκίνηση και τη γρήγορη απάντηση στο μεταβαλλόμενο φορτίο. Και τα δύο σχέδια αεροστροβίλων έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για τη συμπαραγωγή που έχοντας ως κύρια πλεονεκτήματα το χαμηλό αρχικό κόστος, την υψηλή διαθεσιμότητα, εύκολη γρήγορη και χαμηλού κόστους συντήρηση, δυνατότητα αλλαγής καυσίμου, υψηλής ποιότητας θερμότητα που μπορεί εύκολα να ανακτηθεί, και υψηλές αποδόσεις στα μεγαλύτερα μεγέθη. Επιπλέον, η εμπορική διαθεσιμότητα των συσκευασμένων μονάδων βοήθησε στην διάδοσή τους.

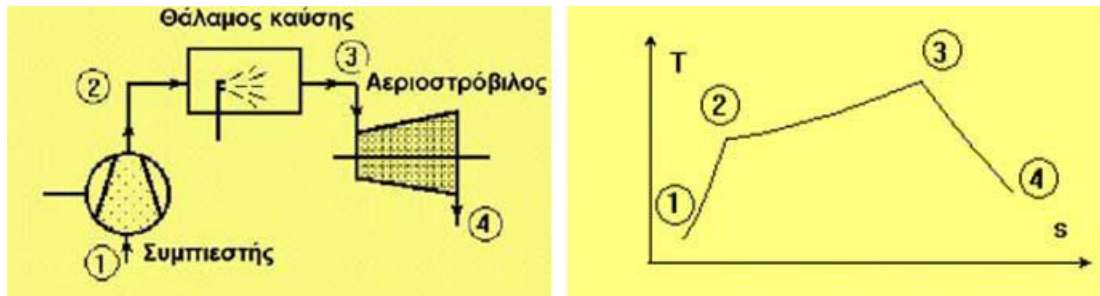
Οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούν τα θερμά αέρια που παράγονται άμεσα από την καύση ορυκτών καυσίμων. Το θερμό αέριο εκτονώνεται μέσα από τα πτερύγια του δρομέα του στροβίλου αναγκάζοντάς τα να κινηθούν.

Υπάρχουν δύο βασικές διατάξεις : ανοικτού κύκλου και κλειστού κύκλου.

3.2.2 Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου

Οι περισσότερες αεριοστροβλικές μονάδες είναι ανοικτού τύπου: αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στον θάλαμο καύσης. Τα καυσαέρια αποτονώνονται στον αεριοστρόβιλο (που κινεί τη γεννήτρια),

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διεργασία του αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου. Η διεργασία 3-4 αντιστοιχεί σε μια μη αναστρέψιμη αλλά σχεδόν αδιαβατική εκτόνωση των αερίων της καύσης.



Σχήμα 3.7 : Αναπαράσταση αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου

Διάγραμμα T - s

Το παραγόμενο έργο από το στροβίλο είναι :

$$W_{\text{out}} = m \cdot (h_3 - h_4) \quad (2-7)$$

όπου m είναι η παροχή μάζας των καυσαερίων, h_3 είναι η ενθαλπία των καυσαερίων στην είσοδο και h_4 η ενθαλπία τους στην έξοδο.

Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου είναι :

$$\eta = (h_3 - h_4) / (h_3 - h_4) \quad (2-8)$$

Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστροβίλο ανοικτού κύκλου έχουν ισχύ 100 kW – 100 MW. Λειτουργούν συνήθως με φυσικό αέριο ή ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου (π.χ. καύσιμο Diesel), ενώ ευοίωνες παρουσιάζονται οι προοπτικές για χρήση γαιανθράκων σε εξαεριωμένη μορφή. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν καύσιμα αέρια, που παράγονται, π.χ., κατά την καταλυτική σχάση υδρογονανθράκων σε διυλιστήρια πετρελαίου.

Γενικά, πάντως, χρειάζεται προσοχή, επειδή τα πτερύγια του αεριοστροβίλου είναι εκτεθειμένα στα προϊόντα της καύσης, τα προϊόντα αυτά πρέπει να μην έχουν συστατικά που προκαλούν διάβρωση (νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, βανάδιο, θείο, κ.λπ.) και τα στερεά σωματίδια πρέπει να είναι αρκετά μικρού μεγέθους ώστε να μην προκαλούν φθορά κατά την πρόσκρουσή τους στα πτερύγια.

Εάν το καυσαέριο περιέχει τέτοια συστατικά, πρέπει να καθαρισθεί με ειδικές διατάξεις, πριν οδηγηθεί στον αεριοστροβίλο. Είναι επίσης ενδεχόμενο, το καύσιμο να χρειασθεί καθαρισμό, πριν από την εισαγωγή του στο θάλαμο καύσης.

Ο χρόνος εγκατάστασης των συστημάτων συμπαραγωγής αεριοστροβίλων είναι 9-14 μήνες για ισχείς μέχρι 7 MW και φθάνει τα δύο έτη για μεγαλύτερες μονάδες. Η αξιοπιστία και η μέση ετήσια διαθεσιμότητα συστημάτων αεριοστροβίλου, που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, είναι συγκρίσιμες με εκείνες των συστημάτων ατμοστροβίλου. Οι μονάδες που λειτουργούν με υγρό καύσιμο απαιτούν πιο συχνές

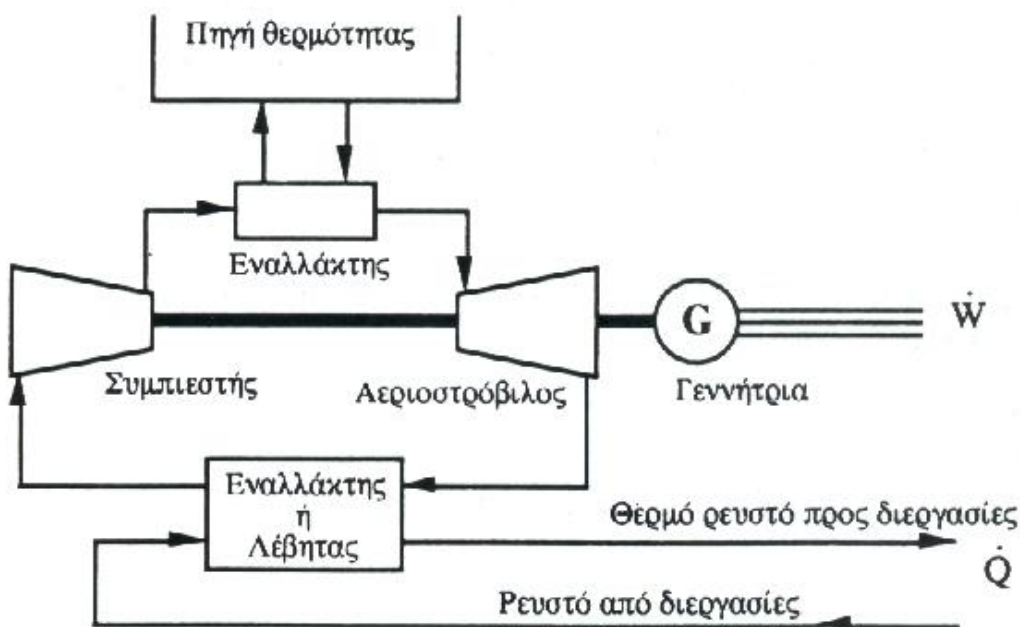
συντηρήσεις, με συνέπεια τη χαμηλότερη διαθεσιμότητα. Η χρήσιμη διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και μπορεί να μειωθεί σημαντικά από καύσιμο κακής ποιότητας ή ανεπαρκή συντήρηση.

3.2.3 Συστήματα αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου.

Στα συστήματα κλειστού κύκλου, το εργαζόμενο ρευστό (συνήθως ήλιο ή αέρας) κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα. Θερμαίνεται μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία σε εναλλάκτη θερμότητας, πριν από την είσοδο στον αεριοστρόβιλο, και ψύχεται μετά την έξοδό του από αυτόν (Σχήμα 3.8) καθώς το ρευστό δεν συμμετέχει στην καύση, διατηρείται καθαρό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική και η χημική διάβρωση του αεριοστρόβιλου από τα προϊόντα της καύσης.

Η εξωτερική καύση επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε καυσίμου στα συστήματα αυτά: άνθρακα, απόβλητα βιομηχανιών ή πόλεων, βιομάζα, υγρά ή αέρια καύσιμα παραγόμενα από βιομάζα, κ.λπ. Πυρηνική ή ηλιακή ενέργεια μπορούν επίσης να αποτελέσουν την πηγή θερμότητας.

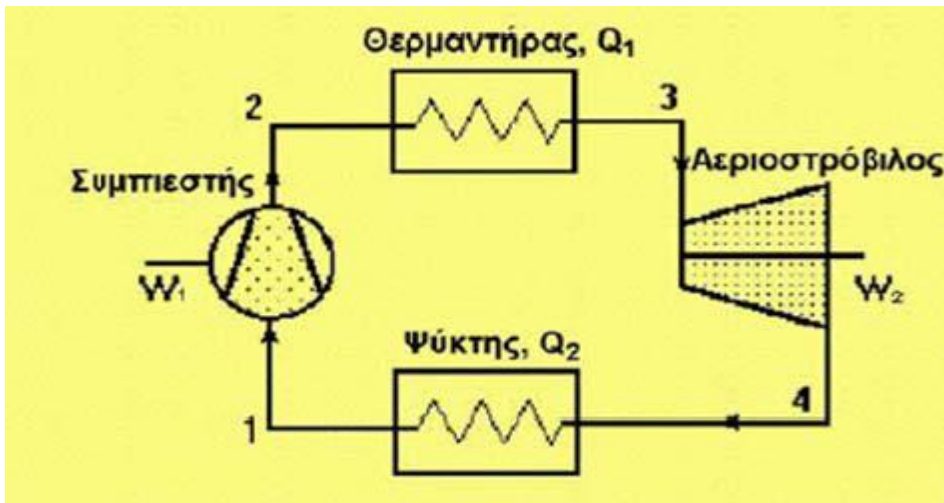
Στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία λειτουργούν συστήματα αυτού του τύπου με ισχείς από 2-50 MW, ο αριθμός τους όμως είναι περιορισμένος. Μετά την απόκτηση αρκετής εμπειρίας, η αξιοπιστία των συστημάτων κλειστού κύκλου προβλέπεται ότι θα είναι τουλάχιστον ίση με εκείνη των συστημάτων ανοικτού κύκλου, ενώ η διαθεσιμότητα θα είναι υψηλότερη χάρη στις μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης, που οφείλονται στην καθαρότητα του εργαζόμενου ρευστού.



Σχήμα 3.8 : Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού κύκλου

3.2.4 Κύκλος Brayton (ή Joule)

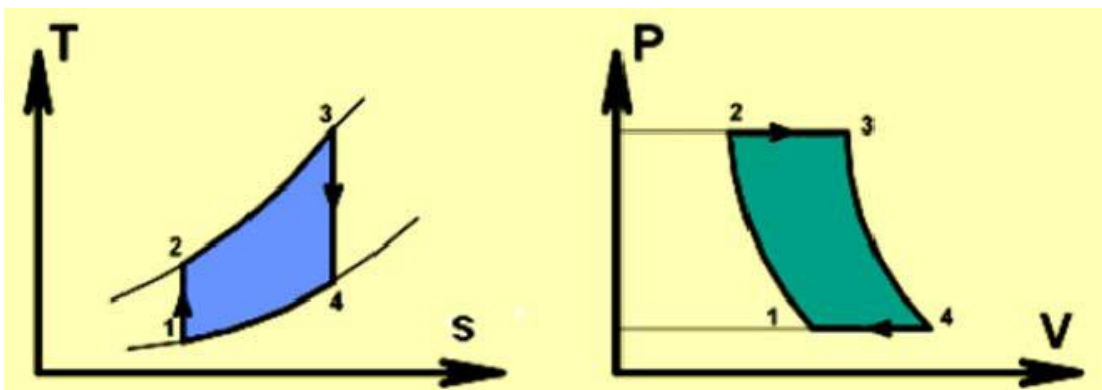
Ο θερμοδυναμικός κύκλος που σχετίζεται με την πλειοψηφία των αεριοστροβλικών συστημάτων είναι ο κύκλος Brayton, στον οποίο ο ατμοσφαιρικός αέρας, που είναι το εργαζόμενο μέσο, διέρχεται από τον στρόβιλο μόνο μία φορά. Οι θερμοδυναμικές διεργασίες του κύκλου Brayton περιλαμβάνουν τη συμπίεση του ατμοσφαιρικού αέρα, την εισαγωγή και ανάφλεξη του καυσίμου, και την εκτόνωση των θερμών καυσαερίων μέσω του στροβίλου. Η αναπτυσσόμενη ισχύς χρησιμοποιείται για την κίνηση του συμπιεστή και της ηλεκτρογεννήτριας. Οι κύριες συνιστώσες ενός αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα :



Σχήμα 3.9 : Αναπαράσταση αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου

Τόσο η εισαγωγή όσο και η απόρριψη θερμότητας στον κύκλο Brayton γίνεται υπό σταθερή πίεση, και για το λόγο αυτό ο κύκλος είναι επίσης γνωστός ως κύκλος σταθερής πίεσης. Ο κύκλος, του οποίου τα διαγράμματα $T-s$ και $P-V$ φαίνονται παρακάτω αποτελείται από τέσσερις διεργασίες

- 1 έως 2 : ισεντροπική συμπίεση
- 2 έως 3 : θέρμανση υπό σταθερή πίεση
- 3 έως 4 : ισεντροπική εκτόνωση
- 4 έως 1 : αποβολή της θερμότητας υπό σταθερή πίεση



Σχήμα 3.10 : Διαγράμματα $T-s$ και $P-V$ του κύκλου Brayton

Το εισαγόμενο έργο στον κύκλο στον συμπιεστή W_1 και το παραγόμενο έργο από τον κύκλο στον στρόβιλο W_2 είναι :

$$W_1 = m \cdot (h_2 - h_1) \quad (2-9)$$

$$W_2 = m \cdot (h_3 - h_4) \quad (2-10)$$

Η παρεχόμενη θερμότητα στον κύκλο Q_1 από τον θερμαντήρα και η απορριπτόμενη θερμότητα Q_2 από τον κύκλο από την ψυκτική μονάδα είναι :

$$Q_1 = m \cdot (h_3 - h_2) \quad (2-11)$$

$$Q_2 = m \cdot (h_4 - h_1) \quad (2-12)$$

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης του κύκλου με ενεργειακό μέσο ένα τέλειο αέριο είναι :

$$\eta = 1 - (T_4 - T_1) / (T_3 - T_2) \quad (2-13)$$

Αποδεικνύεται ότι η παραπάνω σχέση μπορεί να αναχθεί στην εξής :

$$\eta = 1 - r^n \quad (2-14)$$

Όπου $r (=P_2/P_1)$ είναι ο λόγος πίεσης και $n = -1 + (1/\gamma)$ μία σταθερά που εξαρτάται από την ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα.

3.2.5 Μικροστρόβιλος (microturbine)

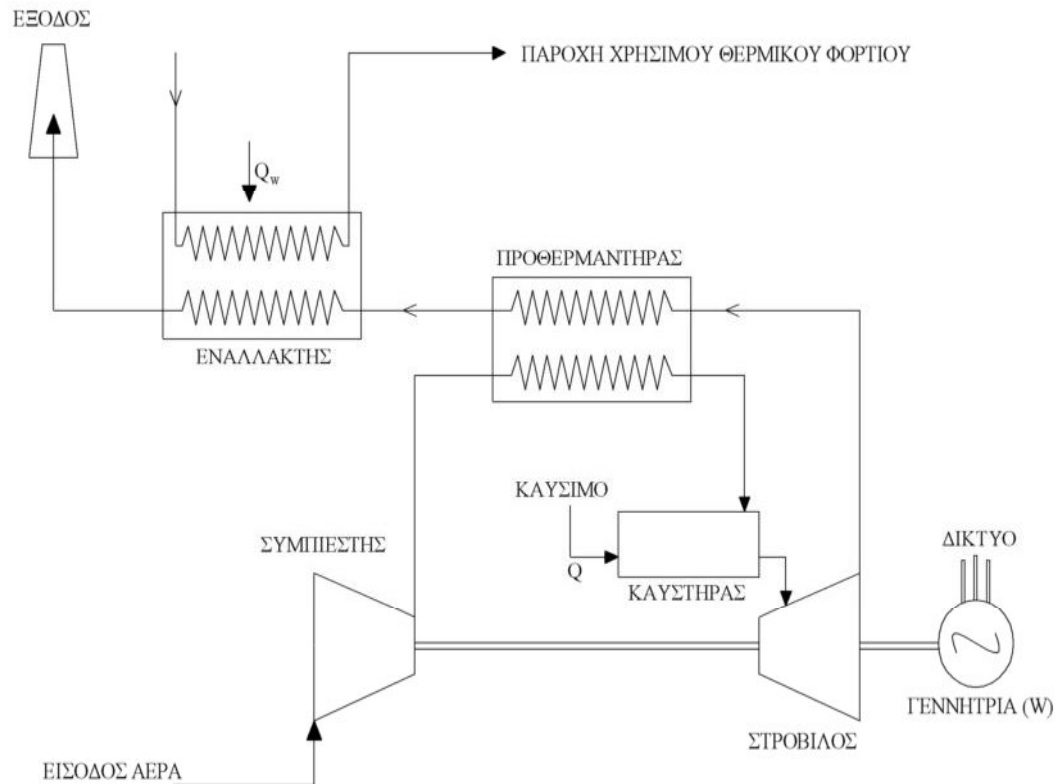
Το σύστημα ΣΗΘ με μικροστρόβιλο είναι κατά κανόνα μονάδα μικρού μεγέθους, υψηλής ταχύτητας και συμπεριλαμβάνει τον αεριοστρόβιλο (gas turbine), το συμπιεστή (compressor), τη γεννήτρια και τα ηλεκτρονικά ισχύος για τη σύνδεσή τους με το δίκτυο.

Τυπικά, λειτουργεί με καύσιμο το φυσικό αέριο, αλλά δέχεται για τη λειτουργία της και άλλα βιομηχανικά καύσιμα, όπως προπάνιο, ελαφρύ πετρέλαιο (diesel) και κηροζίνη.

Κατά τη λειτουργία της μηχανής, ο αέρας εισέρχεται στο συμπιεστή και μετά από τη συμπίεσή του διέρχεται από τον προθερμαντήρα, όπου η θερμοκρασία αυξάνεται από τα καυσαέρια εκτόνωσης. Στη συνέχεια, ο αέρας εισέρχεται στον καυστήρα, όπου αναμειγνύεται με το καύσιμο, το οποίο αναφλέγεται και καίγεται. Ο αναφλεκτήρας (ignitor) χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και κατόπιν η φλόγα είναι αυτοσυντηρούμενη. Τα αέρια μετά την καύση διέρχονται από το στρόβιλο μετατρέποντας τη θερμική ενέργεια σε μηχανική. Τα αέρια που εξέρχονται από το στρόβιλο διέρχονται από τον αναθερμαντήρα και στη συνέχεια

στον εναλλάκτη θερμότητας (θερμαντική στήλη) για την πρόσδοση θερμότητας και τη θέρμανση νερού.

Στο σχήμα 3.11 απεικονίζεται η διάταξη και ο τρόπος λειτουργίας του μικροστροβίλου.



Σχήμα 3.11 : Διάταξη και τρόπος λειτουργίας μικροστροβίλου

Τα συστήματα ΣΗΘ με μικροστροβίλους:

- κατασκευάζονται για ισχύ 25 έως 200 kW
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 25÷35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-50% (στην περίπτωση της εγκατάστασης συστήματος ανάκτησης θερμότητας έως και 65%) και ολικό βαθμό απόδοσης 70÷85%,
- ο λόγος PHR είναι 0,6÷0,8 και
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 έτη.

3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

3.3.1 Γενικά

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

3.3.2 Συστήματα Συμπαράγωγής Συνδυασμένου Κύκλου Rankine - Joule

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι εκείνα με συνδυασμό αεριοστροβίλου - ατμοστροβίλου (κύκλοι Joule - Rankine). Το Σχήμα 3.12 δείχνει τα βασικά στοιχεία ενός τέτοιου συστήματος, ενώ το Σχήμα 3.13 απεικονίζει λεπτομερέστερα ένα σύγχρονο σύστημα δύο πιέσεων ατμού και δίνει τα κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά του. Η παραγωγή ατμού σε δύο ή και τρεις διαφορετικές πιέσεις κάνει την εγκατάσταση πιο περίπλοκη, αλλά αυξάνει τον βαθμό απόδοσης. Χρησιμοποιείται στις μεγάλες μονάδες.

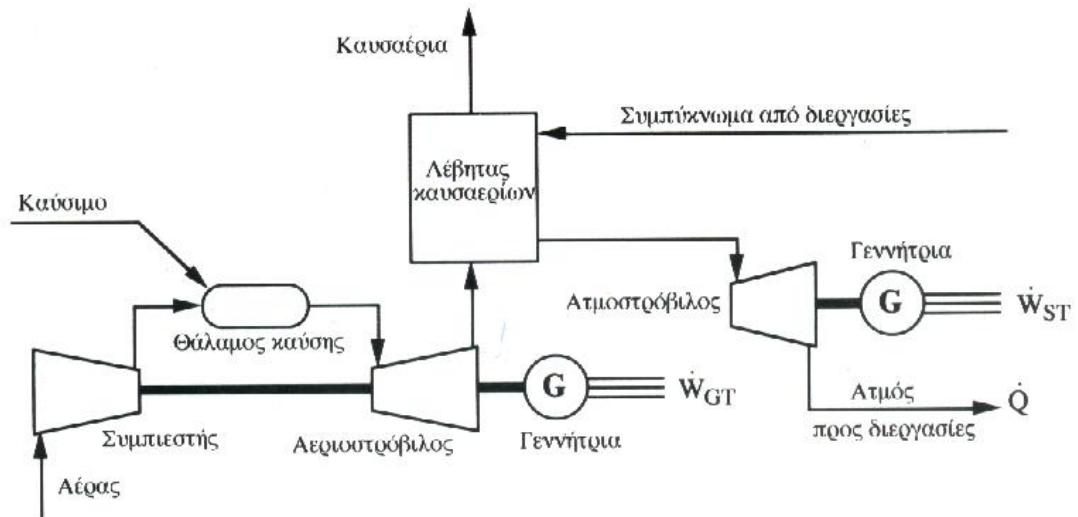
Η υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια του αεριοστροβίλου (περίπου 17%) επιτρέπει την καύση συμπληρωματικού καυσίμου στον λέβητα καυσαερίων, εάν κριθεί αναγκαία για την αύξηση ισχύος του συστήματος. Η συμπληρωματική καύση αυξάνει τον βαθμό απόδοσης του συστήματος κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο,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

Η ισχύς των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου κυμαίνεται συνήθως στην περιοχή 20-400 MW, ενώ κατασκευάζονται επίσης και μικρότερες μονάδες με ισχύ 4-11 MW. Η συγκέντρωση ισχύος (ισχύς ανά μονάδα όγκου) των συστημάτων αυτών είναι υψηλότερη από τη συγκέντρωση ισχύος των συστημάτων απλού κύκλου αεριοστροβίλου (Joule) ή ατμοστροβίλου (Rankine). Ως προς τα καύσιμα ισχύει ότι αναφέρθηκε για τα συστήματα αεριοστροβίλου.

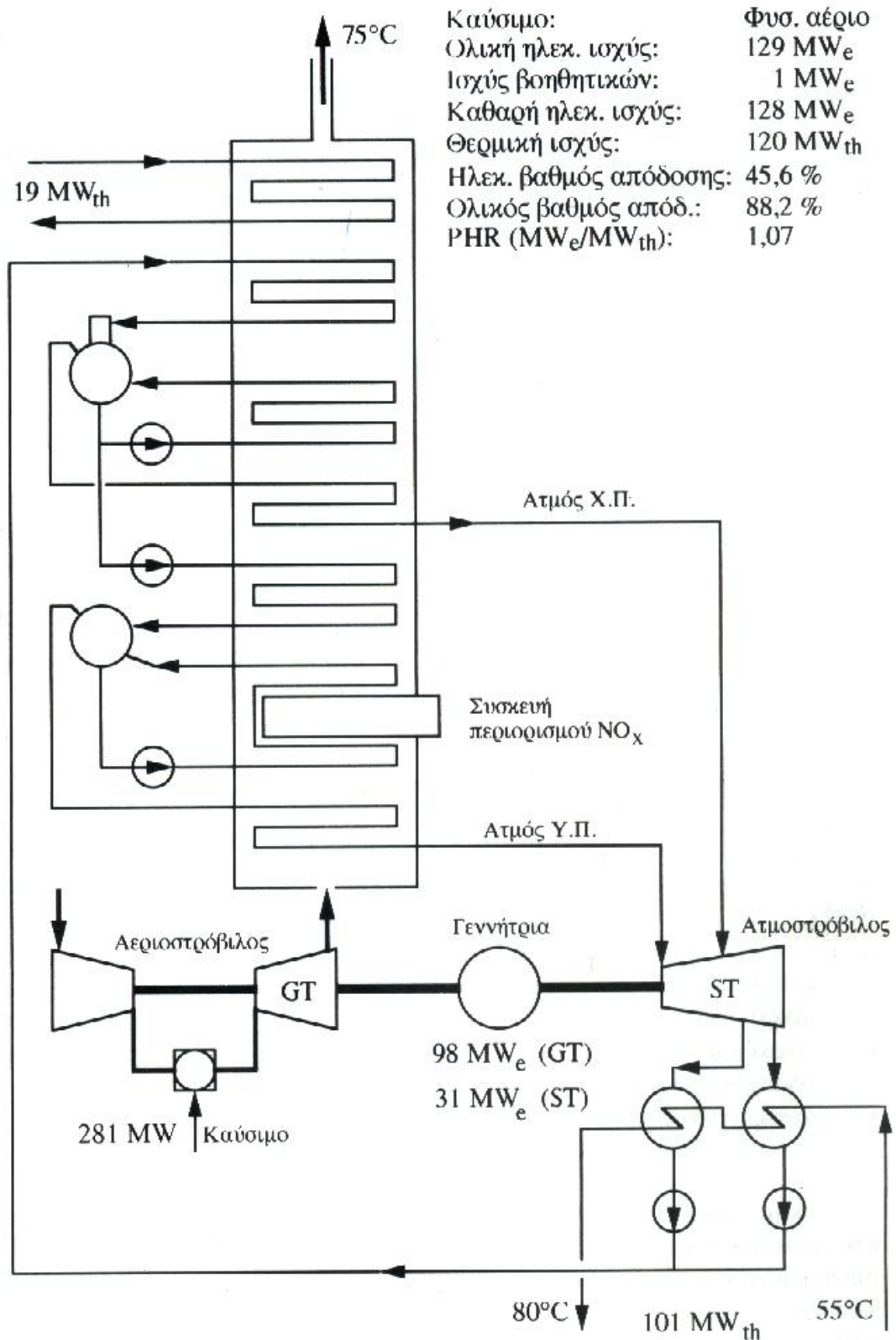
Ο χρόνος εγκατάστασης είναι 2-3 έτη. Είναι δυνατή η ολοκλήρωση της εγκατάστασης σε δύο πεδία: Εγκαθίσταται πρώτα η μονάδα αεριοστροβίλου, που μπορεί να είναι έτοιμη για λειτουργία σε 12-18 μήνες. Ενώ αυτή λειτουργεί, συμπληρώνεται το σύστημα με τη μονάδα του ατμοστροβίλου.

Η αξιοπιστία των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου είναι 80-85 %, η μέση ετήσια διαθεσιμότητα 77-85% και ο οικονομικός χρόνος ζωής 15-25 έτη. Είναι επίσης δυνατός ο συνδυασμός κύκλου Diesel με κύκλο Rankine. Η διάταξη μοιάζει με εκείνη του Σχήματος 3.12, όπου η μονάδα συμπιεστή - θαλάμου καύσης -

αεριοστρόβιλου αντικαθίσταται από τον κινητήρα Diesel και τους εναλλάκτες θερμότητας που τον συνοδεύουν.



Σχήμα 3.12: Σύστημα συμπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης



Σχήμα 3.13 : Διάγραμμα ροής σύγχρονου συστήματος συνδυασμένου κύκλου με ατμοστρόβιλο απομάστευσης(ASEA STAL) [IEA,1988]

3.3.3 Συστήματα συμπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου Diesel-Rankine

Είναι επίσης δυνατό να συνδυαστεί ο κύκλος diesel με τον κύκλο Rankine. Η ρύθμιση είναι παρόμοια με αυτήν που διευκρινίζεται στα παραπάνω σχήματα, με τη διαφορά ότι η μονάδα συμπιεστή - θαλάμου καύσης - αεριοστροβίλου αντικαθίσταται από τον κινητήρα Diesel και τους εναλλάκτες θερμότητας που τον συνοδεύουν.

Η προσθήκη του κύκλου Rankine είναι οικονομικά εφικτή σε μηχανές μέσης και μεγάλης ισχύος. Η συμπληρωματική τροφοδοσία στο λέβητα αερίου είναι επίσης δυνατή. Δεδομένου ότι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο στα προϊόντα της καύσης μιας μηχανής diesel είναι χαμηλή, ο ανεφοδιασμός του πρόσθετου αέρα στο λέβητα είναι απαραίτητος.

3.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

3.4.1 Κατηγορίες μηχανών εσωτερικής καύσης

Οι μηχανές εσωτερικής καύσεως έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης, ακόμη και στα μικρά μεγέθη. Είναι διαθέσιμες σε ένα μεγάλο εύρος ισχύος 75 kW –50 MW. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα ευρύ φάσμα αέριων και υγρών καυσίμων, και η διαθεσιμότητα τους αγγίζει το 80–90%. Αυτά τα χαρακτηριστικά τις έχουν κάνει την πρώτη επιλογή, μέχρι τώρα, για τις εφαρμογές συμπαραγωγής στον τριτογενή τομέα, καθώς επίσης και στο βιομηχανικό τομέα.

Ένας τρόπος να ταξινομηθούν τα συστήματα αυτά είναι βασισμένος στον κύκλο που χρησιμοποιεί η κάθε μηχανή εσωτερικής καύσης:

- κύκλος Otto. Σε μια μηχανή που λειτουργεί με κύκλο Otto, ένα μίγμα αέρα και καυσίμου συμπιέζονται σε κάθε κύλινδρο και η ανάφλεξη προκαλείται από έναν εξωτερικά παρεχόμενο σπινθήρα.
- κύκλος Diesel Σε μια μηχανή Diesel, μόνο ο αέρας συμπιέζεται στον κύλινδρο και τα καύσιμα, που εγχέονται στον κύλινδρο προς το τέλος του κτυπήματος συμπίεσης, αναφλέγονται αυθόρμητα λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του συμπιεσμένου αέρα.

Τα κύρια μηχανικά μέρη των μηχανών κύκλου Otto και Diesel είναι τα ίδια. Και οι δύο χρησιμοποιούν ένα κυλινδρικό θάλαμο καύσης κατά μήκος του οποίου κινείται ένα κατάλληλο εφαρμοσμένο έμβολο. Το έμβολο συνδέεται σε ένα στροφαλοφόρο άξονα που μετασχηματίζει τη γραμμική κίνηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο σε περιστροφική κίνηση στο στροφαλοφόρο άξονα. Οι περισσότερες μηχανές διαθέτουν πολλαπλούς κυλίνδρους που κινούν ένα κοινό στροφαλοφόρο άξονα. Τόσο οι μηχανές κύκλου Otto όσο και οι μηχανές κύκλου Diesel ολοκληρώνουν τον

κύκλο λειτουργίας τους σε τέσσερις κινήσεις του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο. Οι κινήσεις αυτές περιλαμβάνουν :

1. εισαγωγή του αέρα ή του μίγματος αέρα – καυσίμου στον κύλινδρο
2. συμπίεση με καύση του καυσίμου
3. επιτάχυνση του εμβόλου από τη δύναμη της καύσης
4. αποβολή των προϊόντων της καύσης από τον κύλινδρο

Μια άλλη ταξινόμηση είναι βασισμένη στο μέγεθος της μηχανής:

Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Μονάδες μικρής κλίμακας με αεριομηχανή (15-1000 kW) ή κινητήρα Diesel (75-1000 kW),
2. Συστήματα μέσης ισχύος (1000-6000 kW) με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel,
3. Συστήματα μεγάλης ισχύος (άνω των 6000 kW) με κινητήρα Diesel.

Αεριομηχανές (Gas engines) ονομάζονται οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με αέριο καύσιμο, π.χ., φυσικό αέριο, βιοαέριο, κ.λπ.

Εμπορικά είναι διαθέσιμοι οι ακόλουθοι τύποι αεριομηχανών.

- **Βενζινοκινητήρες αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές.** Είναι συνήθως μικρές μηχανές (15-30 kW), ελαφρές, με μεγάλη συγκέντρωση ισχύος. Η μετατροπή πολύ λίγο επηρεάζει τον βαθμό απόδοσης, ενώ μειώνει την ισχύ κατά 18% περίπου. Χάρη στη μαζική παραγωγή οι τιμές τους είναι χαμηλές αλλά η διάρκεια ζωής τους είναι σχετικά μικρή (1000-3000 ώρες).
- **Κινητήρες Diesel αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές.** Έχουν ισχύ μέχρι 200 kW. Η μετατροπή επιτυγχάνεται με τροποποιήσεις των εμβόλων, των κεφαλών και του μηχανισμού των βαλβίδων, που επιβάλλονται από το ότι η έναυση δεν γίνεται πλέον με απλή συμπίεση αλλά με σπινθηριστή. Η μετατροπή συνήθως δεν προκαλεί μείωση της ισχύος, καθώς υπάρχει περιθώριο μείωσης της περίσσειας αέρα.
- **Σταθερές μηχανές¹ που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές ή που έχουν από την αρχή σχεδιασθεί ως αεριομηχανές.** Οι μηχανές αυτές είναι βαριές και στιβαρές. Κατασκευάζονται για εφαρμογές στη βιομηχανία και στα πλοία. Η ισχύς τους φθάνει 3000 kW. Η ανθεκτική κατασκευή τους μειώνει τις απαιτήσεις συντηρήσεων αλλά αυξάνει το κόστος αγοράς τους. Είναι μηχανές κατάλληλες για συνεχή λειτουργία σε υψηλό φορτίο.
- **Σταθερές μηχανές διπλού καυσίμου.** Είναι κινητήρες Diesel ισχύος μέχρι 6000 kW. Το καύσιμο αποτελείται κατά 90% από φυσικό αέριο, η έναυση

¹ Λέγονται σταθερές μηχανές (stationary engines) σε αντιδιαστολή από τις μηχανές αυτοκινήτων, τραινών, πλοίων, κ.λπ., που είναι κινητές, δηλ. μεταφερόμενες.

του οποίου γίνεται όχι με σπινθηριστή αλλά με έγχυση υγρού καυσίμου Diesel (που αποτελεί το υπόλοιπο 10% της προσφερόμενης ενέργειας). Έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να λειτουργούν είτε με φυσικό αέριο είτε με καύσιμο Diesel, το οποίο βέβαια αυξάνει το κόστος αγοράς και συντήρησης. Οι κινητήρες Diesel διακρίνονται σε ταχύστροφους, μεσόστροφους και βραδύστροφους.

Ο Πίνακας 3.1 δίνει τα όρια ταχύτητας περιστροφής και ισχύος για τον κάθε τύπο, χωρίς τα όρια αυτά να είναι απόλυτα αυστηρά.

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά κινητήρων Diesel

Τύπος	Ταχύτητα (RPM)	Ισχύς (kW)	Εφαρμογές
Ταχύστροφος	1200 – 3600	75 – 1.500	Αυτοκίνητα-Πλοία
Μεσόστροφος	500 – 1200	500 – 15.000	Πλοία-Σιδηρόδρομος
Βραδύστροφος	100 – 180	2000 – 40.000	Πλοία-Βιομηχανία

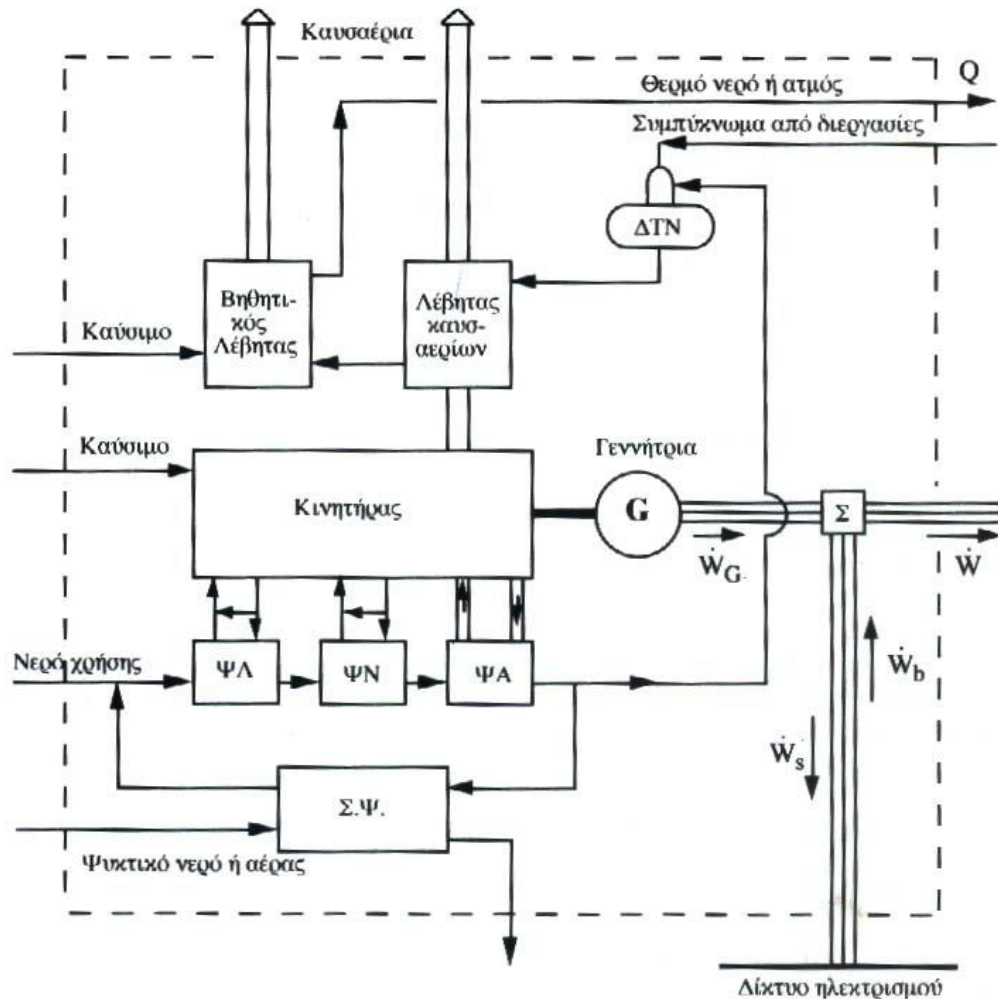
Κατάλληλα καύσιμα είναι όλα τα αποστάγματα πετρελαίου (τα βαρύτερα για τους μεγαλύτερους κινητήρες). Οι μεγάλοι βραδύστροφοι κινητήρες μπορούν να καύσουν ακόμη και κατάλοιπα από την απόσταξη του πετρελαίου (residuals).

Όπως και στην περίπτωση των αεριοστροβίλων, τα καυσαέρια των κινητήρων βρίσκουν είτε άμεση είτε έμμεση χρήση. Η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι 300-400°C, δηλ. αισθητά χαμηλότερη από εκείνη του αεριοστροβίλου, γι' αυτό και κάνει πιο συχνή την ανάγκη για συμπληρωματική θερμότητα. Αυτή αποκτάται είτε με τοποθέτηση καυστήρα και προσαγωγή αέρα για καύση συμπληρωματικού καυσίμου στον λέβητα καυσαερίων (ή στον κλίβανο της θερμικής διεργασίας), είτε με εγκατάσταση βοηθητικού λέβητα. Οι μεγάλοι κινητήρες προσφέρουν τη δυνατότητα συνδυασμένου κύκλου.

Το Σχήμα 3.14 απεικονίζει ένα γενικό διάγραμμα ροής τέτοιου συστήματος, χωρίς να αποτελεί τη μόνη δυνατή διάταξη. Ο κινητήρας κινεί τη γεννήτρια. Τέσσερις εναλλάκτες ανακτούν θερμότητα από ρευστά που έχουν σχέση λειτουργία της μηχανής: ψυγείο λαδιού, ψυγείο νερού (του κλειστού κυκλώματος του κινητήρα), ψυγείο αέρα υπερπλήρωσης και εναλλάκτης ανακομιδής θερμότητας από τα καυσαέρια του κινητήρα (ή λέβητας καυσαερίων). Με τη θερμότητα αυτή θερμαίνεται το νερό που προορίζεται για διάφορες χρήσεις. Σε συστήματα μέσης και μεγάλης ισχύος, η θερμότητα επαρκεί και για την παραγωγή ατμού. Οι μικροί κινητήρες δεν έχουν ψυγείο λαδιού. Εξάλλου, όταν ο κινητήρας δεν είναι εφοδιασμένος με στροβιλοπληρωτή (σε μονάδες προς το κάτω όριο της περιοχής ισχύος), δεν υπάρχει ψυγείο αέρα υπερπλήρωσης.

Η συγκέντρωση ισχύος του κινητήρα αυξάνει με υπερπλήρωση του θαλάμου καύσης. Ο στροβιλοπληρωτής (λέγεται και ζεύγος υπερπλήρωσης) αποτελείται από αεριοστρόβιλο, που κινείται με τα καυσαέρια του κινητήρα και κινεί φυγοκεντρικό αεροσυμπιεστή. Εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας εξόδου από τον στροβιλοπληρωτή (120-140°C), ο αέρας έχει χαμηλή πυκνότητα. Για να αυξηθεί ο

βαθμός πληρότητας των κυλίνδρων, ο αέρας ψύχεται σε ειδικό ψυγείο, προσφέροντας θερμότητα στο νερό χρήσης.



Σχήμα 3.14: Σύστημα συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις από πλευράς θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από το ψυγείο: χαμηλή θερμοκρασία (περίπου 45°C), ή υψηλή θερμοκρασία (περίπου 90°C). Η χαμηλή θερμοκρασία συντελεί σε υψηλότερο βαθμό πληρότητας και επομένως υψηλότερη συγκέντρωση ισχύος. Όμως, η ανακτώμενη θερμότητα βρίσκει περιορισμένη χρήση, διότι το νερό στην έξοδο του ψυγείου έχει χαμηλή θερμοκρασία ($30\text{-}35^{\circ}\text{C}$). Η λύση αυτή μπορεί να επιλεγεί όταν υπάρχει ανάγκη προθέρμανσης νερού, που έρχεται στο σύστημα με θερμοκρασία $20\text{-}25^{\circ}\text{C}$. εάν το νερό έρχεται στο σύστημα με θερμοκρασία $60\text{-}70^{\circ}\text{C}$, όπως συμβαίνει, π.χ. στα δίκτυα κεντρικής θέρμανσης, τότε η λύση της υψηλής θερμοκρασίας είναι προτιμότερη από πλευράς εκμεταλλεύσεως της ενέργειας του καυσίμου, καθώς αυξάνει τον ολικό βαθμό απόδοσης του συστήματος κατά 3-5 %. Η θερμοκρασιακή στάθμη επηρεάζει τη σχετική ως προς τη ροή του νερού τοποθέτηση των τριών ψυγείων (λαδιού, νερού και αέρα).

Με ανάκτηση θερμότητας από τα τρία ψυγεία, το νερό θερμαίνεται μέχρι τους $75\text{-}80^{\circ}\text{C}$. Κατόπιν έρχεται στον εναλλάκτη ανακομιδής θερμότητας των καυσαερίων,

όπου θερμαίνεται μέχρι τους $85-90^{\circ}\text{C}$ ή και ατμοποιείται. Μονάδες μεσαίου μεγέθους παράγουν κορεσμένο ατμό $180-200^{\circ}\text{C}$, ενώ μεγάλες μονάδες μπορούν να δώσουν υπέρθερμο ατμό με πίεση $15-20\text{ bar}$ και θερμοκρασία $250-350^{\circ}\text{C}$.

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

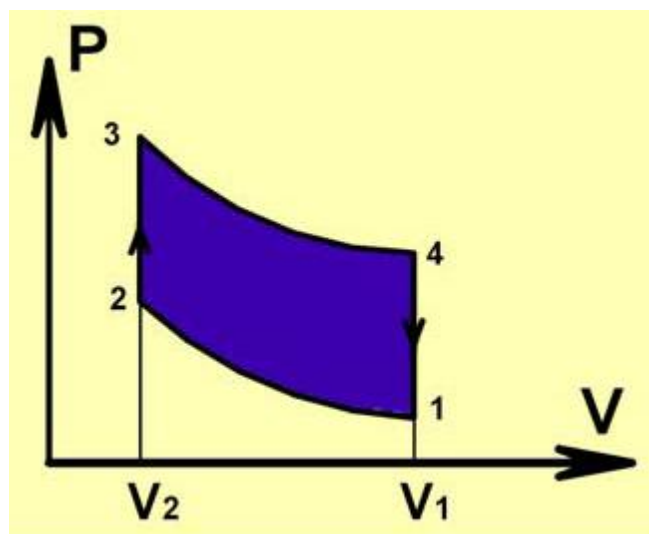
Ο βαθμός απόδοσης μικρών και μεσαίων κινητήρων είναι $35-45\%$, ενώ σε σύγχρονους μεγάλους κινητήρες φθάνει το 50% . Ο βαθμός απόδοσης ενός συστήματος συμπαραγωγής με εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσης βρίσκεται στην περιοχή του 80% .

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

3.4.2 Κύκλος Otto

Διάφορες μηχανές μπορούν να προσομοιωθούν από τον κύκλο του Otto όπως είναι οι μηχανές βενζίνης και οι μηχανές αερίου. Ο κύκλος του Otto είναι ένας ιδανικός τυποποιημένος κύκλος του αέρα που αποτελείται από τέσσερα στάδια :

- 1 έως 2 : Ισεντροπική συμπίεση
- 2 έως 3 : Αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερό όγκο
- 3 έως 4 : Ισεντροπική εκτόνωση
- 4 έως 1 : Αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο



Σχήμα 3.15 : Διάγραμμα P-V ενός κύκλου Otto

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης ενός κύκλου Otto με ένα τέλειο αέριο ως ενεργειακό ρευστό είναι :

$$\eta = \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (2-15)$$

ενώ αποδεικνύεται ότι η ανωτέρω σχέση μπορεί να αναχθεί στην ακόλουθη :

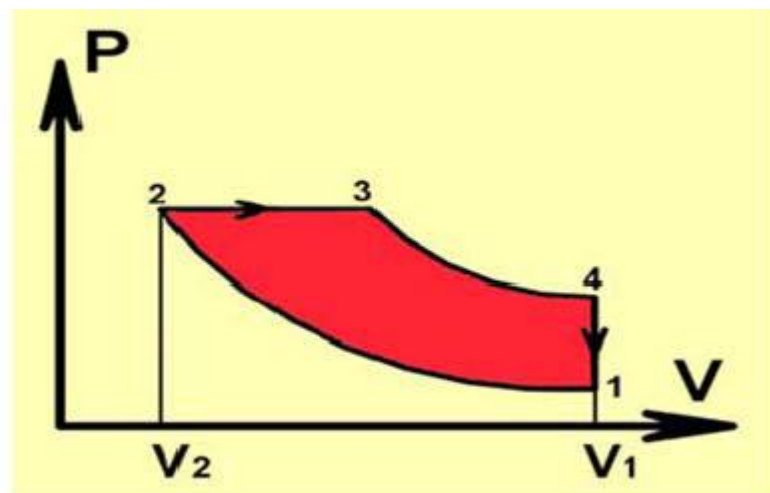
$$\eta = 1 - r^{-\gamma} \quad (2-16)$$

όπου $r(=V_1/V_2)$ είναι ο λόγος συμπίεσης, και $\gamma(=1-\gamma)$ μια σταθερά που εξαρτάται από την ειδική θερμοχωρητικότητα.

3.4.3 Κύκλος Diesel

Ο κύκλος Diesel είναι ένας ιδανικός τυποποιημένος κύκλος του αέρα που αποτελείται επίσης από τέσσερα στάδια :

- 1 έως 2 : Ισεντροπική συμπίεση
- 2 έως 3 : Αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερή πίεση
- 3 έως 4 : Ισεντροπική εκτόνωση
- 4 έως 1 : Αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο



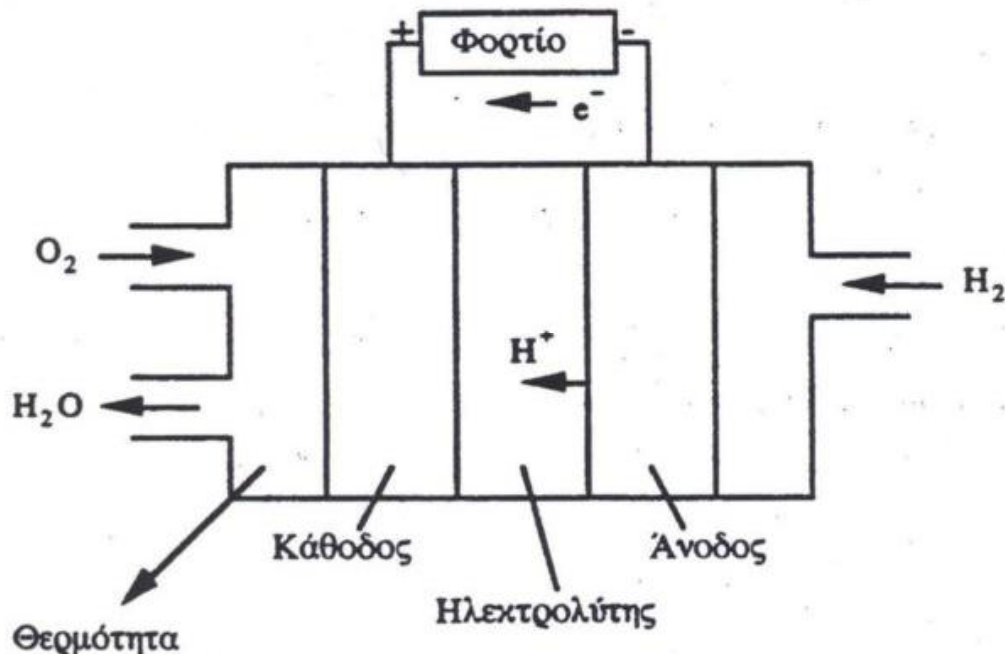
Σχήμα 3.16 : Διάγραμμα P-V ενός κύκλου Diesel

3.5 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η κυψέλη καυσίμου (fuel cell)² είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή, που μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρισμό χωρίς τη μεσολάβηση της καύσης.

² Ο αγγλικός όρος "fuel cell" έχει αποδοθεί στα ελληνικά με τους όρους "στοιχείο καυσίμου" και (σπανιότερα) "κελλίο καυσίμου", χωρίς κανείς από τους δύο να

Στη βασική της μορφή λειτουργεί ως εξής: υδρογόνο και οξυγόνο αντιδρούν με την παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσεται ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που προκαλεί ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο). Καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα. Στο σχήμα 3.17 παρουσιάζεται μια απλή διάταξη κυψέλης καυσίμου.



Σχήμα 3.17 : Απλή διάταξη κυψέλης καυσίμου

Το απαιτούμενο υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα και συνήθως μεθάνιο (CH_4), που αποτελεί το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου. Ορισμένοι τύποι κυψελών μπορούν να λειτουργήσουν επίσης και διοξείδιο του άνθρακα ή υδρογονάνθρακες.

Πρόκειται για τεχνολογία που βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης. Δεν είναι πλατιά γνωστή και διαδεδομένη ακόμη αλλά έχει πολύ καλές προοπτικές εφαρμογών στη συμπαραγωγή.

Από τους διάφορους τύπους κυψελών καυσίμου μόνον οι κυψέλες φωσφορικού οξέως έχουν αναπτυχθεί βαθμό που είναι ήδη κατάλληλες για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και είναι σήμερα εμπορικά διαθέσιμες. Επιδεικτικές μονάδες ισχύος 25 kW - 11 MW έχουν κατασκευασθεί σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες, στις Η.Π.Α. και στην Ιαπωνία. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους (περίπου 200°C) περιορίζει τη θερμοκρασία της ανακτώμενης θερμότητας. Υπάρχουν σήμερα τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής με θερμότητα που είναι διαθέσιμη σε θερμοκρασία $80-90^\circ\text{C}$.

Θεωρείται ιδιαίτερα ικανοποιητικός. Προτείνεται εδώ η ονομασία "κυψέλη καυσίμου", που είναι πιο παραστατική για τη συσκευή αυτή.

Οι κυψέλες καυσίμου είναι κατάλληλες για συμπαραγωγή στον βιομηχανικό και εμπορικό- κτιριακό τομέα (ιδιαίτερα σε συνδυασμό με το φυσικό αέριο). Κύρια πλεονεκτήματά τους είναι τα ακόλουθα:

- αρθρωτή (modular) δομή, που διευκολύνει την κατασκευή μονάδων με την επιθυμητή ισχύ,
- διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης ακόμη και σε μερικό φορτίο (δηλ. φορτίο μικρότερο του ονομαστικού),
- ευκολία αυτοματισμού,
- χαμηλές εκπομπές ρύπων,
- χαμηλή στάθμη θορύβου.

Χάρη στον υψηλό βαθμό απόδοσης και τα καθαρά καύσιμα που χρησιμοποιούνται, οι εκπομπές CO₂ και SO₂ είναι κατά 10-100 φορές χαμηλότερες από εκείνες άλλων συστημάτων. Ειδικότερα, επειδή οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι σημαντικά μικρότερες από εκείνες της καύσης, οι εκπομπές NO_x είναι μικρότερες κατά μία τάξη μεγέθους από τις εκπομπές των συστημάτων που στηρίζονται στην καύση. Οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και η χαμηλή στάθμη θορύβου κάνουν τις κυψέλες καυσίμου πιο κατάλληλες από άλλα συστήματα για εγκατάσταση και λειτουργία σε κατοικημένες περιοχές και σε κτίρια όπως ξενοδοχεία, νοσοκομεία, κ.λπ. Μειονεκτήματα, που εμποδίζουν προς το παρόν την πλατιά διάδοσή τους, είναι:

- το υψηλό κόστος κατασκευής και
- η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής.

Οι προσπάθειες για αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών συνεχίζονται με προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης καθώς και με κατασκευή επιδεικτικών μονάδων.

3.6 ΜΗΧΑΝΕΣ STIRLING (Μηχανές εξωτερικής καύσης)

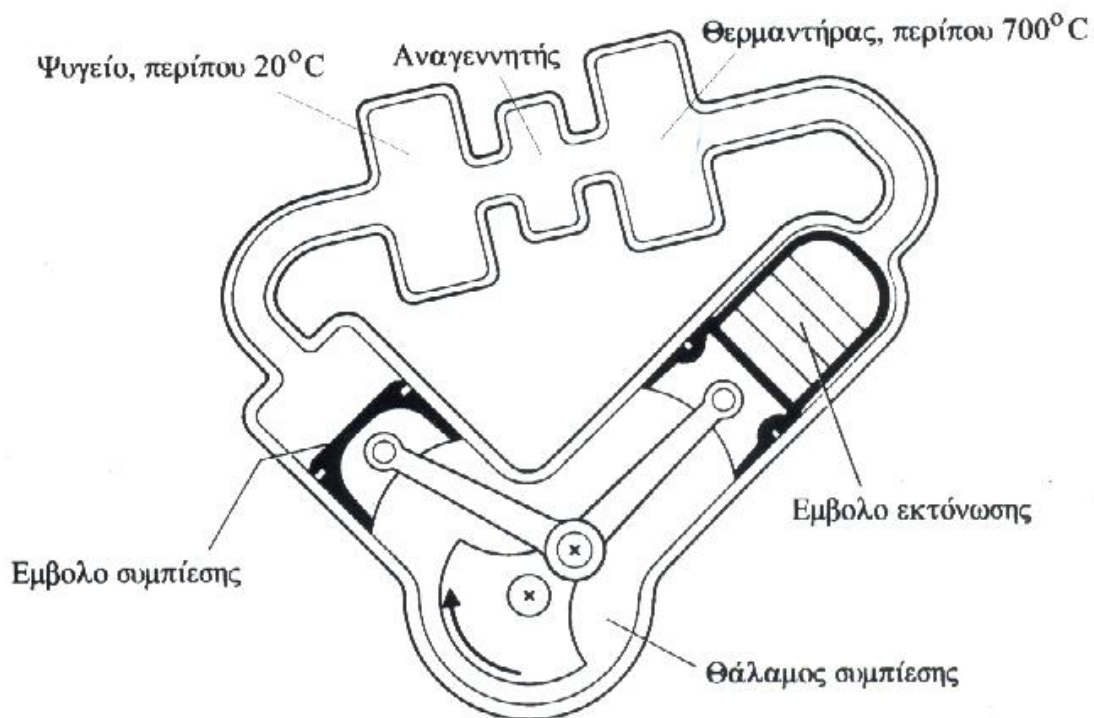
Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι επίσης δυνατή με μηχανές Stirling. Η τεχνική αυτή δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί και διαδοθεί αρκετά, αλλά το ενδιαφέρον για την ανάπτυξή της έχει αυξηθεί τελευταία, χάρη στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σε σύγκριση με συστήματα κινητήρων Diesel, αεριοστροβίλων ή ατμοστροβίλων: δυνατότητα υψηλότερου βαθμού απόδοσης, μεγαλύτερη ευελιξία καυσίμου, καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο, χαμηλές εκπομπές ρύπων, χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.

Αρχικά, η έρευνα και ανάπτυξη είχε ως αντικείμενο κινητήρες ισχύος 3-100 kW, κατάλληλους για αυτοκίνητα. Η προσπάθεια στράφηκε κατόπιν και προς κινητήρες ισχύος μέχρι 1-1,5 MW με αναμενόμενη διάρκεια ζωής της τάξεως των 20 ετών. Καθώς τα συστήματα βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης, δεν υπάρχουν συγκεντρωμένα στοιχεία για τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία τους, αναμένεται όμως ότι θα είναι συγκρίσιμη με εκείνη των κινητήρων Diesel. Χάρη στην εξωτερική

καύση και στον κλειστό κύκλο λειτουργίας, τα κινούμενα μέρη του κινητήρα δεν εκτίθενται στα προϊόντα της καύσης με αποτέλεσμα οι φθορές να είναι περιορισμένες. Όμως, απαιτούνται στεγανωτικές διατάξεις για την αποφυγή διαρροών τόσο του αερίου υψηλής πίεσης προς το εξωτερικό του κυλίνδρου, όσο και του λιπαντικού λαδιού προς το εσωτερικό του κυλίνδρου. Η κατασκευή αποτελεσματικών διατάξεων με ικανοποιητική διάρκεια ζωής είναι ένα από τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπισθούν.

Η εξωτερική καύση στις μηχανές Stirling επιτρέπει η χρήση διαφόρων καυσίμων: υγρά ή αέρια καύσιμα, αέρια ή υγρά προερχόμενα από άνθρακα, καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα, ακόμη και απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επιπλέον, είναι δυνατή η αλλαγή καυσίμου χωρίς διακοπή της λειτουργίας ή μετατροπή των ρυθμίσεων του κινητήρα. Χάρη στην ευελιξία τους, οι μηχανές Stirling μπορούν επίσης να αποτελέσουν στοιχεία ηλιακών ή πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ή συμπαραγωγής.

Το Σχήμα 3.18 αποτελεί μια απλοποιημένη απεικόνιση κινητήρα Stirling. Αέριο (π.χ., υδρογόνο, ήλιο, κλπ) συμπιέζεται και εκτονώνεται σε διάταξη κυλίνδρου- δύο εμβόλων με αποτέλεσμα την περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Το αέριο θερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας χωρίς να συμμετέχει στην καύση (κινητήρας εξωτερικής καύσης).



Σχήμα 3.18 : Απλοποιημένη απεικόνιση κινητήρα Stirling

3.7 ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (“ΠΑΚΕΤΑ”)

Μεγάλη ώθηση στη διάδοση της συμπαραγωγής αναμένεται ότι θα δώσει η μαζική παραγωγή τυποποιημένων μονάδων σε μορφή πακέτου με ηλεκτρική ισχύ 10-1000kW.

3.7.1 Συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία για τη Συμπαραγωγή (ΟΔΗΓΙΑ 2004/8/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 11^{ης} Φεβρουαρίου 2004 για την προώθηση της Συμπαραγωγής ενέργειας βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας και για την τροποποίηση της οδηγίας 92/42/ΕΟΚ»), η οποία έχει πλέον ενσωματωθεί και στην ελληνική νομοθεσία (βλ. και Νόμο 3468/2006), ορίζει ως μικρά συστήματα συμπαραγωγής, μονάδες με ηλεκτρική ισχύ μικρότερη του 1 MWe και πολύ μικρά συστήματα συμπαραγωγής (“μίνι” συμπαραγωγή), μονάδες με ηλεκτρική ισχύ έως 50 kWe.

Τα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής χρησιμοποιούνται συνήθως ως συσκευές θέρμανσης παρέχοντας θέρμανση χώρων και ζεστού νερού χρήσης σε κατοικίες και εμπορικά κτίρια όπως και οι συμβατικοί λέβητες. Αντίθετα όμως με τους λέβητες, τα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής παράγουν ηλεκτρισμό μαζί με θερμότητα σε πολύ υψηλές αποδόσεις εξασφαλίζοντας εξοικονόμηση καυσίμου, μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και μείωση του κόστους λειτουργίας. Οι περισσότερες μονάδες λειτουργούν παράλληλα με το δίκτυο, έτσι ώστε το κτίριο να καλύπτει τις ανάγκες του σε ηλεκτρισμό από το δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά και ταυτόχρονα να πωλεί στο δίκτυο, το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγει. Η θερμότητα από τα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής χρησιμοποιείται είτε για θέρμανση χώρων και νερού, είτε (πιθανόν) για κλιματισμό.

3.7.2 Τεχνολογίες και καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των μικρών σε κλίμακα συστημάτων συμπαραγωγής είναι η ευκολία εγκατάστασης και χρήσης. Παραδίδονται έτοιμα για λειτουργία σε ηχομονωτικό κέλυφος μεγέθους παραπλήσιο με ένα κοινό λέβητα και το μόνο που χρειάζονται είναι συνδέσεις για νερό, ηλεκτρισμό και καύσιμο. Διάφορες συμβατικές και μη τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί για εφαρμογή σε μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής. Ενώ τα παλινδρομικά συστήματα είναι ήδη εμπορικά, οι μηχανές Stirling, οι μικρο-στρόβιλοι αερίου και τα συστήματα ORC (Organic Rankine Cycle Systems) πρόκειται να δοθούν σύντομα στην αγορά, αφού υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός επιτυχημένων επιδεικτικών έργων σε διάφορες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως η Αυστρία. Κυψέλες καυσίμου (πολυμερούς ηλεκτρολύτη και στερεού οξειδίου καυσίμου) είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο, με κάποιο αριθμό πιλοτικών εγκαταστάσεων.

Μέχρι τώρα, η χρήση των συμβατικών καυσίμων (φυσικό αέριο, υγραέριο, πετρέλαιο) είναι συνηθέστερη στα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια διερευνάται η χρήση βιοντίζελ και κραμβέλαιου στις μηχανές ντίζελ. Η ανάπτυξη των συστημάτων συμπαραγωγής μικρής κλίμακας, παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον σε ευαίσθητες οικολογικά περιοχές ιδιαίτερα όταν γίνεται χρήση κραμβέλαιου ή βιοντίζελ, λόγω της εξαιρετικής βιο-αποικοδομισιμότητας και της χαμηλής τοξικότητάς τους. Τέτοιου είδους συστήματα, αφ' ενός μεν, έχουν μεγάλη αποδοτικότητα, αφετέρου δε, δεν παράγουν απευθείας ρύπους (εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα) συμβάλλοντας έτσι στην εξασφάλιση αειφόρου ενέργειας.

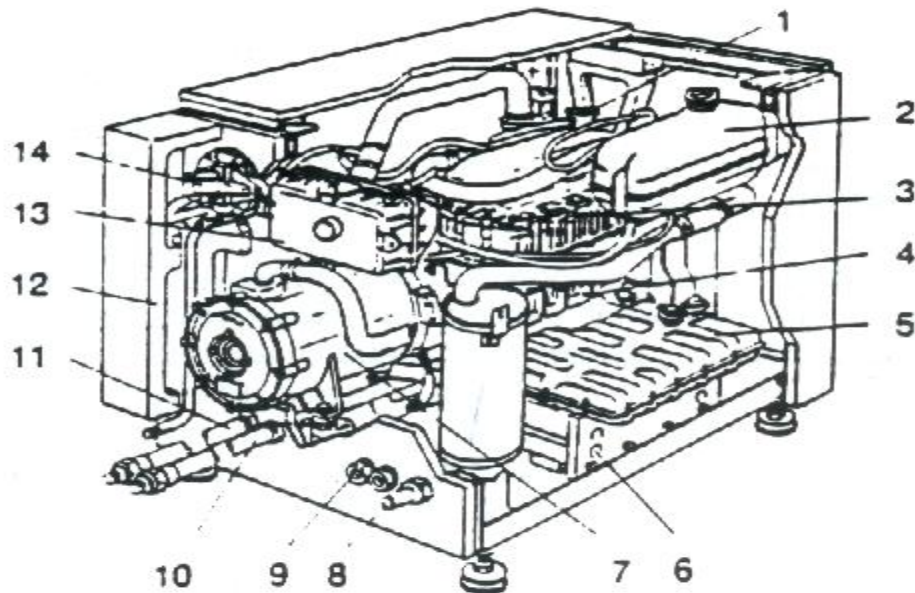
Οι εφαρμογές ψύξης, που βασίζονται σε μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής και συστήματα απορρόφησης, χρήζουν ευρύτερης διερεύνησης, ώστε τελικά να γίνουν γνωστές στις ανταγωνιστικές αγορές.

3.7.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά "πακέτων"

Στα πακέτα συμπαραγωγής με παλινδρομικό κινητήρα το 27-35% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και το 50-55% σε θερμότητα. Επομένως, ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι 0,5-0,7, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης φτάνει το 80%. Η συντήρησή τους είναι απλή, π.χ. ένα micro-chp σύστημα γνωστής εταιρείας χρειάζεται συντήρηση κάθε 3.500 ώρες λειτουργίας.

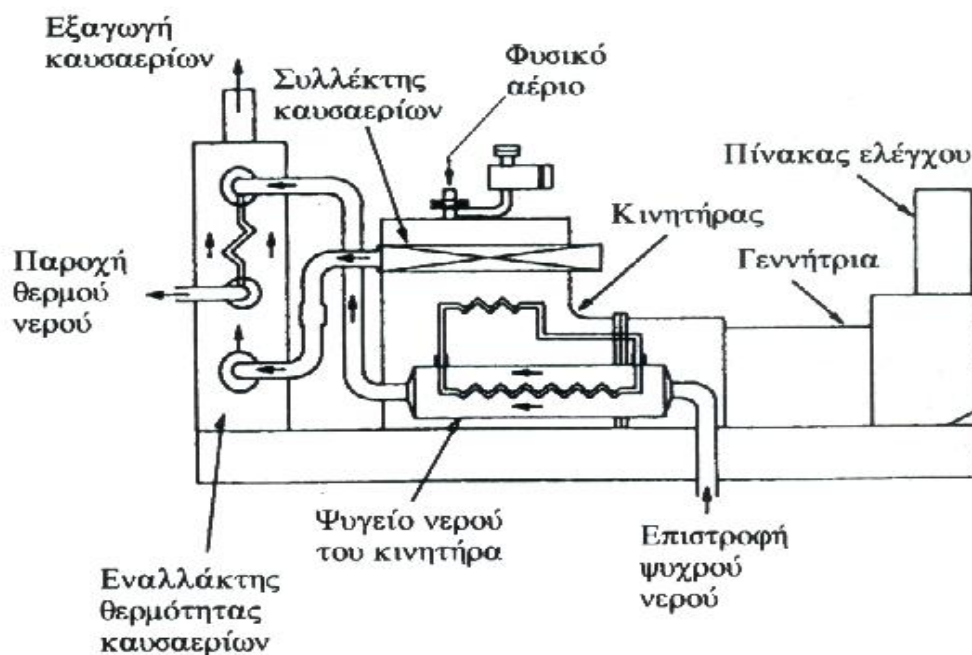
Καθώς η διάδοση των μονάδων αυτών έχει αρχίσει σχετικά πρόσφατα, δεν υπάρχουν πολλά δημοσιευμένα στοιχεία γύρω από την αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητά τους. Σχετική μελέτη έδειξε έναν μέσο όρο διαθεσιμότητας 79% με τυπική απόκλιση 22,9%. Η διαθεσιμότητα των μονάδων με επιμελημένη κατασκευή και συντήρηση φτάνει το 90%. Σημαντική συμβολή στο σημείο αυτό έχει ο αυτόματος έλεγχος της λειτουργίας των μονάδων. Μικροεπεξεργαστές, εγκατεστημένοι στο χώρο όπου βρίσκεται η μονάδα, παρακολουθούν τις τιμές κρίσιμων παραμέτρων και μεταβιβάζουν τις σχετικές πληροφορίες, μέσω αποκλειστικής τηλεφωνικής γραμμής, σε κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή. Όταν η εξέλιξη των τιμών ορισμένων παραμέτρων δείχνει επερχόμενη βλάβη, ειδοποιείται η ομάδα συντήρησης, που επεμβαίνει πριν ακόμη η βλάβη εκδηλωθεί.

Τα σχήματα 3.19,3.20 δείχνουν μικρές μονάδες



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

Σχήμα 3.19: Τυποποιημένη μονάδα συμπαραγωγής Fiat TOTEM 15 kW



Σχήμα 3.20 : Σχηματική απεικόνιση τυποποιημένης μονάδας συμπαραγωγής παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης [Jennekens,1989]

4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

4.1 ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Η ενεργειακή συμπεριφορά των συστημάτων συμπαραγωγής περιγράφεται με ορισμένους χαρακτηριστικούς δείκτες.

Στους ορισμούς που ακολουθούν, χρησιμοποιούνται τα εξής σύμβολα:

W : ηλεκτρική (ή μηχανική) ισχύς,

Q : θερμική ισχύς,

$H_{f\Sigma}$: ισχύς καυσίμου που καταναλίσκεται από το σύστημα συμπαραγωγής:

$$H_{f\Sigma} = m_f H_u \quad (1)$$

m_f : παροχή καυσίμου,

H_u : κατώτερη θερμογόνος ικανότητα καυσίμου,

H_{fW} : ισχύς καυσίμου για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ισχύος,

H_{fQ} : ισχύς καυσίμου για τη χωριστή παραγωγή θερμότητας Q ,

H_{fX} : ολική ισχύς καυσίμου (ή καυσίμων) για τη χωριστή παραγωγή των W και Q (δηλαδή χωρίς συμπαραγωγή):

$$H_{fX} = H_{fW} + H_{fQ} = (m_f H_u)W + (m_f H_u)Q \quad (2)$$

E_Q : ροή θερμικής εξέργειας που αντιστοιχεί στη θερμική ισχύ Q ,

E_f : ροή εξέργειας καυσίμου:

$$E_f = m_f E_f \quad (3)$$

E_f : ειδική εξέργεια καυσίμου.

Ορίζονται στη συνέχεια οι σημαντικότεροι δείκτες.

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης

(ή μηχανικός, εάν πρόκειται για παραγωγή μηχανικού έργου):

$$\eta_e = W/H_{f\Sigma} \quad (4)$$

Θερμικός βαθμός απόδοσης:

$$\eta_h = Q/H_{f\Sigma} \quad (5)$$

Ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης:

$$\eta = \eta_e + \eta_h = (W + Q) / H_{f\Sigma} \quad (6)$$

Ολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης:

$$\zeta = (W + E_Q) / E_{f\Sigma} \quad (7)$$

Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (power to heat ratio):

$$PHR = W/Q \quad (8)$$

Λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου (*fuel energy savings ratio*):

$$FESR = (H_{fX} - H_{fZ}) / H_{fX} \quad (9)$$

Όπως προκύπτει από τους ορισμούς τους, τα μεγέθη η_e και PHR συνδέονται με τη Σχέση

$$\eta = \eta_e (1 + 1/PHR) \quad (10)$$

που επίσης γράφεται

$$PHR = \eta_e / (\eta - \eta_e) = \eta_e / \eta_h \quad (11)$$

Οι σχέσεις αυτές βοηθούν στον προσδιορισμό αποδεκτών τιμών του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα PHR, όταν η τιμή του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης η_e είναι γνωστή, δεδομένου ότι ο ολικός βαθμός απόδοσης δεν ξεπερνά το 85-88%.

Παράδειγμα :

Εάν είναι $\eta_e = 0,40$ και $0,65 < \eta < 0,90$
τότε $1,6 > PHR > 0,8$

εάν θεωρηθεί ότι το σύστημα συμπαραγωγής αντικαθιστά χωριστές μονάδες ηλεκτρισμού και θερμότητας με βαθμούς απόδοσης η_w και η_Q αντίστοιχα, όπου

$$\eta_w = W / H_{fW} \text{ και } \eta_Q = Q / H_{fQ} \quad (12)$$

τότε αποδεικνύεται ότι

$$FESR = 1 - [(PHR + 1) / \eta * (PHR/\eta_w + 1/\eta_Q)] \quad (13)$$

Ως παράδειγμα εφαρμογής ας θεωρηθεί το εξής:

Σύστημα συμπαραγωγής με ολικό βαθμό απόδοσης $\eta = 0,80$ και λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα $PHR = 0,6$ αντικαθιστά συμβατικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής βαθμού απόδοσης $\eta_w = 0,35$ και λέβητα βαθμού απόδοσης $\eta_Q = 0,80$. Τότε η εξίσωση (13), δίνει τον λόγο εξοικονόμησης καυσίμου $FESR = 0.325$, δηλαδή με τη συμπαραγωγή η κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 32,5%.

4.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

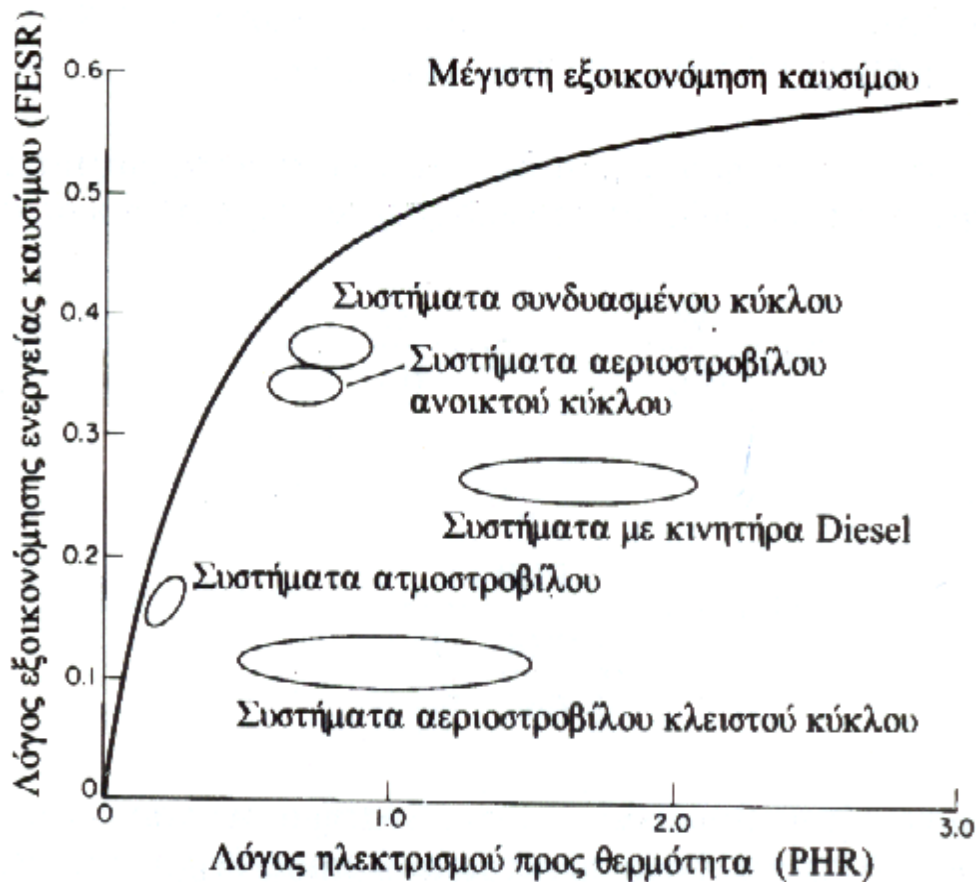
Το Σχήμα 4.1 δείχνει τις περιοχές τιμών του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα, PHR, και του λόγου εξοικονόμησης καυσίμου, FESR, για τους πέντε βασικούς τύπους συστημάτων συμπαραγωγής. Τα όρια των περιοχών αυτών δεν είναι απόλυτα αυστηρά αλλά μπορούν μέχρις ένα βαθμό να μεταβληθούν με πρόσθετο εξοπλισμό. Για τον λόγο αυτόν, το Σχήμα 4.1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνον για μια πρώτη ένδειξη του είδους συστήματος, που θα ήταν κατάλληλο για κάποια εφαρμογή. Η

τελική επιλογή πρέπει να στηριχθεί στις προδιαγραφές των μηχανημάτων που δίνουν οι κατασκευαστές.

Ακολουθούν αναλυτικότερα στοιχεία για τους διάφορους τύπους συστημάτων συμπαραγωγής.

⇒ Συστήματα ατμοστροβίλου

Ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι σχετικά υψηλός (60-85%) και δεν πέφτει έντονα κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο (δηλ. φορτίο μικρότερο του ονομαστικού). Όμως, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι χαμηλός (τιμές της τάξεως του 15-20% είναι συνηθισμένες), που συντελεί σε μικρό λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα (Σχήμα 4.1). Γενικά, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του ατμού που απαιτείται για τις θερμικές διεργασίες, τόσο χαμηλότερος είναι ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης. Αύξηση του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης μέχρις ένα σημείο μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση της πίεσης και θερμοκρασίας του ατμού στην είσοδο του ατμοστροβίλου.



Σχήμα 4.1: Περιοχές τιμών λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) και λόγου εξοικονόμησης καυσίμου (FESR) διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής [Belding,1982]

1 Συστήματα με αμοστρόβιλο αντίθλιψης

Όταν όλη η θερμότητα του ατμού χρησιμοποιείται ωφέλιμα και το ρευστό επιστρέφει από τις θερμικές διεργασίες ως συμπύκνωμα χωρίς συμπληρωματική ψύξη και αποβολή θερμότητας προς το περιβάλλον, ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 85%. Επειδή ο παραγόμενος ηλεκτρισμός είναι ανάλογος της παροχής ατμού προς τις θερμικές διεργασίες, η τιμή του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα, PHR, παραμένει περίπου σταθερή κατά τη μεταβολή φορτίου.

2 Συστήματα με αμοστρόβιλο απομάστευσης

Η αποβολή θερμότητας στον συμπυκνωτή ατμού συντελεί σε μειωμένο ολικό βαθμό απόδοσης (φθάνει το 80%). Πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι η δυνατότητα ανεξάρτητης (μέσα σε ορισμένα όρια) ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος, και επομένως της τιμής του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα, PHR.

3 Συστήματα με αμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης

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

⇒ Συστήματα αεριοστροβίλου

1 Ανοικτός κύκλος.

Ο ηλεκτρικός βαθμός βρίσκεται συνήθως στην περιοχή 25-35%. Έχει αρχίσει πρόσφατα η κατασκευή μονάδων με υψηλότερη θερμοκρασία εισαγωγής των καυσαερίων στον αεριοστρόβιλο (1200-1400°C), που επιτυγχάνουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης της τάξεως του 40%. Ο ολικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται στην περιοχή 60-80%, δηλ. είναι ελαφρά μικρότερος του βαθμού απόδοσης συστημάτων αμοστρόβιλου, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις του κανόνα αυτού. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος τόσο στο πλήρες φορτίο όσο και σε μερικό φορτίο, αλλά η μείωση του σε μερικό φορτίο, αλλά η μείωσή του σε μερικό φορτίο είναι πιο έντονη από εκείνη των συστημάτων αμοστρόβιλου. Επίσης, ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι υψηλότερος. Κύκλος αεριοστροβίλου με αναγεννητική προθέρμανση του αέρα (δηλ. χρήση των καυσαερίων για προθέρμανση του αέρα καύσης) έχει υψηλότερο ηλεκτρικό αλλά χαμηλότερο ολικό βαθμό απόδοσης απ'ότι ο απλός κύκλος.

2 Κλειστός κύκλος

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

μειώνεται σε μερικό φορτίο, είναι μάλιστα ενδεχόμενο να αυξηθεί εάν υπάρχει αναγεννητική προθέρμανση του εργαζομένου ρευστού και κατάλληλο σύστημα ρύθμισης και ελέγχου. Ο ολικός βαθμός απόδοσης σε μερικό φορτίο εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό απόδοσης της πηγής θερμότητας (π.χ., της μονάδας εξωτερικής καύσης).

⇒ Συστήματα με κινητήρα Diesel

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης μικρών και μεσαίων μονάδων είναι 35-45%, ενώ σε μεγάλες μονάδες φθάνει το 50%. Ο ολικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται στην περιοχή του 80%.

Δύο από τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι τα εξής :

- α) Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης όχι μόνο είναι υψηλός, αλλά και πολύ λίγο επηρεάζεται από τις μεταβολές φορτίο (περίπου σταθερή κατανάλωση καυσίμου).
- β) Η απόκριση του συστήματος στις μεταβολές φορτίου είναι ταχύτατη, χωρίς να παρουσιάζεται έντονη αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά τις μεταβατικές περιόδους.

⇒ Συστήματα συνδυασμένου κύκλου

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται συνήθως στην περιοχή του 35-45%, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι 70-88%. Η συγκέντρωση ισχύος (ισχύς ανά μονάδα όγκου) των συστημάτων αυτών είναι υψηλότερη από εκείνη των απλών κύκλων ατμοστροβίλου ή αεριοστροβίλου. Λειτουργία σε μερικό φορτίο έχει αρνητική επίδραση στον βαθμό απόδοσης του συστήματος.

⇒ Κύκλοι βάσης Rankine με οργανικά ρευστά

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία είναι διαθέσιμη η θερμότητα. Είναι δυνατή η λειτουργία τέτοιων συστημάτων με διαθέσιμο ρευστό θερμοκρασίας ακόμη και 75°C. Για θερμοκρασίες 75-425°C, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται στην περιοχή 5-30%. Οι πιο συνηθισμένες τιμές είναι 10-20%.

⇒ Τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης

Στις μονάδες-πακέτα, το 27-35% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και το 50-55% σε θερμότητα (20-25% θερμότητα θερμοκρασίας 350-400 °C που ανακτάται από τα καυσαέρια, και 25-30% θερμότητα θερμοκρασίας 60-110 °C που ανακτάται από τα ψυκτικά κυκλώματα του κινητήρα). Επομένως, ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι 0,5-0,7, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 80%.

⇒ Κυψέλες καυσίμου

Επειδή η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική χωρίς την παρεμβολή θερμοδυναμικού κύκλου, ο βαθμός απόδοσης δεν περιορίζεται από εκείνον του κύκλου Carnot. Αν και θεωρητικά το άνω όριο είναι η μονάδα, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης των κυψελών καυσίμου φωσφορικού οξέως, που είναι σήμερα εμπορικά διαθέσιμες, κυμαίνεται στην περιοχή 37-45%, και εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου και τη θερμοκρασία λειτουργίας. Σε φορτίο 50%, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι ίσος ή και μερικές φορές μεγαλύτερος από τον βαθμό απόδοσης στο πλήρες φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 85-90%, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα βρίσκεται στην περιοχή 0,8-1,0.

Κυψέλες καυσίμου υψηλής θερμοκρασίας (δηλαδή τηγμένων αλάτων ή στερεού οξειδίου), της τάξεως του 1 MW, αναμένεται ότι θα έχουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 50%. Μεγαλύτερες μονάδες σε συνεργασία με συνδυασμένο κύκλο αεριοστροβίλου-ατμοστροβίλου αναμένεται ότι θα έχουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 50-55%, εάν πρόκειται για κυψέλες καυσίμου τηγμένων αλάτων, και 60-65% για κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου.

⇒ Μηχανές Stirling

Ο κύκλος Stirling έχει τη δυνατότητα υψηλότερου βαθμού απόδοσης από τους κύκλους Rankine (ατμοστροβίλου) ή Joule (αεριοστροβίλου), διότι πλησιάζει προς τον κύκλο Carnot πολύ περισσότερο απ' ό,τι εκείνοι. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται σήμερα στην περιοχή του 40%, ενώ αναμένεται βελτίωση του στη στάθμη του 50%. Η απόδοση διατηρείται σταθερή και σε μερικό φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται στην περιοχή 60-80%, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι 1,2-1,7.

Τα κυριότερα από τα χαρακτηριστικά, που προαναφέρθηκαν για τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής, παρουσιάζονται συγκεντρωμένα, για λόγους εποπτείας, στον Πίνακα 4.2. Επιπλέον των ενεργειακών στοιχείων, ο πίνακας αναφέρει και τη μέση ετήσια διαθεσιμότητα, δηλ το ποσοστό του χρόνου (π.χ. των 8760 ωρών του έτους) κατά το οποίο ένα σύστημα μπορεί να λειτουργεί ικανοποιητική (παίρνονται υπόψη η προληπτική συντήρηση και οι έκτακτες βλάβες).

Σύστημα	Ηλεκτρική ισχύς (MW)	Μέση ετήσια διαθεσιμότητα (%)	Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης(%)		Ολικός βαθμός απόδοσης (%)	Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα
			πλήρες φορτίο	φορτίο 50%		
Ατμοστρόβιλος	0,5-100 ³	90-95	14-30	13-25	60-85	0,1-0,3
Αεριοστρόβιλος ανοικτού κύκλου	0,1-100	90-95	20-35	15-29	60-80	0,5-0,8
Αεριοστρόβιλος κλειστού κύκλου	0,5-100	90-95	30-35	30-35	60-80	0,5-0,8
Μικροστρόβιλος	0,025-0,25	90-95	25-35	25-35	70-85	0,6-0,8
Συνδυασμένου κύκλου	4-100	77-85	35-45	25-35	70-88	0,6-1,1
Κινητήρας Diesel	0,07-40	80-90	35-45	32-40	60-80	0,7-1,4
Κυψέλες καυσίμου	0,04-50	90-92	37-45	37-45	85-90	0,8-1,0
Μηχανές Stirling	0,003-1,5	85-90	35-50	34-49	60-80	1,2-1,7
Πακέτο με παλινδρομικό κινητήρα	0,0015-2	80-85	27-35	25-32	60-80	0,5-0,7

Πίνακας 4.2 : Σύγκριση χαρακτηριστικών συμπαραγωγικών μονάδων

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

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα εξαρτώνται από το είδος και την ποσότητα του καυσίμου. Υπολογίζονται για οποιοδήποτε σύστημα (όχι μόνον σύστημα συμπαραγωγής) με τη σχέση

$$m_{CO_2} = \mu_{CO_2} m_f \quad (14)$$

όπου

$$\mu_{CO_2} = (44/12) c \quad (15)$$

$$m_f = E / \eta H_u \quad (16)$$

m_{CO_2} : μάζα του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα,

³ Η τιμή των 100MW είναι το πιο συνηθισμένο άνω όριο σε βιομηχανικές εφαρμογές. Συστήματα του είδους αυτού κατασκευάζονται και με μεγαλύτερες ισχύεις

μ_{CO_2} : μάζα εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα μάζας καυσίμου (Π.χ. kg CO₂/kg καυσίμου),

c : περιεκτικότητα κατά μάζα του καυσίμου σε άνθρακα,

m_f : κατανάλωση καυσίμου,

E : ενέργεια- προϊόν του συστήματος,

η : βαθμός απόδοσης του συστήματος ,

H_u : κατώτερη θερμογόνος ικανότητα του καυσίμου.

Η Εξίσωση (15) στηρίζεται στην παραδοχή ότι όλος ο άνθρακας, που περιέχεται στο καύσιμο, μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα, κάτι που βρίσκεται πολύ κοντά στην πραγματικότητα, όταν η καύση γίνεται με περίσσεια αέρα και τα συστήματα καύσης είναι σε καλή κατάσταση και σωστά ρυθμισμένα.

Τιμές των c , μ_{CO_2} , και H_u για ορισμένα καύσιμα δίνονται στον Πίνακα 3 οι τιμές αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των εκπομπών CO₂ των συστημάτων που παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.3-4.6.

Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά ορισμένων καυσίμων για υπολογισμό των εκπομπών CO₂

Καύσιμο	Περιεκτικότητα σε άνθρακα ($c \cdot 100$)	Εκπομπές CO ₂ μ_{CO_2}	Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα (H_u)
	%	kg CO ₂ /kg καυσίμου	kJ/kg
Φυσικό αέριο	75	2,75	49000
Diesel	83	3,05	42500
Μαζούτ 0,7% S	86,5	3,17	41500
Μαζούτ 2%S	85	3,12	41000
Τύρφη*	58	2,13	7800
Λιγνίτης*	64	2,35	24000
	80	2,93	30000

* Οι τιμές αφορούν καύσιμο ελεύθερο υγρασίας και τέφρας.

Πίνακας 4.4: Εκπομπές ρύπων συστημάτων συμπαραγωγής

Σύστημα	Καύσιμο	Βαθμός απόδοσης (%)			Εκπομπές (gr/100 kWh)					
		Ηλεκτ.	Θερμ.	Ολικός	CO ₂	NO _x	CO	HC	SO _x	Σωματίδια
Diesel	Diesel 0,2% S Διπλό ⁽¹⁾	35	35	70	73815	1556 ⁽²⁾	408	46	91	32
					59335	1130 ⁽³⁾	381	395	9	4
Αεριοστροβίλου	Αέριο	25	45	70	80816	214	13	10	= 0	7
	Diesel 0,2% S				103341	435	5	10	91	18
Αεριοστροβίλου χαμηλού NO _x	Αέριο	35	45	80	57726	50	30	5	= 0	5
Ατμοστροβίλου νέο	Άνθρακας	25	55	80	140640	453	26	7	775	65
	Μαζούτ				110000	194	= 0	7	518	65
	Αέριο				80816	129	= 0	26	46	7

(1) 90% της ενεργείας από φυσικό αέριο και 10% από καύσιμο Diesel.
(2) Νεώτεροι κινητήρες εκπέμπουν 1100-1200 gr NO_x / 100 kWh.
(3) Νεώτεροι κινητήρες εκπέμπουν 700-800 gr NO_x / 100 kWh.

Πίνακας 4.5: Εκπομπές ρύπων κεντρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής

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

* Ο μικρότερος βαθμός απόδοσης των νέων συστημάτων ατμοστροβίλου οφείλεται στις αυστηρές εξουδετέρωσης εκπομπών NO_x και SO₂.

Πίνακας 4.6: Εκπομπές ρύπων λεβήτων νερού και ατμού

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

Ο βαθμός απόδοσης θεωρείται 80%

Εάν δεν υπάρχουν πληροφορίες από τους κατασκευαστές των συγκεκριμένων συστημάτων ή από σχετικές μετρήσεις, πρώτες εκτιμήσεις των εκπεμπόμενων ρύπων μπορούν να γίνουν με τα στοιχεία που δίνουν οι Πίνακες 4.3-4.6. Οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές. Διαφορές στα μηχανήματα, το καύσιμο, την αντιρρυπαντική τεχνολογία κ.α. μπορούν να διαφοροποιούν σημαντικά τις εκπομπές ρύπων από τη μια εγκατάσταση στην άλλη.

Η επίδραση της συμπαραγωγής από πλευράς ρύπων εκφράζεται με τη διαφορά εκπομπών, που ορίζεται με τη σχέση

$$\Delta M_X = M_{XSS} - M_{XH} - M_{X\Theta} \quad (17)$$

Όπου

ΔM_X : η διαφορά εκπομπών του ρύπου X,

M_{XSS} : η εκπομπή ρύπου X του συστήματος συμπαραγωγής,

M_{XH} : η εκπομπή ρύπου X του συστήματος παραγωγής ηλεκτρισμού, το οποίο αντικαθίσταται από το σύστημα συμπαραγωγής,

$M_{X\Theta}$: η εκπομπή ρύπου X του συστήματος παραγωγής θερμότητας, το οποίο αντικαθίσταται από το σύστημα συμπαραγωγής (π.χ. ατμολέβητας).

Εάν ο προσδιορισμός των εκπομπών πρόκειται να στηριχθεί στα δεδομένα των Πινάκων 4.3-4.6, τότε ισχύουν οι σχέσεις:

$$M_{XSS} = m_{XSS} (E_H / 100 \text{ kWh}) \quad (18)$$

$$M_{XH} = m_{XH} (E_H / 100 \text{ kWh}) \quad (19)$$

$$M_{X\Theta} = m_{X\Theta} (E_{\Theta} / 100 \text{ kWh}) = (m_{X\Theta} / \text{PHR}) * (E_H / 100 \text{ kWh}) \quad (20)$$

όπου

$m_{\text{ΧΣΣ}}$, $m_{\text{ΧΗ}}$, και $m_{\text{ΧΘ}}$ (σε gr) οι εκπομπές του ρύπου Χ για παραγωγή ενέργειας 100 kWh, όπως δίνονται από τους Πίνακες 4.4, 4.5 και 4.6.

E_{H} η ηλεκτρική ενέργεια, που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής,

$E_{\text{Θ}}$ η θερμότητα που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής

PHR μέση τιμή του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα: $\text{PHR} = E_{\text{H}} / E_{\text{Θ}}$.

Μερικά παραδείγματα σύγκρισης παρουσιάζονται στον Πίνακα 7. Εντυπωσιακή είναι η μείωση εκπομπών CO₂: 50–100kg ανά 100 kWh ηλεκτρικής διαστήματος αυτού, δηλαδή 50 kg ανά 100 kWh, τότε σε κάθε TWh⁴ ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται με συμπαραγωγή, αντιστοιχεί μείωση 500000 τόνων CO₂. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση καυσίμου δικαιολογεί τη θέσπιση κινήτρων για τη διάδοση της συμπαραγωγής.

Πίνακας 4.7: Παραδείγματα σύγκρισης εκπομπών μεταξύ συστημάτων συμπαραγωγής και συμβατικών τρόπων παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (Οι τιμές αναφέρονται σε παραγωγή 100 kWh ηλεκτρικής ενέργειας)

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

Συστήματα συμπαραγωγής

1. Κινητήρας Diesel διτλού καυσίμου (90% της ενεργείας από φυσικό αέριο, 10% από καύσιμο Diesel) με $\eta_e = \eta_h = 0,35$ (PHR = 1).
2. Νέος αεριοτροβίλος φυσικού αερίου με $\eta_e = 0,35$, $\eta_h = 0,45$, (PHR = 0,778).
3. Νέος ατμοτροβίλος φυσικού αερίου με $\eta_e = 0,25$, $\eta_h = 0,55$, (PHR = 0,455).

Συστήματα χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας

- A. Αεριοτροβίλος με καύσιμο Diesel και βιομηχανικός ατμολέβητας με καύσιμο μαζούτ.
- B. Νέος ατμοτροβίλος με καύσιμο άνθρακα και βιομηχανικός ατμολέβητας με καύσιμο μαζούτ.

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

Όταν καύσιμο σε συστήματα συμπαραγωγής είναι το φυσικό αέριο, οι εκπομπές οξειδίων του θείου και στερεών σωματιδίων, που παρουσιάζονται από την καύση

⁴ 1 TWh = 10⁹ kWh

Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συστήματα συμπαραγωγής στην Ελλάδα είναι 0,9-1 TWh, ενώ στις 12 χώρες της Ευρωπαϊκής ένωσης ξεπερνά τις 100 TWh. Εκτιμάται ότι υπάρχει δυνατότητα διπλασιασμού των τιμών αυτών, η οποία θα συντελούσε σε επιπλέον μείωση των εκπομπών CO₂ στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατά 50 εκατ. Τόνους ανά έτος.

άνθρακα ή υγρών καυσίμων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, σχεδόν εξαφανίζονται. Αξιοσημείωτη είναι επίσης η μεγάλη η μείωση εκπομπών NO_x που επιτυγχάνεται με στοιχεία καυσίμου, όπως δείχνει ο Πίνακας 4.8.

Πίνακας 4.8: Σύγκριση συστημάτων συμπαραγωγής κυψελών καυσίμου και παλινδρομικής μηχανής εσωτερικής καύσης [Donitz,1987]

Σύστημα	Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	Κατανάλωση φυσικού αερίου	Εκπομπές NO _x
	%	m ³	ton
Παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης	35	1 720 000	44
Κυψέλη καυσίμου	62	972 000	2,7

Ηλεκτρική ισχύς του κάθε συστήματος: 1 MW.
Διάρκεια λειτουργίας: 6000 ώρες.

5. ΜΙΚΡΟΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δύο νέες τεχνολογίες οι οποίες έχουν βασιστεί πάνω στην ιδέα της συμπαραγωγής είναι η μικροσυμπαραγωγή (microCHP) και η τριπαραγωγή (trigeneration).

Οι μονάδες μικροσυμπαραγωγής προορίζονται κυρίως για οικιακή χρήση. Ωστόσο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για άλλες εφαρμογές όπως σε μικρά ξενοδοχεία, εμπορικά καταστήματα, γραφεία και πολυκατοικίες. Επιπλέον μπορούν να διαστασιολογηθούν για τις απαιτήσεις του εκάστοτε χρήστη. Μία μονάδα μικροσυμπαραγωγής συνδυάζει τις δυνατότητες ενός υψηλής απόδοσης λέβητα με μία μικρή γεννήτρια η οποία είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η τριπαραγωγή (trigeneration) είναι μία νέα τεχνολογία, η οποία στηρίζεται στην ιδέα της συμπαραγωγής και χρησιμοποιείται στις χώρες της νότιας Ευρώπης. Είναι η ταυτόχρονη παραγωγή μηχανικής ενέργειας (που συχνά μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια), θέρμανσης και ψύξης από μία και μόνη πηγή θερμότητας, όπως αυτές των καυσίμων ή η ηλιακή ενέργεια. Σε θερμότερα κλίματα η ανάγκη για θέρμανση είναι περιορισμένη σε λίγες χειμερινούς μήνες. Υπάρχει, ωστόσο, σημαντική ανάγκη για ψύξη κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Η θερμότητα από μία μονάδα συμπαραγωγής στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται για την παραγωγή ψύξης, μέσω ενός ψύκτη απορρόφησης.

5.2 ΜΙΚΡΟΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ (micro CHP)

5.2.1 Γενικά

Οι μονάδες ΣΗΘ που έχουν ηλεκτρική ισχύ λιγότερη από 10kW εντάσσονται στην υποκατηγορία της μικροσυμπαραγωγής. Τα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής χρησιμοποιούνται συνήθως ως συσκευές θέρμανσης παρέχοντας θέρμανση χώρων και ζεστού νερού χρήσης σε κατοικίες και εμπορικά κέντρα όπως και οι συμβατικοί λέβητες.

Αντίθετα όμως με τους λέβητες, τα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής παράγουν ηλεκτρισμό μαζί με θερμότητα σε πολύ υψηλές αποδόσεις εξασφαλίζοντας εξοικονόμηση καυσίμου, μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και μείωση του κόστους λειτουργίας. Οι περισσότερες μονάδες λειτουργούν

παράλληλα με το δίκτυο, έτσι ώστε το κτίριο να καλύπτει τις ανάγκες του σε ηλεκτρισμό από το δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά και ταυτόχρονα να πωλεί στο δίκτυο, το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγει. Η θερμότητα από τα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής χρησιμοποιείται είτε για θέρμανση χώρων και νερού, είτε πιθανόν για κλιματισμό.

Τα συστήματα αυτά έχουν δυνατότητα χρήσης και στα καταλύματα. Ως «καταλύματα» ορίζονται μικρά ξενοδοχεία στην εξοχή, απομονωμένα καταφύγια, εξοχικές κατοικίες για την καλοκαιρινή περίοδο, καταφύγια, μικρά κάστρα και μοναστήρια.

5.2.2 Τεχνολογίες και καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των μικρών σε κλίμακα συστημάτων συμπαραγωγής είναι η ευκολία εγκατάστασης και χρήσης. Παραδίδονται έτοιμα για λειτουργία σε ηχομονωτικό κέλυφος μεγέθους παραπλήσιο με ένα κοινό λέβητα και το μόνο που χρειάζονται είναι συνδέσεις για νερό, ηλεκτρισμό και καύσιμο. Διάφορες συμβατικές και μη τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί για εφαρμογή σε μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής. Ενώ τα παλινδρομικά συστήματα είναι ήδη στο εμπόριο, οι μηχανές Stirling, οι μικροστρόβιλοι αερίου και τα συστήματα ORC (Organic Rankine Cycle Systems) πρόκειται να δοθούν σύντομα στην αγορά, αφού υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός επιτυχημένων επιδεικτικών έργων σε διάφορες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως η Αυστρία. Κυψέλες καυσίμου πολυμερούς ηλεκτρολύτη και στερεού οξειδίου καυσίμου είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο, με κάποιο αριθμό πιλοτικών εγκαταστάσεων.

Μέχρι τώρα, η χρήση των συμβατικών καυσίμων φυσικό αέριο, υγραέριο, πετρέλαιο είναι συνηθέστερη στα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια διερευνάται η χρήση βιοντίζελ και κραμβέλαιου στις μηχανές ντίζελ. Η ανάπτυξη των συστημάτων συμπαραγωγής μικρής κλίμακας, παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον σε ευαίσθητες οικολογικά περιοχές ιδιαίτερα όταν γίνεται χρήση κραμβέλαιου ή βιοντίζελ, λόγω της εξαιρετικής βιοαποικοδομισιμότητας και της χαμηλής τοξικότητάς τους.

Τέτοιου είδους συστήματα, αφ' ενός μεν, έχουν μεγάλη αποδοτικότητα, αφετέρου, δεν παράγουν απευθείας ρύπους συμβάλλοντας έτσι στην εξασφάλιση αιεφόρου ενέργειας. Για τους λόγους αυτούς αρκετά καταφύγια κάνουν χρήση συστημάτων μικρής κλίμακας συμπαραγωγής με κραμβέλαιο / βιοντίζελ. Επίσης, αρκετές εταιρείες επιχειρούν την κατασκευή κινητήρων από συσσωματώματα ξύλου (pellets) και από ηλιακούς συλλέκτες.

5.2.3 Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων συμπαραγωγής μικρής κλίμακας

Τα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής εγκαθίστανται όπως ακριβώς και ένας σύγχρονος λέβητας. Για παράδειγμα, τοποθετούνται σε κουζίνες ή σε υπόγεια μέσα σε δοχεία που προσομοιάζουν καταψύκτη, με το ίδιο επίπεδο θορύβου και τον ίδιο όγκο. Η συντήρησή τους είναι απλή, π.χ. ένα σύστημα μικροσυμπαραγωγής γνωστής εταιρείας χρειάζεται συντήρηση κάθε 3.500 ώρες λειτουργίας. Ανάλογα με τις ανάγκες που πρέπει να καλύψουν, οι μονάδες μικροσυμπαραγωγής μπορούν να λειτουργούν με διαφορετικούς τρόπους:

- **Έχοντας ως κύρια λειτουργία την παραγωγή θερμότητας**
 Η ελεγχόμενη μεταβλητή για την λειτουργία των μονάδων μικροσυμπαραγωγής για παραγωγή θερμότητας, είναι πάντα οι απαιτήσεις σε θέρμανση. Ο παραγόμενος ηλεκτρισμός θεωρείται παραπροϊόν της διαδικασίας και προορίζεται για ίδια χρήση ή για τροφοδότηση του δικτύου. Τα μικρής κλίμακας συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να ενισχύονται από επιπρόσθετους λέβητες με σκοπό την κάλυψη της απαιτούμενης θερμότητας.
- **Έχοντας ως κύρια λειτουργία την παραγωγή ηλεκτρισμού**
 Η ελεγχόμενη μεταβλητή για την λειτουργία των μονάδων μικροσυμπαραγωγής, για παραγωγή ηλεκτρισμού, είναι πάντα οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια. Η λειτουργία τους γίνεται:
 - *Παράλληλα με το ηλεκτρικό δίκτυο.* Οι μονάδες μικροσυμπαραγωγής προμηθεύουν τους καταναλωτές ενέργεια μέχρι να φτάσουν τη μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια ενώ οι υπόλοιπες ανάγκες καλύπτονται από το ηλεκτρικό δίκτυο.
 - *Ανεξάρτητα* για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών (πολύ συχνά σε συνδυασμό με συστοιχία μπαταριών).
 - *Εφεδρικά.*
 Η θερμική ενέργεια, η οποία παράγεται ταυτόχρονα από μονάδες μικροσυμπαραγωγής θα πρέπει να χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν καλύτερα σε κατάλληλες δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας ή άλλες μονάδες αποθήκευσης θερμότητας.
- **Έχοντας ως κύρια λειτουργία τη Συνδυασμένη Παραγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού**
 Είναι πιθανή η εφαρμογή συνδυασμένων τρόπων λειτουργίας, όπως για παράδειγμα:
 1. Κίνηση με θερμότητα, λαμβάνοντας υπόψη την αιχμή του φορτίου.
 2. Μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια και /ή ζήτηση σε θερμότητα.

3. Ελάχιστη ηλεκτρική ενέργεια και /ή ζήτηση σε θερμότητα.

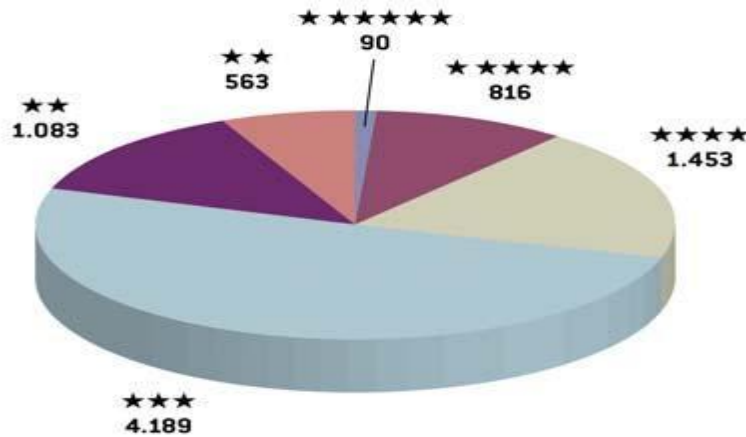
Ο διαφορετικός τρόπος λειτουργίας τους επιτυγχάνεται μέσω ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας, το οποίο επιλέγει τη βέλτιστη λειτουργία για τις συγκεκριμένες ανάγκες.



Εικόνα 5. 1: Απόδοση ενός συστήματος μικροσυμπαγωγής για οικιακή χρήση

5.2.4 Η αγορά

Η κύρια αγορά των μικρής κλίμακας συστημάτων συμπαγωγής είναι τα μικρά καταλύματα και ξενοδοχεία για την αντικατάσταση συμβατικής θέρμανσης. Πέραν των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, υπάρχει δυναμικό για περισσότερο από 50 εκατ. εγκαταστάσεις. Οι αγορές «κλειδιά» είναι η Γερμανία, το Ην. Βασίλειο, η Ολλανδία, η Αυστρία, το Βέλγιο, η Ιταλία, και η Γαλλία. Η ανάλυση της αγοράς στην Ελλάδα, όσον αφορά στο δυναμικό εφαρμογής μικρών συστημάτων συμπαγωγής, έδειξε δυναμικό μεγαλύτερο των 8.284 κτιρίων όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 5. 2: Σύνολο ξενοδοχείων ανά κατηγορία στην Ελλάδα στα οποία μπορεί να εφαρμοσθεί μικροσυμπαγωγή

5.2.5 Πορεία της αγοράς

Οι ενδιαφερόμενοι προμηθευτές έχουν αρκετές δυνατότητες κέρδους με τα συστήματα συμπαγωγής μικρής κλίμακας παίρνοντας μέρος στις πωλήσεις και τη διανομή των συστημάτων μεγάλων εταιρειών. Τα δίκτυα διανομής τέτοιων συστημάτων μπορεί να διαμορφωθούν ως εξής:

- Από εταιρείες παραγωγής και ανάπτυξης των συστημάτων μικρής κλίμακας συμπαγωγής με πώληση μονάδων μέσα από δίκτυο εμπορικών αντιπροσώπων και ενοποιημένων συστημάτων π.χ. Senetrec, Power Plus, Capstone,
- Από εταιρείες λεβήτων όπως η Buderus, η Vaillant, κ.λ.π. με επέκταση της παραγωγής τους σε συστήματα συμπαγωγής μικρής κλίμακας και πώληση των μονάδων αυτών μέσα από δικά τους τοπικά δίκτυα διανομής,
- Από εταιρείες κοινής ωφελείας σε συνεργασία με εταιρείες συστημάτων συμπαγωγής μικρής κλίμακας. Η πώληση των συστημάτων τους θα γίνεται με χρήση συγκεκριμένων μοντέλων σύμβασης, βάσει των οποίων γίνεται η εγκατάσταση και η λειτουργία μικρών μονάδων. Ο πελάτης, στην προκειμένη περίπτωση, πληρώνει για τη θερμική και ηλεκτρική παραγόμενη ενέργεια.

5.2.6 Πλεονεκτήματα

Αρχικά, η μικροσυμπαγωγή έχει αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα :

- η μικροσυμπαγωγή μειώνει την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου κατά 127 εκατομμύρια τόνους CO₂ ως το 2010 αλλά και την κατανάλωση ενέργειας συγκρινόμενη με αυτή που απαιτείται για ίση παραγωγή

θερμότητας από λέβητα συμπύκνωσης και ίση παραγωγή ηλεκτρισμού από τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής ενέργειας,

- χάρη στο μικρό τους μέγεθος, η μικροσυμπαραγωγή μπορεί να δώσει ευκαιρίες για είσοδο νέων “παικτών” στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας προωθώντας έτσι τον υγιή ανταγωνισμό και μειώνοντας το συγκεντρωτισμό της ηλεκτρικής ενέργειας,
- δίνει μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμογή στις απρόβλεπτες μελλοντικές μεταβολές του ηλεκτρικού φορτίου συγκριτικά με τα μεγάλα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ,
- έχει τη δυνατότητα να συνεισφέρει στην ασφάλεια παροχής ενέργειας από το δίκτυο ιδιαίτερα όταν γίνεται χρήση εξελιγμένων συστημάτων ελέγχου.

5.2.7 Μειονεκτήματα

Όμως στις μέρες μας, συγκριτικά με άλλες επιλογές η μικροσυμπαραγωγή είναι αντιμέτωπη με μία σειρά προβλημάτων που την περιορίζουν σε βέλτιστη επιλογή μόνο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες :

- μέχρι τώρα, και επίσης στο εγγύς μέλλον, τα συστήματα μικροσυμπαραγωγής θα στηριχθούν κυρίως στο φυσικό αέριο, το οποίο είναι ένα εξαντλήσιμο καύσιμο. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών είναι δυσχερέστερη στις μικρότερες παρά στις μεγαλύτερες μονάδες συμπαραγωγής. Επιπλέον, στις περιοχές όπου υπάρχει έντονη δυναμική για χρήση ΑΠΕ, αυτές χρησιμοποιούνται καλύτερα για τηλεθέρμανση. Αυτή τη στιγμή αναπτύσσονται τρόποι έτσι ώστε μονάδες ΣΗΘ να χρησιμοποιούν αποδοτικά και μη εξαντλήσιμα καύσιμα,
- σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα θερμότητας, η τηλεθέρμανση με μεγάλες μονάδες συμπαραγωγής είναι οικονομικά περισσότερο ελκυστικές και περιβαλλοντικά τουλάχιστον συγκρίσιμες με τις μικρότερες μονάδες συμπαραγωγής,
- οι μηχανές εσωτερικής καύσης που είναι και οι πλέον διαδεδομένες εκλύουν καυσαέρια με υψηλά ποσοστά οξέων σε αντίθεση με τις μηχανές Stirling και τις κυψέλες καυσίμου στις οποίες δεν παρουσιάζεται παρόμοιο πρόβλημα,
- η διαθεσιμότητα, οι τρέχουσες τεχνικές αποδόσεις και οι οικονομικές προοπτικές των ΣΗΘ αποτελούν συνάρτηση του είδους της μηχανής. Οι κυψέλες καυσίμου βρίσκονται ακόμη στο στάδιο ανάπτυξης και δοκιμών, οι μηχανές Stirling είναι μία φάση πριν την αγορά ενώ μόνο οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι εμπορικά διαθέσιμες,
- οι μονάδες μικροσυμπαραγωγής αποτελούν μία οικονομικώς βιώσιμη λύση μόνο εφόσον λειτουργούν από 3.500-5.000ώρες για πλήρες φορτίο και η

ηλεκτρική ισχύς καταναλώνεται στο σημείο παραγωγής. Βέβαια υπάρχουν πολλοί που δεν διαλέγουν μονάδες μικροσυμπαγωγής με μοναδικό κριτήριο την οικονομική βιωσιμότητα, αλλά ενδιαφέρονται εξίσου για ενεργειακή αυτάρκεια και περιβαλλοντικά οφέλη.

5.2.8 Ισχύον καθεστώς

Το καθεστώς για τις μονάδες μικροσυμπαγωγής επηρεάζεται ιδιαίτερα από την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία έχει οδηγήσει σε μια σημαντική μείωση στις τιμές ηλεκτρισμού και, επομένως, σε μια αρκετή καθυστέρηση στη διάδοση των μικρών εγκαταστάσεων CHP. Εντούτοις, οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικότερα των νοικοκυριών, έχουν αρχίσει να αυξάνονται πάλι και είναι αναμενόμενο να αυξηθεί ακόμα περαιτέρω κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών. Επιπλέον, οι εκπομπές καυσαερίων θα αυξηθούν περισσότερο το κόστος της συμβατικά παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας και έτσι θα βελτιωθεί η ανταγωνιστικότητα των μονάδων μικροσυμπαγωγής λόγω της υψηλότερης αξίας της αποφευγμένης απαίτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντικό παράδειγμα αποτελεί η γερμανική νομοθεσία η οποία έχει ενισχύσει τις οικονομικές ευκαιρίες για τις εγκαταστάσεις μικροσυμπαγωγής, απαλλάσσοντας τις εγκαταστάσεις CHP από το φόρο της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου, αλλά και με την εισαγωγή επιδόματος για πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. Κατά συνέπεια, μετά από τον πρώτο κλονισμό της απελευθέρωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, το θεσμικό πλαίσιο για τις μονάδες ΣΗΘ έχει βελτιωθεί αρκετά, και πρόκειται να βελτιωθεί περαιτέρω στο μέλλον.

Αυτές οι γενικά ευνοϊκές οικονομικά συνθήκες δεν επαρκούν για την αποτελεσματική προώθηση των μονάδων ΣΗΘ. Υπό το καθεστώς του αδύναμου τωρινού ρυθμιστικού πλαισίου δεν γίνεται φανερό η ανάγκη για ανεξάρτητους παραγωγούς. Ακόμη ένα πολύ σημαντικό εμπόδιο αποτελεί η έλλειψη διαφήμισης και ενημέρωσης στο ευρύ κοινό. Οι νέες τεχνολογίες και οι ευκαιρίες γρήγορης ή μη απόσβεσης δεν είναι γνωστά στον τελικό χρήστη-πελάτη με αποτέλεσμα να επικρατεί άγνοια και δυσπιστία ως προς την μικροσυμπαγωγή.

5.2.9 Τρόποι βελτίωσης

Θα πρέπει να υπάρξει μία συγκεντρωμένη στρατηγική με σκοπό τη δημιουργία ενός τομέα δράσης της μικροσυμπαγωγής, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές για τις οποίες σχεδιάστηκε. Μία τέτοια στρατηγική θα περιλαμβάνει εμπειρία και γνώση από πολλούς τομείς όπως αρχιτέκτονες, ηλεκτρολόγους

μηχανικούς, πολιτικούς μηχανικούς, υδραυλικούς, ηλεκτρολόγους, πωλητές, εργολάβους, συντηρητές κτλ. Μία προσπάθεια προσέγγισης και προώθησης της μικροσυμπαγωγής θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα :

- καθορισμός των περιοχών όπου οι εγκαταστάσεις μικροσυμπαγωγής εμφανίζονται ιδιαίτερα ελπιδοφόρες από περιβαλλοντική και οικονομική προοπτική π.χ. περιοχές με χαμηλή πυκνότητα θερμότητας, περιοχές με πιθανά προβλήματα στο δίκτυο, περιοχές με προβλήματα χορήγησης καυσίμων,
- καθορισμός ελαχίστων επιτρεπτών κριτηρίων λειτουργίας των μονάδων μικροσυμπαγωγής π.χ. ελάχιστος βαθμός απόδοσης, μέγιστα όρια ρυπογόνων καυσαερίων,
- ανεξάρτητη και αξιόπιστη επιβολή των κανονισμών που διέπουν την πρόσβαση στο δίκτυο της ΔΕΗ. Επιβεβλημένη θεωρείται η ανάγκη αποκέντρωσης της παραγωγής ισχύος, η οποία θα επιτευχθεί και με την άδεια σύνδεσης στο δίκτυο των μικρών γεννητριών της συμπαγωγής. Το γερμανικό θεσμικό πλαίσιο που αναφέρθηκε παραπάνω αποτελεί παράδειγμα προς μίμηση και για τις υπόλοιπες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης,
- οι έρευνες για την εξέλιξη της συμπαγωγής θα μπορούσαν να στραφούν όχι μόνο στις κυψέλες καυσίμου αλλά και στις μηχανές Stirling, που είναι εξίσου φιλικές στο περιβάλλον ενώ έχουν αναπτυχθεί περισσότερο και είναι οικονομικά πιο συμφέρουσες. Ακόμη ιδιαίτερη έμφαση θα πρέπει να δοθεί σε ανανεώσιμα καύσιμα,
- γίνονται προσπάθειες έτσι ώστε να εξελιχθεί η συμπαγωγή σε μια αλληλεπιδρώσα τεχνολογία χάρη στην οποία θα επιτραπεί η ισορροπία μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η βελτίωση της ποιότητας ισχύος και η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο δίκτυο. Αυτά βέβαια θα επιτευχθούν με βελτίωση των τωρινών συστημάτων ελέγχου,
- η οργάνωση μιας διαφημιστικής καμπάνιας για την ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τις νέες τεχνολογίες και τα οφέλη της συμπαγωγής. Η προσπάθεια αυτή θα εστιάσει σε κτίρια, σπίτια σε χώρους δηλαδή που αποτελούν το πεδίο δράσης της μικροσυμπαγωγής και θα επικεντρωθεί στους πρώτους πιθανούς πελάτες οι οποίοι από την πλευρά τους θα συμβάλλουν σημαντικά στην προώθηση των νέων τεχνολογιών.

5.2.10 Συμπεράσματα

Καταλήγοντας μπορούμε να συμπεράνουμε πως η μικροσυμπαγωγή αποτελεί μία καινοτόμο τεχνολογία με σημαντικά οφέλη ως προς τον τελικό χρήστη, το

περιβάλλον και το κεντρικό ηλεκτρικό σύστημα κάθε χώρας. Ιδιαίτερα ως προς αυτό, αυτή τη στιγμή, παρουσιάζονται αρκετά προβλήματα που αποτελούν τροχοπέδη στην ευρεία διάδοση της συμπαραγωγής. Αναμφισβήτητα, για την προώθησή της χρειάζονται γενναίες αποφάσεις που θα αφορούν στα οικονομικά κίνητρα και στα σαφή νομοθετικά πλαίσια.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν ένα σημείο εκκίνησης για τις συζητήσεις που θα ακολουθήσουν και θα σχετίζονται με τις ευκαιρίες και τα εμπόδια της μικροσυμπαραγωγής. Αυτή τη στιγμή φαίνεται ότι η Συμπαραγωγή έχοντας μεγάλη δυναμική μπορεί να διαδραματίσει ένα σημαντικό ρόλο στο πανευρωπαϊκό ενεργειακό μέλλον αλλά υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που μπορούν να εμποδίσουν μία τέτοια εξέλιξη. Αν αυτά τα εμπόδια δεν υπερκεραστούν, η δυνατότητα της συμπαραγωγής στα οφέλη θα χαθεί μακροπρόθεσμα ή βραχυπρόθεσμα.

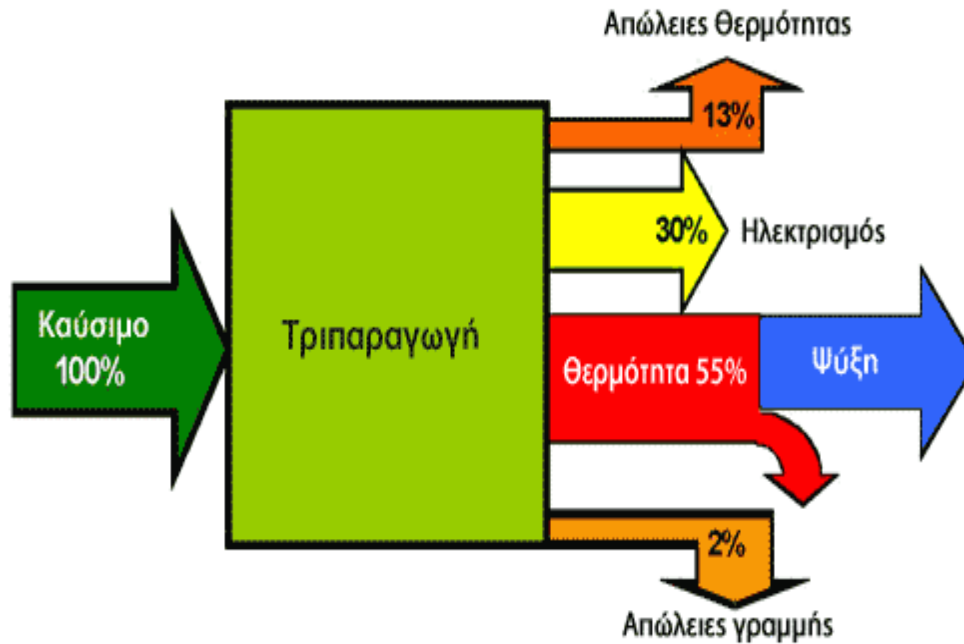
5.3 ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗ

5.3.1 Γενικά

Η τριπαραγωγή συνεπάγεται ταυτόχρονη παραγωγή και εκμετάλλευση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας ή ψύξης από ένα και μοναδικό καύσιμο. Η συμπαραγωγή είναι η ταυτόχρονη παραγωγή και εκμετάλλευση δυο ενεργειακών πηγών, ηλεκτρικής ή μηχανικής και ωφέλιμης θερμικής ενέργειας, από ένα σύστημα που χρησιμοποιεί το ίδιο καύσιμο. Η ΣΗΘ εφαρμόζεται στη βιομηχανία και σε κτίρια όπου υπάρχει ταυτόχρονη απαίτηση σε ηλεκτρισμό και θερμότητα και συνήθως όταν οι ετήσιες ώρες λειτουργίας υπερβαίνουν τις 4000.

Στον τριτογενή τομέα των νότιων ευρωπαϊκών χωρών, η ανάγκη για θερμότητα περιορίζεται σε λίγους χειμερινούς μήνες. Υπάρχει, όμως, σημαντική ανάγκη για ψύξη κλιματισμό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η θερμότητα σε μια εγκατάσταση συμπαραγωγής, στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ψύξης μέσω κύκλων απορρόφησης. Αυτή η «διευρυμένη» διαδικασία συμπαραγωγής είναι γνωστή ως τριπαραγωγή ή συνδυασμένη παραγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης (ΣΗΘΨ - Combined Heat Cooling and Power Generation, CHCP).

Η τριπαραγωγή, αποτελείται από συστήματα ΣΗΘ σε συνδυασμό με ψύκτες απορρόφησης.



Εικόνα 5. 3: Διάγραμμα αποδόσεων συστήματος τριπαραγωγής

5.3.2 Ψύξη απορρόφησης

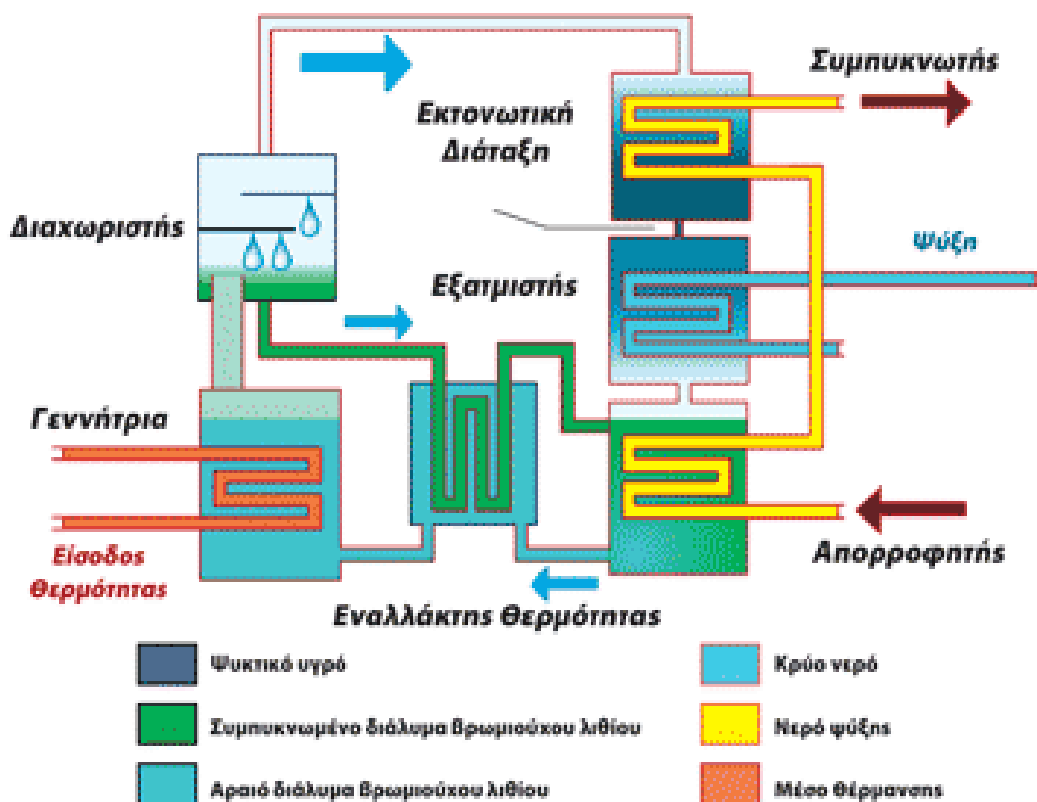
Το βασικό τμήμα μιας εγκατάστασης ΣΗΘ είναι η μηχανή που παράγει ηλεκτρισμό και θερμότητα. Η μηχανή αυτή χαρακτηρίζει την εγκατάσταση. Τα είδη των μηχανών αυτών αναλύθηκαν λεπτομερέστατα στο κεφάλαιο 3. Οι ψύκτες απορρόφησης, ο μηχανισμός που παράγει ψύξη, χρησιμοποιώντας τη θερμότητα της διαδικασίας συμπαραγωγής, είναι το δεύτερο σημαντικότερο κομμάτι σε μια εγκατάσταση τριπαραγωγής.

Οι ψύκτες απορρόφησης βασίζονται στη συμπύκνωση και την εξάτμιση για να παράγουν ψύξη. Όπως οι ψύκτες που λειτουργούν με αέριο, έχουν έναν εξατμιστή και έναν συμπυκνωτή, που διαστέλλει το ψυκτικό μέσο για να παράγει ψύξη. Αντί για μηχανικό συμπιεστή, αυτοί οι ψύκτες χρησιμοποιούν μια πηγή θερμότητας που είναι είτε άμεσα προωθούμενη με τη χρήση ενός καυστήρα, είτε έμμεσα προωθούμενη με τη χρήση ατμού, ζεστού νερού ή απορριπτόμενης θερμότητας. Οι ψύκτες απορρόφησης που παρέχονται στο εμπόριο λειτουργούν με ατμό, ζεστό νερό ή αέρια καύσης.

5.3.3 Βασική αρχή μιας μηχανής ψύξης απορρόφησης

Στην απλή του μορφή, ένας ψύκτης απορρόφησης αποτελείται από έναν εξατμιστή, έναν συμπυκνωτή, έναν απορροφητή, μια γεννήτρια και μια αντλία διαλύματος. Στον κύκλο συμπίεσης η ψύξη παράγεται στον εξατμιστή όπου το ψυκτικό μέσο εξατμίζεται και θερμότητα μεταφέρεται στον συμπυκνωτή όπου και το μέσο συμπυκνώνεται. Η απαιτούμενη ενέργεια για την μεταφορά θερμότητας από χαμηλότερη προς υψηλότερη θερμοκρασία παρέχεται από τον συμπιεστή.

Στον κύκλο ψύξης, η συμπίεση του ατμοποιημένου ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται στον απορροφητή, στην αντλία και την γεννήτρια σε συνδυασμό, αντί για μηχανική συμπίεση. Ο ατμός που παράγεται στον εξατμιστή απορροφάται από το υγρό μέσο απορρόφησης στον απορροφητή, το οποίο στη συνέχεια αντλείται στην γεννήτρια από όπου το ψυκτικό μέσο απελευθερώνεται ως ατμός και εν συνεχεία συμπυκνώνεται. Το αναγεννημένο ισχυρό διάλυμα του μέσου απορρόφησης οδηγείται πάλι στον απορροφητή για να ανακτήσει και πάλι το ψυκτικό μέσο. Θερμότητα παρέχεται στην γεννήτρια σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία και απορρίπτεται από τον απορροφητή σε χαμηλή θερμοκρασία.



Εικόνα 5. 4: Διάταξη ενός ψύκτη απορρόφησης

5.3.4 Ζεύγη εργασίας

Σε έναν κύκλο απορρόφησης, το ψυκτικό μέσο και το μέσο απορρόφησης αποτελούν το ζεύγος εργασίας (working pair). Πολλά ζευγάρια έχουν προταθεί αλλά μόνο δύο χρησιμοποιούνται σήμερα: αμμωνία με νερό σαν απορροφητή και νερό με διάλυμα βρωμιούχου λιθίου ως απορροφητή. Το ζεύγος αμμωνία/νερό συναντάται κυρίως σε εφαρμογές ψύξης με χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης κάτω από 0°C. Το ζεύγος νερό/LiBr χρησιμοποιείται ευρέως για τις περιπτώσεις κλιματισμού όπου δεν απαιτούνται θερμοκρασίες χαμηλότερες από 0°C. Τα επίπεδα πίεσης στις συσκευές αμμωνίας/νερού είναι συνήθως άνω της ατμοσφαιρικής ενώ τα συστήματα με νερό/LiBr λειτουργούν κάτω από μερικό κενό.

Οι ροές θερμότητας στον κύκλο ψύξης είναι οι ακόλουθες:

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

Στα συστήματα ψύξης με απορρόφηση που χρησιμοποιούν LiBr/νερό η θερμότητα πρέπει να παρέχεται σε θερμοκρασία 60-80°C ενώ μπορεί να φτάσει και έως 150°C σε σύστημα διπλού κελύφους. Για συστήματα που χρησιμοποιούν αμμωνία/νερό η απαιτούμενη θερμοκρασία της παρεχόμενης θερμότητας είναι 100 - 120°C.

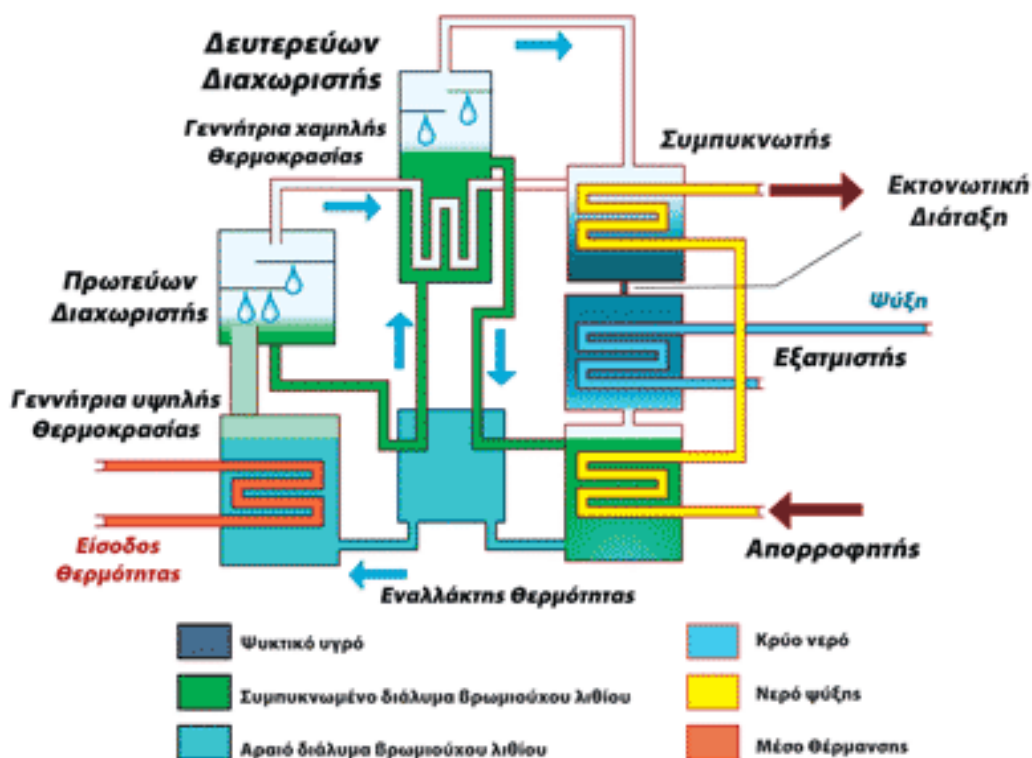
5.3.5 Τροποποιήσεις του συστήματος

Ο βασικός κύκλος μπορεί να τροποποιηθεί με πολλούς τρόπους. Ένας από αυτούς είναι να χρησιμοποιηθούν όλες οι δυνατές ευκαιρίες για ανάκτηση θερμότητας μέσα στον κύκλο ώστε να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας εντός αυτού. Για παράδειγμα, είναι σύνηθες να εναλλάσσεται θερμότητα ανάμεσα στο αραιό διάλυμα που φεύγει από τον απορροφητή και στο ισχυρό διάλυμα που οδηγείται πίσω σε αυτόν.

Όταν ενσωματωθούν στο σχεδιασμό ενός μηχανήματος όλες οι πιθανότητες ανάκτησης θερμότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν λογικά, επιτυγχάνεται συντελεστής απόδοσης της ψύξης (COP) περίπου 0,7 για το σύστημα νερού/βρωμιούχου λιθίου και περίπου 0,6 για το σύστημα αμμωνίας/νερού.

Περαιτέρω βελτιώσεις μπορούν να επιτευχθούν αν γίνει επιπλέον εκμετάλλευση της θερμότητας σε υψηλή θερμοκρασία από την γεννήτρια. Τα αποκαλούμενα συστήματα διπλού κελύφους εμπεριέχουν 2 γεννήτριες/απορροφητές σε στάδια με σκοπό την εκμετάλλευση της διαθέσιμης θερμότητας σε δύο στάδια. Θερμότητα παρέχεται στην πρώτη γεννήτρια σε περίπου 170 °C, ενώ η θερμότητα που απορρίπτεται από τον αντίστοιχο συμπυκνωτή χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει δεύτερη γεννήτρια σε χαμηλότερο επίπεδο, περίπου 100°C.

Το COP ενός τέτοιου συστήματος με νερό/βρωμιούχο λίθιο σαν μέσο μπορεί να προσεγγίσει το 1,2, το οποίο είναι σαφώς καλύτερο από το 0,7 του συστήματος μονής βαθμίδας. Βέβαια δεν είναι σε διπλάσια τιμή λόγω της ατελούς εναλλαγής θερμότητας ανάμεσα στα ρεύματα καθώς και του ότι η εξάτμιση του ψυκτικού μέσου είναι αναγκαστικά υψηλότερη όταν εξατμίζεται από ένα διάλυμα παρά από ένα καθαρό υγρό.



Εικόνα 5. 5: Διάταξη ενός τροποποιημένου ψύκτη απορρόφησης

5.3.6 Ψύκτες Li-Br

Τα περισσότερα συστήματα με νερό/LiBr ως ζεύγος εργασίας έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές κλιματισμού. Για ιστορικούς λόγους οι δυναμικότητες δίδονται σε

ψυκτικούς τόνους RT (ΗΠΑ). Ένας ψυκτικός τόνος αντιστοιχεί περίπου σε 3,5 kWth παραγόμενης ψύξης.

Συσκευές μονού κελύφους

Οι περισσότεροι κατασκευαστές προσφέρουν συσκευές μονού κελύφους από περίπου 100 RT έως 1500 RT, δηλαδή από 350 kWth έως 5,2 MWth. Αυτές τροφοδοτούνται από ατμό από 135 έως 205 kPa g (1-2 bar gauge, 2-3 bar), ο οποίος αντιστοιχεί σε θερμοκρασία ατμού από 110 έως 120°C. Εναλλακτικά μπορούν να τροφοδοτηθούν από ζεστό νερό από 115 έως 150°C και μέγιστη πίεση 9 bar. Το COP τους κυμαίνεται από 0,6 έως 0,7. Η κατανάλωση ατμού μιας μηχανής μονού κελύφους είναι περίπου 2,3 kg/h ανά kWth. Η παροχή του ζεστού νερού κυμαίνεται από 30 έως 72 kg/h ανά kWth ανάλογα με την επιτρεπόμενη θερμοκρασιακή διαφορά.

Μηχανές διπλού κελύφους

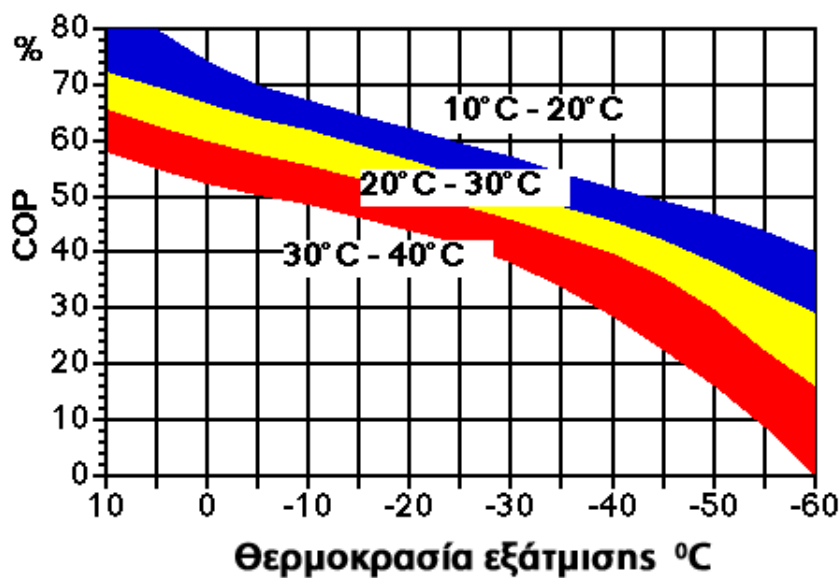
Οι μηχανές διπλού κελύφους είναι περίπου στο ίδιο εύρος δυνατοτήτων με τις μηχανές μονού κελύφους. Η ελάχιστη ικανότητα ψύξης που προσφέρεται από μερικούς κατασκευαστές είναι λίγο μεγαλύτερη: 200 RT για μια εταιρεία 350 RT για άλλη εταιρεία (700 και 1200 kWth αντίστοιχα). Ατμός είναι το προτιμότερο μέσο που χρησιμοποιείται για την παροχή θερμότητας. Ο ατμός εδώ θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 9 και 10 bar gauge, 10-11 bar, ή από 1100 ως 1200 kPa, συνθήκες που αντιστοιχούν σε θερμοκρασία από 175 έως 185°C. Σύμφωνα με συλλεχθείσες πληροφορίες, είναι επίσης δυνατόν η τροφοδότηση των συσκευών αυτών με ζεστό νερό, θερμοκρασίας μεταξύ 155 και 205°C. Ο συντελεστής απόδοσης COP σε κάθε περίπτωση κυμαίνεται μεταξύ 0,9 και 1,2. Η κατανάλωση ατμού στις συσκευές διπλού κελύφους είναι περίπου 1,4 kg/h ανά kWth.

Απόδοση

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης μετριέται σε σχέση με παραγωγή ψύξης προς την παρεχόμενη θερμότητας και συμβολίζεται COP. Οι ψύκτες μονού κελύφους έχουν τυπικό συντελεστή απόδοσης γύρω στο 0,7, οι ψύκτες διπλού κελύφους έχουν τυπικό συντελεστή απόδοσης γύρω στο 1,1. Αυτό σημαίνει ότι ο ψυκτικός πύργος που απαιτείται για ένα ψύκτη διπλού κελύφους είναι μικρότερος από αυτόν που απαιτείται για ένα ψύκτη μονού κελύφους (περίπου 40%). Η πολυπλοκότητα των συσκευών διπλού κελύφους αυξάνει αντιστοίχως και το κόστος τους. Τα συστήματα διπλού κελύφους είναι διαθέσιμα για ισχύεις από 400 ως 1000 RT. Όλοι οι εμπορικά διαθέσιμοι ψύκτες απορρόφησης αποβάλλουν θερμότητα σε ένα κύκλωμα με πύργο ψύξης. Στις περισσότερες περιπτώσεις η θερμοκρασία στο κύκλωμα αυτό είναι 32/37°C ενώ οι μονάδες χαμηλής θερμοκρασίας ζεστού νερού των Sanjo και Yazaki απαιτούν χαμηλότερες θερμοκρασίες 30/35°C.

5.3.7 Ψύκτες αμμωνίας - νερού

Οι ψύκτες αμμωνίας - νερού σχεδιάστηκαν αρχικά για βιομηχανικές εφαρμογές ψύξης, π.χ για ψύξη τροφών, χαμηλές με θερμοκρασίες εξάτμισης μέχρι -60°C . Αυτό το είδος των μηχανών είναι προτεινόμενο να χρησιμοποιείται όταν απαιτούνται θερμοκρασίες κάτω από 0°C , αφού οι μονάδες με νερό/LiBr δεν μπορούν να λειτουργήσουν στις θερμοκρασίες αυτές. Η θερμοκρασία στην οποία πρέπει να παρέχεται ο ατμός για να «πυροδοτήσει» μια μονάδα εξαρτάται από τη διαθέσιμη θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού και από τη θερμοκρασία ψύξης που θέλουμε να πετύχουμε.



Εικόνα 5. 6: Διάγραμμα COP συναρτήσει θερμοκρασία εξάτμισης και θερμοκρασία νερού ψύξης

Απόδοση

Το παραπάνω διάγραμμα δίνει μια ένδειξη του συντελεστή απόδοσης (COP), μιας διαδικασίας απορρόφησης NH_3 -μονής φάσης, εξαρτώμενο από θερμοκρασία της εξάτμισης και του νερού ψύξης. Οι χρωματιστές γραμμές αναφέρονται σε εύρος θερμοκρασίας νερού ψύξης. Τα μηχανήματα αμμωνίας κοστίζουν περίπου € 1250 με 1750 ανά ψυκτικό τόνο. Αν κάποιος εξάγει συμπερασματικά τις σχέσεις στο διάγραμμα, μπορεί να συμπεράνει ότι COP που υπερβαίνει το 0,6 είναι αναμενόμενο στις περισσότερες εφαρμογές. Σε περιπτώσεις επιλογής συστήματος με αμμωνία/νερό, αντί για νερό/LiBr, τότε η απόδοση, οι απαιτήσεις σε θερμότητα και οι θερμοκρασιακές απαιτήσεις θα κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα με το σύστημα νερού/LiBr.

5.3.8 Τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά ψυκτών απορρόφησης

Παράμετροι	<i>NH₃/νερό</i>	<i>Νερό/LiBr</i>	
Βαθμίδα*	Μονή	Μονή	Διπλή
Ψυκτική ισχύς (kW)	20 - 2500	300 - 5000	300 - 5000
COP	0.6 - 0.7	0.5 - 0.6	0.9 - 1.1
Θερμοκρασιακό εύρος (°C)	120 - 132	120 - 132	150 - 170
Κόστος μηχανημάτων (€/ton)	1250 to 1750	870 to 920	930 to 980

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

Το κόστος συντήρησης των ψυκτών απορρόφησης ποικίλλει κατά περίπτωση. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο προμηθευτής προσφέρει και την συντήρηση ολόκληρου του συστήματος ψύξης ενώ σε μερικές περιπτώσεις και την λειτουργία του συστήματος, συμπεριλαμβανομένου και προσωπικού της εταιρείας για την επίβλεψη και τακτικό έλεγχο.

5.3.9 Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση ψύκτη απορρόφησης αντί για ηλεκτρικό ψύκτη μπορεί να είναι :

- Οικονομικά :
 - έως 38% χαμηλότερο κόστος λειτουργίας
 - ελάττωση αιχμών ζήτησης
 - ισοδύναμο κόστος συντήρησης
 - δεν απαιτείται εγκατάσταση ηλεκτρικού υποσταθμού
 - εξοικονόμηση πόρων και χρήση τους σε άλλες επενδύσεις
 - εξοικονόμηση χώρου στην περιοχή εγκατάστασης
- Περιβαλλοντικά
 - διεύρυνση της χρήσης καυσίμων και τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον
 - χρήση νερού αντί για CFC's ή HCFC's ως ψυκτικού μέσου
 - μείωση των εκπομπών ρύπων από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος
 - ακίνδυνη λειτουργία
- Ενεργειακά
 - μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας
 - μείωση του μέγιστου φορτίου

- υποκατάσταση της ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικό αέριο σε κρίσιμες περιόδους
- ελάττωση 40-50% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος σε ένα σπίτι
- οποιαδήποτε απορριπτόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή θερμότητας
- 'ανακούφιση' των δικτύων ηλεκτρισμού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αύξηση της σταθερότητάς τους

5.3.10 Μειονεκτήματα

- μεγάλος χρόνος εκκίνησης λόγω της θερμικής αδράνειας
- υψηλή απορριπτόμενη ενέργεια συνεπάγεται μεγαλύτερο μέγεθος πύργου ψύξης
- υψηλότερο κόστος επένδυσης ανά ψυκτικό kW σε σχέση με τους συμβατικούς ηλεκτρικούς ψύκτες

Το τελευταίο μειονέκτημα κρίνει επιτακτική την ανάγκη της συμμετοχής της πολιτείας με κάποια μορφή επιδότησης.

6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ(ΡΟΗ ΦΟΡΤΙΟΥ)

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν το σύστημα μελέτης που θα χρησιμοποιηθεί και η μεθοδολογία επίλυσής του. Συγκεκριμένα θα γίνει μία αναφορά για το λογισμικό προσομοίωσης, στις μεθόδους επίλυσης ροής φορτίου, παρουσίαση της νήσου Πάτμου και τέλος προσομοίωση του δικτύου διανομής της νήσου Πάτμου με το κατάλληλο λογισμικό Η/Υ. Τα δεδομένα που θα προκύψουν από την προσομοίωση (ροή φορτίου, φορτία, απώλειες γραμμών), θα αξιοποιηθούν, θα μελετηθούν με άλλες παραμέτρους και να γίνει εξέταση διάφορων σεναρίων στο επόμενο κεφάλαιο.

6.2 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

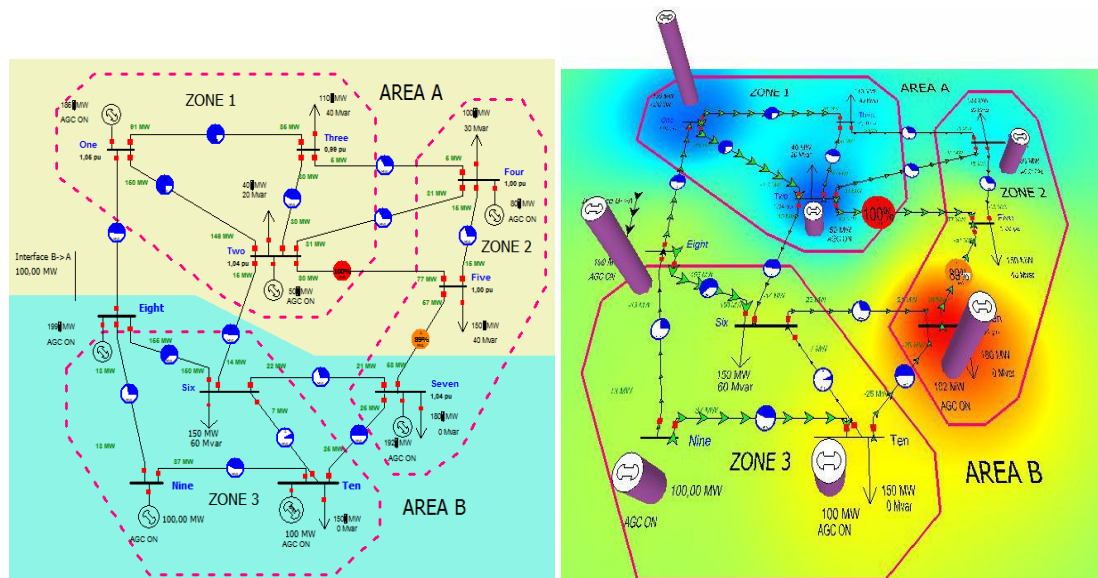
6.2.1 Εισαγωγή

Η προσομοίωση του δικτύου διανομής της νήσου Πάτμου θα γίνει με λογισμικό Η/Υ και συγκεκριμένα το PowerWorld Simulator. Το πρόγραμμα προσομοίωσης PowerWorld είναι ένα αρκετά εύχρηστο εργαλείο κυρίως εξαιτίας της γραφικής παρουσίασης του συστήματος και των αποτελεσμάτων, είναι πολύ κατανοητό για την εκμάθηση και εξάσκηση σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Προσφέρει εργαλεία για τη βέλτιστη ροή ισχύος με περιορισμούς ασφαλείας, για τη διαθέσιμη ικανότητα μεταφοράς, και ένα εργαλείο για τον αυτόματο έλεγχο της παραγωγής. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για την επίλυση ροής ισχύος είναι η Newton-Raphson και παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι επίλυσης ροής φορτίου.

6.2.2 Οι στόχοι του προγράμματος

Το power world (PW) είναι ένα λειτουργικό πρόγραμμα προσομοίωσης και ανάλυσης μοντέλων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.). Κάποια από τα βασικά προβλήματα που μπορεί να λύσει είναι ροές ισχύος και οικονομικής κατανομής. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι ένα αρκετά εύχρηστο και αξιόλογο λογισμικό. Οι δυνατότητες του PW είναι ικανές ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για επιστημονική ανάλυση είτε από μηχανικούς. Όμως λόγω της ικανότητας του

να παρουσιάζει με γραφικό τρόπο τα δεδομένα που προκύπτουν από την εξομοίωση δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί και για ανάλυση και κατανόηση της λειτουργίας από μη τεχνικά ακροατήρια. Ουσιαστικά πρόκειται για μία ικανότατη 'μηχανή' που μπορεί να παρέχει λύση για ροές ισχύος σε ένα σύστημα, ικανή να χειριστεί συστήματα μέχρι και 100.000 ζυγών. Με τη βοήθεια του προσομοιώνεται κάθε λογής ηλεκτρικό δίκτυο επιτρέποντας στον χρήστη να παρακολουθεί το σύστημα και τις αλληλεπιδράσεις των στοιχείων που το αποτελούν μέσω χρωματισμένων κινούμενων (animated) μονογραμμικών διαγραμμάτων ενισχυμένων με τη δυνατότητα εστίασης και μετακίνησης ή περιήγησης στο εκάστοτε μοντέλο. Τα μοντέλα που σχεδιάζονται στο PW μπορούν να τροποποιηθούν ή να σχεδιαστούν από την αρχή ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχει ο χρήστης. Για παράδειγμα, γεννήτριες, γραμμές μεταφοράς και φορτία μπορούν να ανοίξουν ή να κλείσουν απλά με το πάτημα ενός κλικ του ποντικιού. Πέραν όμως από τις βασικές ικανότητες που έχει το PW διαθέτει και τα απαραίτητα εργαλεία για την εκτέλεση μιας ολοκληρωμένης οικονομικής κατανομής φορτίου, οικονομικής ανάλυσης της ανταλλαγής ισχύος μεταξύ των περιοχών-ζωνών του μοντέλου, υπολογισμού των παραγόντων συμμετοχής (PTDF), ανάλυση βραχυκυκλωμάτων και διαταραχών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυνατότητα του PW να γίνεται μεταβολή των παραμέτρων του συστήματος κατά τη διάρκεια της εξομοίωσης. Διευκολύνοντας την αλληλεπίδραση του προγράμματος με το χρήστη, φαινόμενο σπάνιο για λογισμικά του συγκεκριμένου χώρου. Η έκδοση του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας είναι η 15 Beta.



Εικόνα 6.1: Κατάσταση Edit Mode σε 2D και κατάσταση Run Mode σε 3D

Γεννήτριες, ζυγοί, καταναλωτές, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, γραμμές μεταφοράς είναι μερικά από τα στοιχεία που μπορούν να προσομοιωθούν και να

αναλυθούν στο PW. Η παρουσίαση τους γίνεται με τρόπο ρεαλιστικό αφού η χρήση κινούμενων γραφικών (animation) όπου αναπαριστώνται τα στοιχεία προσφέρει μια αντιπροσωπευτική εικόνα του δικτύου που εξετάζεται. Επίσης είναι δυνατή η εμφάνιση του σχεδίου σε τρισδιάστατη αναπαράσταση. Ένας ακόμα λόγος για την επιλογή του συγκεκριμένου λογισμικού είναι η έμφαση που δίνετε στη μελέτη της μόνιμης κατάστασης λειτουργίας. Αυτό συντέλεσε στον αποκλεισμό άλλων υπολογιστικών εργαλείων, όπως το Matlab, τα οποία δίνουν έμφαση στη μεταβατική συμπεριφορά. Αυτά εξετάζουν κυρίως μαθηματικά μοντέλα και συναρτήσεις μεταφοράς, καθιστώντας έτσι δυσνόητη και κουραστική την προσομοίωση.

Το PW πρόγραμμα, εκτός από τις βιομηχανικές, εμπορικές και πειραματικές εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για εκπαιδευτικούς σκοπούς καθώς περιλαμβάνει όλα εκείνα τα εργαλεία που είναι απαραίτητα για την εκμάθηση της λειτουργίας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι όπως, στην παρούσα εργασία είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη πραγματικών ή υποθετικών δικτύων. Με αυτό τον τρόπο γίνεται εφικτή η μελέτη και ανάλυση τους με τρόπο εύκολο και κατανοητό τόσο για τον χρήστη όσο και για τον ακροατή (φοιτητή).

6.2.3 Εκπαιδευτική χρήση του Power World

Η αρχική έκδοση του PW προοριζόνταν για εκπαιδευτική χρήση με εφαρμογή στη διδασκαλία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και την παρουσίαση αποτελεσμάτων ανάλυσης με τρόπο ισχυρό στην ανάλυση και απεικόνιση ηλεκτρικών συστημάτων.

Το PW είναι ένα ευέλικτο πρόγραμμα προσομοίωσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από φοιτητές, από απόφοιτους πανεπιστημίων και μηχανικούς υψηλότερων επιπέδων για τον έλεγχο και την ανάλυση των ΣΗΕ. Επίσης, εκτός από τον ρεαλιστικό τρόπο παρουσίασης των δεδομένων, ο χρήστης του λογισμικού έχει ως βοήθεια μία πλούσια βιβλιοθήκη επεξήγησης όρων που θα χρειαστεί κατά την μοντελοποίηση. Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά του προγράμματος που έχουν εκπαιδευτικό χαρακτήρα είναι μεταξύ άλλων:

- Πλήρης AC και DC ανάλυση
- Αυτόματη δημιουργία ισοδύναμων συστημάτων
- Ανάλυση σφαλμάτων
- Παράγοντες συμμετοχής, ροής φορτίου, χαρακτηριστικά τάσης και ευαισθησία απωλειών.

6.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

Εισαγωγή

Η ανάλυση ροής φορτίου συνίσταται στη μελέτη της συμπεριφοράς ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, που υφίσταται συγκεκριμένη φόρτιση, στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Οι ποσότητες που υπολογίζονται από την ανάλυση ροής φορτίου είναι οι τάσεις όλων των ζυγών του δικτύου και οι ροές ισχύος σε όλες τις γραμμές μεταφοράς και τους μετασχηματιστές.

Η ανάλυση ροής φορτίου είναι βασικής σημασίας για τον καθορισμό της βέλτιστης λειτουργίας ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας καθώς αυτό μπορεί να ικανοποιήσει μια συγκεκριμένη ζήτηση ισχύος κατά διαφορετικούς τρόπους, είναι βασικό να επιλέξει κανείς από το πλήθος των δυνατών καταστάσεων λειτουργίας την καλύτερη και να λειτουργήσει το σύστημα με αυτή.

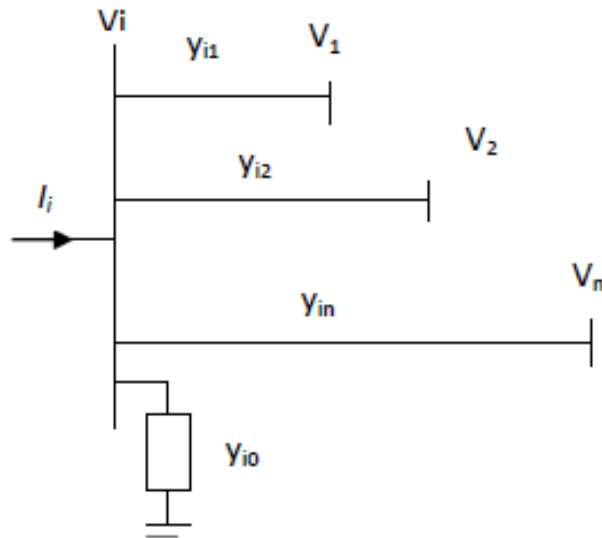
Η ανάλυση ροής φορτίου είναι επίσης πρωταρχικής σημασίας όταν σχεδιάζονται μεταβολές ή μελλοντικές επεκτάσεις σε ένα υπάρχων σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως

- ανάπτυξη νέων μονάδων παραγωγής
- τροφοδοσία νέων φορτίων
- όδευση νέων γραμμών μεταφοράς
- διασύνδεση με άλλα συστήματα

καθόσον θα πρέπει, πριν προχωρήσουμε στην υλοποίηση τους, να μελετήσουμε τις επιπτώσεις που αυτές θα έχουν στη λειτουργία του συστήματος, αλλά και να αναλύσουμε την αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα διάφορων εναλλακτικών λύσεων, να τις συγκρίνουμε μεταξύ τους και να προκρίνουμε την καλύτερη.

Η μελέτη ροής φορτίου είναι επίσης αναγκαία για τον προσδιορισμό της βέλτιστης διαδικασίας λειτουργίας ενός συστήματος όταν για κάποιους λόγους τεθούν εκτός λειτουργίας μία ή περισσότερες μονάδες παραγωγής ή γραμμές μεταφοράς, για την εκτίμηση της επίδρασης που έχουν στη λειτουργία του συστήματος διαφορετικές συνθήκες φόρτισης αυτού καθώς επίσης και για την εύρεση αρχικών τιμών απαραίτητων για άλλες μελέτες όπως μελέτες βραχυκυκλωμάτων, μεταβατικής ευστάθειας κλπ.

Εξίσωση ροής ισχύος



Σημείωση: Οι γραμμές μεταφοράς αναπαριστώνται από τα ισοδύναμα μοντέλα π (σύνθετη αντίσταση σε ρ.υ.).

Εικόνα 6.2: Ένας τυπικός ζυγός σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Εφαρμόζοντας το Νόμο του Kirchhoff για τα ρεύματα στον παραπάνω ζυγό έχουμε:

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n)$$

$$= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \quad (1)$$

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i \quad (2)$$

Η πραγματική και η άεργος ισχύς στον ζυγό i είναι:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (3)$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (4)$$

Αντικαθιστώντας την li στην (2) έχουμε:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (5)$$

Η εξίσωση (5) είναι μία αλγεβρική μη γραμμική εξίσωση που πρέπει να λυθεί με επαναληπτικές τεχνικές.

Μέθοδος Gauss-Seidel

Η εξίσωση (5) λύνεται ως προς V_i (λύνεται επαναληπτικά)

$$V_i^{(k+1)} = \frac{\frac{P_i^{sch} - jQ_i^{sch}}{V_i^{*(k)}} + \sum y_{ij} V_j^{(k)}}{\sum y_{ij}} \quad j \neq i \quad (6)$$

Όπου y_{ij} είναι η πραγματική αγωγιμότητα σε p.u.

P_i^{sch} και Q_i^{sch} είναι η καθαρά πραγματική και άεργη ισχύς σε p.u.

Γράφοντας το Νόμο ρευμάτων του Kirchhoff, το ρεύμα εισόδου στο ζυγό I

θεωρήθηκε θετικό. Έτσι για:

Τους ζυγούς παραγωγής (όπου εισέρχεται πραγματική και άεργη ισχύς). Οι P_i^{sch} και Q_i^{sch} έχουν θετικές τιμές.

Τους ζυγούς φορτίου (όπου η ροή πραγματικής και άεργης ισχύς είναι μακριά από το ζυγό). Οι P_i^{sch} και Q_i^{sch} έχουν αρνητικές τιμές.

Η εξίσωση (5) μπορεί να λυθεί για τα P_i και Q_i

$$P_i^{(k+1)} = R \left\{ V_i^{*(k)} \left[V_i^{(k)} \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (7)$$

$$Q_i^{(k+1)} = -Im \left\{ V_i^{*(k)} \left[V_i^{(k)} \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (8)$$

Η εξίσωση ροής ισχύος συνήθως εκφράζεται από την άποψη των στοιχείων του πίνακα αγωγιμοτήτων του ζυγού Y_{bus} , που δεικνύεται με κεφαλαία γράμματα, είναι $Y_{ij} = -y_{ij}$, και τα διαγώνια στοιχεία είναι $Y_{ii} = \sum y_{ij}$. Ως εκ τούτου η εξίσωση (6) μπορεί να γραφεί ως:

$$V_i^{(k+1)} = \frac{\frac{P_i^{sch} - jQ_i^{sch}}{V_i^{*(k)}} - \sum_{j \neq i} Y_{ij} V_j^{(k)}}{Y_{ii}} \quad (9)$$

$$P_i^{(k+1)} = R \left\{ V_i^{*(k)} \left[V_i^{(k)} Y_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (10)$$

$$Q_i^{(k+1)} = -Im \left\{ V_i^{*(k)} \left[V_i^{(k)} Y_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (11)$$

Επαναληπτικά βήματα:

- Ζυγός αναφοράς: καθορίζονται και τα δύο στοιχεία της τάσης. 2(n-1) εξισώσεις που πρέπει να λυθούν επαναληπτικά.
- Αρχική τάση εκκίνησης: 1,0 + j0 αρχική τάση για άγνωστες τάσεις. (PQ) ζυγοί φορτίου: Τα P_i^{sch} και Q_i^{sch} είναι γνωστά. Με την αρχική τάση

εκκίνησης η εξίσωση (9) λύνεται για τις πραγματικές και φανταστικές συνιστώσες της τάσης.

- (PV) ζυγοί τάσης: Τα P_i^{sch} και V_i είναι γνωστά. Η εξίσωση (11) λύνεται ως προς Q_i^{k+1} το οποίο μετά αντικαθιστάται στην εξίσωση (9) και να λυθεί ως προς V_i^{k+1} .

Ωστόσο, δεδομένου ότι το V_i διευκρινίζεται, μόνο το φανταστικό μέρος του V_i^{k+1} κρατιέται, και το πραγματικό του μέρος επιλέγεται με σκοπό να ικανοποιηθεί:

$$(e_i^{(k+1)})^2 + (f_i^{(k+1)})^2 = |V_i|^2 \quad (12)$$

$$\text{or } e_i^{(k+1)} = \sqrt{|V_i|^2 - (f_i^{(k+1)})^2} \quad (13)$$

- συντελεστής επιτάχυνσης: ο ρυθμός σύγκλισης αυξάνεται με την εφαρμογή ενός συντελεστή επιτάχυνσης στην κατά προσέγγιση λύση που λαμβάνεται από κάθε επανάληψη.

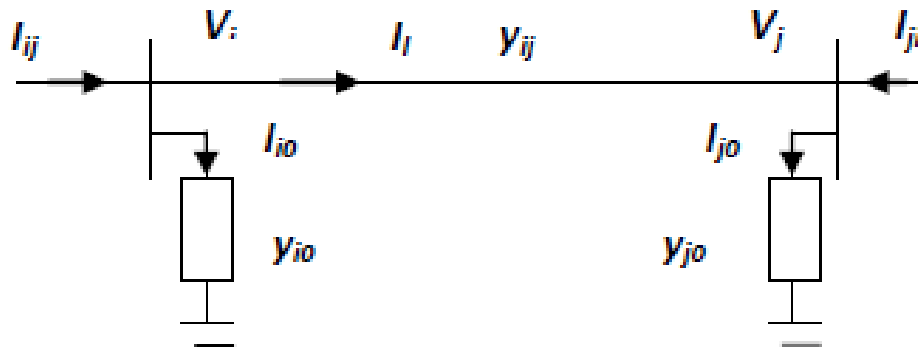
$$V_i^{(k+1)} = V_i^{(k)} + \alpha (V_{i \text{ cal}}^{(k)} - V_i^{(k)}) \quad (14)$$

- Η επανάληψη συνεχίζεται έως

$$\left| e_i^{(k+1)} - e_i^{(k)} \right| \leq \epsilon, \left| f_i^{(k+1)} - f_i^{(k)} \right| \leq \epsilon \quad (15)$$

Μόλις μια λύση συγκλίνει, οι καθαρή πραγματική και άεργος ισχύς στον ζυγό αναφοράς υπολογίζονται από τις εξισώσεις (10) και (11).

Ροές γραμμών και Απώλειες γραμμών



Θεωρώντας το I_{ij} θετικό στη δεδομένη κατεύθυνση,

$$I_{ij} = I_l + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \quad (16)$$

Ομοίως, εξετάζοντας το ρεύμα γραμμής I_{ji} στη δεδομένη κατεύθυνση,

$$I_{ji} = -I_l + I_{j0} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{j0}V_j \quad (17)$$

Η μιγαδική ισχύς S_{ij} από τον ζυγό i στον j και η S_{ji} από τον ζυγό j στον i είναι:

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (18)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (19)$$

Μέθοδος Newton-Raphson

Οι εξισώσεις ροής ισχύος διαμορφώνονται σε πολική μορφή. Για το σύστημα στην εικόνα 6.2, η Εξίσωση (2) μπορεί να γραφτεί από την άποψη του πίνακα αγωγιμότητας ζυγού ως:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (20) \quad \text{Σημείωση: το } j \text{ επίσης περιλαμβάνει το } i$$

Εκφράζοντας σε πολική μορφή

$$I_i = \sum_{j=1}^n |V_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (21)$$

Αντικαθιστώντας για το I_i από την Εξίσωση 21 στην Εξίσωση (4)

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |V_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (22)$$

Χωρίζοντας τα πραγματικά και φανταστικά μέρη:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |V_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (23)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |V_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (24)$$

Επεκτείνοντας τις Εξισώσεις (23) & (24) σε σειρές Taylor σχετικά με την αρχική εκτίμηση αγνοώντας τους τελευταίους όρους της σειράς παίρνουμε:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \frac{\begin{bmatrix} \left(\frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2^{(k)}} \quad \dots \quad \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n^{(k)}} \right) \\ \vdots \\ \left(\frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2^{(k)}} \quad \dots \quad \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n^{(k)}} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} \quad \dots \quad \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \right) \\ \vdots \\ \left(\frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} \quad \dots \quad \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \right) \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} \left(\frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2^{(k)}} \quad \dots \quad \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n^{(k)}} \right) \\ \vdots \\ \left(\frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2^{(k)}} \quad \dots \quad \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n^{(k)}} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} \quad \dots \quad \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \right) \\ \vdots \\ \left(\frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} \quad \dots \quad \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \right) \end{bmatrix}} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (25)$$

Ο Ιακωβιανός πίνακας δίνει τη γραμμικοποιημένη σχέση μεταξύ μικρών μεταβολών στο $\Delta \delta_i^{(k)}$ και στο μέγεθος τάσης $\Delta |V_i^{(k)}|$ με τις μικρές μεταβολές στην πραγματική και άεργο ισχύ $\Delta P_i^{(k)}$ και $\Delta Q_i^{(k)}$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (26)$$

Τα διαγώνια και τα εκτός διαγωνίου στοιχεία του J_1 είναι:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (27)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (28)$$

Ομοίως μπορούμε να βρούμε τα διαγώνια και εκτός διαγωνίου στοιχεία των

J_2, J_3 και J_4

Οι όροι $\Delta P_i^{(k)}$ και $\Delta Q_i^{(k)}$ είναι η διαφορά μεταξύ των προγραμματισμένων και υπολογισμένων τιμών, γνωστοί ως υπόλοιπα ισχύος.

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (29)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (30)$$

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (31)$$

$$\left|V_i^{(k+1)}\right| = \left|V_i^{(k)}\right| + \Delta\left|V_i^{(k)}\right| \quad (32)$$

Διαδικασίες:

1. Για Ζυγούς φορτίου (τα P,Q ορίζονται), αρχική τάση εκκίνησης. Για ζυγούς ελέγχου τάσεως (τα P,V ορίζονται), το δ τίθεται ίσο με το 0.
2. Για Ζυγούς φορτίου, τα $P_i^{(k)}$ και $Q_i^{(k)}$ υπολογίζονται από τις Εξισώσεις (23) και (24) και τα $\Delta P_i^{(k)}$ και $\Delta Q_i^{(k)}$ υπολογίζονται από τις Εξισώσεις (29) και (30).
3. Για ζυγούς ελέγχου τάσεως, και το $P_i^{(k)}$ και το $\Delta P_i^{(k)}$ υπολογίζονται από τις Εξισώσεις (23) και (29) αντίστοιχα.
4. Τα στοιχεία του Ιακωβιανού πίνακα υπολογίζονται.
5. Η γραμμική ταυτόχρονη εξίσωση (26) λύνεται απευθείας με βέλτιστα διαταγμένη τριγωνική παραγοντοποίηση και με Γκαουσιανή απαλοιφή.
6. Τα νέα μεγέθη τάσης και οι γωνίες φάσης υπολογίζονται από τις (31) και (32).
7. Η διαδικασία συνεχίζεται έως τα υπόλοιπα $\Delta P_i^{(k)}$ και $\Delta Q_i^{(k)}$ να είναι λιγότερα από την καθορισμένη ακρίβεια δηλαδή

$$\left|\Delta P_i^{(k)}\right| \leq \epsilon, \left|\Delta Q_i^{(k)}\right| \leq \epsilon \quad (33)$$

Ταχεία Αποζευγμένη Μέθοδος

- Πρακτικά οι γραμμές μεταφοράς ισχύος έχουν υψηλό λόγο X/R.
- Οι μεταβολές της πραγματικής ισχύος είναι λιγότερο ευαίσθητες στις μεταβολές του μεγέθους τάσης και είναι περισσότερο ευαίσθητες σε μεταβολές στη γωνία φάσης $\Delta\delta$.
- Ομοίως, οι μεταβολές της άεργου ισχύος είναι λιγότερο ευαίσθητες σε μεταβολές στη γωνία και είναι κυρίως εξαρτώμενες από τις μεταβολές στο μέγεθος τάσης.
- Επομένως ο Ιακωβιανός πίνακας στην Εξίσωση (26) μπορεί να γραφεί ως

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (34)$$

$$\Delta P = J_1 \Delta \delta = \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \Delta \delta \quad (35)$$

$$\Delta Q = J_4 \Delta |V| = \left[\frac{\partial Q}{\partial |V|} \right] \Delta |V| \quad (36)$$

Τα διαγώνια στοιχεία του J1 που δίνονται από την Εξίσωση (27) γράφονται ως

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) - |V_i|^2 |Y_{ii}| \sin \theta_{ii}$$

Αντικαθιστώντας τον πρώτο όρο της (37) με $-Q_i$ από την (28)

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -Q_i - |V_i|^2 |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} = -Q_i - |V_i|^2 B_{ii}$$

B_{ii} = άθροισμα των ευαισθησιών όλων των στοιχείων που είναι συναφή με τον ζυγό i.

Σε ένα τυπικό σύστημα ισχύος, $B_{ii} \gg Q_i$ επομένως μπορούμε να αγνοήσουμε το Q_i .

Επιπλέον, $[V_i]^2 \approx [V_i]$. Τελικά

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i| B_{ii} \quad (37)$$

Στην εξίσωση (28) υποθέτοντας ότι $\theta_{ii} - \delta_i + \delta_j \approx \theta_{ij}$, τα εκτός διαγωνίου στοιχεία του J1 γίνονται:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| B_{ij} \quad \text{Υποθέτοντας } V_i \approx 1 \text{ έχουμε}$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_j|B_{ij} \quad (38)$$

Ομοίως, μπορούμε να απλοποιήσουμε τα διαγώνια και εκτός διαγωνίου στοιχεία του J4 ως:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_i|B_{ii}; \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i|B_{ij}$$

Με αυτές τις παραδοχές, οι εξισώσεις (35) και (36) μπορούν να γραφούν με την ακόλουθη μορφή:

$$\frac{\Delta P}{|V_i|} = -B' \Delta \delta \quad (39)$$

$$\frac{\Delta Q}{|V_i|} = -B'' \Delta |V_i| \quad (40)$$

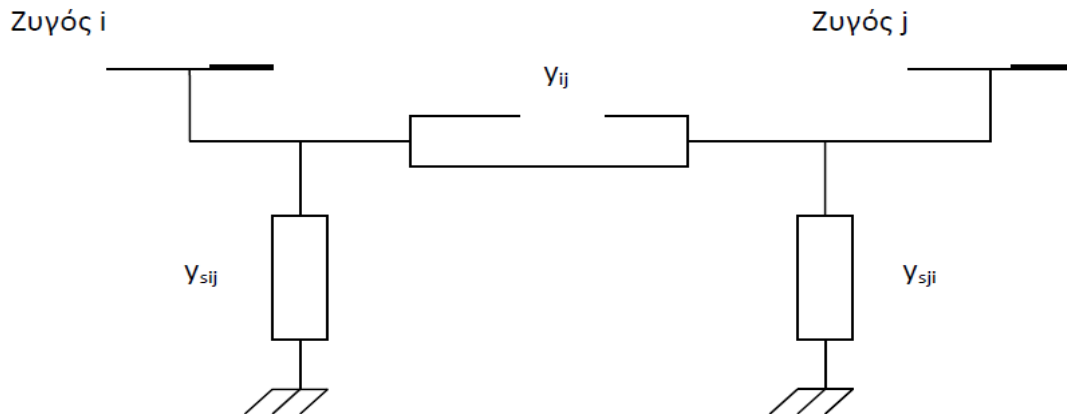
Τα B 'και B'' είναι το φανταστικό μέρος του πίνακα αγωγιμότητας ζυγού Y_{bus} . Δεδομένου ότι τα στοιχεία του πίνακα είναι σταθερά, χρειάζεται να τριγωνοποιούνται και να αναστρέφονται μόνο μία φορά κατά την έναρξη της επανάληψης.

6.4 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΗΕ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η σχηματική αναπαράσταση των στοιχείων ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, όπως χρησιμοποιείται στις μελέτες ροής φορτίου. Συγκεκριμένα δίνονται τα μοντέλα των γραμμών μεταφοράς, των γεννητριών, των εγκάρσιων πυκνωτών και αυτεπαγωγών, των μετασχηματιστών και των φορτίων.

6.4.1 Παράσταση γραμμών μεταφοράς

Οι γραμμές μεταφοράς παρουσιάζονται με ισοδύναμο κυκλώμα Π, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 6.3: Ισοδύναμο κύκλωμα Π-γραμμής μεταφοράς

Στο παραπάνω σχήμα το y_{ij} παριστάνει την αγωγιμότητα σειράς της γραμμής, και τα Y_{sij} , Y_{sji} τις εγκάρσιες αγωγιμότητες.

6.4.2 Παράσταση γεννητριών

Οι γεννήτριες παριστάνονται όπως στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 6.4: Παράσταση γεννήτριας

Η μιγαδική παραγόμενη ισχύς συμβολίζεται ως S_G και ορίζεται ως:

$$S_G = P_G + jQ_G$$

Όπου

$$P_G = E_a I_a \cos \varphi$$

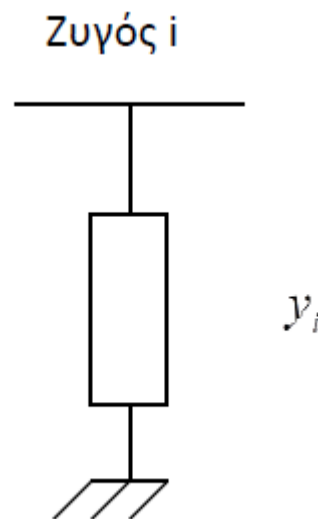
Η παραγόμενη ενεργός ισχύς σε MW, και

$$Q_G = E_a I_a \cos \varphi$$

Η παραγόμενη ισχύς σε MVar

6.4.3 Παράσταση εγκάρσιων πυκνωτών και αυτεπαγωγών

Οι εγκάρσιοι πυκνωτές και αυτεπαγωγές παριστάνονται όπως στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 6.5: Παράσταση εγκάρσιου πυκνωτή και αυτεπαγωγής

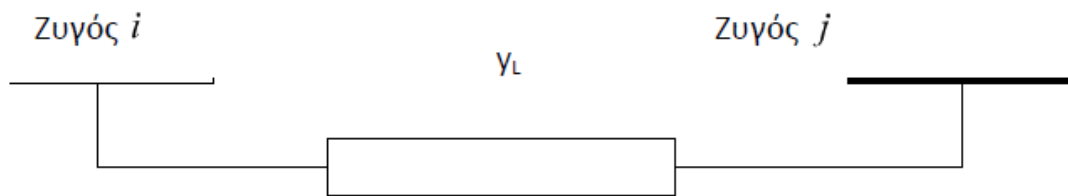
Όπου y_i η αγωγιμότητα μορφής $\mathbf{j}b_i$, θετική για πυκνωτή και αρνητική για αυτεπαγωγή.

6.4.4 Παράσταση μετασχηματιστών

Οι μετασχηματιστές διακρίνονται σε μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης, ρύθμισης και αυτομετασχηματιστές. Η παράστασή τους γίνεται με ισοδύναμα κυκλώματα με παραμέτρους που εξαρτώνται από τη λειτουργία που εκτελούν.

A. Μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης / αυτομετασχηματιστές

Οι μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης και οι αυτομετασχηματιστές παριστάνονται με μια αγωγιμότητα σειράς όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:

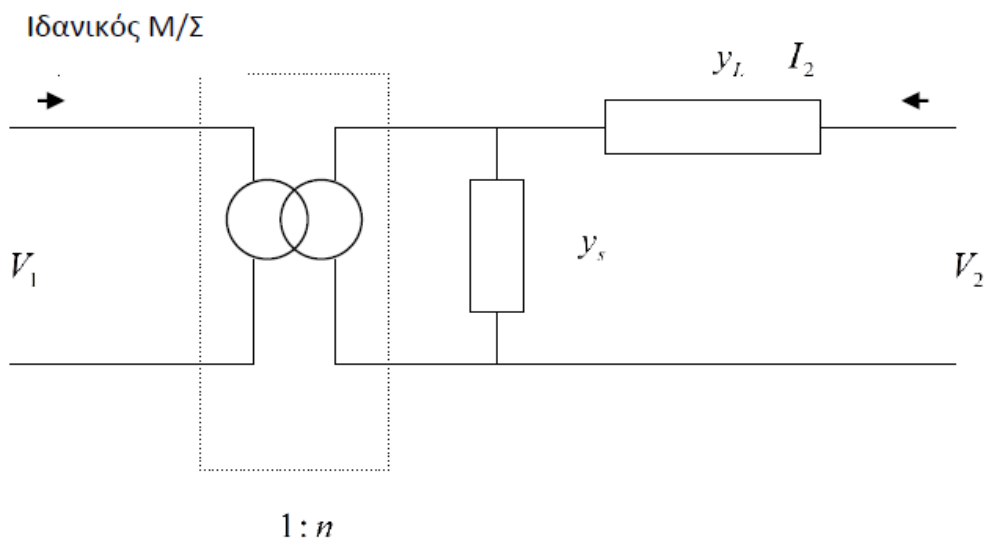


Εικόνα 6.6: Ισοδύναμο κύκλωμα αυτομετασχηματιστή ή ανύψωσης τάσης

Όπου y_L η αγωγιμότητας σειράς.

B. Μετασχηματιστές ρύθμισης

Αντίστοιχα οι μετασχηματιστές ρύθμισης παριστάνονται με το ακόλουθο μοντέλο, όπου ο λόγος μετασχηματισμού είναι μιγαδικός, ώστε να είναι δυνατόν να εξεταστεί είτε ο μετασχηματιστής ρύθμισης μέτρου τάσης, είτε ο μετασχηματιστής ρύθμισης φάσης.



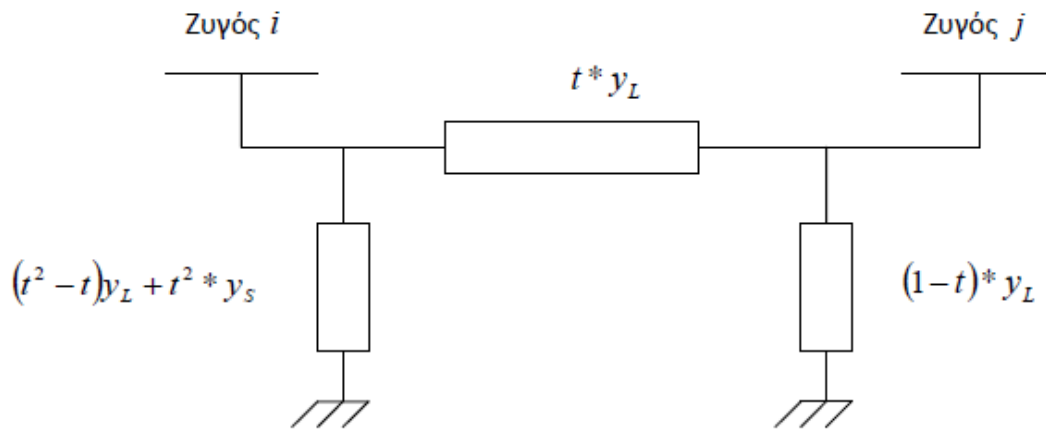
Εικόνα 6.7: Μοντέλο μετασχηματιστή ρύθμισης

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύει:

$$\tilde{I}_1 = |n|^2(y_L + Y_S) * \tilde{V}_1 - n * y_L * \tilde{V}_2$$

$$\tilde{I}_2 = y_L * \tilde{V}_2 - n * y_L * \tilde{V}_1$$

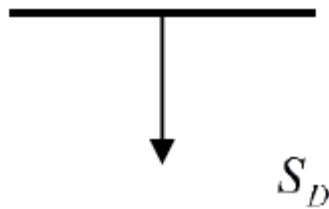
Ισοδύναμο κύκλωμα – Π (αν $n \in \mathfrak{R}$):



Εικόνα 6.8: Ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή ρύθμισης μέτρου τάσης

6.4.5 Παράσταση φορτίων

Α. Φορτία σταθερής ισχύος



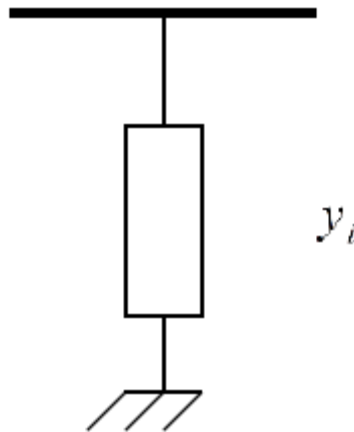
Εικόνα 6.9.1: Παράσταση φορτίου σταθερής ισχύος

Όπου S_D είναι η μιγαδική ισχύς φορτίου:

$$S_D = P_D + jQ_D$$

Όπου P_D η ενεργός ισχύς φορτίου και Q_D η άεργος ισχύς φορτίου

B. Φορτία σταθερής αγωγιμότητας



Εικόνα 6.9.2: Παράσταση φορτίου σταθερής αγωγιμότητας

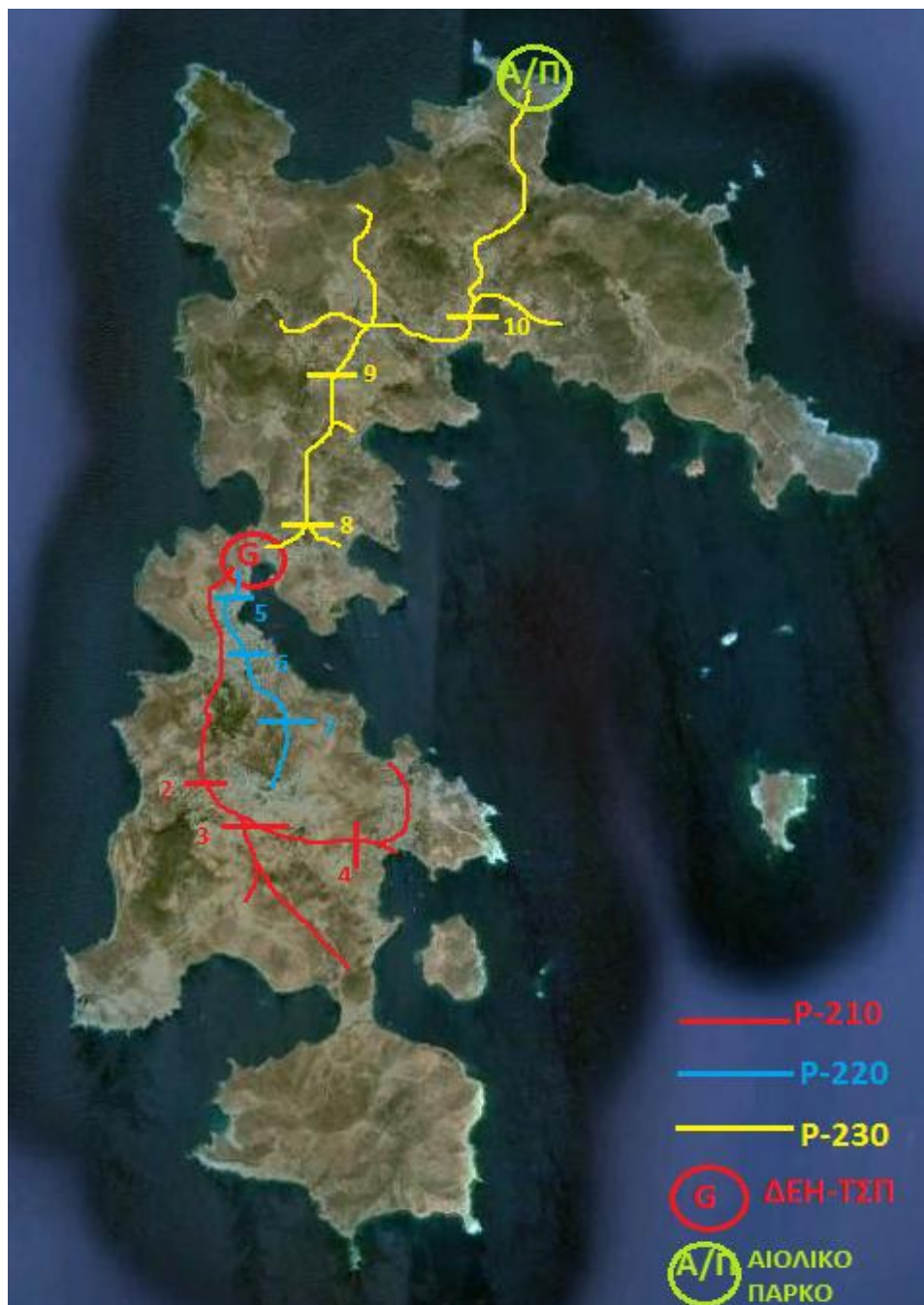
6.5 ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΠΑΤΜΟΥ

6.5.1 Λίγα λόγια για την Πάτμο και τον τοπικό σταθμό παραγωγής της ΔΕΗ

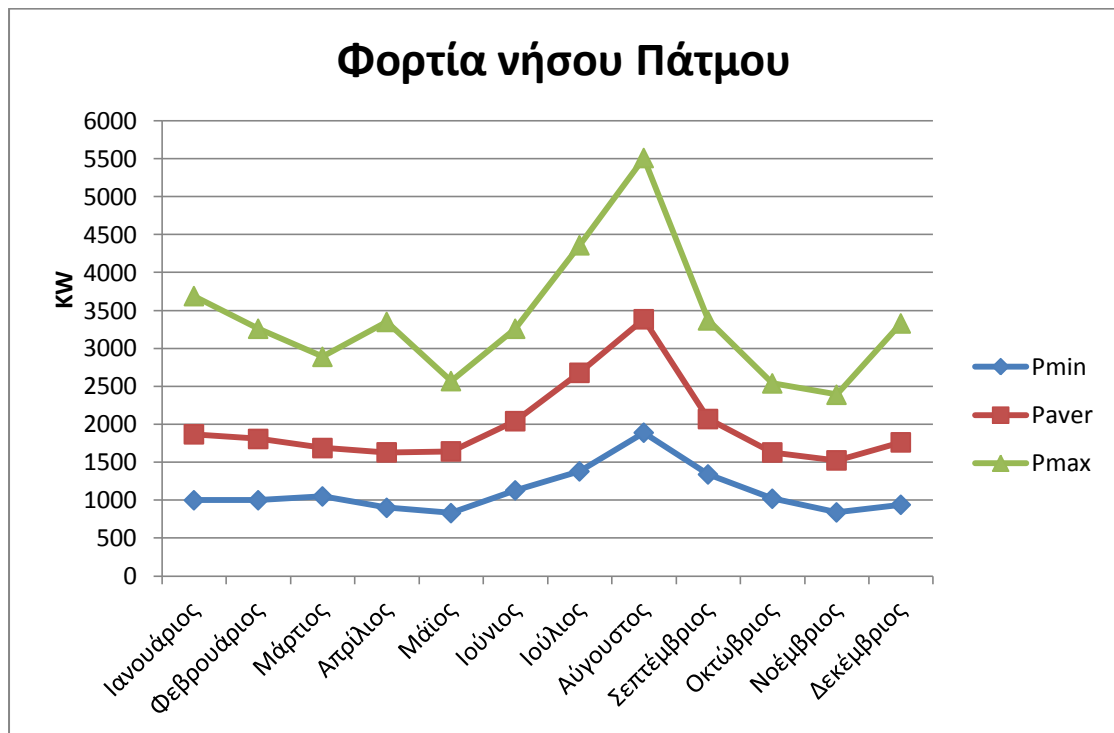
Η Πάτμος είναι ένα νησί του Αιγαίου. Είναι το βορειότερο νησί στο συγκρότημα των Δωδεκανήσων. Βρίσκεται βορειοδυτικά της Λέρου και νοτιοδυτικά της Σάμου, απέχει από το λιμάνι του Πειραιά 158 ναυτικά μίλια. Έχει έκταση 34 τετραγωνικά χιλιόμετρα και μήκος ακτών 63 χιλιόμετρα και μέγιστο μήκος 25 χιλιόμετρα. Οι μόνιμοι κάτοικοι του νησιού είναι 2973 σύμφωνα με την απογραφή του 2001, οι οποίοι διαμένουν σε τρία χωριά τη Σκάλα που είναι το λιμάνι, τη Χώρα και τον Κάμπο.

Ο τοπικός σταθμός παραγωγής της ΔΕΗ βρίσκεται στην Σκάλα 500 μέτρα από το λιμάνι στην μαρίνα. Λειτουργεί εκεί από το 1955 αυτόνομος τροφοδοτώντας όλο το νησί. Τα τελευταία χρόνια έγινε αναβάθμιση του σταθμού όπου αντικαταστάθηκαν οι παλιές μονάδες παραγωγής με καινούργιες. Συνολικά τοποθετήθηκαν έξι μονάδες παραγωγής MITSUBISHI τύπου S16R-PTA ονομαστικής ηλεκτρικής ισχύος 1275 KW (kilowatt) έκαστη. Το καύσιμο που χρησιμοποιούν είναι όπως σε όλα τα μη διασυνδεδεμένα νησιά το πετρέλαιο. Επίσης στο νησί λειτουργεί ένα αιολικό πάρκο με δύο ανεμογεννήτριες της ENERCON τύπου E-40 ηλεκτρικής ισχύος 600 KW έκαστη.

Το δίκτυο διανομής είναι μέσης τάσης των 15 KV (kilovolt), και χωρίζεται σε τρεις γραμμές μεταφοράς οι οποίες είναι: P210-ΧΩΡΑ, P220-ΣΚΑΛΑ, 230-ΚΑΜΠΟΣ. Όπως βλέπουμε κάθε χωριό έχει μια γραμμή. Το μήκος κάθε γραμμής είναι: η 210 ~4 χλμ, η 220 ~1,5 χλμ και η 230 ~7,5 χλμ, και οι τρεις είναι εναέριες ενώ το υλικό και η διατομή των αγωγών είναι CU (χαλκός) 35 mm² (τετραγωνικών χιλιοστών). Παρακάτω έχουμε μία εικόνα του με τις γραμμές μεταφοράς σχεδιασμένες όπως είναι στην πραγματικότητα. Έπειτα έχουμε δύο γραφήματα όπου το πρώτο μας δείχνει τα τυπικά φορτία του νησιού ανά μήνα σε τρεις περιπτώσεις (Pmin, Paver, Pmax) και το δεύτερο τα φορτία ανά ώρα για μία συγκεκριμένη μέρα.



Εικόνα 6.10: Το νησί της Πάτμου και το δίκτυο διανομής



Γράφημα 1: Χαρακτηριστικές τιμές φορτίων το έτος 2010



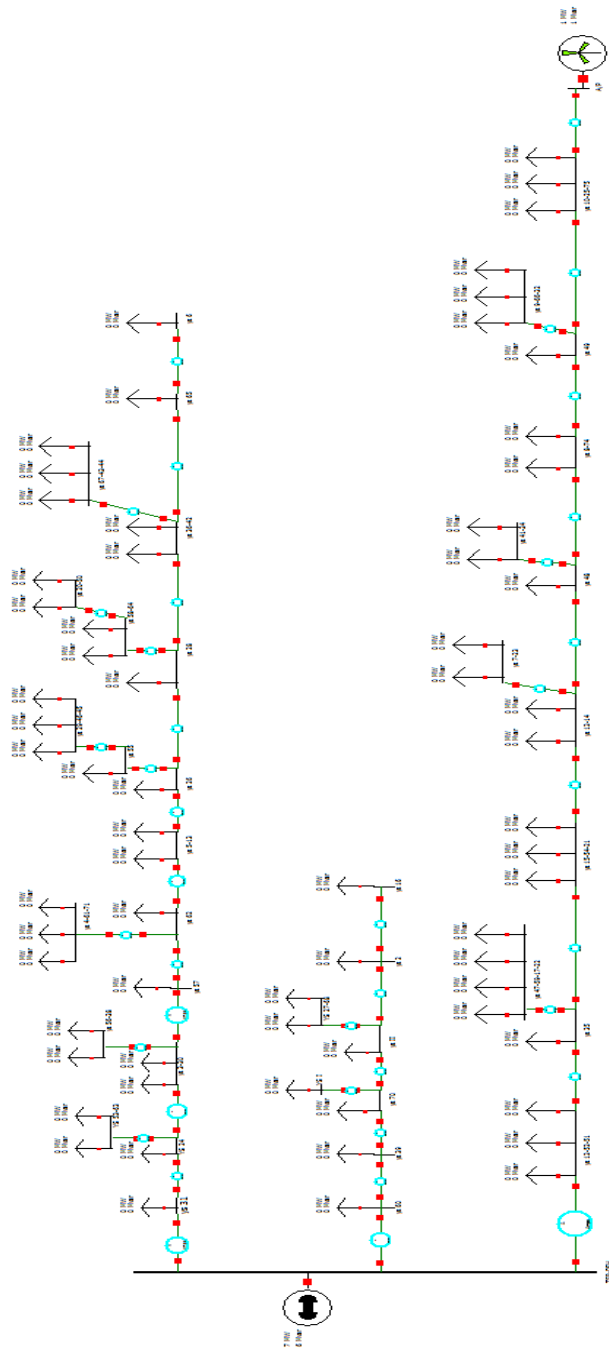
Γράφημα 2: Φορτία ανά ώρα την 14/08/2010

6.6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η προσομοίωση του δικτύου θα γίνει όπως αναφέρθηκε παραπάνω με το λογισμικό PowerWorld. Η σχεδίαση των γραμμών θα γίνει σύμφωνα με τα πραγματικά μονογραμμικά (τα οποία υπάρχουν στο παράρτημα) για όσον το δυνατό πραγματικά αποτελέσματα. Κατά τον σχεδιασμό και την τοποθέτηση των φορτίων όπου οι τιμές τους θα είναι σύμφωνα με την εγκατεστημένη ισχύ των υποσταθμών θα ληφθεί υπ' όψιν συντελεστής ισχύος $\cos\phi=0,8$ όπως και συντελεστής ταυτοχρονισμού 0,6 ο οποίος προκύπτει από το λόγο της αιχμής φορτίου προς τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ και τέλος η ισχύς του αιολικού πάρκου θα είναι στα 600 KW. Πρώτα θα προσομοιωθεί το δίκτυο όπως στην πραγματική του μορφή βάσει των μονογραμμικών για να ελέγξουμε τη λειτουργία του και να πάρουμε τα αποτελέσματα που χρειαζόμαστε και έπειτα θα απλοποιηθεί σε σύστημα 10 ζυγών ώστε η προσομοίωση με τη μονάδα συμπαραγωγής να γίνει πιο εύκολα.

6.6.1 Πραγματικό δίκτυο

Ολοκληρώνοντας τη σχεδίαση έχουμε ένα κύκλωμα 41 ζυγών και 68 φορτίων. Με επίλυση ροής φορτίου ελέγχουμε εάν είναι σωστό το κύκλωμα και βλέπουμε τα αποτελέσματα. Παρακάτω βλέπουμε σε εικόνα τη μορφή του δικτύου σχεδιασμένο στο πρόγραμμα .



Εικόνα 6.11: Ολοκληρωμένο δίκτυο σχεδιασμένο στο Power World

Τα λειτουργικά στοιχεία του δικτύου παρουσιάζονται παρακάτω στην περίπτωση του πλήρες φορτίου.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΟΡΤΙΩΝ

Γραμμή P-220 (ΣΚΑΛΑ)					
A/A Φορτίου	Νούμερο ζυγού	Όνομα ζυγού	MW	Mvar	MVA
1	2	ys 60	0,08	0,06	0,10
2	4	ys 39	0,08	0,06	0,10
3	6	ys 7	0,08	0,06	0,10
4	7	YS I	0,19	0,14	0,24
5	9	ys II	0,12	0,09	0,15
6	11	YS 27-68	0,12	0,09	0,15
7	11	YS 27-68	0,19	0,14	0,24
8	13	ys 2	0,19	0,14	0,24
9	15	ys 16	0,05	0,04	0,06
Σύνολο			1,1	0,82	1,38

Γραμμή P-210 (ΧΩΡΑ)					
A/A Φορτίου	Νούμερο ζυγού	Όνομα ζυγού	MW	Mvar	MVA
10	17	ys 31	0,08	0,06	0,10
11	19	YS 24	0,08	0,06	0,10
12	21	YS 53-63	0,08	0,06	0,10
13	21	YS 53-63	0,05	0,04	0,06
14	23	ys 3-30	0,08	0,06	0,10
15	23	ys 3-30	0,08	0,06	0,10
16	26	ys 56-38	0,05	0,04	0,06
17	26	ys 56-38	0,08	0,06	0,10
18	29	ys 57	0,05	0,04	0,06
19	31	ys 62	0,05	0,04	0,06
20	35	ys 4-61-71	0,02	0,02	0,03
21	35	ys 4-61-71	0,08	0,06	0,10
22	35	ys 4-61-71	0,08	0,06	0,10
23	38	ys 5-131	0,19	0,14	0,24
24	38	ys 5-131	0,08	0,06	0,10
25	40	ys 26	0,12	0,09	0,15
26	42	ys 55	0,08	0,06	0,10
27	44	ys 29-46-45	0,08	0,06	0,10
28	44	ys 29-46-45	0,05	0,04	0,06
29	44	ys 29-46-45	0,19	0,14	0,24
30	45	ys 28	0,12	0,09	0,15
31	46	ys 58-64	0,02	0,02	0,03
32	46	ys 58-64	0,02	0,02	0,03
33	47	ys 20-50	0,08	0,06	0,10
34	47	ys 20-50	0,04	0,03	0,04

35	48	ys 36-42	0,02	0,02	0,03
36	48	ys 36-42	0,08	0,06	0,10
37	49	ys 67-43-44	0,02	0,02	0,03
38	49	ys 67-43-44	0,02	0,02	0,03
39	49	3ys 67-43-44	0,05	0,04	0,06
40	50	ys 65	0,08	0,06	0,10
41	51	ys 6	0,12	0,90	0,91
Σύνολο			2,32	1,78	2,9

ΓΡΑΜΜΗ Ρ-230 (ΚΑΜΠΟΣ)					
A/A Φορτίου	Νούμερο ζυγού	Όνομα ζυγού	MW	Mvar	MVA
42	52	ys 12-52-51	0,08	0,06	0,10
43	52	ys 12-52-51	0,08	0,06	0,10
44	52	ys 12-52-51	0,05	0,04	0,06
45	53	ys 35	0,02	0,02	0,03
46	54	ys 47-59-17-22	0,12	0,09	0,15
47	54	ys 47-59-17-22	0,02	0,02	0,03
48	54	ys 47-59-17-22	0,02	0,02	0,03
49	54	ys 47-59-17-22	0,08	0,06	0,10
50	55	ys 15-54-21	0,08	0,06	0,10
51	55	ys 15-54-21	0,08	0,06	0,10
52	55	ys 15-54-21	0,08	0,06	0,10
53	56	ys 12-14	0,01	0,01	0,01
54	56	ys 12-14	0,08	0,06	0,10
55	57	ys 7-23	0,02	0,02	0,03
56	57	ys 7-23	0,04	0,03	0,04
57	58	ys 48	0,08	0,06	0,10
58	59	ys 41-34	0,02	0,02	0,03
59	59	ys 41-34	0,02	0,02	0,03
60	60	ys 8-74	0,12	0,09	0,15
61	60	ys 8-74	0,08	0,06	0,10
62	61	ys 49	0,08	0,06	0,10
63	62	ys 9-66-32	0,08	0,06	0,10
64	62	ys 9-66-32	0,08	0,06	0,10
65	62	ys 9-66-32	0,04	0,03	0,04
66	63	ys 10-25-75	0,05	0,04	0,06
67	63	ys 10-25-75	0,08	0,06	0,10
68	63	ys 10-25-75	0,02	0,02	0,03
Σύνολο			1,61	1,25	2,01

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ

A/A Γρα μμή ς	Από ζυγό No	Από όνομα ζυγού	Προς ζυγό No	Προς όνομα ζυγού	R(Ω)	Χ(Ω)	MW Loss	Mvar Loss
1	1	TSP-DEH	2	ys 60	0,03973	0,02620	0,0007	0,0005
2	1	TSP-DEH	17	ys 31	0,13244	0,08733	0,111	0,0073
3	1	TSP-DEH	52	ys 12-52-51	0,18542	0,12227	0,002	0,0013
4	2	ys 60	4	ys 39	0,03973	0,02620	0,0006	0,0004
5	4	ys 39	6	ys 70	0,05298	0,03493	0,0007	0,0005
6	6	ys 70	7	YS I	0,05297	0,03493	0	0
7	6	ys 70	9	ys II	0,06622	0,04367	0,0005	0,0003
8	9	ys II	11	YS 27-68	0,11324	0,03707	0,0002	0,0001
9	9	ys II	13	ys 2	0,13244	0,08733	0,0001	0,0001
10	13	ys 2	15	ys 16	0,06622	0,04367	0	0
11	17	ys 31	19	YS 24	0,07947	0,05240	0,0062	0,0041
12	19	YS 24	21	YS 53-63	0,08493	0,02780	0	0
13	19	YS 24	23	ys 3-30	0,05298	0,03493	0,0034	0,0023
14	23	ys 3-30	26	ys 56-38	0,31141	0,10194	0,0001	0
15	23	ys 3-30	29	ys 57	0,05298	0,03493	0,0026	0,0017
16	29	ys 57	31	ys 62	0,02649	0,01747	0,0012	0,0008
17	31	ys 62	35	ys 4-61-71	0,15892	0,10480	0,0001	0,0001
18	31	ys 62	38	ys 5-13	0,10596	0,06987	0,0036	0,0024
19	38	ys 5-13	40	ys 26	0,05298	0,03493	0,0012	0,0008
20	40	ys 26	42	ys 55	0,05298	0,03493	0,0001	0,0001
21	40	ys 26	45	ys 28	0,13244	0,08733	0,001	0,0006
22	42	ys 55	44	ys 29-46-45	0,13244	0,08733	0,0002	0,0001
23	45	ys 28	46	ys 58-64	0,10596	0,06987	0	0
24	45	ys 28	48	ys 36-42	0,13244	0,08733	0,0003	0,0002
25	46	ys 58-64	47	ys 20-50	0,07947	0,05240	0	0
26	48	ys 36-42	49	ys 67-43-44	0,15893	0,10480	0	0
27	48	ys 36-42	50	ys 65	0,15893	0,10480	0,0001	0,0001
28	50	ys 65	51	ys 6	0,13244	0,08733	0	0
29	52	ys 12-52-	53	ys 35	0,10596	0,06987	0,0007	0,0005

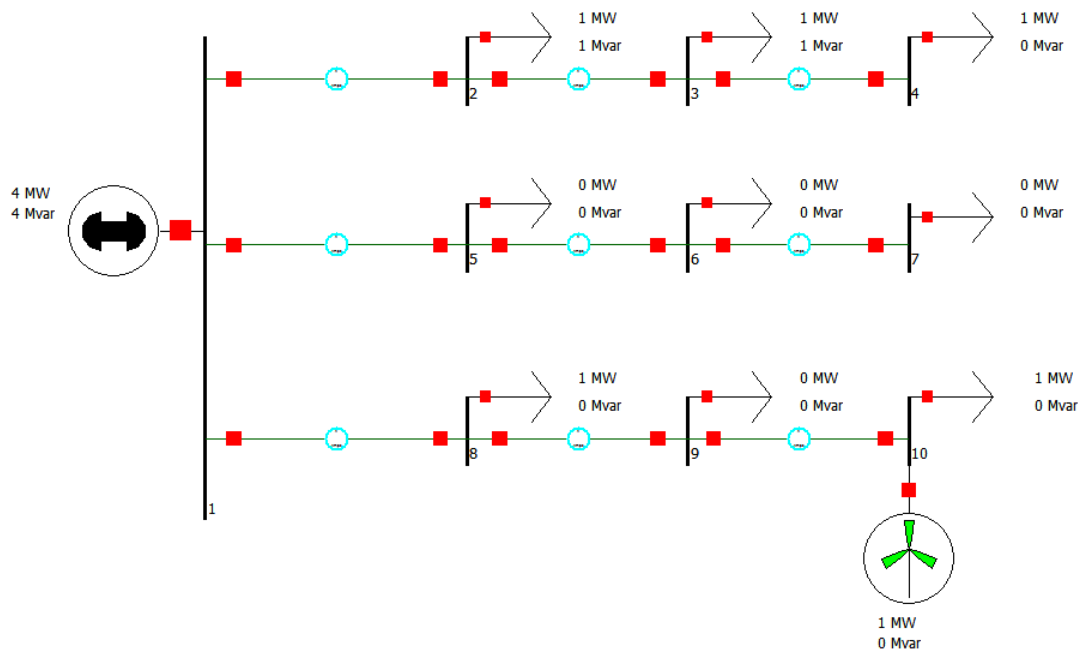
		51						
30	53	ys 35	54	ys 47-59-17-22	0,17218	0,11353	0,0002	0,0001
31	53	ys 35	55	ys 15-54-21	0,26489	0,17466	0,0007	0,0005
32	55	ys 15-54-21	56	ys 12-14	0,34435	0,22706	0,0005	0,0003
33	56	ys 12-14	57	ys 7-23	0,21191	0,13973	0	0
34	56	ys 12-14	58	ys 48	0,15893	0,10480	0,0002	0,0002
35	58	ys 48	59	ys 41-34	0,26489	0,17467	0	0
36	58	ys 48	60	ys 8-74	0,26489	0,17467	0,0005	0,0004
37	60	ys 8-74	61	ys 49	0,13244	0,08733	0,0001	0,0003
38	61	ys 49	62	ys 9-66-32	0,26489	0,17467	0,0031	0,0001
39	61	ys 49	63	ys 10-25-75	0,37084	0,24453	0,0019	0,002
40	63	ys 10-25-75	64	A/P	0,15893	0,10480	0,0444	0,0012

6.6.2 Απλοποιημένο δίκτυο

Επόμενο βήμα είναι η απλοποίηση του κυκλώματος σε σύστημα δέκα ζυγών, ένας ζυγός παραγωγής και εννέα ζυγοί διανομής τρεις για κάθε γραμμή αντίστοιχα θα έχουμε εννέα φορτία τρία για κάθε γραμμή. Ολοκληρώνοντας τη σχεδίαση του απλοποιημένου δικτύου κάνουμε επίλυση ροής ισχύος και καταγράφουμε τα χαρακτηριστικά του (φορτία, γραμμές). Στο επόμενο κεφάλαιο θα υπολογίσουμε τις απώλειες πάνω στις γραμμές μεταφοράς σε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις. Αυτές θα είναι: α) το ελάχιστο ($P_{min}=830$ KW), β) το μέσο ($P_m=1980$ KW), γ) το μέγιστο φορτίο ανά ώρα μέσα σε ένα χρόνο ($P_{max}=5000$ KW) και τέλος δ) για ένα φορτίο αναφοράς που επιλέγουμε εμείς ($P_{ref}=3500$ KW). Τα φορτία αυτά είναι πραγματικές τιμές ενός ολόκληρου χρόνου ή 8760 ώρες.

Για όλες τις περιπτώσεις φόρτισης (P_{min} , P_m , P_{ref} , P_{max}) στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει υπολογισμός των απωλειών χρησιμοποιώντας επιπρόσθετα γεννήτρια συμπαραγωγής ηλεκτρικής ισχύος 500 KW σε έναν έναν τους ζυγούς φορτίων ώστε να εντοπίσουμε σε πιο ζυγό έχουμε τις λιγότερες απώλειες δικτύου και συνάμα την προτιμότερη θέση για να εφαρμόσουμε συμπαραγωγή στο δίκτυο του νησιού.

Παρακάτω βλέπουμε σε εικόνα τη μορφή του απλοποιημένου δικτύου σχεδιασμένο στο πρόγραμμα.



Εικόνα 6.12: Απλοποιημένο δίκτυο σχεδιασμένο στο Power World

Τα λειτουργικά στοιχεία του απλοποιημένου δικτύου παρουσιάζονται παρακάτω στην περίπτωση του πλήρες φορτίου.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΟΡΤΙΩΝ

Α/Α Φορτίου	Νούμερο ζυγού	Όνομα ζυγού	MW	Mvar	MVA
1	2	2	0,68	0,52	0,86
2	3	3	1,09	0,82	1,36
3	4	4	0,55	0,44	0,70
4	5	5	0,24	0,18	0,30
5	6	6	0,43	0,32	0,54
6	7	7	0,43	0,32	0,54
7	8	8	0,55	0,43	0,70
8	9	9	0,43	0,34	0,55
9	10	10	0,63	0,48	0,79

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ

A/A Γρα μμή ς	Από νούμερ ο ζυγού	Από όνομα ζυγού	Προς νούμερο ζυγού	Προς όνομα ζυγού	R(Ω)	X(Ω)	MW Loss	Mvar Loss
1	1	1	2	2	0,26489	0,17467	0,02338	0,01541
2	1	1	5	5	0,13244	0,08733	0,0025	0,00156
3	1	1	8	8	0,66222	0,43667	0,01449	0,00956
4	2	2	3	3	0,39733	0,262	0,01763	0,01163
5	3	3	4	4	0,39733	0,262	0,00206	0,00136
6	5	5	6	6	0,13244	0,08733	0,00152	0,001
7	6	6	7	7	0,13244	0,08733	0,00038	0,00025
8	8	8	9	9	0,66222	0,43667	0,00409	0,0027
9	9	9	10	10	0,66222	0,43667	0,00055	0,00036

7. ΣΕΝΑΡΙΑ, ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε το δίκτυο του νησιού, την τοπολογία του, τα χαρακτηριστικά του και τα στοιχεία που προέκυψαν από την επίλυση ροής φορτίου. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξεταστούν διάφορα σενάρια φόρτισης του απλοποιημένου δικτύου, όπου αυτές οι φορτίσεις προκύπτουν από πραγματικά δεδομένα. Θα γίνει επίλυση ροής φορτίου ώστε να υπολογιστούν οι απώλειες των γραμμών και έπειτα θα προσομοιώσουμε το δίκτυο με μία επιπλέον γεννήτρια η οποία θα είναι η μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ) όπου θα είναι παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης με καύσιμο το πετρέλαιο. Σε κάθε σενάριο φόρτισης η μονάδα ΣΗΘ θα τοποθετείται εναλλάξ σε όλους τους ζυγούς, κάθε φορά θα γίνεται επίλυση ροής φορτίου και θα καταγράφουμε τις απώλειες. Τέλος θα υπολογίσουμε το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου με τη χρήση συστήματος συμπαραγωγής.

7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ, ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΓΡΑΜΜΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Οι απώλειες θα υπολογιστούν σε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις :

- 1^η περίπτωση : $P_{min} = 0,83 \text{ MW}$ Είναι το ελάχιστο φορτίο που έχουμε μέσα σε ένα χρόνο
- 2^η περίπτωση : $P_{aver} = 1,98 \text{ MW}$ Είναι η μέση τιμή των φορτίων ενός χρόνου
- 3^η περίπτωση : $P_{max} = 5 \text{ MW}$ Είναι το μέγιστο φορτίο που έχουμε μέσα σε ένα χρόνο, που είναι ίσο με την εγκατεστημένη ισχύς του δικτύου.
- 4^η περίπτωση : $P_{ref} = 3,5 \text{ MW}$ Είναι η τιμή αναφοράς που έχουμε επιλέξει εμείς.

Σε όλες τις περιπτώσεις θα χρησιμοποιήσουμε μια γεννήτρια ΣΗΘ 500 KW οπότε θα υποθέσουμε ότι είναι η μονάδα συμπαραγωγής μας. Θα την τοποθετήσουμε σε όλους τους ζυγούς εκτός του ζυγού παραγωγής και σε κάθε περίπτωση θα καταγράφουμε τις απώλειες. Ο ζυγός με τις χαμηλότερες απώλειες θα είναι και ο ιδανικότερος.

Σε όλες τις περιπτώσεις η ισχύς του αιολικού πάρκου θα είναι 600 KW και ο συντελεστής ισχύος για όλα τα φορτία $\cos\phi = 0,8$.

1^η περίπτωση για P_{min}

Για την επίλυση στο ελάχιστο φορτίο τις απώλειες θα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε τα φορτία σε κάθε ζυγό για την περίπτωση αυτή. Ο υπολογισμός θα γίνει με τον παρακάτω τύπο :

$$\frac{P_{\min}}{P_{\max}} \times P_{\text{load}}$$

Οπού P_{load} είναι το φορτίο στη μέγιστη τιμή του, δηλαδή η εγκατεστημένη ισχύς του.

Επόμενο βήμα είναι η επίλυση ροής φορτιού και εφόσον όλα είναι σωστά βλέπουμε τις συνολικές απώλειες στο αντίστοιχο παράθυρο και είναι συνολικά :

$$P_{\text{loss}} = 0,0049 \text{ MW ή } P_{\text{loss}} = 4,9 \text{ KW}$$

Τώρα τοποθετούμε μια γεννήτρια ΣΗΘ 500 KW με τη σειρά σε όλους τους ζυγούς

Ζυγός No 2 Κάνουμε επίλυση. Οι συνολικές απώλειες είναι : P_{loss} = 0,0045 MW

Ζυγός No 3 P_{loss} = 0,00441 MW

Ζυγός No 4 P_{loss} = 0,00504 MW

Ζυγός No 5 P_{loss} = 0,00494 MW

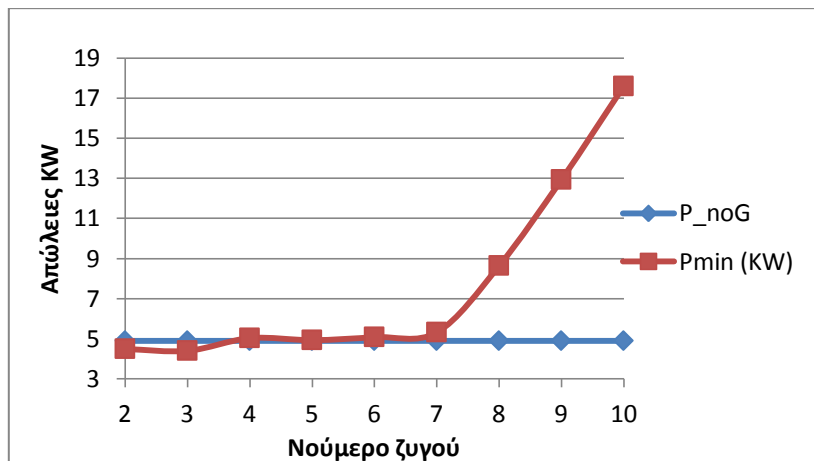
Ζυγός No 6 P_{loss} = 0,00509 MW

Ζυγός No 7 P_{loss} = 0,00533 MW

Ζυγός No 8 P_{loss} = 0,00865 MW

Ζυγός No 9 P_{loss} = 0,01294 MW

Ζυγός No 10 P_{loss} = 0,0176 MW



Γράφημα 1: Σύγκριση απωλειών με και χωρίς συμπαραγωγή

2^η περίπτωση για Paver (average)

Όπως και πριν υπολογίζουμε τα φορτία σε κάθε ζυγό για την περίπτωση αυτή :

$$\frac{P_m}{P_{max}} \times P_{load}$$

Κάνουμε επίλυση ροής φορτίου και οι συνολικές απώλειες είναι :

$$P_{loss} = 0,0088 \text{ MW} \text{ ή } P_{loss} = 8,8 \text{ KW}$$

Τώρα τοποθετούμε μια γεννήτρια ΣΗΘ 500 KW με τη σειρά σε όλους τους ζυγούς

Ζυγός No 2 Κάνουμε επίλυση. Οι συνολικές απώλειες είναι : $P_{loss} = 0,00702 \text{ MW}$

Ζυγός No 3 $P_{loss} = 0,0054 \text{ MW}$

Ζυγός No 4 $P_{loss} = 0,00553 \text{ MW}$

Ζυγός No 5 $P_{loss} = 0,00857 \text{ MW}$

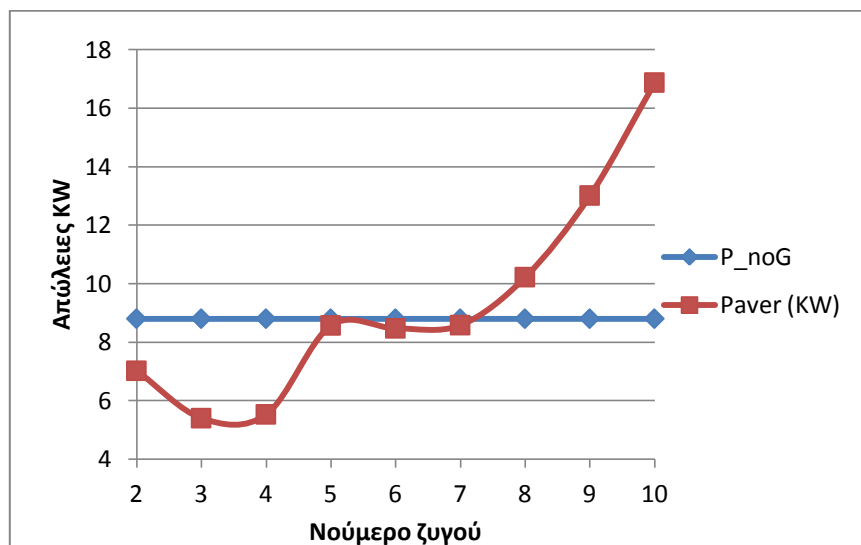
Ζυγός No 6 $P_{loss} = 0,00847 \text{ MW}$

Ζυγός No 7 $P_{loss} = 0,00858 \text{ MW}$

Ζυγός No 8 $P_{loss} = 0,01022 \text{ MW}$

Ζυγός No 9 $P_{loss} = 0,01301 \text{ MW}$

Ζυγός No 10 $P_{loss} = 0,01687 \text{ MW}$



Γράφημα 2: Σύγκριση απωλειών με και χωρίς συμπαράγωγή

3^η περίπτωση για P_{max}

Εδώ τα φορτία δεν θέλουν υπολογισμό χρησιμοποιούμε την εγκατεστημένη ισχύς :

$$P_{\max} = P_{\text{load}}$$

Κάνουμε επίλυση ροής φορτίου και οι συνολικές απώλειες είναι :

$$P_{\text{loss}} = 0,0666 \text{ MW ή } P_{\text{loss}} = 66,6 \text{ KW}$$

Τώρα τοποθετούμε μια γεννήτρια 500 KW με τη σειρά σε όλους τους ζυγούς

Ζυγός No 2 Κάνουμε επίλυση. Οι συνολικές απώλειες είναι : $P_{\text{loss}} = 0,06105 \text{ MW}$

Ζυγός No 3 $P_{\text{loss}} = 0,05513 \text{ MW}$

Ζυγός No 4 $P_{\text{loss}} = 0,05383 \text{ MW}$

Ζυγός No 5 $P_{\text{loss}} = 0,06556 \text{ MW}$

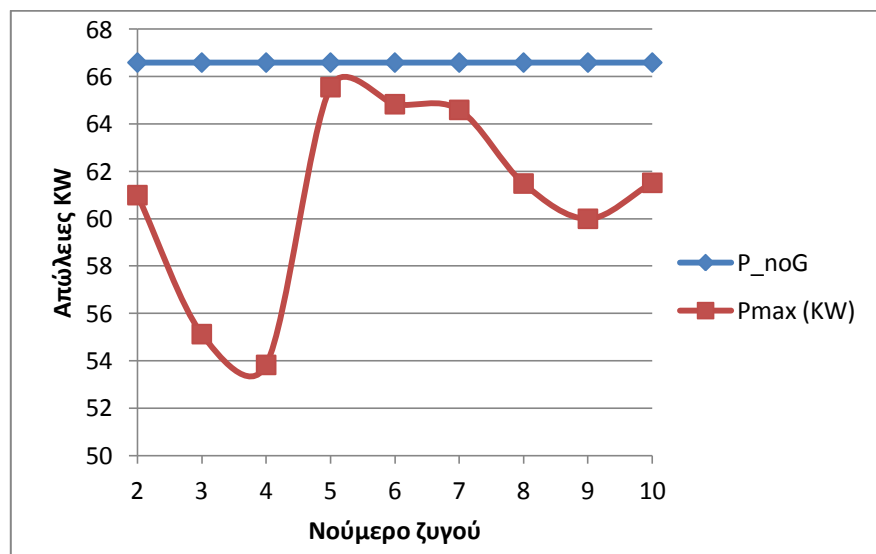
Ζυγός No 6 $P_{\text{loss}} = 0,06484 \text{ MW}$

Ζυγός No 7 $P_{\text{loss}} = 0,0646 \text{ MW}$

Ζυγός No 8 $P_{\text{loss}} = 0,06149 \text{ MW}$

Ζυγός No 9 $P_{\text{loss}} = 0,06 \text{ MW}$

Ζυγός No 10 $P_{\text{loss}} = 0,06152 \text{ MW}$



Γράφημα 3: Σύγκριση απωλειών με και χωρίς συμπαραγωγή

4η περίπτωση για Pref (reference)

Όπως και πριν υπολογίζουμε τα φορτία σε κάθε ζυγό για την περίπτωση αυτή :

$$\frac{P_{pref}}{P_{max}} \times P_{load}$$

Πρώτα θα κάνουμε επίλυση ροής φορτίου χωρίς καμιά επέμβαση στο κύκλωμα και οι συνολικές απώλειες είναι :

$$P_{loss} = 0,0286 \text{ MW} \text{ ή } P_{loss} = 28,6 \text{ KW}$$

Τώρα τοποθετούμε μια γεννήτρια 500 KW με τη σειρά σε όλους τους ζυγούς

Ζυγός No 2 Κάνουμε επίλυση. Οι συνολικές απώλειες είναι : $P_{loss} = 0,0249 \text{ MW}$

Ζυγός No 3 $P_{loss} = 0,0212 \text{ MW}$

Ζυγός No 4 $P_{loss} = 0,0206 \text{ MW}$

Ζυγός No 5 $P_{loss} = 0,0279 \text{ MW}$

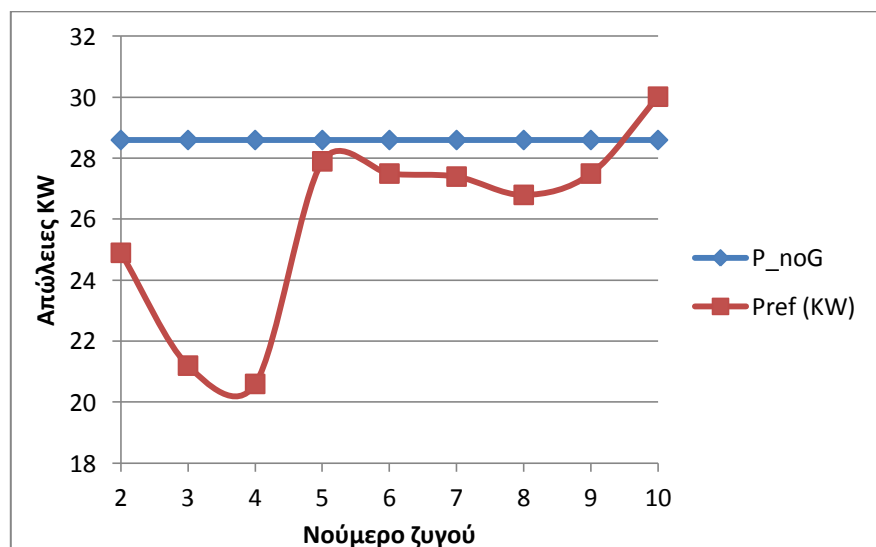
Ζυγός No 6 $P_{loss} = 0,0275 \text{ MW}$

Ζυγός No 7 $P_{loss} = 0,0274 \text{ MW}$

Ζυγός No 8 $P_{loss} = 0,0268 \text{ MW}$

Ζυγός No 9 $P_{loss} = 0,0275 \text{ MW}$

Ζυγός No 10 $P_{loss} = 0,0302 \text{ MW}$



Γράφημα 4: Σύγκριση απωλειών με και χωρίς συμπαραγωγή

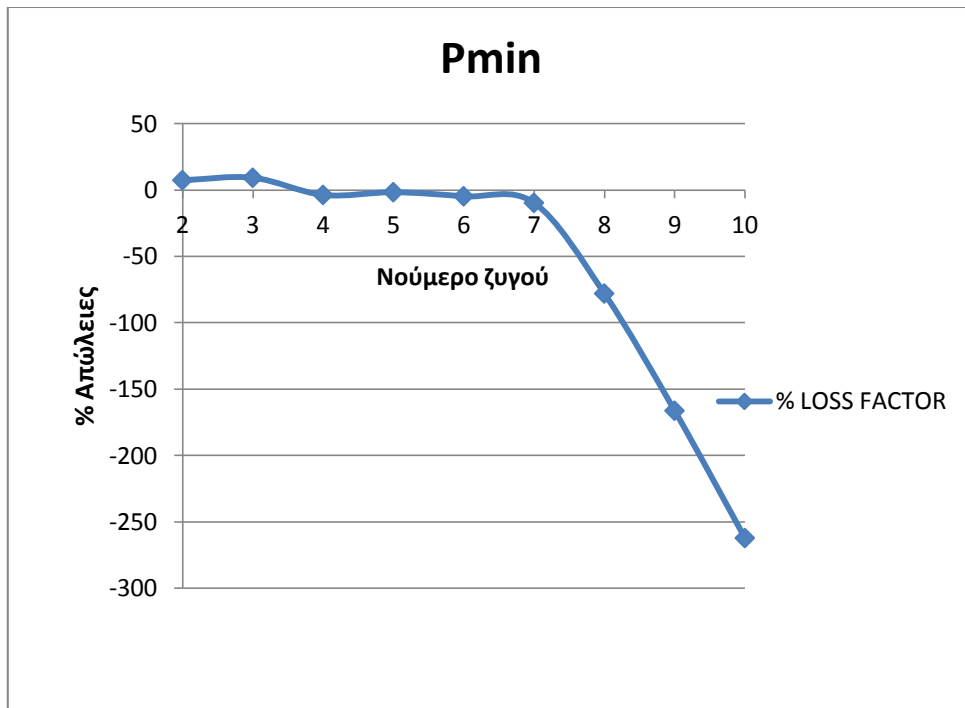
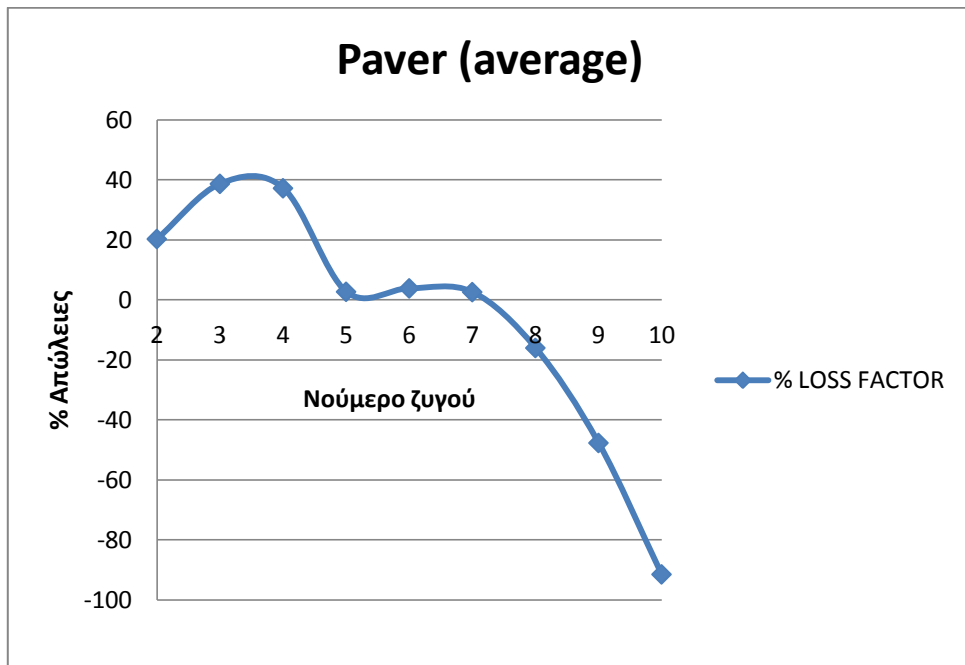
Συγκεντρωτικά οι απώλειες ανά περίπτωση είναι :

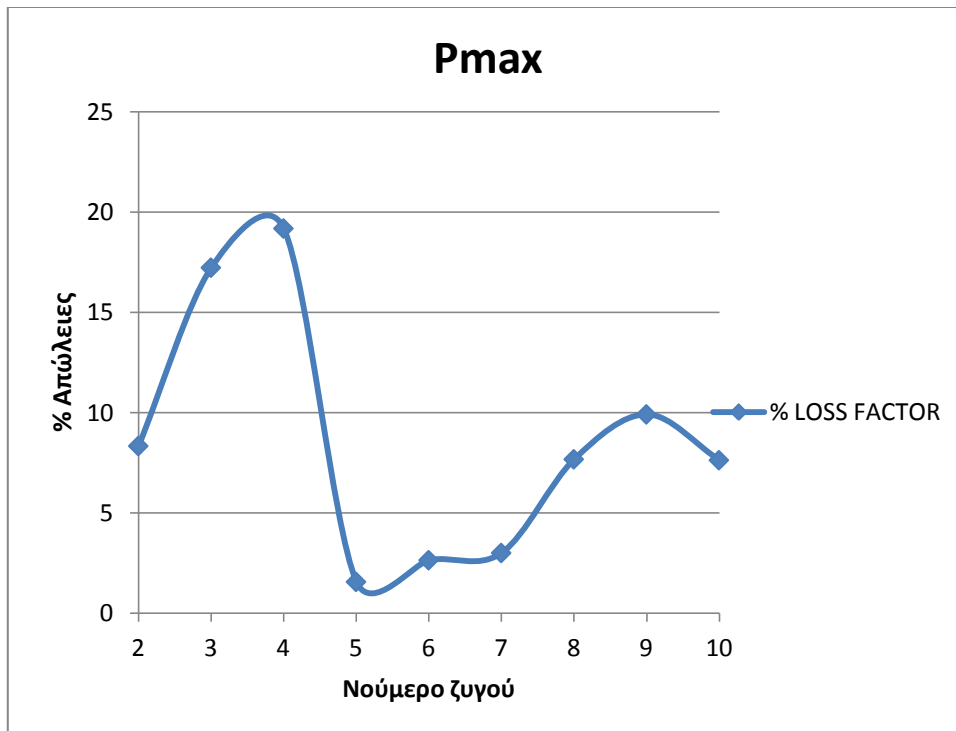
Απώλειες Ploss (KW)				
Pmin		4,9		
Paver		8,8		
Pmax		66,6		
Pref		28,6		
Απώλειες με γεννήτρια ΣΗΘ 500 KW				
BUS	Pmin (KW)	Paver (KW)	Pmax (KW)	Pref (KW)
2	4,5	7,02	61,0	24,9
3	4,41	5,4	55,13	21,2
4	5,04	5,53	53,83	20,6
5	4,94	8,57	65,56	27,9
6	5,09	8,47	64,84	27,5
7	5,33	8,58	64,6	27,4
8	8,65	10,22	61,49	26,8
9	12,94	13,01	60	27,5
10	17,6	16,87	61,52	30,02

Ποσοστό μείωσης απωλειών ανά ζυγό

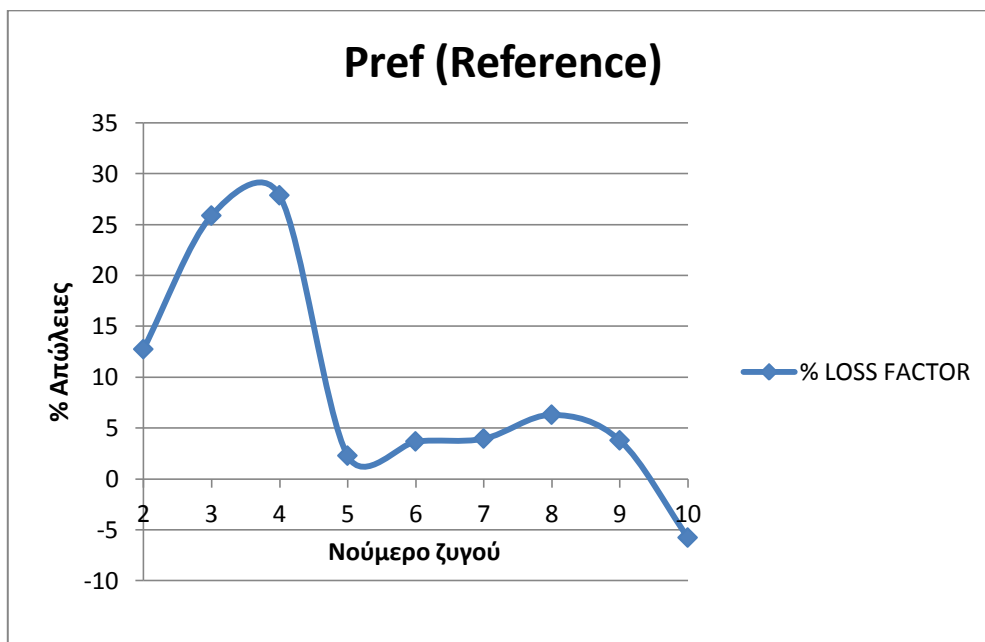
Νούμερο ζυγού	Pmin (% Loss Factor)	Paver (Average) (% Loss Factor)	Pmax (% Loss Factor)	Pref (Reference) (% Loss Factor)
2	7,4074	20,31782	8,333	12,74064
3	9,2593	38,70602	17,222	25,86629
4	-3,7037	37,23042	19,1742	27,86139
5	-1,6461	2,724177	1,5616	2,275114
6	-4,7325	3,859251	2,6426	3,675184
7	-9,6708	2,61067	3,003	3,955198
8	-77,9835	-16,0045	7,6726	6,300315
9	-166,255	-47,6731	9,9099	3,780189
10	-262,14	-91,4869	7,6276	-5,77529

Γραφήματα

Γράφημα 5: Ποσοστό κέρδους απωλειών σε σχέση με το ζυγό για P_{min}Γράφημα 6: Ποσοστό κέρδους απωλειών σε σχέση με το ζυγό για P_{aver}



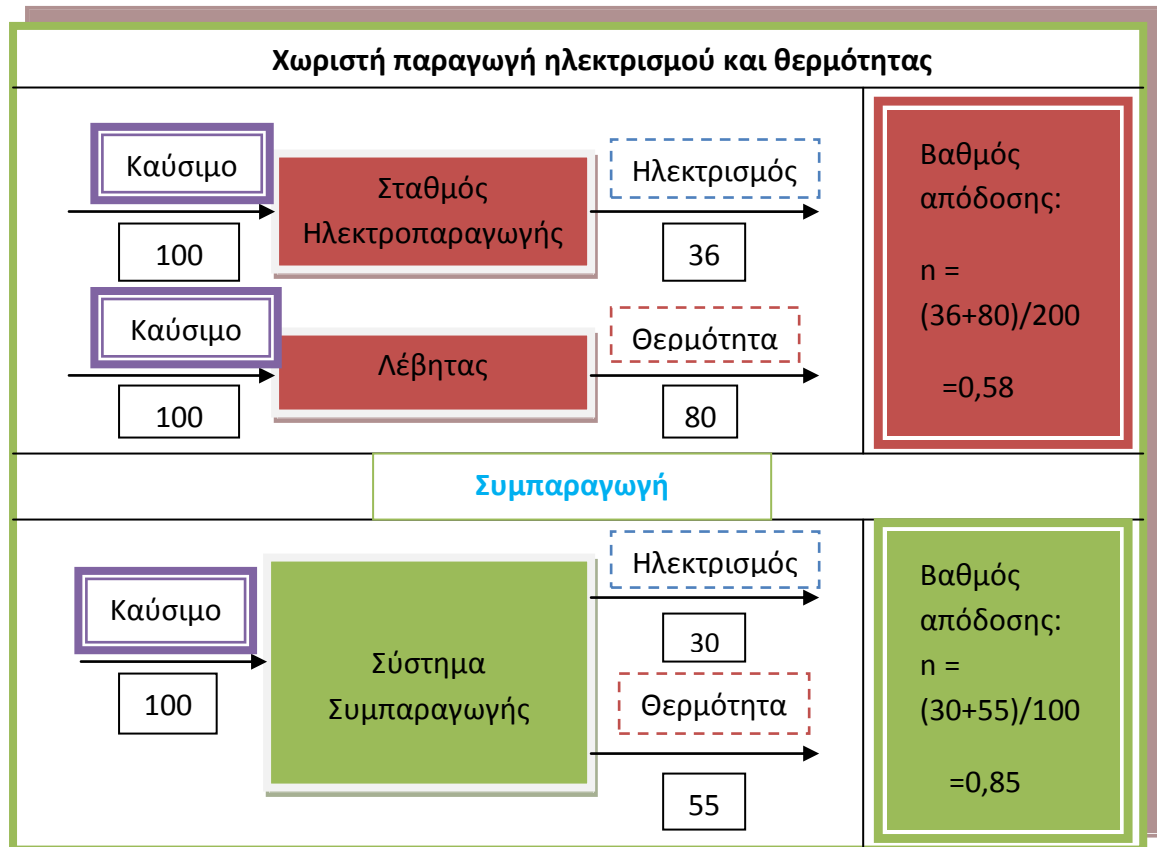
Γράφημα 7: Ποσοστό κέρδους απωλειών σε σχέση με το ζυγό για Pmax



Γράφημα 8: Ποσοστό κέρδους απωλειών σε σχέση με το ζυγό για Pref

7.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Σύγκριση βαθμού απόδοσης συστήματος ξεχωριστής παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και συστήματος ΣΗΘ.



Επεξήγηση ορισμών

P : ηλεκτρική ισχύς

Q : θερμική ισχύς

α_{γ} : απόδοση γεννήτριας χωρίς συμπαραγωγή

α_{λ} : απόδοση λέβητα χωρίς συμπαραγωγή

σ_{η} : απόδοση γεννήτριας με συμπαραγωγή

σ_{θ} : απόδοση λέβητα με συμπαραγωγή

K : ισχύς καυσίμου(κατώτερη θερμογόνος ενέργεια ανά ώρα σε kW) που καταναλίσκεται από το σύστημα συμπαραγωγής

K_H : ισχύς καυσίμου για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος

K_Q : ισχύς καυσίμου για τη χωριστή παραγωγή θερμότητας

K_x : ($K_H + K_Q$) συνολική ισχύς καυσίμου χωρίς τη χρήση συμπαραγωγής

ε%: ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου

Στην περίπτωση που το σύστημα είναι αυτό της εικόνας προκύπτει:

$$\alpha_\gamma = 0,36$$

$$\alpha_\lambda = 0,80$$

$$\sigma_\eta = 0,30$$

$$\sigma_\theta = 0,55$$

Με τη χρήση συμπαραγωγής έχουμε:

Έστω ότι η γεννήτρια μας παράγει μία σταθερή ηλεκτρική ισχύ P (kW).

Η ισχύς του καυσίμου που απαιτείται για την παραγωγή αυτής της ισχύος είναι k . Επιπλέον θα παράγεται από το σύστημα μας θερμότητα ίση με Q , όπως παρακάτω:

$$P = k \frac{30}{100} \implies k = \frac{100}{30} * P$$

$$Q = k \frac{55}{100} \quad \text{αντικαθιστώντας το } k \quad Q = \frac{55}{30} P$$

Στην περίπτωση που θέλουμε να καλύψουμε την ίδια ηλεκτρική και θερμική ισχύ αλλά χωρίς συμπαραγωγή, θα έχουμε:

$$P \rightarrow k_H = \frac{P}{0,36}$$

$$Q \rightarrow k_Q = \frac{Q}{0,8} \quad \text{αντικαθιστώντας το } Q \quad k_Q = \frac{55*P}{30*0,8}$$

Όπου k_H και k_Q αντίστοιχα η ισχύεις καυσίμου για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας ξεχωριστά.

$$\text{Άρα έχουμε συνολικά} \quad k_x = (k_H + k_Q) = P * \frac{1}{0,36} + Q * \frac{1}{0,8}$$

Η διαφορά $K_x - k$ είναι η ισχύς καυσίμου που κερδίζουμε

$$\Delta k = k_x - k = (k_H + k_Q) - k$$

Αντικαθιστώντας κατάλληλα σύμφωνα με τα παραπάνω, έχουμε:

$$\Delta k = \left(\frac{P}{0,36} + \frac{55 \cdot P}{30 \cdot 0,8} \right) - \frac{100}{30} \cdot P = P \left(\frac{1}{0,36} + \frac{0,55}{0,30 \cdot 0,80} - \frac{1}{0,30} \right)$$

Αν αντίστοιχα, αντί για τους δεδομένους συντελεστές, θέσουμε τις μεταβλητές, η παράσταση θα είναι όπως παρακάτω:

Προκύπτει ότι
$$\Delta k = P \left(\frac{1}{\alpha_\gamma} + \frac{\sigma_\theta}{\sigma_\eta} \cdot \frac{1}{\alpha_\lambda} - \frac{1}{\sigma_\eta} \right)$$

Τέλος υπολογίζουμε το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου με τη χρήση συμπαραγωγής

$$\varepsilon\% = \frac{\Delta k}{k} \cdot 100\% = \frac{(k_H + k_Q) - k}{k_H + k_Q} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{\alpha_\gamma} + \frac{\sigma_\theta}{\sigma_\eta} \cdot \frac{1}{\alpha_\lambda} - \frac{1}{\sigma_\eta} \right)}{\frac{1}{\alpha_\gamma} + \frac{\sigma_\theta}{\sigma_\eta} \cdot \frac{1}{\alpha_\lambda}} \cdot 100\% = \frac{\left(\frac{\sigma_\eta}{\alpha_\gamma} + \frac{\sigma_\theta}{\alpha_\lambda} - 1 \right)}{\frac{\sigma_\eta}{\alpha_\gamma} + \frac{\sigma_\theta}{\alpha_\lambda}} \cdot 100\%$$

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση τους συντελεστές με τις τιμές που προαναφέραμε θα έχουμε:

$$\varepsilon\% = \frac{\frac{0,30}{0,36} + \frac{0,55}{0,80} - 1}{\frac{0,30}{0,36} + \frac{0,55}{0,80}} \cdot 100\%$$

Άρα το κέρδος μας σε καύσιμο είναι: $\varepsilon\% = 34,24\%$

Βλέπουμε δηλαδή ότι το κέρδος σε καύσιμο είναι ανεξάρτητο της τιμής P της ηλεκτρικής ισχύος της γεννήτριας συμπαραγωγής. Αυτό βέβαια έχει νόημα για ισχύ μέσα στα λογικά πλαίσια λειτουργίας, εννοώντας ότι δεν θα μπορούσαμε να έχουμε μια μονάδα πάρα πολύ μεγάλη για το εν λόγω ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά ούτε και θα έχει νόημα να είναι πάρα πολύ μικρή η μονάδα, ώστε να μην προσφέρει αρκετά. Θεωρούμε, όπως είδαμε και στην προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου, ότι η ηλεκτρική ισχύς είναι στα 500kW οπότε θα συνοδεύεται από θερμική ισχύς 916kW. Αυτή η θερμική ισχύς θα χρησιμοποιείται από τους κατοίκους του νησιού για θέρμανση κατά τη διάρκεια του χειμώνα, και για ψύξη, με ψύκτες απορρόφησης,

για το καλοκαίρι. Αυτό έχει νόημα για εγκατάσταση του συστήματος συμπαραγωγής κοντά σε κατοικίες, ή και ξενοδοχεία.

Δεν είναι δεσμευτική η χωροθέτηση της γεννήτριας σε σχέση με το ζυγό σύνδεσης στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτό γιατί μπορεί να βρίσκεται σε άλλο σημείο η μονάδα, και να συνδέεται στο δίκτυο μέσω γραμμή express στο επιθυμητό σημείο.

7.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΕΡΔΟΥΣ ΓΙΑ 2000 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΗΘ

Σύμφωνα με τα δεδομένα της προηγούμενης παραγράφου, το σύστημα συμπαραγωγής παράγει 500 KW ηλεκτρικής ισχύος και 916 KW θερμικής ισχύος. Οπότε για τέσσερις χιλιάδες ώρες λειτουργίας ανά έτος έχουμε:

$$\frac{2000h}{\text{έτος}} * 916KW = 1832 MWh/\text{έτος}$$

για θέρμανση και ψύξη διότι δεν χρειαζόμαστε να έχουμε 2000 ώρες για θέρμανση μόνο. Οπότε θεωρούμε ότι έχουμε 1000 ώρες για θέρμανση και 1000 ώρες το χρόνο για ψύξη. Για την ψύξη θεωρούμε ότι θα έχουμε ψύκτες απορρόφησης, ώστε να χρησιμοποιούμε θερμότητα για την παραγωγή του ψυκτικού φορτίου.

Γνωρίζοντας ότι το πετρέλαιο έχει κατώτερη θερμογόνο ικανότητα 9,9KWh/λίτρο υπολογίζουμε την ποσότητα πετρελαίου που απαιτείται για την παραγωγή αυτής της ενέργειας ξεχωριστά και όχι από ΣΗΘ:

$$\frac{1832 \frac{MWh}{\text{έτος}}}{9,9KWh/\text{λίτρο}} = 185050 \text{ λίτρα}/\text{έτος}$$

Στην προηγούμενη παράγραφο υπολογίσαμε ότι εξοικονομούμε 34,24% πετρέλαιο με τη χρήση συμπαραγωγής οπότε το σύστημα καταναλώνει:

$$185050 \frac{\text{λίτρα}}{\text{έτος}} - 185050 \frac{\text{λίτρα}}{\text{έτος}} * 34\% = 122133 \text{ λίτρα}$$

Συνεπώς το κέρδος σε ποσότητα πετρελαίου λόγω ΣΗΘ θα είναι:

$$185050 \frac{\text{λίτρα}}{\text{έτος}} * 34\% = 62917 \text{ λίτρα}$$

Υπολογίζουμε τώρα πόσα νοικοκυριά μπορούμε να τροφοδοτήσουμε με αυτή την ενέργεια.

Μετατρέπουμε τις KWh σε Kcal που αντιστοιχούν σε 1000 ώρες το έτος:
 $916 MWh = 787,5 * 10^6 Kcal/έτος$

Θεωρώντας ότι ένα νοικοκυριό απαιτεί περίπου 15000 Kcal/h τότε έχουμε:

$$\frac{787,5 * \frac{10^6 Kcal}{έτος}}{\frac{15000 Kcal}{h} * 1000h} = 52,5$$

Άρα μπορούμε να τροφοδοτήσουμε 52 νοικοκυριά για θέρμανση.

Τις υπόλοιπες 1000 ώρες μπορούμε χρησιμοποιώντας ψύκτες απορρόφησης να έχουμε ψύξη. Οπότε για 916 KWh/έτος θα τα μετατρέψουμε σε BTU και θα έχουμε

$$916 MWh = 3,125 * 10^9 BTU$$

Θεωρούμε δηλαδή ότι θα είναι σε θέση το σύστημα να παρέχει και το απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο στα παραπάνω νοικοκυριά.

7.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

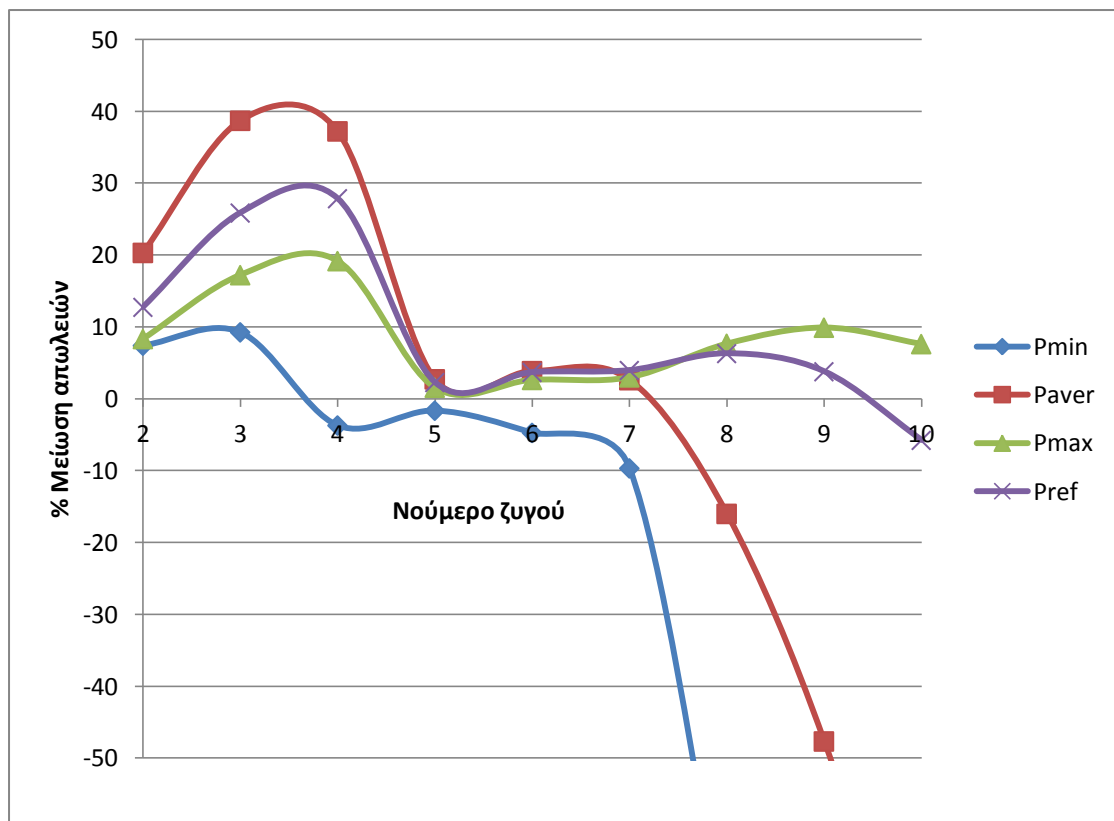
Τα στοιχεία αφορούν υλοποίηση εφαρμογής που έγινε το έτος 2007 σε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης(Γερμανία).

Τυπική εφαρμογή: RPS 340 μονάδα συμπαραγωγής. Ισχύς μονάδας 340 KW σε ηλεκτρισμό και συνολική απόδοση 86%.

Επένδυση	285.000 €
Ολοκλήρωση	80.000 €
Ώρες λειτουργίας	7.200 h/έτος
Συνολικά έξοδα συντήρησης (μέση τιμή)	78.336 €/έτος
Κόστος κατανάλωσης (μέση τιμή)	370.750 €/έτος
Ετήσιο κόστος (μέση τιμή)	449.086 €/έτος
Κέρδος θερμότητας (μέση τιμή)	138.600 €/έτος
Κέρδος ηλεκτρισμού (μέση τιμή)	447.525 €/έτος
Ετήσια έσοδα (μέση τιμή)	586.125 €/έτος
Πλεόνασμα (μέση τιμή)	137.039 €/έτος
Τιμή ηλεκτρικού ρεύματος	126,80 €/MWhel
Δυναμική απόσβεση	2,9 χρόνια
Αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια	2.448 MWhel/έτος
Αποδιδόμενη θερμική ενέργεια	2.520 MWhth/έτος

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε διάφορα σενάρια φόρτισης του δικτύου μέσω της προσομοίωσης στο Power World και καταγράψαμε τα σχετικά αποτελέσματα. Αναλύοντας τα, βλέπουμε ότι η ιδανικότερη θέση για να τοποθετήσουμε την υπό μελέτη μονάδα συμπαραγωγής είναι οι ζυγοί νούμερο τρία και τέσσερα. Στο ζυγό 3 έχουμε σε όλες τις περιπτώσεις μείωση των απωλειών πάνω στις γραμμές, ενώ στο ζυγό 4 μόνο στην περίπτωση του ελαχίστου φορτίου P_{min} έχουμε μία μικρή αύξηση των απωλειών, όπως βλέπουμε στο παρακάτω γράφημα.



Γράφημα 1: % μείωση απωλειών ανά περίπτωση φόρτισης και ανά ζυγό

Παρατηρούμε επίσης ότι το μεγαλύτερο ποσοστό μείωσης των απωλειών που έχουμε σε σχέση με τις απώλειες χωρίς συμπαραγωγή είναι στην περίπτωση του μέσου φορτίου (P_{aver}).

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η μονάδα συμπαραγωγής μπορεί να τοποθετηθεί μόνο στους ζυγούς 2,3 και 4 εάν θέλουμε να έχουμε σωστή λειτουργία του συστήματος για κάθε περίοδο του έτους. Επίσης βλέπουμε ότι οι ζυγοί 2,3,4 ανήκουν στη γραμμή μεταφοράς P-210(ΧΩΡΑ) όπου τροφοδοτεί δύο οικισμούς τη Χώρα (πρωτεύουσα του νησιού) και το Γροίκο (παραλία με πολλά ξενοδοχεία),

συνεπώς θα είναι εύκολη η εκμετάλλευση και διοχέτευση της παραγόμενης θερμότητας στους καταναλωτές.

Στην περιοχή όπου θα τοποθετηθεί η μονάδα συμπαραγωγής υπάρχουν κατοικίες και μικρές ξενοδοχειακές μονάδες, συνεπώς εκτός από τα 500 KW ηλεκτρικής ενέργειας που θα προσφέρει στο δίκτυο, θα προσφέρει και 916 KW θέρμανσης κατά τους τέσσερις χειμερινούς μήνες στις κατοικίες της περιοχής αυτής και όπως υπολογίσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο αντιστοιχεί σε 52 νοικοκυριά. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω κατάλληλου δικτύου τηλεθέρμανσης, όπου στην συγκεκριμένη περιοχή (Χώρα) γίνεται εύκολα λόγω της κοντινής απόστασης των κατοικιών. Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο το κέρδος σε καύσιμο είναι της τάξης του 34% για το σύστημα που μελετήσαμε και για χρόνο λειτουργίας τις 2000 ώρες κερδίζουμε 62 τόνους πετρελαίου, διότι είναι το μόνο καύσιμο που χρησιμοποιείται στο νησί.

Για να είναι πιο αποδοτικό το σύστημα και να λειτουργεί περισσότερες ώρες το χρόνο ώστε να εκμεταλλευόμαστε την ηλεκτρική ισχύ τις περιόδους αιχμής δηλαδή το καλοκαίρι όπου υπάρχει και ανάγκη, μπορούμε με την εγκατάσταση ψυκτών απορρόφησης σε κάθε κατοικία να έχουμε ψύξη σε αυτές χωρίς τη χρήση τυπικών κλιματιστικών. Υπολογίσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο ότι για 1000 ώρες λειτουργίας του συστήματος μπορούμε να παράγουμε $3,125 \cdot 10^9$ BTU. Όπως αναλύσαμε στο κεφάλαιο 5 οι ψύκτες απορρόφησης έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης και είναι πολύ συμφέρουσα επένδυση.

Η συμπαραγωγή αποτελεί μία εναλλακτική πρόταση για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος και θερμικής ενέργειας και κάτω από τις κατάλληλες προϋποθέσεις αποτελεί μία πιο οικονομική λύση για πολλές εφαρμογές. Όπως είδαμε η συμπαραγωγή έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως περιβαλλοντικά, οικονομικά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πάρα πολλές εφαρμογές όπως ξενοδοχεία, νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα, βιομηχανία, γεωργία, την κάλυψη θερμικών αναγκών μονάδων αφαλάτωσης νερού κ.α. Η μελέτη μας αφορούσε ένα μικρό αυτόνομο νησιωτικό ηλεκτρικό δίκτυο. Η εγκατεστημένη ισχύς της μονάδας συμπαραγωγής θεωρήθηκε της τάξης των 500KW (ηλεκτρική ισχύς) με μέγιστη ζήτηση στο νησί ισχύος 5500KW, δηλαδή της τάξης του 10%. Αντίστοιχα θα μπορούσαν να υπάρχουν εγκαταστάσεις συστημάτων ΣΗΘ για δίκτυα μεγαλύτερης ισχύος, με τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα όσο αφορά περιβαλλοντικούς και οικονομικούς όρους. Διεθνώς, έχουν αναπτυχθεί πολλές μονάδες με σύγχρονα καύσιμα λιγότερων ρύπων, όπως φυσικό αέριο, βιοντίζελ, κυψέλες καυσίμου κ.α. Η υιοθέτηση μιας πολιτικής προώθησης και εξέλιξης των συστημάτων ΣΗΘ, αν όχι αναγκαία, κρίνεται σκόπιμη από τεχνικο-οικονομική άποψη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΝΗΣΟΥ ΠΑΤΜΟΥ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

Απώλειες γραμμών			Pmax		Pmin		Paver		Pref	
A/A Γραμμή ς	Από ζυγό No	Προς ζυγό No	MW Loss	Mvar Loss	MW Loss	Mvar Loss	MW Loss	Mvar Loss	MW Loss	Mvar Loss
1	1	2	0,02338	0,01541	0,00062	0,00041	0,00353	0,00233	0,01113	0,00734
2	1	5	0,0025	0,00156	0,00007	0,00005	0,00039	0,00026	0,00122	0,00081
3	1	8	0,01449	0,00956	0,00072	0,00047	0,00053	0,00035	0,00467	0,00308
4	2	3	0,01763	0,01163	0,00046	0,00031	0,00265	0,00175	0,00838	0,00552
5	3	4	0,00206	0,00136	0,00005	0,00003	0,0003	0,0002	0,00095	0,00063
6	5	6	0,00152	0,001	0,00004	0,00003	0,00024	0,00016	0,00075	0,00049
7	6	7	0,00038	0,00025	0,00001	0,00001	0,00006	0,00004	0,00019	0,00012
8	8	9	0,00409	0,0027	0,0012	0,00079	0,0003	0,0002	0,00099	0,00066
9	9	10	0,00055	0,00036	0,00169	0,00112	0,00081	0,00054	0,00029	0,00019

1^η Περίπτωση Pmin

Pout Records

Bus Flows

BUS 1 1	15,0	MW	Mvar	MVA	%	1,0000	0,00	1 1
GENERATOR 1		0,24	0,43R	0,5				
TO 2 2	1	0,39	0,29	0,5	0			
TO 5 5	1	0,18	0,14	0,2	0			
TO 8 8	1	-0,33	0,00	0,3	0			
BUS 2 2	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9985	0,01	1 1
LOAD 1		0,11	0,08	0,1				
TO 1 1	1	-0,39	-0,29	0,5	0			
TO 3 3	1	0,27	0,20	0,3	0			
BUS 3 3	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9969	0,01	1 1
LOAD 1		0,18	0,14	0,2				
TO 2 2	1	-0,27	-0,20	0,3	0			
TO 4 4	1	0,09	0,07	0,1	0			
BUS 4 4	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9963	0,01	1 1
LOAD 1		0,09	0,07	0,1				
TO 3 3	1	-0,09	-0,07	0,1	0			

BUS 5 5	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9996	0,00	1 1
LOAD 2		0,04	0,03	0,0				
TO 1 1	1	-0,18	-0,14	0,2	0			
TO 6 6	1	0,14	0,11	0,2	0			
BUS 6 6	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9994	0,00	1 1
LOAD 2		0,07	0,05	0,1				
TO 5 5	1	-0,14	-0,11	0,2	0			
TO 7 7	1	0,07	0,05	0,1	0			
BUS 7 7	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9992	0,00	1 1
LOAD 2		0,07	0,05	0,1				
TO 6 6	1	-0,07	-0,05	0,1	0			
BUS 8 8	15,0	MW	Mvar	MVA	%	1,0022	0,08	1 1
LOAD 1		0,09	0,07	0,1				
TO 1 1	1	0,33	-0,00	0,3	0			
TO 9 9	1	-0,42	-0,07	0,4	0			
BUS 9 9	15,0	MW	Mvar	MVA	%	1,0052	0,16	1 1
LOAD 1		0,07	0,05	0,1				
TO 8 8	1	0,42	0,07	0,4	0			
TO 10 10	1	-0,49	-0,12	0,5	0			
BUS 10 10	15,0	MW	Mvar	MVA	%	1,0090	0,24	1 1
GENERATOR 1		0,60	0,20N	0,6				
LOAD 1		0,10	0,08	0,1				
TO 9 9	1	0,50	0,12	0,5	0			

2^η Περίπτωση Paver

Pout Records

Bus Flows

BUS 1 1	15,0	MW	Mvar	MVA	%	1,0000	0,00	1 1
GENERATOR 1		1,40	1,30R	1,9				
TO 2 2	1	0,92	0,69	1,2	0			
TO 5 5	1	0,44	0,33	0,5	0			
TO 8 8	1	0,04	0,28	0,3	0			
BUS 2 2	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9963	0,01	1 1
LOAD 1		0,27	0,20	0,3				
TO 1 1	1	-0,92	-0,69	1,2	0			
TO 3 3	1	0,65	0,49	0,8	0			
BUS 3 3	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9925	0,03	1 1
LOAD 1		0,43	0,32	0,5				
TO 2 2	1	-0,65	-0,49	0,8	0			

TO 4 4	1	0,22	0,16	0,3	0			
BUS 4 4	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9911	0,03	1 1
LOAD 1		0,22	0,16	0,3				
TO 3 3	1	-0,22	-0,16	0,3	0			
BUS 5 5	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9991	0,00	1 1
LOAD 1		0,10	0,07	0,1				
TO 1 1	1	-0,44	-0,33	0,5	0			
TO 6 6	1	0,34	0,26	0,4	0			
BUS 6 6	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9985	0,01	1 1
LOAD 1		0,17	0,13	0,2				
TO 5 5	1	-0,34	-0,26	0,4	0			
TO 7 7	1	0,17	0,13	0,2	0			
BUS 7 7	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9981	0,01	1 1
LOAD 1		0,17	0,13	0,2				
TO 6 6	1	-0,17	-0,13	0,2	0			
BUS 8 8	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9985	0,10	1 1
LOAD 1		0,22	0,16	0,3				
TO 1 1	1	-0,04	-0,28	0,3	0			
TO 9 9	1	-0,18	0,11	0,2	0			
BUS 9 9	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9992	0,18	1 1
LOAD 1		0,17	0,13	0,2				
TO 8 8	1	0,18	-0,11	0,2	0			
TO 10 10	1	-0,35	-0,02	0,4	0			
BUS 10 10	15,0	MW	Mvar	MVA	%	1,0016	0,26	1 1
GENERATOR 1		0,60	0,20N	0,6				
LOAD 1		0,25	0,19	0,3				
TO 9 9	1	0,35	0,02	0,4	0			

3^η Περίπτωση Pmax

Pout Records

Bus Flows

BUS 1 1	15,0	MW	Mvar	MVA	%	1,0000	0,00	1 1
GENERATOR 1		4,49	3,69R	5,8				
TO 2 2	1	2,36	1,81	3,0	0			
TO 5 5	1	1,10	0,82	1,4	0			
TO 8 8	1	1,03	1,06	1,5	0			
BUS 2 2	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9906	0,04	1 1
LOAD 1		0,68	0,52	0,9				

TO	1 1	1	-2,34	-1,79	2,9	0			
TO	3 3	1	1,66	1,27	2,1	0			
BUS	3 3	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9806	0,08	1 1
LOAD 1			1,09	0,82	1,4				
TO	2 2	1	-1,64	-1,26	2,1	0			
TO	4 4	1	0,55	0,44	0,7	0			
BUS	4 4	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9772	0,10	1 1
LOAD 1			0,55	0,44	0,7				
TO	3 3	1	-0,55	-0,44	0,7	0			
BUS	5 5	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9978	0,01	1 1
LOAD 1			0,24	0,18	0,3				
TO	1 1	1	-1,10	-0,82	1,4	0			
TO	6 6	1	0,86	0,64	1,1	0			
BUS	6 6	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9961	0,01	1 1
LOAD 1			0,43	0,32	0,5				
TO	5 5	1	-0,86	-0,64	1,1	0			
TO	7 7	1	0,43	0,32	0,5	0			
BUS	7 7	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9953	0,02	1 1
LOAD 1			0,43	0,32	0,5				
TO	6 6	1	-0,43	-0,32	0,5	0			
BUS	8 8	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9885	0,15	1 1
LOAD 1			0,55	0,43	0,7				
TO	1 1	1	-1,01	-1,05	1,5	0			
TO	9 9	1	0,46	0,62	0,8	0			
BUS	9 9	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9827	0,27	1 1
LOAD 1			0,43	0,34	0,5				
TO	8 8	1	-0,46	-0,62	0,8	0			
TO	10 10	1	0,03	0,28	0,3	0			
BUS	10 10	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9812	0,37	1 1
GENERATOR 1			0,60	0,20N	0,6				
LOAD 1			0,63	0,48	0,8				
TO	9 9	1	-0,03	-0,28	0,3	0			

4^η Περίπτωση Pref

Pout Records

Bus Flows

BUS	1 1	15,0	MW	Mvar	MVA	%	1,0000	0,00	1 1
GENERATOR 1			2,95	2,46R	3,8				

TO 2 2	1	1,64	1,23	2,1	0			
TO 5 5	1	0,77	0,58	1,0	0			
TO 8 8	1	0,53	0,65	0,8	0			
BUS 2 2	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9935	0,02	1 1
LOAD 1		0,48	0,36	0,6				
TO 1 1	1	-1,63	-1,22	2,0	0			
TO 3 3	1	1,16	0,87	1,4	0			
BUS 3 3	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9866	0,05	1 1
LOAD 1		0,76	0,57	1,0				
TO 2 2	1	-1,15	-0,86	1,4	0			
TO 4 4	1	0,39	0,29	0,5	0			
BUS 4 4	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9843	0,05	1 1
LOAD 1		0,38	0,29	0,5				
TO 3 3	1	-0,38	-0,29	0,5	0			
BUS 5 5	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9985	0,01	1 1
LOAD 1		0,17	0,13	0,2				
TO 1 1	1	-0,77	-0,58	1,0	0			
TO 6 6	1	0,60	0,45	0,8	0			
BUS 6 6	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9973	0,01	1 1
LOAD 1		0,30	0,23	0,4				
TO 5 5	1	-0,60	-0,45	0,8	0			
TO 7 7	1	0,30	0,23	0,4	0			
BUS 7 7	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9967	0,01	1 1
LOAD 1		0,30	0,23	0,4				
TO 6 6	1	-0,30	-0,23	0,4	0			
BUS 8 8	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9937	0,11	1 1
LOAD 1		0,38	0,29	0,5				
TO 1 1	1	-0,53	-0,64	0,8	0			
TO 9 9	1	0,14	0,35	0,4	0			
BUS 9 9	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9911	0,21	1 1
LOAD 1		0,30	0,23	0,4				
TO 8 8	1	-0,14	-0,35	0,4	0			
TO 10 10	1	-0,16	0,13	0,2	0			
BUS 10 10	15,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9916	0,30	1 1
GENERATOR 1		0,60	0,20N	0,6				
LOAD 1		0,44	0,33	0,6				
TO 9 9	1	0,16	-0,13	0,2	0			

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Χρίστος Αθ. Φραγκόπουλος, Ηλίας Π. Καρυδογιάννης, Γιάννης Κ. Καραλής <<Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας>>
2. Άγις Μ. Παπαδόπουλος <<Οικονομική ανάλυση ενεργειακών συστημάτων>>
3. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας www.cres.gr <<Οδηγός συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας>>
4. Ελληνικός σύνδεσμος συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας www.hachp.gr
5. Νικόλαος Α. Βοβός, Γαβριήλ Β. Γιαννακόπουλος <<Ανάλυση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας>>
6. Yi-Hsich Huang, Sheng-Nian Yeh <<Cogeneration pricing based on avoided costs of Power generation and transmission>>
7. Δρ. Αντώνιος Τσικαλάκης <<Χρήση και εφαρμογές των ηλεκτρονικών υπολογιστών στη μελέτη και ανάλυση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Εισαγωγή στο λογισμικό Power World>>
8. Ugyen Dorji, Dr. Adel A Elbaset <<A review on load flow studies>>
9. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας <<Συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας (micro-CHP)>>
10. Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος, <<Τεχνική οδηγία [Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και ψύξης : Εγκαταστάσεις σε κτίρια]>> Δεκέμβριος 2010
11. Francisco M. Gonzalez-Langatt <<Impact of Distributed Generation over power losses on distribution system>>
12. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας <<Οδηγός αξιολόγησης έργων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας ως προς την ενεργειακή αποδοτικότητα>> έκδοση 2.0, 30/10/2009 www.rae.gr
13. Γεώργιος Αγτζόγλου, Βασίλειος Ζιώγος, Διπλωματική εργασία <<Διερεύνηση των δυνατοτήτων διείσδυσης συστημάτων συμπαραγωγής σε κτίρια>> ΑΠΘ Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών 2008
14. Ευάγγελος Γ. Θεωνάς, Πτυχιακή εργασία <<Μοντελοποίηση και μελέτη μέσω προσομοίωσης του ενεργειακού ηλεκτρικού συστήματος Πάρου-Νάξου>> ΤΕΙ Κρήτης Τμήμα Ηλεκτρολογίας 2011
15. EDUCOGEN <<The European Educational Tool on Cogeneration>> Second Edition, December 2001